Изданіе Института Инженеровъ Путей Сообщенія Императора Александра I.

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГІЯ.

Томъ II.

ДЕНУДАЦІОННЫЕ ПРОЦЕССЫ.

(ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДѢЯТЕЛЬНОСТЬ АТМОСФЕРЫ И ВОДЫ).

ВТОРОЕ ИЗДАНІЕ,

ЗНАЧИТЕЛЬНО ПЕРЕДѢЛАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ, СЪ 4 КАРТАМИ И 481 ПОЛИТИП. ВЪ ТЕКСТѢ.

И. В. Мушкетовъ,

Профессоръ Горнаго Института Императрицы Екатерины II.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая, № 9.
1906.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Двѣнадцать листовъ настоящаго тома были уже отпечатаны и восемь слѣдующихъ были уже вполнѣ подготовлены къ печати, когда 10 января 1902 г. безвременная кончина И. В. Мушкетова пресѣкла его кипучую дѣятельность.

По желанію вдовы покойнаго профессора Е. П. Мушкетовой я принялъ на себя почетную обязанность довести до конца изданіе второго тома на средства, предоставленныя Совѣтомъ Института Инженеровъ Путей Сообщенія. Первое изданіе настоящаго тома вышло въ 1888 г., и содержаніе его требовало значительныхъ дополненій и частью переработки, которыя соотвѣтствовали бы развитію отдѣльныхъ вопросовъ геологіи, подлежащихъ разсмотрѣнію въ этомъ томѣ. «Физическая Геологія» И. В. Мушкетова въ первомъ изданіи, а равно и въ I томѣ второго изданія, отличается во всѣхъ своихъ частяхъ обиліемъ фактическаго матеріала, а по вопросамъ сколько нибудь спорнымъ даетъ изложеніе различныхъ взлядовъ и гипотезъ лишь съ критическими замѣчаніями согласно воззрѣніямъ самого автора. Въ динамической геологіи, въ зависимости отъ ограниченности матеріала, которымъ мы располагаемъ, и возможныхъ методовъ изслѣдованія, одни и тѣ же факты часто подвергаются различнымъ толкованіямъ соотвѣственно взглядамъ, господствующимъ въ наукѣ въ данное время. Обиліе фактическаго матеріала и разносторонность его освѣщенія являются поэтому для руководства геологіи достоинствами, опредѣляющими долговѣчность книги. Безспорно, что она теряетъ отъ этого въ живости и пріобрѣтаетъ характеръ не столько руководства, сколько справочной книги. «Физическая геологія» И. В. Мушкетова обнаруживаетъ довольно ясныя черты такого направленія, и мнѣ надлежало сохранить эти особенности труда покойнаго профессора. Преслѣдуя по мѣрѣ своихъ силъ эту задачу, я долженъ былъ къ сожалѣнью отказаться отъ тѣхъ дополненій содержанія второго тома, необходимость которыхъ была указана И. В. Мушкетовымъ въ введеніи къ первому тому второго изданія, а именно отъ напечатанія главъ о дѣятельности организмовъ и о морфологіи земной поверхности; присоединеніе этихъ главъ, также какъ необхо-

димыхъ дополненій къ главамъ о тектоникѣ и вулканизмѣ для перваго тома, повлекло бы чрезмѣрное увеличеніе объема книги, а, слѣдовательно, и средствъ на ея изданіе.

За очень немногими исключеніями, именно въ главѣ объ озерахъ, мною не сдѣлано почти никакихъ сокращеній въ первоначальномъ текстѣ IV, V, VI, и VII главъ; сдѣланы только необходимыя дополненія и измѣненія. Напротивъ того, глава VIII подверглась значительной переработкѣ, но съ сохраненіемъ гдѣ только было возможно, текста, принадлежавшаго перу покойнаго профессора. Съ цѣлью лучше выдѣлить первоначальный текстъ, въ главахъ V, VI и VII дополненія снабжены литературными ссылками или въ текстѣ, или подстрочными; въ VIII главѣ всѣ литературныя указанія сдѣланы подстрочными, чѣмъ нѣсколько нарушена система примѣчаній къ главамъ, принятая покойнымъ авторомъ.

Я не могъ иллюстрировать доконченныхъ мною главъ примѣрами русской природы въ той мѣрѣ, какъ это дѣлалъ раньше покойный авторъ; всѣмъ лицамъ, а въ особенности С. Н. Никитину, А. П. Герасимову, А. К. Мейстеру, И. П. Толмачеву, Л. А. Ячевскому, доставившимъ мнѣ фотографіи и готовыя клише для иллюстрацій, равно и лицамъ, изъ сочиненій которыхъ я воспользовался рисунками и картами, какъ П. Православлеву, А. Миссуна, В. И. Липскому и многимъ другимъ, считаю свою обязанностью выразить здѣсь признательность. Благодаря вниманію Совѣта Института Инженеровъ Путей Сообщенія и въ особенности бывшаго предсѣдателя его Л. Ѳ. Николаи явилась возможность приложить къ настоящему тому портретъ И. В. Мушкетова.

Проф. К. Богдановичъ.

Ноябрь 1905 г.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

стр.

Общій обзоръ денудаціонныхъ процессовъ 1

I. Геологическая дѣятельность атмосферы.

Глава I. Свойства атмосферы 15

Распредѣленіе температуры 16
Давленіе и движеніе атмосферы 30
Классификація вѣтровъ 37
Общая циркуляція атмосферы 48
Влажность и осадки атмосферы 51
Климатъ 58

Глава II. Механическая дѣятельность атмосферы 63

Развѣваніе 64
Развѣваніе въ слоистыхъ породахъ 67
Развѣваніе въ массивно-кристаллическихъ породахъ 69
Формы рельефа, создаваемыя развѣваніемъ 74
Перенесеніе и отложеніе 86
Дюны и барханы 87
Приморскія дюны 90
Рѣчныя дюны 107
Барханы или материковыя дюны 108
Бугристые пески 119
Атмосферная пыль 126
Лёссъ 133
Фульгуриты 146

Глава III. Вывѣтриваніе 148

Физическое вывѣтриваніе 149
Десквамація 151
Органическое вывѣтриваніе 154
Химическое вывѣтриваніе 156
Химическіе процессы 158
Зависимость отъ состава, сложенія и условій залеганія породъ . . 165
Продукты вывѣтриванія. Элювіальныя образованія 167
Вывѣтриваніе массивно-кристаллическихъ породъ 168
Вывѣтриваніе осадочныхъ породъ 171
Элювіальныя образованія 174
Вліяніе климата и растительности 179
Почвы 183
Вліяніе вывѣтриванія на рельефъ. Делювіальныя образованія . 188
Въ массивно-кристаллическихъ породахъ 190

стр.

Въ осадочныхъ породахъ 195
Делювіальныя образованія, розсыпи и осыпи 204

II. Геологическая дѣятельность воды.

Глава IV. Подземныя воды. Источники 213
Испареніе 214
Поглощеніе 217
Грунтовыя воды 223
Происхожденіе источниковъ 233
Нисходящіе источники 237
Пластовые 238
Трещинные 240
Восходящіе источники 246
Жильные 247
Сбросовые 250
Контактовые 251
Складковые 254
Извергающіеся, гейзеры 255
Простые колодцы 263
Артезіанскіе колодцы 264
въ Россіи 275
Термоминеральные источники 281
Физическія свойства 281
Химическій составъ 285
Классификація 297
Колебанія минерализаціи источниковъ 298
Осадки отлагаемые источниками 302
Туфы 302
Внутренніе осадки, жилы 310
Географическое распредѣленіе термоминеральныхъ источниковъ 315
Сѣверная и средняя Европа 318
Кавказъ 325
Геологическое дѣленіе источниковъ по Зюссу 330
Пещеры 334
Классификація 337
Пещеры-ледники 342
Вліяніе подземной воды на рельефъ 344
Провалы 344
Карстовыя явленія 345
Оползни и обвалы 351

Глава V. Дѣятельность проточной воды на поверхности земли. 361
Смываніе 366
Размываніе 369
Вліяніе различныхъ особенностей потоковъ и рѣкъ на размываніе 387
Движеніе и скорость воды въ рѣкахъ . . . . . —
Переносъ матеріала рѣками 390
Вліяніе геологическаго строенія на размываніе 397
Размываніе въ массивныхъ, горизонтальныхъ или мало наклоненныхъ породахъ 398

стр.

Овраги 400
Водопады 404
Размываніе въ породахъ съ нарушеннымъ пластованіемъ 417
Вліяніе трещинъ на размываніе 424
Вліяніе процессовъ дислокаціи, перемѣнъ климата и поверхности геоида на размываніе 426
Отложеніе 430
Коническіе наносы и каменныя поляны . . . . . —
Внезапные или бурные потоки 431
Отложеніе въ руслѣ рѣкъ 440
Рѣчныя террасы 446
Дельты 452
Озерныя дельты 453
Морскія дельты 455
Характеръ и свойство поверхности дельтъ 458
Мощность и составъ отложеній въ дельтахъ 460
Древность дельтъ 466
Условія географическаго распредѣленія дельтъ 468
Развитіе рѣчныхъ системъ и связанныя съ этимъ нѣкоторыя формы рельефа земной поверхности 471
Вліяніе пассивное тектоническихъ причинъ 472
Циклы эрозіи 474
Пенеплэнъ 476
Активное вліяніе тектоническихъ условій 477
Активное вліяніе орогеническихъ причинъ 478
Послѣдовательность цикловъ эрозіи 480
Разнообразіе гидрографическихъ системъ (генетическая классификація) 483

Глава VI. Стоячія воды суши. Озера 489
Плотинныя озера 493
Котловинныя озера 497
Кара-бугазъ 508
Составъ озерной воды и нѣкоторыя ея физическія свойства . . 511
Русскія соленыя озера и отложенія въ нихъ 516
Крымскія озера 519
Озера Каспійской области 523
Отложеніе солей 527
Мертвое море 531
Большое соляное озеро 532
Геологическое значеніе соленыхъ озеръ . . . . . —
Временность существованія озеръ 533

Глава VII. Дѣятельность моря 535
Свойства морской воды 536
Температура 537
Соленость 541
Плотность 545
Цвѣтъ и прозрачность 546
Движеніе морской воды 547
Морскія волны . . . . . —
Приливы и отливы 549
Морскія теченія 554

стр.

Механическая дѣятельность прибоя волнъ и теченій 559
a) Разрушеніе дѣятельностью прибоя волнъ . . . . . —
b) Разрушеніе, производимое приливными теченіями 570
Намываніе 572
Вліяніе поднятія и опусканія суши на механическую дѣятельность моря 584
Вліяніе поднятія . . . . . —
Вліяніе опусканія (абразія) 585
Образованіе подводныхъ долинъ. Фіорды 589
Берега типа ріасъ 592
Типъ далматскій 593
Вѣроятное разрушеніе береговъ дѣятельностью моря . . . . . —
Отложенія оставляемыя моремъ 594
Отложенія верхней береговой зоны . . . . . —
Прибрежныя отложенія (осадки мелководнаго и болѣе глубокаго моря). Терригеновыя 596
Песчаная зона 597
Континентальная зона иловъ 598
Составъ иловъ 599
Пелагическія отложенія 601
Органическіе илы . . . . . —
Красная глина глубокаго моря 604
Общія замѣчанія о геологической дѣятельности моря 610
Разнообразіе матеріала морскихъ отложеній . . . . . —
Разнообразіе синхроническихъ морскихъ отложеній 612
Распространеніе терригеновыхъ отложеній среди геологическихъ образованій 614
Постоянство материковыхъ массивовъ и океаническихъ впадинъ . . 615
Скорость образованія осадочныхъ породъ 616
Химическая дѣятельность моря 617
Испареніе морской воды 618
Залежи каменной соли . . . . . —
Новыя данныя объ испареніи морской воды 626
Различныя мѣсторожденія каменной соли 631
Цементація и образованіе доломита 632
Образованіе нефти по Оксеніусу 633

Глава VIII. Дѣятельность льда 635

Почвенный ледъ . . . . . —
Рѣчной и озерный ледъ 637
Донный ледъ 640
Вскрытіе и замерзаніе рѣкъ и озеръ 641
Дѣятельность рѣчного льда 642
Наледи или тарыны 647
Морской ледъ 649
Ледяныя поля . . . . . —
Ледяныя горы 652
Снѣгъ 654
Снѣговая линія 655
Лавины 661
Ледники 664
Формы ледниковъ или типы оледенѣнія 665
Альпійскій типъ . . . . . —

стр.

Типъ внутреннихъ ледниковыхъ покрововъ 671
Типъ ледника Маляспина 674
Условія развитія и географическаго распространенія ледниковъ 674
Орографическія условія . . . . . —
Климатическія условія 675
Климатъ полярныхъ областей 681
Примѣры ледниковыхъ областей 683
Альпы . . . . . —
Пиренеи . . . . . —
Кавказъ 684
Тянь-шань, Памиръ, Сибирь 685
Каракорумъ и Гималаи 687
Ледниковыя области Америки 690
Новая Зеландія 692
Скандинавія 693
Исландія 695
Гренландія 696
Новая Земля 701
Южная около-полярная область . . . . . —
Образованіе ледниковъ 702
Снѣгъ высокихъ областей 703
Фирнъ . . . . . —
Фирновая граница 707
Ледъ ледниковъ 708
Зернистость льда . . . . . —
Полосчатость льда; огивы 713
Температура льда ледниковъ 715
Движеніе ледниковъ 717
Измѣненіе скорости отъ краевъ къ серединѣ 719
Измѣненіе движенія въ продольной профили ледника 723
Миграція центра 724
Боковое движеніе. Линіи движенія 725
Вліяніе наклона . . . . . —
Вліяніе поперечнаго сѣченія 726
Измѣненіе скорости движенія ледника на глубинѣ 728
Заключеніе 729
Трещины 730
Слоистость и полосчатость 736
Ложкообразное расположеніе полосчатости 738
Явленія полосчатости и слоистости на ледникахъ типа внутренняго покрова 738
Причины и слѣдствія убыли ледниковъ 742
Верхняя убыль . . . . . —
Нижняя и внутренняя убыль 745
Айсберги 747
Механическая дѣятельность ледниковъ 749
Морены 750
Матеріалъ моренъ . . . . . —
Подледниковое вывѣтриваніе 751
Перемѣщаемыя морены 754
Отложенныя морены 764

стр.

Особенные случаи моренъ 768
Флювіогляціальныя образованія 770
Ледниковое выпахиваніе 773
Колебаніе ледниковъ 782
Годовыя колебанія 783
Крупныя періодическія колебанія 784
Вліяніе орографическихъ условій на колебанія ледниковъ 788
Ледниковыя катастрофы 790
Теоріи движенія ледниковъ 793
I. Теоріи самостоятельнаго движенія 794
II. Теоріи тяжести 795
Теоріи пластичности 796
a) Теорія Форбса 797
b) Теорія разжиженія Томсона 799
c) Теорія разжиженія Кролля 800
d) Теорія режеляціи Тиндаля 800
Современные взгляды на причину движенія ледниковъ 801
Теорія пластичности льда 802
Теорія Финстервальдера 807
Теорія разжиженія Дригальскаго 812
Теорія Крамера 815
Мнѣнія Чэмберлена и другихъ американскихъ и англійскихъ гляціалистовъ 815
Мнѣніе Рихтера 819

Глава VIII (продолженіе). **Ледниковая эпоха** 822

Общій характеръ ледниковой эпохи 823
Ледниковыя отложенія Альпъ 825
Комплексы и серіи ледниковыхъ отложеній . . . . . —
Другіе слѣды прежняго распространенія ледниковъ въ Альпахъ . . 828
Кары . . . . . —
Корытообразныя долины 829
Альпы въ эпоху оледенѣнія 830
Сѣверно-европейская (скандинаво-русская) область оледенѣнія . . 832
Ледниковыя отложенія . . . . . —
Моренныя 832
Флювіогляціальныя и другія отложенія изъ воды 834
Доказательства ледниковаго происхожденія валунной глины и части слоистыхъ образованій сѣверно-европейской области 835
Вліяніе оледенѣнія на подпочву . . . . . —
Основная морена 837
Мѣстныя фаціи валунной глины и нарушенія залеганія ея рыхлаго основанія 838
Формы рельефа, опредѣляемыя ледниковыми отложеніями . . . 839
Моренный ландшафтъ и моренная равнина . . . . . —
Ландшафтъ конечныхъ моренъ 844
Стратиграфическія отношенія ледниковыхъ отложеній сѣверной области оледенѣній 850
Происхожденіе различныхъ формъ поверхности, опредѣляемыхъ ледниковыми отложеніями 858
Моренный ландшафтъ и моренная равнина . . . . . —
Конечныя морены 861
Друмлины 862

стр.

Щебневые холмы 863
Озы 864
Полыя формы рельефа 866
Впадины и озера . . . . . —
Плювіальныя рѣчныя долины 867
Географическое распространеніе древнихъ ледниковыхъ областей . . . . . —
Область Тимано-Уральскаго ледника . . . . . —
Кавказъ 868
Пиренеи 869
Азія . . . . . —
Сѣверная Америка 872
Тропическій поясъ и Южное полушаріе 874
Плювіальный періодъ 876
Заключеніе 877
Причины ледниковой эпохи (геологическіе климаты) 878
Методы возстановленія палеотермальныхъ условій 879
Вѣроятныя климатическія измѣненія въ послѣдовательные геологическіе періоды 883
Однообразіе въ распредѣленіи тепла въ теченіе палеозойской и мезозойской эръ . . . . . —
Ледниковая эпоха конца палеозоя 885
Измѣненія климатическихъ условій въ концѣ мезозойской эры. 887
Обособленіе климатическихъ широтныхъ поясовъ въ кенозойскую эру 889
Общія замѣчанія 891
Гипотезы, которыми объясняютъ колебанія климата земли . . . 893
Астрономическія . . . . . —
Космическія 894
Теллурическія 897
Практическое приложеніе геологіи ледниковыхъ отложеній . . 900
Нѣсколько замѣчаній о приложеніи геологіи къ инженерному дѣлу 904
Примѣчанія къ главамъ 917
Указатель предметный 941
Указатель иностранныхъ терминовъ 948
Указатель авторовъ 951
Замѣченныя опечатки 957

Общій обзоръ денудаціонныхъ процессовъ.

Въ послѣднее время терминъ денудація, введенный еще П. Скропомъ [1]), получилъ различныя толкованія. Одни [2]), придерживаясь буквальнаго значенія слова (denudo=обнажаю), разумѣютъ подъ именемъ денудаціи только тѣ процессы обнаженія, которые происходятъ вслѣдствіе удаленія рыхлыхъ продуктовъ вывѣтриванія. Другіе [3]), напротивъ, вывѣтриваніе совершенно выдѣляютъ изъ процессовъ денудаціи и причисляютъ къ нимъ только тѣ обнаженія, которыя происходятъ отъ дѣйствія вѣтра, текучей воды, льда и моря; при этомъ собственно денудацію (Denudation) противопоставляютъ отложенію (Auflagerung). Третьи [4]) придаютъ ему болѣе широкое значеніе, но съ различными ограниченіями. Всѣ эти разнорѣчія порождаютъ только недоразумѣнія, затемняютъ истинный смыслъ термина и даже вызываютъ попытки замѣнить его другимъ—деструкція (Destruction) [5]), несравненно менѣе удачнымъ. Не считая возможнымъ придавать денудаціи какое-либо частное значеніе, мы разумѣемъ подъ именемъ денудаціонныхъ процессовъ всю совокупность геологическихъ явленій, обусловленныхъ дѣятельностью воздуха, воды въ разныхъ состояніяхъ и организмовъ. Хотя дѣятельность этихъ агентовъ выражается весьма сложными и разнообразными процессами, получающими различныя частныя названія, но вся она сосредоточивается главнымъ образомъ на поверхности земли и проникаетъ только на небольшую глубину внутрь земной коры; поэтому денудаціонные процессы можно было бы назвать внѣшними въ отличіе отъ внутреннихъ или тектоническихъ, разсмотрѣнныхъ уже въ первой части этого курса. Тѣ и другіе хотя рѣзко отличаются по характеру своего проявленія, но имѣютъ одинаково важное значеніе для исторіи земли и въ этомъ отношеніи невозможно ограничиться изученіемъ какой-либо одной группы ихъ, какою бы она ни казалась мощною и распространенною. Такъ, тектоническіе процессы, какъ мы уже знаемъ, характеризуются широкимъ распространеніемъ, большимъ разнообразіемъ, мощностью и древностью, восходящею до самыхъ первыхъ фазъ развитія земли; они нетолько усложняютъ внутреннее строеніе земной коры и производятъ основныя формы пластики, но и доставляютъ изъ нѣдръ земли на поверхность сложную группу массивно-кристаллическихъ или извер-

женныхъ породъ, изученіе которыхъ выясняетъ условія дифференціаціи вулканической магмы и законы ассоціаціи минераловъ. Но несмотря на такую выдающуюся дѣятельность тектоническихъ процессовъ, изученіе ихъ однихъ было бы далеко недостаточно нетолько для познанія полной исторіи земли и всѣхъ измѣненій, пережитыхъ ею, но даже для пониманія современнаго лика земной поверхности и измѣненій его, происходящихъ въ настоящее время. Громадная группа весьма важныхъ памятниковъ, оставленныхъ денудаціею въ корѣ и на поверхности земли, утратила бы всякое значеніе для исторіи. Тоже самое было бы при исключительномъ изученіи денудаціонныхъ процессовъ, несмотря на ихъ широкую, мощную и разнообразную дѣятельность. Денудаціонные процессы уступаютъ тектоническимъ развѣ только въ древности ихъ появленія, такъ какъ первыя фазы развитія земли, благодаря высокой температурѣ, происходили безъ участія нѣкоторыхъ денудаціонныхъ агентовъ, напр. льда и организмовъ. Но по мѣрѣ охлажденія земли количество денудаціонныхъ агентовъ увеличивалось и арена дѣятельности ихъ постепенно расширялась; въ настоящее время они имѣютъ преобладающее значеніе; они настолько развиты, что едвали возможно указать какой-либо пунктъ на земной поверхности, который не подвергался бы ихъ вліянію. Тектоническіе же процессы напротивъ какъ бы ослабѣваютъ и сокращаются, но во всякомъ случаѣ до сихъ поръ еще не утратили своего значенія и не утратятъ его до совершеннаго охлажденія земли, когда денудаціонные процессы получатъ исключительное право дѣятельности, какое тектоническіе имѣли въ началѣ жизни земли.

Денудаціонные процессы оказываютъ гораздо большее вліяніе на пластику, нежели на тектонику земной коры. Они видоизмѣняютъ всѣ тектоническія формы рельефа и придаютъ имъ то сложное расчлененіе въ горизонтальномъ и вертикальномъ направленіяхъ, которое обусловливаетъ красоту и разнообразіе ландшафта. Но кромѣ того они производятъ весьма мощныя отложенія цѣлой группы сложныхъ породъ, имѣющихъ для исторіи земли болѣе важное значеніе, чѣмъ изверженныя породы, потому что онѣ служатъ основаніемъ для геологической хронологіи, разсмотрѣнной уже въ первомъ томѣ этого курса.

Какъ въ природѣ агенты денудаціи появлялись не съ разу, такъ и въ наукѣ они признаны были неодновременно. Прежде всего обратила на себя вниманіе вода въ разныхъ состояніяхъ; изученіе ея геологической дѣятельности давно уже, но особенно со времени Ляйэлля, поставлено на широкихъ систематическихъ основаніяхъ. Затѣмъ была подмѣчена работа организмовъ и химическая дѣятельность атмосферы. Что же касается механической дѣятельности атмосферы, то геологическое значеніе ея было признано только въ послѣдніе три десятилѣтія, да и то не всѣми; многіе изслѣдователи до сихъ поръ еще относятся скептически къ геологической дѣятельности атмосферы и умаляютъ ея значеніе; еще лѣтъ двадцать тому назадъ, т. е. въ руководствахъ геологіи семидесятыхъ годовъ о ней почти

не упоминалось и во всякомъ случаѣ не отводилось самостоятельнаго мѣста. Самый терминъ—субъаэральные или эоловые агенты—введенъ только въ концѣ шестидесятыхъ годовъ знаменитымъ изслѣдователемъ Китая проф. Рихтгофеномъ, который впервые показалъ ихъ важное значеніе въ дѣлѣ преобразованія земной поверхности, особенно въ центральныхъ частяхъ материковъ, гдѣ они играютъ такую же видную роль, какъ вода въ периферическихъ. Благодаря почину и трудамъ Рихтгофена, а также многочисленнымъ новѣйшимъ изслѣдователямъ центральныхъ частей Азіи, Африки, Америки и Австраліи и наконецъ крупнымъ успѣхамъ метеорологіи, изученіе геологической дѣятельности атмосферы подвинулось настолько впередъ, что явилась возможность выдѣлить тѣ же основные процессы, какіе наблюдаются въ дѣятельности воды. Разсмотримъ вкратцѣ процессы различныхъ денудаціонныхъ агентовъ, начиная съ атмосферы.

Вліяніе атмосферы на поверхность земли обусловливается составомъ ея, рѣзкими колебаніями температуры и особенно движеніями ея или вѣтрами. Вліяніе это можетъ быть или непосредственное или же косвенное, при посредствѣ другихъ агентовъ: воды и организмовъ. Непосредственное или прямое дѣйствіе атмосферы раздѣляется на механическое и химическое.

Химическое вліяніе атмосферы въ природѣ рѣдко проявляется вполнѣ обособленно, а всегда совмѣстно съ физическимъ и химическимъ вліяніемъ воды и организмовъ; эта совокупная работа, разрыхляющая самыя твердыя скалы на поверхности земли и подготовляющая ихъ къ переносу, называется вывѣтриваніемъ. Въ зависимости отъ свойства процессовъ, вывѣтриваніе раздѣляется на физическое, химическое и органическое. При физическомъ вывѣтриваніи главное значеніе имѣетъ колебаніе температуры воздуха; чѣмъ выше годовая и особенно суточная амплитуда температуры, тѣмъ больше образуется трещинъ въ поверхностныхъ породахъ и тѣмъ скорѣе массивныя скалы превращаются въ груды обломковъ, называемыхъ россыпями и осыпями. Одновременно съ физическими происходятъ и химическіе процессы. Кислородъ, углекислота и влага атмосферы, проникая по готовымъ трещинамъ, измѣняютъ составъ породъ и еще болѣе способствуютъ разрыхленію скалъ. Такое же вліяніе оказываютъ организмы, дѣйствуя на породы своими органическими кислотами или разрушая ихъ механически. Всѣ эти сложные процессы дѣйствуютъ совмѣстно по всей поверхности земли, только нѣсколько измѣняя свою интенсивность въ различныхъ областяхъ; въ обособленномъ же видѣ наблюдается только физическое вывѣтриваніе, но весьма въ рѣдкихъ случаяхъ. Въ виду такой тѣсной связи этихъ процессовъ, мы разсмотримъ ихъ всѣ вмѣстѣ въ особой главѣ о вывѣтриваніи, несмотря на то, что они обусловливаются различными агентами.

Механическая дѣятельность атмосферы проявляется главнымъ образомъ въ работѣ воздушныхъ токовъ, которые охватываютъ всю земную поверхность и дѣйствуютъ какъ въ горизонтальномъ направленіи—отъ

полюсовъ до экватора, такъ и въ вертикальномъ—отъ уровня моря до снѣжныхъ вершинъ высочайшихъ горъ. Хотя механическая сила ихъ несравненно слабѣе водяныхъ потоковъ, такъ какъ воздухъ легче воды почти въ 800 (точнѣе въ 770) разъ, но зато площадь приложенія этой силы гораздо больше, потому что воздушные токи не ограничиваются какими либо опредѣленными руслами, какъ водяные, а воздѣйствуютъ на обширныя площади поверхности земли; вслѣдствіе этого результаты механической дѣятельности вѣтра достигаютъ огромныхъ размѣровъ и во многихъ областяхъ превосходятъ даже работу воды.

Вѣтеръ, ударяя о поверхность земли, подхватываетъ мелкія минеральныя частицы, особенно если онѣ уже подготовлены вывѣтриваніемъ, поднимаетъ ихъ высоко, образуя такъ называемые пыльные ураганы, и уноситъ ихъ на далекое разстояніе; другія же болѣе крупныя частицы передвигаетъ перекатываніемъ по поверхности и скопляетъ въ кучи опредѣленной формы. Пыльные ураганы происходятъ даже въ травянистыхъ областяхъ, напр. у насъ въ черноземной полосѣ Россіи, гдѣ въ засушливые годы вѣтеръ поднимаетъ тучи черной пыли со вспаханныхъ полей, а посѣянныя зерна вмѣстѣ съ крупными частицами почвы собираетъ въ небольшія кучки; мѣстами тучный черноземъ засыпается летучимъ пескомъ и плодородныя площади превращаются въ пустыню. Но особенно большого развитія атмосферная пыль достигаетъ въ сухихъ, лишенныхъ растительности, центрально-материковыхъ областяхъ, напр. въ Средней Азіи, гдѣ она образуется почти непрерывно, а въ сильныя бури такъ переполняетъ атмосферу, что лишаетъ ее прозрачности и придаетъ ей особый желтоватый оттѣнокъ, черезъ который даже солнце кажется блѣдною луною. Не только мелкая пыль, но иногда даже песокъ сильными вихрями поднимается на высоту до 600—700 м., какъ наблюдалось въ американскихъ пустыняхъ [6]); при этомъ по поверхности передвигается крупный песокъ и даже гальки въ нѣсколько дюймовъ діаметромъ [7]). Въ пустыняхъ не только рыхлыя породы, подготовленныя вывѣтриваніемъ, но и твердыя скалы постепенно разрушаются подъ вліяніемъ ударовъ вѣтра. Нападая на болѣе слабыя части выдающихся скалъ, вѣтеръ производитъ на нихъ бороздки, желобки и всякаго рода неправильныя углубленія, которыя разростаются въ пещерки до 8 м. и болѣе шириною [8]). Отъ вывѣванія слабыхъ частей породъ болѣе крѣпкія выступаютъ въ видѣ оригинальныхъ формъ рельефа: эоловыхъ столбовъ, куполовъ, столовыхъ горъ и пр., которые придаютъ пустынямъ характерный и своеобразный ландшафтъ. При дальнѣйшемъ дѣйствіи вѣтра выступающія формы рельефа также постепенно разрушаются или сглаживаются и покрываются летучимъ пескомъ, сравнивающимъ всѣ неровности. Такіе процессы наблюдаются часто и даже существуютъ попытки опредѣлить быстроту ихъ; напр. около Дафны въ Египтѣ [9]) уничтожены холмы отъ 10 до 12 м. высотою въ теченіи 2000 лѣтъ, у Телль Небесеха 2,5 м. снесено въ 2000 лѣтъ, а у Кантара на Суэзскомъ каналѣ

въ историческое время обнажены фундаменты зданій на 12 м.; вообще полагаютъ, что среднимъ числомъ въ столѣтіе сносился слой около 10 сант. толщиною; но само собою разумѣется, что сила развѣванія въ разныхъ мѣстахъ далеко неодинакова.

Всѣ продукты разрушенія горныхъ породъ вѣтеръ переноситъ на другія мѣста и при этомъ шлифуетъ какъ переносимыя частицы, такъ и все, встрѣчающееся имъ на пути. Крупныя и наиболѣе устойчивыя частицы перекатываются вѣтромъ по поверхности земли и скопляются въ гряды и холмы, называемые дюнами и барханами, которые превращаютъ громадныя пространства въ совершенную пустыню. Мелкія же частицы во взвѣшенномъ состояніи уносятся далеко и отлагаясь, образуютъ особый глинистый осадокъ, называемый лёссомъ. Пустыни Средней Азіи на большомъ разстояніи окружены лёссовымъ поясомъ; въ С. Африкѣ атмосферная пыль уносится на 1000 — 1500 кил. въ Атлантическій океанъ; даже бабочки и другія мелкія насѣкомыя уносятся вмѣстѣ съ пылью за 700 кил. отъ западныхъ береговъ С. Африки. Вулканическій пепелъ разносится за 3000 кил. Отложенія лёсса, достигающія въ Азіи до 1000 ф. мощности, до такой степени нивеллируютъ поверхность, что даже волнистыя страны превращаются въ идеально ровную степь. Онъ представляетъ весьма плодородную почву—желтоземъ востока, обусловливающій благосостояніе многихъ странъ; въ этомъ отношеніи онъ представляетъ совершенную противоположность летучему песку.

Такимъ образомъ дѣятельность вѣтра состоитъ изъ нѣсколькихъ процессовъ: 1—разрушенія (убыль—Ablation) горныхъ породъ или ихъ постепенной убыли, которая всегда сопровождается: 2—перенесеніемъ (Transport) оторванныхъ частицъ на другое мѣсто, 3—обтачиваніемъ или шлифованіемъ (Corrosion) и наконецъ 4—отложеніемъ (Ablagerung) эоловыхъ или субъаэральныхъ осадковъ, изъ которыхъ лёссъ и летучій песокъ имѣютъ наибольшее значеніе и громадное распространеніе. Первые три процесса, по предложенію Вальтера [10]), называютъ однимъ именемъ—дефляція (Deflation), которое по русски можно было бы передать словомъ—развѣваніе; слѣдовательно механическая дѣятельность вѣтра раздѣляется на разрушительную или развѣваніе (дефляція) и созидательную или отложеніе; первая понижаетъ поверхность или производитъ мѣстное укорочиваніе радіуса земли, а вторая напротивъ возвышаетъ поверхность или удлиняетъ радіусъ земли.

Кромѣ непосредственнаго дѣйствія атмосферы на поверхность земли, она проявляетъ еще косвенное вліяніе при посредствѣ другихъ агентовъ. Вѣтры разносятъ влагу съ поверхности океановъ на материки и обусловливаютъ въ каждомъ данномъ мѣстѣ не только количество атмосферныхъ осадковъ, но также и температуру; въ однихъ мѣстахъ они увлажняютъ почву, въ другихъ изсушаютъ, а въ зависимости отъ того распредѣляется дѣятельность материковыхъ водъ и организмовъ, не исключая и человѣка. Указанное въ первой части курса (Т. 1, стр. 100) раздѣленіе материковъ

на центральныя и периферическія части, помимо орографіи, основано на направленіи и качествѣ атмосферныхъ движеній. Тѣ же вѣтры посредствомъ прибоя морскихъ волнъ производятъ большія измѣненія на окраинахъ материковъ. Такимъ образомъ атмосфера, являясь посредницей между сушею и водою, обусловливаетъ круговоротъ воды и расширяетъ ея дѣятельность.

Геологическая дѣятельность воды, хотя разнообразнѣе и сложнѣе работы атмосферы, но состоитъ изъ такихъ же процессовъ разрушенія и созиданія, которые также обусловливаются прежде всего движеніемъ воды, а затѣмъ физическими и химическими свойствами ея. Все количество воды, заключающейся въ главныхъ резервуарахъ—океанахъ, составляетъ около $3^1/_2$ милл. куб. геор. миль (точнѣе 1,279,000,000 куб. килом. см. т. 1, стр. 90); эта масса находится въ непрерывномъ движеніи, проявляющемся или въ постоянныхъ теченіяхъ по опредѣленному направленію или въ перемѣнныхъ волненіяхъ. Волны моря, ударяясь о берега съ огромною силою, выражающеюся иногда давленіемъ въ 10000—16000 килогр. на одинъ кв. метръ, съ одной стороны обтачиваютъ, подмываютъ и разрушаютъ ихъ, а съ другой—переносятъ, сортируютъ и отлагаютъ разрушенный матеріалъ въ видѣ береговыхъ и прибрежныхъ осадковъ. Превращеніе живой силы волнъ въ работу при встрѣчѣ съ берегами составляетъ такой важный факторъ въ преобразованіи земной поверхности, что давно уже капитанъ Сэксби предлагалъ сдѣлать его предметомъ особой науки—ондоворалогіи. Морскія теченія значительно расширяютъ работу волнъ, особенно въ дѣлѣ перенесенія и отложенія; они разносятъ измельченный матеріалъ на большія разстоянія какъ вдоль береговъ, такъ и въ открытомъ океанѣ. Морскія отложенія отличаются наибольшею мощностью и распространенностью; кромѣ того они заключаютъ въ себѣ важнѣйшіе документы, въ видѣ многочисленныхъ окаменѣлостей, для опредѣленія древности различныхъ періодовъ жизни земли. Море, подмывая берега и отлагая осадки, обусловливаетъ не только характеръ горизонтальнаго расчлененія материковъ, а слѣдовательно и степень доступности ихъ, но также и вертикальное расчлененіе суши; при наступаніи моря на материкъ оно смываетъ (сбриваетъ) всѣ неровности и превращаетъ даже горныя страны въ совершенныя равнины. Такимъ образомъ дѣятельность моря состоитъ изъ тѣхъ же процессовъ, какъ и дѣятельность атмосферы, т. е. разрушенія (убыли), обтачиванія или шлифованія, перенесенія и отложенія, причемъ первымъ тремъ придаютъ общее названіе—смываніе или абразія (Abrasion—буквально значитъ—сбриваніе), аналогичное эоловой дефляціи.

Кромѣ непосредственной работы, море доставляетъ огромное количество паровъ, которые, уносясь высоко и далеко, возвращаются или прямо въ море или же на поверхность суши въ формѣ различныхъ гидрометеоровъ. Хотя уже самое паденіе дождя составляетъ большую механическую работу, напр. въ среднихъ широтахъ она равна приблизительно

1—3 милл. киллограмметрамъ въ годъ на каждый кв. метръ поверхности [11]), но для насъ важное значеніе имѣютъ собственно осадки, выпадающіе на поверхность суши, гдѣ они претерпѣваютъ различныя преобразованія и производятъ сложную работу. По разсчету Д. Мёррея [12]) на площадь материковъ въ 145 милл. квадр. килом. ежегодно выпадаетъ 122500 куб. килом. атмосферной влаги, что при равномѣрномъ распредѣленіи по всей поверхности материковъ дало бы слой воды толщиною 0,844 мет. Само собой разумѣется, что въ дѣйствительности слой этотъ далеко неодинаковъ подъ различными широтами; наибольшее количество дождей выпадаетъ подъ экваторомъ; двѣ трети годового количества приходится на поясъ между 30° с. ш. и 30° ю. ш.; къ полюсамъ дожди значительно уменьшаются, а minimum'а достигаютъ въ поясѣ пустынь. Атмосферная вода, попадая на поверхность суши, раздѣляется на нѣсколько неравныхъ частей; одна часть ея тотчасъ же испаряется и поглощается растеніями, другая часть проникаетъ въ почву и служитъ для питанія подземныхъ водъ и наконецъ третья скатывается по поверхности и рѣками уносится снова въ океанъ. Величина этихъ частей для различныхъ мѣстъ весьма разнообразна и зависитъ отъ множества частныхъ условій: отъ характера почвы, растительности, климата и пр.; такъ напр. въ области Миссисипи на испареніе уходитъ 75% годового количества атмосферной воды [12a], а въ области Невы наоборотъ, вѣроятно около 60% проникаетъ въ почву. Въ области Роны отношеніе количества воды, стекающей по поверхности, къ общему количеству осадковъ составляетъ какъ 1 : 1,6, а въ области Нила тоже отношеніе равно, какъ 1 : 37; даже для сосѣднихъ мѣстностей отношенія эти различны, напр. для Средней Европы количество воды проникающей въ почву оцѣнивается отъ $^1/_3$ до $^1/_{12}$; слѣдовательно въ этомъ отношеніи нельзя установить какое-либо опредѣленное правило, а въ каждомъ данномъ случаѣ требуются спеціальныя изслѣдованія. Мёррей, изучая только количество воды, стекающей въ рѣкахъ къ океану, пришелъ къ тому заключенію, что оно составляетъ около $^1/_5$ части всѣхъ материковыхъ дождей, т. е. изъ 122500 куб. килом. воды, только 27200 куб. килом. возвращается въ море рѣками, или отношеніе это составляетъ какъ 1 : 4,499; остальные 95300 куб. килом. расходуются на испареніе, питаніе организмовъ, на образованіе подземныхъ источниковъ и пр. Однако, едвали возможно допустить, чтобы весь этотъ остатокъ терялся для моря, потому что при ежегодной потерѣ даже половины этого количества океаны высохли бы въ теченіи 30000 лѣтъ; очевидно, большая часть его разными, трудно уловимыми, путями, также возвращается въ море, за исключеніемъ развѣ только небольшого количества воды, расходующагося на организмы и особенно на гидратизацію минераловъ. Потеря эта вѣроятно ничтожная по сравненію съ объемомъ океановъ, но опредѣлить размѣры ея, даже приблизительно, невозможно, а потому предположеніе объ уменьшеніи общаго количества воды на $^1/_{17}$ часть съ древнѣйшихъ эпохъ совершенно произвольно. Можно только допустить,

что потеря эта увеличивается по мѣрѣ охлажденія земли и пониженія 100° геотермы, что позволяетъ проникать водѣ на болѣе значительную глубину. Хотя на основаніи геотермическихъ наблюденій глубина эта опредѣляется въ 3300 метр., но принимая во вниманіе, что переходъ воды въ паръ зависитъ не только отъ температуры, но и давленія,—проф. Сойка [13]) вычисляетъ ее въ 18500 метровъ.

Вода, циркулирующая внутри земной коры, совершаетъ разнообразную работу въ зависимости не только отъ движенія, но главнымъ образомъ отъ химическихъ и физическихъ особенностей ея. Извѣстно, что вода въ чистомъ видѣ представляетъ соединеніе одного атома кислорода и двухъ атомовъ водорода, что при температурѣ 100° Ц. и давленіи 760 мм. она превращается въ паръ, увеличиваясь въ объемѣ въ 1700 разъ; она въ 770 разъ тяжелѣе воздуха и наибольшую плотность имѣетъ при 4,1° Ц. При 0° она затвердѣваетъ въ ледъ и увеличивается въ объемѣ на $^1/_{11}$ часть. Однако въ природѣ нѣтъ совершенно чистой воды, даже дождевая и снѣговая вода содержатъ различныя примѣси, захваченныя изъ атмосферы; такъ, по новѣйшимъ анализамъ въ литрѣ дождевой воды, заключается 5,97 куб. сант. 0, 16,60 к. сант. N и 4,47 к. сант. CO_2 или въ $^0/_0$ = 22,06 O — 61,40 N и 16,54 CO_2.

Бауметръ [14]) нашелъ, что въ воздухѣ, поглощенномъ водою при 11,4° Ц. во время сильнаго дождя, длившагося нѣсколько часовъ, заключалось: 1,77 объема CO_2, 33,76 объема O и 64,47 объема N. Слѣдовательно на 1 объемъ CO_2 приходится 19 объемовъ O, тогда какъ въ атмосферномъ воздухѣ на 1 объемъ CO_2 приходится 628 объем. O, значитъ въ 33 раза меньше, нежели въ воздухѣ, поглощаемомъ водою

По опытамъ Бунзена 1 объемъ воды при давленіи въ 760 мм. поглощаетъ:

		При 10° Ц.	При 15° Ц.	При 20° Ц.
Объема	O	0,03250 = 1	0,02989 = 1	0,02838 = 1
„	CO_2	1,1847 = 36,4	1,0020 = 33,5	0,9014 = 31,8
„	N	0,01607 = 0,50	0,01478 = 0,44	0,01403 = 0,49

Воздухъ, не содержащій CO_2 и насыщенный водою при температурѣ отъ 1° до 23°, состоитъ изъ 34,91 об. N и 65,09 об. O.

По поглотительной способности Бунзенъ вычислилъ отношеніе газовъ, содержащихся въ атмосферной водѣ:

		5° Ц.	10° Ц.	15° Ц.	20° Ц.
Объема	CO_2	2,68	2,46	2,26	2,14
„	O	33,97	34,05	34,12	34,17
„	N	63,35	63,44	63,62	63,69

причемъ въ атмосферномъ воздухѣ O—20,951, N—79,007, CO_2—0,042.

По мнѣнію Бунзена количества поглощенныхъ газовъ при одинаковыхъ условіяхъ прямо пропорціональны давленію.

Не только въ дождевой, но даже въ снѣговой водѣ можно найти небольшое количество углекислоты въ смѣси съ другими веществами, въ числѣ которыхъ находятся и органическія вещества, оссбенно вблизи густо-населенныхъ пунктовъ; такъ, по анализамъ Фекала въ одномъ литрѣ воды содержится:

	Изъ снѣга.	Изъ дождя.
NaCl	17,0	11,3 милр.
$C(NH_4)_2O_3$	1,3	1,7 „
$N(NH_4)O_3$	1,5	1,9 „
Na_2SO_4	15,6	10,1 „
$CaSO_4$	0,9	0,9 „
Органическія вещества	23,8	24,8 „

Тиссандье изслѣдовалъ первый снѣгъ и нашелъ:

	Со двора.	Съ собора Пар. Богом.	Изъ деревни.
16-го декабря	212	118	104
21-го „	108	56	48

Очевидно, что степень богатства атмосферныхъ осадковъ примѣсями зависитъ отъ густоты населенія, но осадки не лишены ихъ и въ мѣстахъ совершенно ненаселенныхъ.

Атмосферныя воды, падая на земную поверхность, проникаютъ черезъ разнообразныя горныя породы. Породъ абсолютно-непроницаемыхъ нѣтъ; не только такія породы какъ песчаники и различные известняки, но даже массивныя кристаллическія породы—граниты, базальты и т. п.—проницаемы для воды. Это доказываетъ практика въ различныхъ рудникахъ, а также прямые опыты, напр. возможность искусственнаго окрашиванія такихъ плотныхъ минераловъ, какъ халцедонъ и агатъ. Но, разумѣется, различныя породы имѣютъ различную степень проницаемости: однѣ изъ нихъ — менѣе, другія — болѣе проницаемы; поэтому въ практикѣ различаютъ породы водопроницаемыя и водонепроницаемыя; къ первымъ относятся, напр., рыхлые пески, песчаники, конгломераты и пр., а ко вторымъ — жирныя глины, плотные мергели, известняки, нѣкоторыя вулканическія, особенно стекловатыя породы и пр.; отъ того или другого сочетанія этихъ породъ зависитъ характеръ распредѣленія подземной воды.

Вода, проникающая въ глубь, проходитъ растительный слой, богатый гніющими веществами и еще болѣе увеличиваетъ свои примѣси. Между ними самую главную роль играетъ углекислота, потому что она значительно увеличиваетъ растворяющую способность воды. Изъ наблюденій Буссенго и Леви извѣстно, что въ воздухѣ, проникающемъ въ почву полей, заключается въ 200 разъ больше углекислоты, чѣмъ въ атмосферѣ. Вмѣстѣ съ углекислотой вода уноситъ и органическія вещества, которыя играютъ также немаловажную роль въ преобразованіи земной коры, являясь единственными возстановителями различныхъ минеральныхъ соединеній.

Въ такомъ видѣ вода, содержа въ себѣ кислородъ, углекислоту, азотъ и органическія вещества, является геологическимъ дѣятелемъ, разлагающей и растворяющей силѣ котораго съ теченіемъ времени не можетъ сопротивляться ни одна горная порода.

Вода, проникающая въ породы, скоро теряетъ кислородъ и углекислоту, а взамѣнъ ихъ принимаетъ минеральныя вещества, растворяющіяся въ ней или непосредственно, или при посредствѣ углекислоты и кислорода; при этомъ вода получаетъ возможность производить на дальнѣйшемъ пути новыя, болѣе сложныя разложенія и соединенія. Только азотъ большею частью остается безъ вліянія, не вступаетъ въ соединенія, а выходитъ съ водою на поверхность и снова освобождается въ атмосферу.

Подобно тому, какъ нѣтъ абсолютно-непроницаемой, такъ нѣтъ и абсолютно-нерастворимой породы. Многіе минералы, считающіеся нерастворимыми, несомнѣнно образовались изъ водныхъ растворовъ, какъ

это съ очевидностью доказываютъ многочисленные псевдоморфозы, которыя есть не что иное, какъ продукты разнообразныхъ превращеній минераловъ при посредствѣ воды, или вслѣдствіе потери нѣкоторыхъ составныхъ частей, или вслѣдствіе пріобрѣтенія новыхъ, или вслѣдствіе совершеннаго замѣщенія одного вещества другимъ (метазоматическія псевдоморфозы Циркеля), или же, наконецъ, вслѣдствіе облеканія (гипостатическія псевдоморфозы или плероморфозы Кенготта).

Изученіе псевдоморфозъ, съ одной стороны, доказываетъ, что въ природѣ, за исключеніемъ развѣ только платины, алмаза и графита, нѣтъ вполнѣ нерастворимыхъ минераловъ, а съ другой—указываетъ на разнообразіе и сложность процессовъ, совершающихся въ горныхъ породахъ подъ вліяніемъ воды.

Растворимость въ водѣ многихъ минераловъ, считающихся нерастворимыми, доказывается даже прямыми опытами, напр. полевой шпатъ, эпидотъ, слюда, турмалинъ, авгитъ, гиперстенъ, роговая обманка, оливинъ, хлоритъ, талькъ и пр., будучи измельчены въ порошокъ и облиты водою, не только содержащею углекислоту, но даже чистою, быстро начинаютъ разъѣдаться, и уже первыя капли отфильтрованной жидкости показываютъ слѣды щелочей и щелочныхъ земель. Даже золото растворимо при извѣстныхъ условіяхъ. Нѣкоторые американскіе ученые объясняютъ происхожденіе нѣкоторыхъ золотоносныхъ розсыпей не разрушеніемъ жильныхъ мѣсторожденій, а образованіемъ на мѣстѣ при помощи химическаго осажденія золота изъ растворовъ [15]).

Подземная работа воды выражается не въ одномъ только измѣненіи породъ, но, благодаря продолжительному вліянію ея, исчезаютъ громадныя толщи и на ихъ мѣстѣ образуются пустоты въ видѣ трещинъ, пещеръ и т. п., достигающія громадныхъ размѣровъ, иногда нѣсколькихъ сотъ кв. килом. При нарушеніи равновѣсія въ пустотахъ происходятъ обвалы, которые на земной поверхности обнаруживаются землетрясеніями, нерѣдко разрушительными, съ большою областью сотрясенія, какъ мы уже видѣли это (см. т. I, стр. 700).

Съ другой стороны, минеральныя воды, циркулирующія внутри земной коры, встрѣчая готовыя уже пустоты, стремятся ихъ заполнить. Онѣ производятъ въ нихъ разнообразныя отложенія: сталактиты, сталагмиты, жеоды, миндалины и различныя жилы, между которыми много такъ-называемыхъ рудныхъ жилъ, содержащихъ тотъ или другой, практически важный, минералъ. Скопленія рудныхъ залежей находятся не только въ жилахъ, представляющихъ заполненныя трещины, но также и въ большихъ пещерахъ. Слѣдовательно подземная вода, съ одной стороны, производитъ разложенія, размывы, а съ другой — новыя и нерѣдко полезныя отложенія.

Обремененная различными солями, подземная вода, сдѣлавши свое дѣло, при извѣстныхъ благопріятныхъ стратиграфическихъ условіяхъ, выходитъ на поверхность и образуетъ источники, имѣющіе часто важное

цѣлебное значеніе. Какъ только она вышла на поверхность, сила ея, такъ сказать, ослабѣваетъ; при соприкосновеніи съ воздухомъ различныя минеральныя соли осаждаются при выходѣ источника, и эти осадки достигаютъ громадныхъ размѣровъ, образуя иногда цѣлыя горы; осадки углекислаго кальція или травертина, желѣзныхъ рудъ, поваренной соли, кремнезема—представляютъ не рѣдкія явленія.

Выйдя на поверхность, минеральные источники соединяются уже съ рѣками и продолжаютъ свой путь дальше, участвуя въ образованіи наружныхъ формъ рельефа. Воды, протекающія по поверхности, производятъ также громадную работу, но дѣйствуютъ не столько химически, сколько механически.

Первыя капли, упавшія изъ атмосферы, стремясь къ ближайшему углубленію, оставляютъ за собой едва замѣтную бороздку даже на твердыхъ породахъ; соединившись въ ручеекъ, онѣ образуютъ уже небольшую промоину, которая, при существованіи трещинъ въ породахъ, скоро превращается въ разсѣлину. Ручьи, соединившись въ бурные горные потоки, превращаютъ разсѣлину въ горное ущелье; потоки, собираясь въ рѣки и постепенно расширяя, удлиняя и углубляя ущелья, превращаютъ ихъ въ долины, по которымъ поверхностныя воды возвращаются къ общему резервуару—морю; только часть ихъ скопляется на сушѣ въ видѣ озеръ, дѣятельность которыхъ также имѣетъ большое значеніе въ экономіи природы, выражаясь частью въ механическихъ, но главнымъ образомъ въ химическихъ осадкахъ, имѣющихъ важное практическое значеніе.

Море, постоянно отлагая осадки, несомнѣнно нуждается въ пополненіи потраченныхъ веществъ, которыя приносятся въ него источниками и рѣками. Слѣдовательно долины, съ одной стороны, представляютъ пункты, въ которыхъ больше всего вода разрушаетъ горы, а съ другой—каналы, по которымъ разрушенный матеріалъ переносится съ материковъ въ океаны.

Породы, подготовленныя вывѣтриваніемъ, легко уносятся потоками. Обломки ихъ отъ взаимнаго тренія постепенно округляются и уменьшаются, превращаясь, въ концѣ концовъ, въ необыкновенно тонкій илъ, производящій муть въ рѣчной водѣ. Онъ осаждается не только при устьяхъ рѣкъ, но разносится на огромное пространство въ моряхъ. Другая часть минеральнаго матеріала переносится рѣками посредствомъ перекатыванія по дну; при всякомъ, даже малѣйшемъ, измѣненіи скорости потока этотъ матеріалъ или болѣе крупныя части его осаждаются въ руслѣ рѣки и способствуютъ возвышенію дна долины или перемѣщенію русла. Наибольшее количество минеральнаго матеріала осаждается при устьяхъ рѣкъ, образуя громадныя площади такъ-называемыхъ дельтовыхъ осадковъ. Чтобы нагляднѣе представить работу рѣкъ, приведемъ нѣсколько примѣровъ: р. Гангъ ежегодно выноситъ 100.000.000 куб. м. твердыхъ веществъ, т.-е. слой площадью 25.000 кв. м. и $^1/_4$ м. толщиною, а по мнѣнію другихъ еще болѣе—172.000.000 куб. м., Дунай—70.000.000 куб. м.,

что составляетъ слой въ 2,62 кв. килом. и толщиною $^1/_3$ м.; Аму-Дарья — 44.854.000 куб. м., что равняется призмѣ въ 1 кв. километръ въ основаніи и высотою 44,5 м. Но кромѣ того рѣки уносятъ много минеральнаго матеріала въ химически растворенномъ видѣ. Вслѣдствіе всѣхъ этихъ процессовъ площади бассейновъ рѣкъ постепенно понижаются. Въ слѣдующей таблицѣ приведены примѣры переносимыхъ количествъ въ разныхъ состояніяхъ, а также степень пониженія поверхности бассейновъ [16]).

Р Ѣ К И.	Годовое количество переносимаго матеріала, механически примѣшаннаго: глины, песку, шлака въ милліонахъ куб. метр.	Годовое количество переносимаго матеріала, химически растворенная въ милліон. куб. метрахъ.	Годовой слой, сносимый съ площади бассейна въ тысячныхъ миллиметра.
Эльба	0,26	1,99	17
Рейнъ	1,69	5,6	41
Маасъ	0,10	0,45	27
Сена и Марна	0,16	0,69	20
Темза	0,02	0,15	17
Средняя Европа	2,23	8,88	30
Рона	2,94	2,85	143
Дунай	34,19	15,25	61
Южная Европа	37,13	18,10	60
Южная Азія (Индъ, Гангъ, Иравади и др.)	619,70	108,42	220
Нилъ	20,65	6,51	13
Миссисипи	146,95	41,97	60
Общая сумма	826,66	183,88	120

Отсюда видно, что въ теченіе года рѣки сносятъ съ поверхности всей суши около 10 куб. килом. горныхъ породъ или все равно понижаютъ уровень суши на одинъ метръ въ теченіе около 10.000 лѣтъ, что вѣроятно больше дѣйствительнаго, но не меньше.

При такихъ условіяхъ можно было бы думать, что море, къ концѣ концовъ, насытится различными солями; но здѣсь является новый элементъ, который помогаетъ круговороту воды. Этотъ элементъ заключается въ миріадахъ морскихъ животныхъ, которыя выбираютъ изъ воды соли и строятъ изъ нихъ свои твердыя части.

Морскія животныя, извлекая соли изъ морской воды, особенно углекислый кальцій, котораго, не смотря на громадный приносъ его рѣчной водой, въ морѣ почти не находится, — строятъ громадныя коралловыя

банки, рифы, острова и проч. Постройки эти нѣкоторый періодъ существуютъ въ морѣ, но при извѣстныхъ тектоническихъ процессахъ могутъ выйти на поверхность, могутъ образовать сушу. Вслѣдствіе этого очень можетъ быть, что многія накопленія раковинъ моллюсковъ, находящіяся по берегамъ Атлантическаго океана, построены изъ извести, принесенной съ Альпъ; а громадныя коралловыя банки, протягивающіяся на 400 верстъ въ Тихомъ океанѣ, могли заимствовать матеріалъ съ восточнаго побережья Азіи и проч. Съ другой стороны, цѣлые хребты состоятъ изъ породъ морскаго происхожденія, образовавшихся вслѣдствіе дѣятельности морскихъ животныхъ.

Изъ этого краткаго очерка дѣятельности материковой или проточной воды видно, что она раздѣляется на химическую и механическую. Первая наиболѣе свойственна подземной водѣ; на поверхности же она проявляется преимущественно въ вывѣтриваніи или подготовленіи породъ къ размыву, гдѣ, какъ уже упомянуто, она дѣйствуетъ нераздѣльно съ атмосферой. Вторая же принадлежитъ поверхностнымъ потокамъ, которые, какъ воздушные и морскіе, разрушаютъ горныя породы, переносятъ, шлифуютъ или обтачиваютъ и отлагаютъ, образуя своеобразные осадки. Подобно предыдущимъ, первые три процесса соединяютъ въ одинъ подъ общимъ именемъ—размыванія или эрозіи (Erosion), которое аналогично: дефляціи и абразіи.

Кромѣ газообразнаго и жидкаго состоянія, вода проявляетъ свою дѣятельность также въ твердомъ видѣ, т. е. въ формѣ льда. Съ одной стороны образованіе льда, сопровождаясь увеличеніемъ объема, способствуетъ быстрому разрушенію скалъ при вывѣтриваніи, а съ другой, при благопріятныхъ климатическихъ и орографическихъ условіяхъ, массы льда скопляются не только на поверхности рѣкъ, озеръ и морей въ видѣ обширныхъ ледяныхъ полей и айсберговъ, но даже на поверхности материковъ, гдѣ образуютъ мощные ледяные потоки или ледники (ледовики, глетчеры), которые текутъ подобно рѣкамъ и производятъ громадную механическую работу. Они выпахиваютъ долины, переносятъ такія крупныя глыбы породъ, съ которыми не могъ бы справиться никакой другой агентъ, при движеніи они не только шлифуютъ твердыя скалы, но даже полируютъ ихъ, что также составляетъ исключительную особенность ледниковъ. Наконецъ они образуютъ совершенно своеобразныя отложенія, такъ называемыя: морены, озы, друмлины и пр., которыя рѣзко отличаются отъ всѣхъ другихъ. Результатомъ дѣятельности льда на поверхности материковъ является оригинальный ландшафтъ, называемый ледниковымъ, который вмѣстѣ съ отложеніями яснѣе, чѣмъ что либо, указываетъ на крупныя измѣненія климата земли. Словомъ, въ дѣятельности льда выдѣляются такіе же процессы: разрушенія, перенесенія, шлифованія и отложенія; но первые три получаютъ общее названіе—выпахиваніе (Exaration), или эксарація, анологичное развѣванію или дефляціи, смыванію или абразіи и размыванію или эрозіи.

Дѣятельность организмовъ также представляетъ весьма важное геологическое значеніе. Работа организмовъ въ дѣлѣ преобразованія земной коры отличается отъ дѣятельности другихъ геологическихъ агентовъ тѣмъ, что она главнымъ образомъ сосредоточивается на процессѣ созиданія или отложенія, тогда какъ въ разрушеніи и перенесеніи принимаетъ весьма малое участіе. Разрушеніе породъ при помощи организмовъ наблюдается при вывѣтриваніи, гдѣ принимаютъ участіе преимущественно растенія и микроорганизмы; растенія кромѣ химическаго воздѣйствія на породы своими органическими кислотами разрыхляютъ ихъ еще механически своими корнями, проникающими въ трещины и значительно ихъ расширяющими. Кромѣ того нѣкоторыя морскія раковины, такъ называемыя сверлильщики вытачиваютъ даже твердыя породы, а суслики, кроты и др. роющія животныя не только проводятъ подземные ходы, но даже переносятъ на небольшое разстояніе значительныя количества измельченнаго матеріала. Но главная роль организмовъ заключается въ образованіи новыхъ осадковъ, которые достигаютъ значительной мощности и раздѣляются на фитогеновые, т. е. произведенные растеніями, и зоогеновые, произведенные животными. Между первыми преобладаютъ: торфъ и минеральные угли, а ко вторымъ принадлежатъ преимущественно известняки, получающіе названіе часто въ зависимости отъ организмовъ, которымъ они обязаны своимъ происхожденіемъ.

Всѣ вышеуказанные процессы, т. е. вывѣтриваніе, развѣваніе, смываніе, размываніе и выпахиваніе въ соединеніи съ разнаго рода отложеніями не только производятъ самостоятельныя формы рельефа, но и придаютъ безконечно разнообразное расчлененіе первозданнымъ, обыкновенно монотоннымъ формамъ, произведеннымъ тектоническими процессами; денудація такъ сказать придаетъ окончательную моделировку земной поверхности, а потому послѣ разсмотрѣнія всѣхъ перечисленныхъ процессовъ мы изложимъ вкратцѣ основы морфологіи земной поверхности на геологическихъ началахъ и въ заключеніе приведемъ краткій очеркъ развитія ея съ указаніемъ на вѣроятныя измѣненія ея въ далекомъ будущемъ.

I.

Геологическая дѣятельность атмосферы.

ГЛАВА I.

Свойства атмосферы.

Въ первой части этого курса, при общемъ обзорѣ элементовъ земнаго шара, были уже указаны составъ атмосферы, ея вѣсъ, объемъ и предѣлы, а потому здѣсь разсмотримъ другія физическія свойства атмосферы, имѣющія важное геологическое значеніе.

Какъ химическая, такъ и механическая дѣятельность атмосферы по своей интенсивности и характеру разнообразно видоизмѣняется не только въ различныхъ мѣстностяхъ, но даже въ одной и той же. При замѣчательномъ постоянствѣ состава основныхъ элементовъ, т. е. отношенія кислорода къ азоту, атмосфера подвергается весьма рѣзкимъ колебаніямъ во всѣхъ остальныхъ своихъ свойствахъ. Температура, влажность, давленіе и движеніе ея или вѣтры измѣняются, какъ въ горизонтальномъ, такъ и въ вертикальномъ направленіяхъ, въ зависимости отъ географической широты, долготы, положенія солнца, рельефа суши, отношенія площадей суши и воды. При такой связи очевидно, что для правильнаго уразумѣнія геологической роли атмосферы необходимо прежде всего познакомиться съ основными свойствами ея и факторами, обусловливающими колебанія ихъ. Безъ знанія климатическихъ факторовъ было бы трудно понять и вѣрно оцѣнить не только дѣятельность атмосферы, но и другихъ, еще болѣе важныхъ геологическихъ агентовъ, тѣсно связанныхъ съ атмосферою, напр. проточной воды, моря и особенно морскихъ теченій, современныхъ и древнихъ ледниковъ. Только благодаря блестящимъ успѣхамъ новѣйшей метеорологіи и климатологіи, геологія настоящаго времени могла, такъ сказать, очиститься отъ многихъ грубыхъ заблужденій, въ родѣ, напр., связи альпійскихъ ледниковыхъ явленій съ сахарскими вѣтрами и т. п. Капитальные труды новѣйшихъ метеорологовъ установили такъ много вполнѣ опредѣленныхъ и простыхъ законовъ въ сложныхъ явленіяхъ атмосферы, что въ настоящее время возможно, не вдаваясь въ подробности, изложить основныя свойства атмосферы настолько кратко, насколько это необходимо для пониманія и вѣрной оцѣнки различныхъ геологическихъ процессовъ, производимыхъ атмосферою и водою въ разныхъ ея состояніяхъ.

Прежде всего разсмотримъ распредѣленіе температуры въ атмосферѣ, затѣмъ давленіе и происхожденіе вѣтровъ, наконецъ влажность и распредѣленіе атмосферныхъ осадковъ.

Распредѣленіе температуры. Въ первой части этого курса было уже указано, что внутренняя температура земли почти не оказываетъ никакого вліянія на температуру атмосферы, слѣдовательно главный источникъ теплоты на землѣ — солнце. Количество теплоты, доставляемой на землю нормально падающими лучами солнца въ минуту времени на квадратный сантиметръ поверхности, по опредѣленію Пулье, равно 1,76 калорій, но другіе наблюдатели при помощи усовершенствованныхъ приборовъ (т. наз. актинометровъ или пиргеліометровъ) нашли бо́льшія величины, а именно Крова—2,63, Савельевъ—2,86, а Лэнглей даже 3 калоріи и это послѣднее опредѣленіе считается наиболѣе близкимъ къ истинѣ. По этимъ опредѣленіямъ легко вычислить количество теплоты, получаемое въ минуту всею поверхностью земли, что при переводѣ въ работу составляетъ 330 билліоновъ лошадиныхъ силъ, т. е. на 1 кв. метръ приходится 0,72 силы. Это такое громадное количество теплоты, которое при устраненіи атмосферы достаточно, чтобы расплавить въ теченіи года слой льда, облекающій всю землю и имѣющій равномѣрную толщину = 54 м. по Лэнглею и 31 м. по Пулье. Теплота эта распредѣляется весьма неравномѣрно на земной поверхности, въ зависимости отъ астрономическихъ и физическихъ условій. Прежде всего распредѣленіе ея зависитъ отъ положенія земли относительно солнца, именно отъ разстоянія земли отъ солнца, синуса угла паденія солнечныхъ лучей на землю и продолжительности дня, т. е. времени, когда солнце надъ горизонтомъ. Въ теченіе короткаго времени [1]), всего болѣе получается тепла отъ солнца между тропиками въ тѣ дни, когда солнечные лучи падаютъ отвѣсно на землю въ полдень. Но вслѣдствіе краткости дня между тропиками самое большое количество тепла въ сутки получается на полюсахъ въ дни лѣтняго солнцестоянія каждаго полушарія, такъ какъ въ эти дни солнце находится надъ горизонтомъ цѣлыя сутки и его лучи падаютъ подъ угломъ почти $23^1/_2^\circ$. Такъ какъ въ нашу зиму (въ январѣ) земля находится всего ближе отъ солнца, то всего болѣе тепла въ одни сутки получаетъ южный полюсъ. Если количество лучей, получаемыхъ экваторомъ 20 марта, примемъ за 1000, то относительное количество тепловыхъ лучей или сила лучеиспусканія 21 іюня выразится слѣдующими цифрами: N полюсъ — 1203, 62° с. ш. — 1092, $43^1/_2^\circ$ с. ш. — 1109, экваторъ — 881, $66^1/_2^\circ$ ю. ш. — 0, а 21 декабря лучеиспусканіе S полюса = 1286, т. е. на 80 единицъ больше N полюса [2]).

Эти астрономическія условія опредѣляютъ, такъ сказать, солнечный климатъ земли. Въ зависимости отъ нихъ возможно опредѣлить количество солнечной теплоты, получаемой въ сутки подъ различными широтами во время солнцестоянія.

Слѣдующая таблица Винера, считающаяся лучшею, показываетъ эту разницу. Если черезъ W означимъ количество тепла, получаемаго землей отъ солнца при среднемъ разстояніи отъ него и при вертикальномъ паденіи лучей въ теченіе 24 ч., и примемъ W = 1000, то w, т. е. дѣйствительно получаемое количество ихъ, выразится слѣдующими цифрами:

Подъ экваторомъ получается:	Широты.	Сѣверное полушаріе.			Южное полушаріе.	
		20 марта.	21 іюня.	21 декабря.	21 іюня.	21 декабря.
20 марта 320	10°	316	313	262	246	334
21 іюня 283	20°	301	335	217	203	358
23 сентября 317 . .	30°	278	349	167	156	373
21 декабря 302. . .	40°	245	355	114	106	379
	50°	206	354	63	59	378
	60°	160	350	18	17	374
	70°	110	365	0	0	387
	80°	56	379	0	0	405
	90°	0	385	0	0	412

Изъ этой таблицы видно, что солнечный климатъ южнаго полушарія отличается большими крайностями, нежели сѣвернаго полушарія. Причина этого заключается въ томъ, что лѣтнее солнцестояніе въ южномъ полушаріи совпадаетъ съ ближайшимъ разстояніемъ земли отъ солнца, а въ сѣверномъ, наоборотъ, оно совпадаетъ съ зимнимъ солнцестояніемъ. Не смотря на такое различіе между двумя полушаріями *во время лѣтнихъ и зимнихъ солнцестояній*, сумма теплоты, получаемая подъ однѣми и тѣми же широтами въ обоихъ полушаріяхъ, почти одинакова,—какъ видно изъ слѣдующей таблицы Мича [3]), въ которой показана для каждыхъ пяти градусовъ широты сумма теплоты отъ лученспусканія, выраженная въ термальныхъ дняхъ, при чемъ за единицу принято количество теплоты средняго экваторіальнаго дня.

Сумма годоваго количества теплоты на экваторѣ = 365,24 термальныхъ дней.

Широта.	Термальные дни.	Разница между N и S полюс.	Широта.	Термальные дни.	Разница между N и S полюс.
5	364	1,2	50	249,7	20,1
10	360,2	3,8	55	228,8	20,9
15	353,9	6,3	60	207,8	21,0
20	345,2	8,7	65	187,9	19,9
25	334,2	11,0	70	173,0	14,9
30	321,0	13,2	75	163,2	9,8
35	305,7	15,3	80	156,6	6,6
40	288,5	17,2	85	152,8	3,8
45	269,8	18,7	90	151,6	1,2

Изъ этой таблицы видно также, что годовое количество теплоты, получаемой полюсами, составляетъ только $41^1/_2\%$ получаемаго экваторомъ; а съ другой стороны, вблизи экватора и полюсовъ годовое количество теплоты варьируетъ мало; наибольшая разница—между 50° и 60° широты. Одинаковость же теплоты подъ сходными широтами различныхъ полушарій объясняется тѣмъ, что хотя въ южномъ полушаріи солнечное лученспусканіе интенсивнѣе, но за то лѣто почти на 8 дней короче въ южномъ полушаріи, нежели въ сѣверномъ; превышеніе на 8 дней теплоты въ сѣверномъ полушаріи, такъ сказать, компенсируетъ интенсивность лученспусканія въ южномъ полушаріи.

Хотя абсолютное количество теплоты, получаемое каждой широтой, опредѣлить сравнительно легко, но дѣйствительное распредѣленіе ея на днѣ воздушной оболочки представляетъ огромныя уклоненія отъ вычисленнаго. Мѣстности, лежащія подъ одною и тою же широтою, казалось бы, должны одинаково нагрѣваться, а на самомъ дѣлѣ среднія температуры ихъ рѣзко различаются: напр. Гамбургъ подъ 53,6° с. ш. имѣетъ среднюю годовую + 8,1° Ц., Барнаулъ подъ 53,3° с. ш. + 0,4° Ц., Николаевскъ-на-Амурѣ лежитъ нѣсколько южнѣе подъ 53,1° с. ш. — 2,5° Ц.

Такая значительная разница въ средней температурѣ мѣстностей, лежащихъ подъ одною и тою же широтой, свидѣтельствуетъ о важности физическихъ причинъ, измѣняющихъ распредѣленіе температуры на поверхности земли.

Между ними первую роль играетъ поглощеніе теплоты самою атмосферою, вслѣдствіе чего, по словамъ Воейкова [4]), до поверхности земли, воды и нижняго слоя атмосферы доходитъ только $^2/_5$, т. е. меньше половины того количества теплоты, которое испускается солнцемъ на землю, а $^3/_5$ поглощаются атмосферой. Атмосфера нагрѣваясь представляетъ какъ бы одежду, окутывающую землю и недопускающую сильнаго охлажденія, вслѣдствіе чего средняя темп. зем. пов. + 15°, а безъ атмосферы она была бы — 55°, каковая вѣроятно имѣется на лунѣ.

Хотя по отношенію ко всѣмъ условіямъ, измѣняющимъ теплопрозрачность атмосферы, нельзя дать опредѣленныхъ чиселъ, но относительно длины пути лучей возможно. Наибольшее количество тепла получится при наименьшей длинѣ пути лучей, слѣдовательно maximum при положеніи солнца въ зенитѣ и minimum при восходѣ и закатѣ. Принимая, согласно съ Ганномъ [5]), коэффиціентъ поглощенія = 0,75 при зенитномъ положеніи солнца, а толщину слоя атмосферы при этомъ за 1, изъ слѣдующей таблицы видно отношеніе длины пути и положенія солнца къ количеству проходящихъ лучей.

Высота солнца	0°	5°	10°	20°	30°	50°	70°	90°
Толщина атмосферы	35,5	10,2	5,56	2,90	1,99	1,31	1,06	1
Количество проходящ. лучей . .	0,000	0,053	0,202	0,434	0,564	0,687	0,736	0,750

Съ другой стороны, для отвѣсно падающихъ лучей количество достигающихъ до поверхности зависитъ отъ рельефа, что̀ видно изъ наблюденій Фіолле [6]).

	Монбланъ.	Гранъ-Мулетъ.	Ледникъ Бассонъ.	Гренобль.
Высота въ метрахъ.	4,810	3,050	1,200	213
Колич. проходящ. лучей $^0/_0$ всего количества ихъ	0,94	0,89	0,79	0,79

На высокихъ горахъ сравнительно мало поглощается тепла, тогда какъ у поверхности до $30^0/_0$, но на самомъ дѣлѣ больше, такъ какъ на поглощеніе дѣйствуютъ и другіе элементы, особенно влажность атмосферы. Страны съ влажнымъ воздухомъ, гдѣ небо постоянно пасмурно, получаютъ гораздо меньше теплоты, нежели имѣющія сухой воздухъ и ясное небо.

Большая теплопрозрачность чистой атмосферы объясняетъ малое нагрѣваніе ея прямымъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей. Теплота, дошедшая до поверхности земли, поглощается верхними слоями, которые, снова лучеиспуская ее, нагрѣваютъ атмосферу снизу, что̀ и составляетъ одну изъ причинъ уменьшенія температуры съ высотою. Но такъ какъ свойства верхнихъ слоевъ земли неодинаковы: сухая плотная почва нагрѣвается быстрѣе, нежели вода, которая, при одномъ и томъ же объемѣ, для нагрѣванія до одной и той же температуры, требуетъ вдвое больше теплоты, да еще затрачиваетъ ее на испареніе, то очевидно—воздухъ

надъ материками долженъ нагрѣваться скорѣе, нежели надъ морями. Съ другой стороны, лучеиспуская теплоту въ міровое пространство, температура котораго — 142° Ц. и во всякомъ случаѣ ниже — 60°, воздухъ надъ материками будетъ охлаждаться быстрѣе, нежели надъ морями; благодаря испаренію, въ атмосферѣ образуются густые облака и туманы, задерживающіе теплоту; слѣдовательно та же самая причина, которая въ одномъ случаѣ замедляетъ нагрѣваніе, въ другомъ—замедляетъ охлажденіе. Отсюда очевидно, что, во-первыхъ, на одной и той же параллели, проходящей чрезъ материки и моря, температура въ различныхъ мѣстахъ не можетъ быть одинакова, а во-вторыхъ, температура надъ морями зимою выше, а лѣтомъ ниже сравнительно съ материками. Вслѣдствіе такого вліянія поверхности воды и суши зима не только на моряхъ, но и на морскихъ берегахъ и островахъ отличается тепломъ, а во внутренности материка—холодомъ; но лѣтомъ—наоборотъ, приморскія мѣстности гораздо холоднѣе материковъ, гдѣ температура выше; однако повышеніе большею частью далеко не такъ значительно, какъ убыль теплоты зимою, а потому средняя годовая температура на материкахъ всегда ниже, нежели на морскихъ берегахъ.

Слѣдующая таблица даетъ цифровыя доказательства этихъ выводовъ; въ ней указаны температуры года, января и іюля для нѣсколькихъ мѣстностей, лежащихъ почти подъ одною и тою же (52° с. ш.) параллелью и постепенно удаляющихся отъ моря внутрь материка на разстояніи 91° долготы [6]).

Названіе мѣстъ.	С. Ш.	Долгота отъ Гр.	Температура по Ц°.			
			Годъ.	Январь.	Іюль.	Амплитуда.
Валенсія	51°,54′	10°,25′W	10,1	5,7	15,1	9,4
Оксфордъ	51°,46′	1°,16′W	9,4	3,6	16,2	12,6
Мюнстеръ	51°,58′	7°,38′E	9,1	1,3	17,3	16,0
Позенъ.	52°,25′	17°,5′ E	7,8	— 2,7	18,3	21,0
Варшава	52°,13′	21°,2′ E	7,3	— 4,3	18,7	23,0
Курскъ.	51°,45′	36°,8′ E	5,7	— 9,4	19,8	29,2
Оренбургъ	51°,46′	55°,7′ E	3,3	— 15,3	21,6	36,9
Барнаулъ.	51°,92′	80°,30′E	1,7	— 18,0	21,8	39,8

Изъ этой таблицы видно, во-первыхъ, увеличеніе годовой амплитуды температуры по мѣрѣ удаленія внутрь материка, а во-вторыхъ, уменьшеніе средней годовой въ томъ же направленіи; такъ, для 52° с. ш. отъ запада на востокъ на каждые 10° долготы температура уменьшается: зимняя на 3,1° лѣтняя на 0,7° годовая на 1,3°.

Такой порядокъ, впрочемъ, сохраняется только для высшихъ широтъ, именно до 30° с. ш., а для низшихъ широтъ, т. е. между 30° и экваторомъ материки дѣйствуютъ наоборотъ, т. е. возвышаютъ среднюю температуру, какъ это показываютъ нѣкоторыя наблюденія въ Австраліи. Но подъ всѣми широтами годовая амплитуда на материкахъ гораздо значительнѣе, нежели на моряхъ и на морскихъ берегахъ. Это правило вполнѣ приложимо и къ суточной амплитудѣ температуры, подъ которою разумѣютъ разность между высшею и низшею температурою дня въ теченіе цѣлаго года.

Кромѣ измѣнчивой теплопрозрачности и вліянія материковъ, на неправильность географическаго распредѣленія температуры подъ одною и

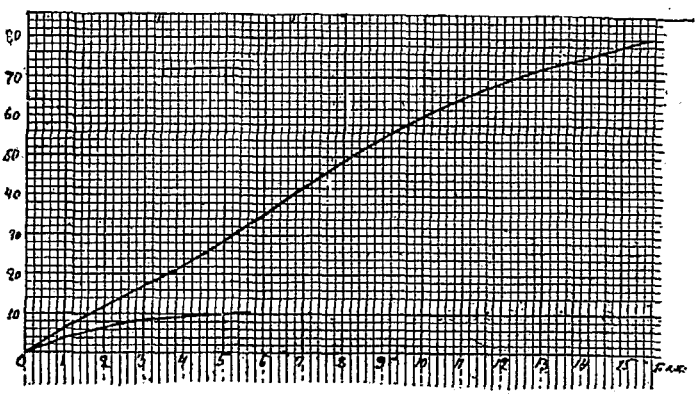
тою же широтою оказываютъ существенное вліяніе постоянныя атмосферныя и морскія теченія. Разность температуры на западныхъ и восточныхъ берегахъ материковъ внѣтропической зоны зависитъ отъ ихъ неодинаковаго положенія по отношенію къ морскимъ и воздушнымъ теченіямъ; напр., западная Европа имѣетъ температуру гораздо выше нормальной, благодаря согрѣвающему вліянію теплаго теченія—Гольфстрема, которое ощущается тѣмъ болѣе, чѣмъ выше широта; особенно это вліяніе сказывается зимой, когда изотермы января (см. карту № I), т. е. линіи равной температуры въ Европѣ, идутъ почти параллельно меридіанамъ, а не широтамъ. Отсюда высшая температура запада Европы сравнительно съ восточными берегами Азіи подъ однѣми и тѣми же широтами. Охлаждающее вліяніе теченій представляетъ намъ С.-Франциско въ Калифорніи, который имѣетъ температуру іюля ниже, чѣмъ гдѣ бы то ни было въ сѣверномъ полушаріи подъ тою же широтою. Ниже придется еще говорить объ этомъ факторѣ, а потому здѣсь не будемъ распространяться о немъ.

Наконецъ, на распредѣленіе температуры оказываетъ громадное вліяніе рельефъ поверхности, т. е. высота и степень расчлененности материковъ. Выше уже было указано, что съ высотою температура атмосферы понижается, во-первыхъ, вслѣдствіе удаленія отъ главнаго источника нагрѣванія ея, т. е. отъ поверхности земли. Во-вторыхъ, охлажденіе при поднятіи обусловливается еще тратою теплоты на расширеніе воздуха, т. е. на воспроизведеніе нѣкоторой работы; въ-третьихъ,—разряженностью воздуха и уменьшеніемъ давленія, которыя способствуютъ усиленію испаренія, затрачивающаго теплоту и въ-четвертыхъ наконецъ лучеиспусканіемъ въ міровое пространство. Въ послѣднее время нѣкоторые метеорологи склоняются къ тому, что въ слояхъ воздуха, удаленныхъ отъ земной поверхности, температура уменьшается пропорціонально уменьшенію давленія. Степень этого уменьшенія съ высотою до сихъ поръ, однако, опредѣлена только приблизительно, потому что она зависитъ отъ весьма сложныхъ условій.

Прежде всего надо помнить, что уменьшеніе температуры въ сухомъ воздухѣ будетъ иное, чѣмъ во влажномъ: если въ сухомъ воздухѣ при поднятіи на 100 м. температура уменьшается на 0,5° Ц., то въ воздухѣ, насыщенномъ парами, охлажденіе будетъ меньше, потому что потеря теплоты съ высотою до нѣкоторой степени вознаграждается выдѣленіемъ ея всѣдствіе конденсаціи паровъ; съ другой стороны, степень уменьшенія будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ выше исходный пунктъ наблюденія и чѣмъ выше начальная температура.

Наблюденія на воздушныхъ шарахъ показываютъ, что во 1-хъ уменьшеніе температуры слѣдуетъ въ геометрической прогрессіи и съ высотою замедляется, а во 2-хъ оно различно въ разныя времена года; наибольшей величины оно достигаетъ лѣтомъ, когда воздухъ сухъ и конденсація паровъ происходитъ только на значительной высотѣ. Въ послѣднее время въ этомъ отношеніи сдѣлано много наблюденій, сведенныхъ и обработанныхъ въ превосходной книгѣ М. М. Поморцева[7]), какъ относительно измѣненій температуры и влажности, такъ направленія и скорости вѣтра. Онъ нашелъ, что ходъ измѣненія температуры воздуха съ высотою имѣетъ періодическій характеръ; такъ, съ удаленіемъ отъ поверхности земли измѣненіе температуры съ высотой постепенно уменьшается, достигаетъ minimum'а на высотѣ около 2.000 метр., затѣмъ происходитъ возрастаніе этой величины до высоты 6—7.000 метровъ и снова паденіе на 14—16.000 метр. и т. д. Амплитуда такого рода колебаній

съ высотою уменьшается и на большихъ высотахъ измѣненія температуры очень малы. Точно также измѣненія влажности воздуха съ высотой становятся меньше. На основаніи своихъ вычисленій г. Поморцевъ построилъ кривыя, показывающія общую убыль температуры и абсолютной влажности съ высотой (фиг. 1); по абсциссамъ нанесены высоты въ километрахъ, а по ординатамъ температуры воздуха въ градусахъ Цельзія и абсолютныя влажности въ миллиметрахъ ртутнаго столба. Для того, чтобы получить, напр. температуру воздуха на высотѣ 5.000 метр. слѣдуетъ вычесть 35° изъ температуры воздуха на поверхности земли, а для высоты 10.000 м. слѣдуетъ вычесть уже 65° Ц. и т. д. (см. фиг. 1). До высоты 10.000 м. температура падаетъ довольно равномѣрно, но далѣе паденіе становится все меньше и меньше, а на значительной высотѣ или на предѣлѣ атмосферы температура воздуха на 118° Ц. ниже температура воздуха на поверхности земли; слѣдовательно на очень большихъ высотахъ температуры воздуха значительно выше абсолютнаго нуля (– 273° Ц). Тем-



Фиг. 1.—Кривыя абсолютнаго измѣненія температуры и влажности воздуха съ высотою.

пература на предѣлѣ атмосферы вычисляется около — 50, но наблюденія на шарахъ безъ воздухоплавателей, но съ самопишущими приборами показали уже—52 (ballon—sonde).

Необходимо однако замѣтить, говоритъ г. Поморцевъ, что выведенная здѣсь закономѣрность въ измѣненіи температуры и влажности воздуха съ высотою соотвѣтствуетъ среднимъ величинамъ, взятымъ изъ наблюденій; отдѣльные случаи значительно отличаются отъ приведеннаго вывода. Такъ напр. при поднятіяхъ зимой во время антициклоновъ, температура до высоты около 1.500 метр. вопреки общему правилу, повышается съ высотой, но далѣе слѣдуетъ непрерывное паденіе. Въ тѣхъ случаяхъ, когда начиная отъ поверхности земли, на большомъ протяженіи вверхъ, происходитъ медленное и слабое осажденіе паровъ, хотя бы только въ видѣ легкой дымки, то при такомъ состояніи атмосферы температура воздуха на большомъ протяженіи кверху подвергается весьма малому измѣненію. Интересно, что измѣненія температуры и влажности до извѣстныхъ высотъ слѣдуютъ почти аналогично другъ другу, т. е. паденіе температуры будетъ меньше тамъ, гдѣ меньше измѣненіе влажности воздуха и наоборотъ. Періодичность же въ ходѣ измѣненія температуры вѣроятно объясняется тѣмъ, что на извѣстныхъ высотахъ предпочтительно происходитъ осажденіе паровъ и образованіе облаковъ. Чтобы показать вліяніе временъ года на уменьшеніе температуры приведу слѣдующую табличку, въ которой указана степень уменьшенія температуры на каждые 100 м. въ разное время года.

отъ 0 до 150 м. зимой = 0,46°	весной и осенью = 0,62	лѣтомъ = 0,78°
„ 180 „ 3000 „ „ „ = —	„ „ „ = 0,42	„ = 0,48.

Наблюденія при поднятіи на высокія горы показываютъ, что уменьшеніе температуры съ высотою слѣдуетъ ариѳметической прогрессіи, т. е. равномѣрнѣе, чѣмъ въ свободной атмосферѣ; причина этого вѣроятно кроется въ нагрѣваніи и лучеиспусканіи склоновъ и вершинъ горъ. Многочисленныя наблюденія, произведенныя въ разныхъ горныхъ странахъ и подъ различными широтами, даютъ среднее уменьшеніе температуры съ

высотою, равное 0,57° Ц. черезъ каждые 100 метровъ или все равно, почти 1° Ц., на каждые 200 м.; эту послѣднюю величину по аналогіи съ геотермическимъ градіентомъ называютъ аэротермическимъ градіентомъ. Хотя величина его, какъ выше указано, зависитъ отъ разныхъ условій, но широта мѣста повидимому не вліяетъ на измѣненіе его.

Въ слѣдующей таблицѣ сгруппированы всѣ болѣе точныя наблюденія на разныхъ горахъ, опредѣлившія уменьшеніе температуры чрезъ каждые 100 метровъ [8]).

	Названіе мѣстъ.	Зима.	Весна.	Лѣто.	Осень.	Годъ.
Тропическаго пояса 0,58°.	Анды Колумбіи и Мексики (Гумбольдтъ)	—	—	—	—	0,53° Ц.
	Анды Ю. Америки между 11°N и 5°S (Бусенго)	—	—	—	—	0,57
	NW Гималай (Блэнфордъ)	—	—	—	—	0,56
	NW Гималай съ Тибетомъ (Гилль)	—	—	—	—	0,51
	Средній Гималай (Блэнфордъ)	—	—	—	—	0,52
	Нингирисъ (Ганнъ)	—	—	—	—	0,62
	Цейлонъ (Ганнъ)	0,57°	0,58	0,62	0,59	0,59—0,65
	Ява (Батавіо-Пончеранго)	—	—	—	—	0,56
Внѣтропическаго пояса 0,57°.	Зибенгебирге (Бишофъ)	—	—	—	—	0,56
	Эрцгебирге (Ганнъ)	0,47	0,67	0,67	0,56	0,59
	Гарцъ (Ганнъ)	0,43	0,67	0,70	0,51	0,58
	Альпы (Ганнъ)	0,47	0,64	0,66	0,56	0,58
	Сьерра-де-Эстрелля	0,53	0,72	0,71	0,63	0,65
	Зибенбюргенъ (Рейсенбергеръ)	—	—	—	—	0,48
	Синія горы Новаго Южнаго Валлиса (Ганнъ)	—	—	—	—	0,51
	Кавказъ (Вильдъ)	0,49	0,40	0,46	0,30	0,44
	Арменія (Вильдъ)	0,39	0,56	0,63	0,42	0,50
	Г. Вашингтонъ (Ганнъ)	0,40	0,59	0,67	0,52	0,55
	Пайсъ-Пикъ (Колорадо) (Ганнъ)	—	—	—	—	0,63
	Калифорнія, Кольфаксъ (Ганнъ)	—	—	—	—	0,75
	У г. Христіанія подъ 60° с. м. (Монъ).	0,50	0,72	0,61	0,52	0,55

Изъ этой таблицы видно, что широта почти не имѣетъ никакого вліянія на аэротермическій градіентъ, а съ другой стороны, за среднюю величину уменьшенія температуры для всѣхъ широтъ можно принять 0,57° Ц. на 100 метровъ. Мѣстныя уклоненія отъ этой величины достигаютъ отъ 0,5° до 0,8°. Большія колебанія въ зависимости отъ времени года видны изъ таблицы, и повидимому они тѣмъ больше, чѣмъ больше годовая амплитуда мѣстности. Въ зависимости отъ влажности также значительны колебанія на разныхъ склонахъ даже одного и того же хребта, напр. на южной сторонѣ Швейцарскихъ Альпъ 0,69°, а на сѣверной 0,55°.

Въ слѣдующей табличкѣ показана быстрота пониженія температуры на С и Ю склонахъ Кавказскаго хребта на 100 м. въ разные мѣсяцы.

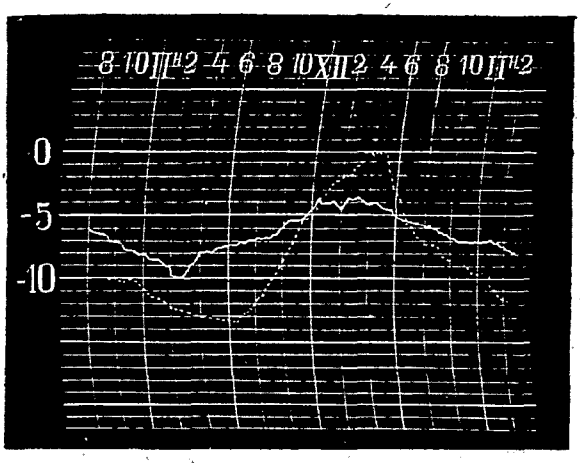
	Юж. склонъ.	Сѣв. склонъ.
Январь	0,34°	0,45°
Апрѣль	0,54°	0,64°
Іюль	0,54°	0,67°
Октябрь	0,44°	0,56°
Годъ	0,43°	0,58°.

Для плоскогорій вѣрнѣе принимать 0,4° вмѣсто 0,5° Ц.

Вслѣдствіе пониженія температуры съ высотою, горный климатъ отличается нѣкоторыми особенностями. На высокихъ горахъ онъ похожъ на полярный и отличается только болѣе холоднымъ лѣтомъ и умѣренной зимой; кромѣ того — большою разницею температуры въ тѣни и на солнцѣ, измѣняющеюся отъ 12,8° до 38,5° въ теченіе сутокъ. На плоскогоріяхъ колебанія менѣе значительны.

Такимъ образомъ, распредѣленіе теплоты на земной поверхности представляетъ весьма сложное и запутанное явленіе, которое можетъ быть выяснено только многочисленными наблюденіями по возможности въ различныхъ мѣстахъ, т.-е. измѣреніемъ температуры воздуха, подъ которою разумѣютъ показанія термометра свободно висящаго въ воздухѣ, но защищеннаго отъ солнечныхъ лучей и отраженной теплоты.

Среднее изъ ежечасныхъ наблюденій даетъ истинную среднюю температуру сутокъ, которая, впрочемъ, можетъ быть довольно вѣрно получена изъ наблюденій 3 раза въ день: въ 7 час. утра, въ 2 час. пополудни и въ 9 час. вечера, или въ 6 час. утра, въ 2 ч. по-полудни и 10 час. вечера.



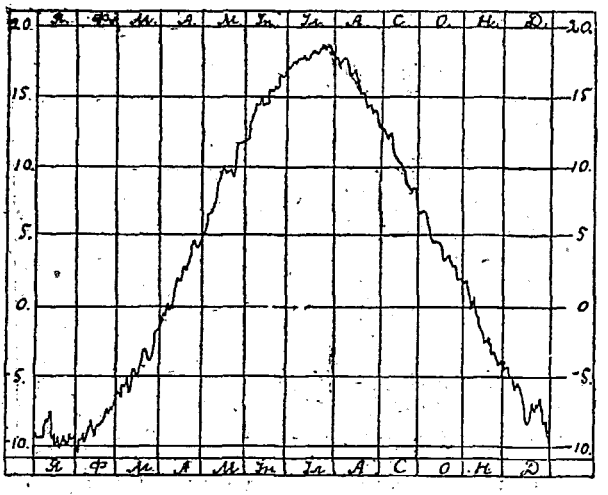
Фиг. 2.—Кривыя температуры для яснаго (пунктирная) и для пасмурнаго дня (сплошная).

Суточный ходъ температуры для каждаго даннаго пункта можно выразить наглядно при помощи кривой, которая получается такимъ образомъ, что на оси абсциссъ откладываются времена наблюденій втеченіи сутокъ, а на оси ординатъ соотвѣтствующія имъ показанія термометра. Само собою разумѣется, что чѣмъ больше наблюденій, тѣмъ кривая будетъ точнѣе; это въ настоящее время достигается самопишущими термометрами. Видъ этихъ кривыхъ весьма измѣнчивъ и зависитъ, кромѣ температуры, отъ разныхъ другихъ причинъ: отъ времени года, широты, облачности и пр. Напримѣръ кривая температура яснаго дня отличается (фиг. 2) рѣзкими колебаніями сравнительно съ болѣе равномѣрной кривой пасмурнаго дня. Кривыя эти показываютъ также разницу между наивысшей и наинизшей температурой сутокъ, что называется суточною амплитудою.

Суточная амплитуда представляетъ не только важнѣйшій факторъ при изученіи климата различныхъ областей, такъ какъ среднія суточныя далеко не даютъ о немъ такого представленія, но имѣетъ существенное значеніе для опредѣленія степени и характера вывѣтриванія горныхъ породъ; чѣмъ больше суточная амплитуда, тѣмъ сильнѣе вывѣтриваніе и

при томъ преимущественно физическое. Величина суточной амплитуды зависитъ отъ различныхъ причинъ и прежде всего отъ географической широты. Въ тропическомъ поясѣ она гораздо больше, нежели въ полярномъ, гдѣ она при полугодовомъ днѣ и ночи, достигаетъ minimum; тогда какъ maximum приходится на умѣренный поясъ, а не на тропическій, какъ бы слѣдовало, еслибы не было другихъ причинъ; особенно это замѣтно зимой, напр., въ Январѣ на Нов. Землѣ (Мелкая губа) амплитуда = 0,4°, въ Петербургѣ = 1,3°, а въ Тифлисѣ = 6,5°.

Орографическія условія также измѣняютъ амплитуду, а именно на изолированныхъ вершинахъ она меньше, чѣмъ на равнинахъ, но наибольшей величины она достигаетъ на высокихъ плоскогорьяхъ и нагорныхъ котловинахъ, напр. на Памирѣ и въ Тибетѣ она доходитъ до 25° и даже до 30°, т. е. за жаркимъ днемъ слѣдуетъ морозная ночь; въ Австраліи наблюдалась днемъ + 19°, а ночью — 11°, а въ Сахарѣ днемъ + + 31,5°, ночью ниже нуля.



Фиг. 3.—Кривая годоваго хода температуры для Петербурга по нормальнымъ суточнымъ за 120 лѣтъ.

Близость моря значительно уменьшаетъ суточную амплитуду во всѣ времена года, а лѣтомъ въ 4—5 разъ. Въ разное время года амплитуда также различна; у насъ, напр., въ Петербургѣ, наибольшая амплитуда около 8° приходится на іюль, тогда какъ въ январѣ она только около 1,5°. Наконецъ вліяніе облачности и лѣса сказывается на пониженіи суточной амплитуды.

Изъ среднихъ суточныхъ температуръ выводятся среднія мѣсячныя; изъ нихъ въ свою очередь опредѣляются среднія годовыя, изъ которыхъ, при наблюденіи за много лѣтъ (отъ 50 до 100), получаются такъ называемыя нормальныя температуры какъ мѣсячныя, такъ и годовыя. Годовой ходъ температуры представляетъ большую аналогію съ суточнымъ, при чемъ лѣто уподобляется дню, а зима ночи; но кривая годового хода отличается большими неправильностями и представляетъ не плавную, а ломаную линію со входящими и выходящими углами, какъ видно, напр., на кривой годового хода температуры въ С.-Петербургѣ, вычерченной на основаніи стодвадцатилѣтнихъ наблюденій (фиг. 3). Такія неправильности обусловливаются уклоненіями отъ нормальныхъ температуръ или такъ называемыми неперіодическими явленіями въ ходѣ температуры, причина которыхъ до сихъ поръ еще не выяснена, но выражаются они тѣмъ, что среднія температуры отдѣльныхъ дней или даже мѣсяцевъ обнаруживаютъ иногда колебанія, особенно въ холодномъ и умѣренномъ поясахъ, напр. въ Петербургѣ январь 1793 г. имѣлъ сред-

нюю температуру = — 1,1°, вмѣсто нормальной = — 9,4° Ц.; въ 1814 году январь имѣлъ—21,4°, въ 1871 г. тотъ же мѣсяцъ имѣлъ—19,5°, а въ 1882 г. имѣлъ—1,4°. Въ низовьяхъ Аму-Дарьи въ 1877 году декабрь на 10,6° Ц. былъ холоднѣе нормальнаго, а весна 1890 г. въ Петербургѣ равнялась температурѣ весны Кіева. Тѣ же кривыя опредѣляютъ годовыя амплитуды, которыя имѣютъ такое же важное геологическое значеніе, какъ и суточныя.

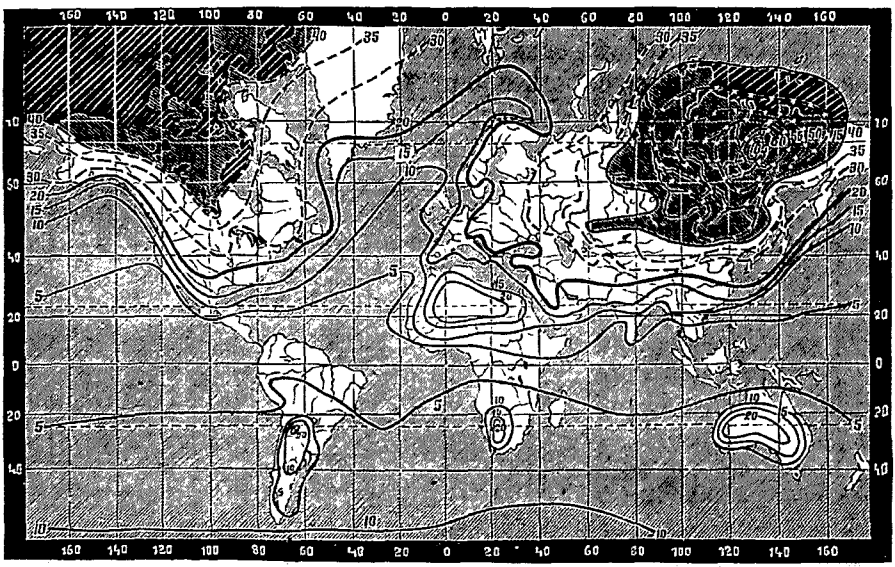
Годовою амплитудою называется разность между температурами самаго теплаго и самаго холоднаго мѣсяцевъ; величиною ея опредѣляется степень континентальности климата даннаго мѣста. Хотя разница между абсолютными наибольшими и наименьшими температурами въ году также представляетъ большой интересъ, но она весьма измѣнчива. Годовыя амплатуды въ противоположность суточнымъ у экватора—наименьшія, а у полюсовъ наибольшія, какъ видно изъ слѣдующей таблицы, показывающей не только зависимость амплитудъ отъ широтъ, но и разницу между амплитудами сѣвернаго и южнаго полушарія, зависящую отъ неравномѣрнаго распредѣленія суши и воды [9]).

Широта.	Амплитуды Сѣв. полушарія.	Амплитуды Южн. полушарія.	Разность.
0°	1,2° Ц.	1,2° Ц.	0°
20°	7,3°	4,5°	2,8°
30°	13,8°	5,6°	8,2°
40°	18,3°	6,6°	11,7°
50°	24,7°	7,4°	17,2°
70°	35,2°	9,0°	24,2°

Удаленіе отъ моря еще болѣе увеличиваетъ годовую амплитуду, какъ показываетъ вышеприведенная таблица (на стр. 18). Но съ поднятіемъ на высоты она уменьшается около 0,3° черезъ каждые 100 м. Линіи соединяющія на картѣ всѣ мѣста съ одинаковою амплитудою называются изоамплитудами. Расположеніе ихъ показано на прилагаемой карточкѣ изоамплитудъ (фиг. 4), которая показываетъ, что вся восточная Сибирь представляетъ область громадныхъ амплитудъ—до 66°, съ центромъ въ Верхоянскѣ [10]), гдѣ иногда амплитуда достигаетъ 98°, и даже 101,5°, а въ Якутскѣ до 103,2°, т. е. отъ—68° до + 30° или 33,5°; затѣмъ слѣдуетъ полярная Америка съ амплитудами до 40°; тогда какъ въ тропическомъ поясѣ она не превышаетъ 5°. Изоамплитуда 20° можетъ считаться границею, отдѣляющею континентальный климатъ отъ морского.

Чтобы наглядно представить распредѣленіе годовыхъ температуръ на поверхности земли Гумбольдтъ предложилъ соединять на картѣ линіями всѣ мѣста съ одинаковою температурою. Такія линіи называются изотермическими или изотермами. Изотермы года, іюля и января (карта № I) показываютъ не только распредѣленіе, но и колебанія температуръ на поверхности земли. Такъ какъ температура съ высотою убываетъ, то для простоты и удобства сравненія, при построеніи изотермъ температура каждаго пункта приводится къ уровню моря, что достигается

поправкою наблюдаемой температуры на 0,5° Ц. на каждые 100 м. высоты; поэтому изотермы указываютъ большею частью болѣе высокую температуру, чѣмъ наблюдаемая, и чтобы по изотермамъ узнать дѣйствительную любого пункта необходимо знать его абсолютную высоту. Карты изотермъ указываютъ большія уклоненія изотермическихъ линій отъ параллелей, особенно въ сѣверномъ материковомъ полушаріи, тогда какъ въ болѣе однородномъ водномъ южномъ полушаріи онѣ значительно выпрямляются и слѣдуютъ приблизительно параллельно широтамъ. Изъ нихъ же видно, что центры или полюсы холода находятся близъ Верхоянска съ ср. годовою — 17° Ц., и у станціи Леди Франклинъ-бай съ ср. г.—20° Ц.; полагаютъ, что у полюса средняя годовая тоже = — 20° Ц.



Фиг. 4. — Карта изоамплитудъ. Заштрихованныя площади означаютъ области Азіи и С. Америки съ наибольшими амплитудами.

Самые жаркіе пункты: Хартумъ со сред. год. темп. 31° и Массова съ 31,8° Ц. Направленіе, перпендикулярное къ изотермѣ и обращенное въ сторону уменьшающихся температуръ, опредѣляетъ собою направленіе термическаго градіента, величина котораго опредѣляется паденіемъ температуры на одинъ геогр. градусъ.

Кромѣ изотермъ климатическій характеръ различныхъ странъ можно выразить еще такъ называемою нормальною температурою широтъ, для полученія которой нужно взять среднюю изъ всѣхъ годовыхъ температуръ мѣстъ, лежащихъ на одной и той же параллели. Зная же нормальную температуру широты и пользуясь картою изотермъ, легко опредѣлить гдѣ на данной параллели господствуетъ температура выше или ниже нормальной. Соединяя линіями мѣста равныхъ отклоненій, получимъ на картѣ другія линіи, называемыя изономалами (см. карту № I). На картѣ изономалъ видно, что вся Европа до Урала имѣетъ климатъ слишкомъ теплый, особенно въ Ирландіи, Англіи, Норвегіи, гдѣ онъ теплѣе нормальнаго на 8 — 10° Ц.; тоже западные берега С.-Аме-

рики. Съ другой стороны слишкомъ холоднымъ климатомъ отличается почти вся Азія, внутренняя и восточная часть С. Америки, западная часть Ю. Америки и Африки.

Средняя температура параллелей, по мнѣнію Ганна, исключительно зависитъ отъ широты и относительнаго распредѣленія воды и суши подъ тою же широтою, такъ какъ вліянія воздушныхъ и морскихъ теченій въ этомъ случаѣ компенсируютъ другъ друга. При такой связи знаніе среднихъ температуръ параллелей и ихъ измѣняемости при разныхъ отношеніяхъ воды и суши имѣетъ громадное значеніе для исторіи земли, потому что даетъ ключъ къ обратному опредѣленію среднихъ температуръ параллелей при другихъ отношеніяхъ суши и воды или все равно при другомъ развитіи материковъ, которые, какъ извѣстно, подвергались нѣкоторымъ измѣненіямъ въ различныя геологическія эпохи.

Слѣдующая таблица, составленная по Воейкову и Ганну показываетъ среднія температуры и % отношеніе суши для каждыхъ 10° широты [11]).

Широта.	Температура по Ц.	Суша въ %.	Температура по Ц.	Суша въ %.
	Сѣверное полушаріе.		Южное полушаріе.	
90°	—17	?	—9	?
80°	—14	?	—8,2	?
70°	—8,7	48,3	—4,8	?
60°	—1,2	56,8	—1,0	0
50°	5,8	56,3	5,5	2
40°	13,6	44,5	12,6	4
30°	21,3	43,4	19,4	20
20°	25,3	30,8	23,4	22,5
10°	26,6	23,4	25,6	20,4
Экваторъ	26,5	21,6	26,5	21,6

Изъ нея видно, что сѣверное полушаріе отъ 0° до 45° с. ш.—теплѣе южнаго, а по мнѣнію Воейкова оно теплѣе даже до 60° с. ш.; но въ высшихъ широтахъ, наоборотъ, сѣверное полушаріе холоднѣе. Это обстоятельство объясняется исключительно различнымъ вліяніемъ материковъ въ низшихъ и высшихъ широтахъ.

Форбсъ и Шпиталеръ дали даже формулы, посредствомъ которыхъ можно вычислить среднюю температуру параллелей чисто океаническаго или материковаго полушарія. По формулѣ Шпиталера,

$$f = 2{,}43 + 17{,}61 \operatorname{Cos} \varphi + 7{,}05 \operatorname{Cos} 2\varphi + 19{,}29\, n \operatorname{Cos} 2\varphi,$$

гдѣ φ — широта, f — температура параллели и n — % суши; разность между температурой полюса и экватора на материковомъ полушаріи = 74,7°, а на водномъ = 34,6°. По Форбсу нѣсколько иначе

	океанич. полуш.	материк. полуш.
температура на экваторѣ	22,1°	43,2°
температура на полюсѣ	—10,8	—32,0

Среднія температуры, вычисленныя по этой формулѣ для различныхъ широтъ океаническаго и материковаго полушарій, представляютъ подобныя же отношенія, какъ и наблюдаемыя среднія температуры, т.-е. отъ экватора до 45° материковое полушаріе теплѣе океаническаго, а между 45° и полюсами, напротивъ, холоднѣе; но, разумѣется, разница при этомъ достигаетъ болѣе значительныхъ размѣровъ, а именно: на экваторѣ 22,6°, подъ 10°—21,3, подъ 20°—16,8, подъ 30°—8,6, подъ 40°—3,0, подъ 50°—4,0, и т. д., нежели въ наблюдаемыхъ температурахъ, потому что вычисленія

относятся къ совершенно материковому и водному полушаріямъ, а наблюдаемыя — только отчасти къ материковому и отчасти водному.

Средняя температура всего сѣвернаго полушарія по Феррелю 15,4°, а южнаго 15,3° Ц., слѣдовательно почти одинакова для обоихъ. Но для всей земли средняя температура іюля, равная, по Дове 16,8° Ц., а по Шпиталеру = 17,5°, выше нежели средняя температура января, равная 12,3° или по Шпиталеру = 12,8°, что также отчасти зависитъ отъ неравномѣрнаго распредѣленія материковъ въ обоихъ полушаріяхъ. Жаркое материковое лѣто сѣвернаго полушарія совпадаетъ съ умѣренной морской зимой южнаго полушарія, а холодная материковая зима въ январѣ совпадаетъ съ прохладнымъ лѣтомъ воднаго южнаго полушарія.

На основаніи годовыхъ изотермъ, Зупанъ [12]) вполнѣ цѣлесообразно предложилъ новое раздѣленіе главныхъ климатическихъ поясовъ и опредѣлилъ площадь, занимаемую каждымъ изъ нихъ. По этому раздѣленію холодный поясъ приходится между годовыми изотермами 0° Ц., умѣренные два—между изотермами 0 и 20° Ц. и жаркій поясъ—между изотермами 20° Ц. сѣв. и южн. полушарія.

Площади ихъ, выражаемыя въ % каждаго полушарія, слѣдующія:

	Холодный поясъ.	Умѣренный поясъ.	Жаркій поясъ.
Сѣверное полушаріе	14,8	31,8	53,3
Южное полушаріе	13,1	41,5	45,4
По отношенію къ поверхности земли .	14%	36,9%	49,4%

Изъ таблички ясно, что преобладающее распространеніе приходится на долю жаркаго пояса и особенно въ сѣверномъ полушаріи.

Болѣе дробное раздѣленіе климатическихъ поясовъ Зупана и отношенія площадей ихъ указано въ слѣдующей таблицѣ (см. карту № I):

1. Жаркій поясъ, съ годовою температурою выше 20° Ц.
a) Тропическій поясъ, средняя температура самаго холоднаго мѣсяца около 20° Ц.
b) Экстропическій поясъ—средняя темпер. самаго холоднаго мѣсяца выше 20° Ц.
2. Умѣренный поясъ—годовая температура между 0° и 0° Ц.
a) Экваторіальный поясъ—средняя темпер. самаго холоднаго мѣсяца выше 0° Ц.
b) Полярный поясъ—средняя температура самаго холоднаго мѣсяца около 0° Ц.
3. Холодный поясъ — годовая температура ниже 0° Ц.
a) Экваторіальный поясъ—средняя температура самаго теплаго мѣсяца выше 0° Ц.
b) Полярный поясъ—средняя температура самаго теплаго мѣсяца ниже 0° Ц.

Процентное отношеніе площадей въ различныхъ материкахъ слѣдующее.

	Холодный поясъ.		Умѣренный поясъ.		Жаркій поясъ.	
	a.	b.	a.	b.	a.	b.
Европа	—	8,3	65,0	26,7	—	—
Азія	—	26,6	28,7	12,7	22,6	3,9
Европа-Азія	—	23,2	35,4	15,3	18,5	7,6
Сѣв. Америка	—	29,6	35,8	15,9	12,5	6,1
Южн. Америка	—	—	—	15,9	25,1	59,0
Африка	—	—	—	2,8	36,7	60,5
Австралія	—	—	—	34,2	52,7	13,1
Сѣв. полушаріе	0,2	14,6	14,0	17,8	17,5	35,8
Южн. полушаріе	6,7	6,4	7,2	34,3	12,8	32,6
Вся земля	3,5	10,5	10,6	26,0	15,2	34,2

Чтобы покончить съ распредѣленіемъ температуры на полушаріяхъ, мы должны указать еще на измѣненія ея въ зависимости отъ астрономическихъ явленій. Выше упоминалось о вліяніи періодовъ ближайшаго и дальнѣйшаго положенія земли отъ солнца. Въ настоящее время лѣто сѣвернаго полушарія и зима южнаго совпадаютъ съ дальнѣйшимъ разстояніемъ земли отъ солнца, или съ афеліемъ, тогда какъ зима сѣвернаго и лѣто южнаго полушарія приходятся въ перигеліи, т.-е. въ разстояніи на 700.000 миль ближе къ солнцу. Количество теплоты, которое земля получаетъ отъ солнца въ перигеліи, относится къ количеству теплоты, получаемой въ афеліи, какъ 1,034 : 0,967 при настоящей величинѣ эксцентриситета. Отсюда можно заключить, что южное полушаріе имѣетъ жаркое (но короткое) лѣто и холодную зиму; сѣверное полушаріе, напротивъ, холодное (но болѣе длинное) лѣто и мягкую зиму; въ дѣйствительности же мы видимъ наоборотъ: мягкую зиму и холодное лѣто на южномъ, а суровую зиму и жаркое лѣто—на сѣверномъ полушаріи. Эта кажущаяся аномалія показываетъ только, что неравномѣрное распредѣленіе материковъ и морей оказываетъ на температуру полушарій гораздо больше вліянія, нежели различная степень инсоляціи въ афеліи и перигеліи; поэтому можно думать, что перемѣщеніе полушарій относительно перигелія и афелія, совершающееся въ 10500 лѣтъ при томъ же распредѣленіи материковъ, едвали окажетъ большое вліяніе на общую сумму теплоты и на разницу температуры зимы и лѣта для всей земли; но распредѣленіе тепла будетъ нѣсколько другое, а это, въ свою очередь, вызоветъ климатическое измѣненіе многихъ мѣстъ.

Но кромѣ того, разница во временахъ года между полушаріями обусловливается величиною эксцентриситета. Въ настоящее время при эксцентриситетѣ 0,0168 она небольшая: лѣто сѣвернаго полушарія всего только на 8 дней длиннѣе лѣта южнаго полушарія. Но съ увеличеніемъ эксцентриситета до 0,075 эта разница возрастетъ до 36 дней. Это было, по вычисленію Стокуэлля, за 850,000 лѣтъ до настоящаго времени.

Стокуэль, по формулѣ Лаверрье, вычислилъ, что эксцентриситетъ измѣняется чрезъ большіе періоды времени. Въ слѣдующей табличкѣ показаны эти вычисленія и соотвѣтствующая величинѣ эксцентриситета разница временъ года между полушаріями.

Года въ сотняхъ тысячъ передъ 1800 г.	100	200	210	300	600	750	850
Величина эксцентриситета . . .	0,047	0,057	0,058	0,072	0,042	0,058	0,075
Разница временъ года	23	28	28	21	20	28	36
Послѣ 1850 г. въ сотняхъ тысячъ	250	510	610	880	1150	1250	—
Величина эксцентриситета . . .	0,033	0,057	0,058	0,057	0,050	0,060	—

При разницѣ времени года на 36 дней, т.-е. когда солнце на 36 дней остается дольше въ одномъ полушаріи сравнительно съ другимъ, разница въ интенсивности инсоляціи будетъ значительна. Если инсоляцію въ афеліи принять за 1, то для перигелія она выразится $1 + 4\Sigma$ (гдѣ Σ — эксцентриситетъ).

Въ настоящее время $\Sigma = {}^1/_{60}$, слѣдовательно разница будетъ равна ${}^1/_{15}$, но при большемъ эксцентриситетѣ она достигаетъ до ${}^1/_3$: для полушарія, котораго лѣто совпадаетъ съ перигеліемъ, интенсивность инсо-

ляціи зимою на $^1/_3$ слабѣе, да и зима на 36 дней длиннѣе; напротивъ, короткое лѣто чрезвычайно жарко. Длинная зима въ среднихъ и высшихъ широтахъ способствуетъ накопленію снѣга и льда, которые значительно нейтрализуютъ большую лѣтнюю инсоляцію, т.-е. теплота лѣта будетъ затрачиваться на работу таянія снѣга, а температура воздуха не повысится и останется близкою къ нулю, какъ и теперь наблюдается на сѣверѣ, гдѣ при температурѣ воздуха 0° прямое дѣйствіе лучей солнца настолько сильно, что размягчаетъ смолу на обшивкахъ кораблей. Результатомъ этого произойдетъ пониженіе средней годовой температуры, хотя сумма тепла, получаемая отъ солнца землей, остается та же самая, а также значительное развитіе снѣговъ и ледниковъ тамъ, гдѣ въ настоящее время при другомъ эксцентриситетѣ ихъ нѣтъ. Измѣненія температуры ведетъ за собой измѣненія другихъ метеорологическихъ элементовъ или все равно измѣненія климата, о чемъ скажемъ ниже.

Давленіе и движеніе атмосферы. Движенія воздуха или вѣтры имѣютъ не только важное климатическое значеніе, но и представляютъ самый главный факторъ въ геологической дѣятельности атмосферы, потому что только при посредствѣ ихъ разрушенныя, измельченныя частицы различныхъ породъ переносятся на большія разстоянія и образуютъ новыя отложенія, такъ-называемые эоловые осадки. Съ другой стороны, вѣтры, обладая такою выдающеюся ролью, по новѣйшему ученію метеорологіи, всецѣло зависятъ отъ давленія, распредѣленіе котораго въ атмосферѣ и періодическія измѣненія его составляютъ главную причину разнообразія вѣтровъ. Еще весьма недавно предполагали, что вѣтеръ происходитъ отъ разностей температуры и дуетъ отъ болѣе холоднаго мѣста къ болѣе теплому, даже сравнивали ихъ съ тягою въ горячей печи, но весьма простой разсчетъ вполнѣ доказываетъ несправедливость этого сравненія, а вмѣстѣ съ тѣмъ невѣрность прежнихъ объясненій.

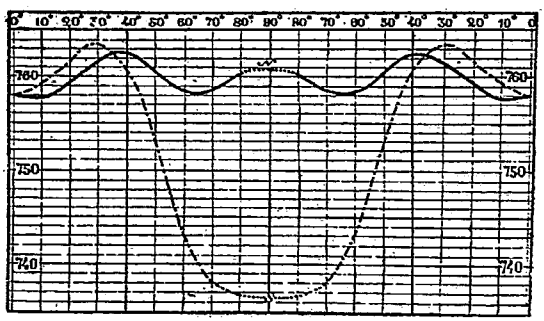
Главное условіе для равновѣсія капельныхъ и упругихъ жидкостей (газовъ) заключается въ одинаковомъ давленіи на всѣхъ точкахъ одной и той же горизонтальной плоскости, причемъ на нижнемъ уровнѣ давленіе выше, чѣмъ на верхнемъ. Если на одномъ и томъ же уровнѣ давленіе нарушается и въ одномъ мѣстѣ оно становится выше, чѣмъ въ сосѣднемъ, то равновѣсіе нарушается, и отъ мѣста бо́льшаго давленія жидкость или газъ стремится къ мѣсту меньшаго давленія, заполняя, такъ сказать, пустоту. Этотъ законъ вполнѣ примѣняется къ движенію воздуха въ земной атмосферѣ и выведенъ новѣйшею метеорологіею изъ сравненія такъ-называемыхъ синоптическихъ картъ, составляющихъ главную основу въ ученіи о погодѣ, или синоптической метеорологіи, и изображающихъ состояніе атмосферы надъ бо́льшею или меньшею частью поверхности земли (Европа, Сѣв. Атлантическій океанъ и Соединенные Штаты Сѣв. Америки) въ опредѣленный часъ, (обыкновенно въ 7 час. утра мѣстнаго времени). На этихъ картахъ мѣста одинаковаго давленія соединяютъ линіями, называемыми изобарами. Изобары, также какъ и изотермы, представляютъ не прямо наблюдаемыя показанія барометра, но показанія, приведенныя, во-первыхъ, къ уровню моря, а во-вторыхъ, исправленныя на силу тяжести приведеніемъ къ силѣ тяжести широты 45°.

Давленіе измѣняется съ высотою и широтою. На слѣдующей таблицѣ Ганна [13]) видна степень уменьшенія давленія съ высотою.

Давленіе въ mm.	Высота въ:		Разность высоты въ м. на 1 mm. давленія.	Давленіе въ mm.	Высота въ:		Разность высоты въ м. на 1 mm. давленія.
	пар. ф.	метрахъ.			пар. ф.	метрахъ.	
760	65	21	10,5	660	5470	1777	13,1
730	1053	342	10,9	580	1714	2180	15,8
700	2087	678	11,4	550	8019	2604	14,5
670	3161	1027	11,9	520	9395	3052	15,4
640	4288	1393	12,5	490	10857	3527	16,3

Въ изобарахъ, также какъ въ изотермахъ, нужно опредѣлить суточный и годовой ходъ съ соотвѣтственными амплитудами. Суточныя амплитуды зависятъ отъ разныхъ частныхъ причинъ, но вообще весьма небольшія; только у экватора онѣ достигаютъ до 2,5 мм., а у полюсовъ онѣ совсѣмъ ничтожны. Въ суточной амплитудѣ различаютъ: дневную отъ 10-ти ч. у. до 4-хъ ч. по полудни и ночную отъ 10-ти ч. вечера до 4-хъ ч. утра. Годовой ходъ отличается большими неправильностями, особенно при сравненіи приморскихъ и континентальныхъ странъ, въ которыхъ годовой ходъ имѣетъ совершенно противоположный характеръ; въ то время какъ на материкахъ наступаетъ maximum давленія, именно въ январѣ, на моряхъ напротивъ minimum и наоборотъ въ маѣ—іюнѣ. Наибольшая годовая амплитуда, болѣе 20 мм. приходится на обширные материки, особенно на Азію. Восточная Сибирь и Монголія заключаютъ центры наибольшей энергіи температуры и давленія [14]), а потому В. Сибирь называютъ страною крайностей, въ которой лежатъ пункты величайшихъ амплитудъ, нижайшихъ температуръ, громаднѣйшихъ аномалій и высочайшихъ давленій [15]).

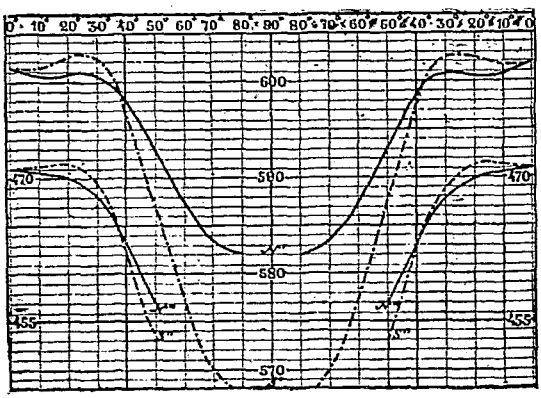
Что касается распредѣленія средняго давленія въ зависимости отъ широты и высоты, то наблюденія показываютъ, что внизу, т. е. у поверхности земли близъ экватора преобладаетъ слабое давленіе въ такъ называемомъ поясѣ тишины (штиля) съ минимумомъ въ 757,9 мм. подъ 10° с. ш.; къ сѣверу отъ этого пояса давленіе постепенно возрастаетъ до 35° с. ш., гдѣ оно достигаетъ притропическаго максимума въ 762,5 мм., затѣмъ оно уменьшается до 65° с. ш., гдѣ наблюдается minimum въ 758,2 мм. и наконецъ опять увеличивается по направленію къ полюсу и подъ 80° с. ш. достигаетъ 760,5 мм. Въ южномъ полушаріи наблюдается только одинъ maximum въ 763,5 мм. подъ 30° ю. ш., а далѣе на югъ давленіе непрерывно понижается и близъ южнополярнаго материка не превосходитъ 737 мм. Въ верхнихъ слояхъ распредѣленіе давленія нѣсколько иное, какъ показываютъ наблюденія на высокихъ горныхъ станціяхъ и вычисленія, основанныя на барометрической формулѣ. Неодинаковое распредѣленіе давленія въ верхнихъ и нижнихъ слояхъ атмосферы зависитъ отъ климатическихъ поясовъ. На слѣдующихъ графикахъ [16]) схематически представлено распредѣленіе давленія въ обоихъ полушаріяхъ въ зависимости отъ широты и высоты посредствомъ кривыхъ, представляющихъ меридіанальные разрѣзы черезъ всю атмосферу (фиг. 5—5а). Сѣверный и южный полюсы приходятся на средней линіи чертежа, отъ которой въ обѣ стороны идутъ симметричныя кривыя, при чемъ сплошныя линіи на обоихъ чертежахъ относятся къ сѣверной гемисферѣ, а пунктирныя къ южной. Изъ перваго графика (фиг. 5) видно, что въ нижнихъ слояхъ надъ сѣвернымъ полюсомъ господствуетъ высокое давленіе,



Фиг. 5.— Распредѣленіе средняго годоваго давленія внизу между С и Ю полюсами.

а изъ втораго (фиг. 5а) видно, что на высотѣ 2000 м. оно замѣняется низкимъ и даже отъ maximum'а среднихъ широтъ остается только слабый слѣдъ. На высотѣ 4000 м. давленіе на верху въ обоихъ полушаріяхъ непрерывно падаетъ отъ экватора къ полюсамъ (см. фиг. 5а нижнюю пару линій).

Дѣйствительное распредѣленіе давленія въ нижнихъ слояхъ мѣняется не только отъ времени, но также отъ расположенія материковъ и морей, а потому для выраженія его составляютъ такія же карты изобаръ, какъ вышеописанныя изотермическія. На картѣ № II показаны изобары января и іюля; при чемъ изобары выш. 760 мм. называются плейобары, а ниже 760 — мейобары; изобара же въ 760 мм. наз. барическою нормалью или мезобарою. На синоптическихъ картахъ наносятся изобары какого либо опредѣленнаго момента (напр. въ 7 ч. утра); такія изобары можно назвать мгновенными. Онѣ представляютъ весьма измѣнчивыя очертанія и даютъ понятіе о мгновенномъ барическомъ рельефѣ атмосферы, съ которымъ тѣсно связано направленіе вѣтровъ, температура, влажность: словомъ то, что называется погодою. Изобары представляютъ большую аналогію съ геодезическими горизонталями, такъ какъ они даютъ ясное представленіе объ атмосферномъ или барическомъ рельефѣ. Области высокаго давленія, называемыя барическимъ или барометрическимъ максимумомъ, соотвѣтствуютъ возвышенностямъ или горамъ, а области низкаго давленія напротивъ уподобляются вдавленностямъ или котловинамъ и наз. барометрическимъ минимумомъ. Тѣ и другія подвергаются многоразличнымъ измѣненіямъ въ формѣ, уклонахъ и развѣтвленіяхъ. На картахъ изобаръ (№ II) видно, что нѣкоторыя барическія возвышенности и котловины отличаются сравнительнымъ постоянствомъ въ теченіе цѣлаго года, напр. Атлантическая (Мадера-Бермудская) возвышенность и экваторіальная, а также Исландская низменность (см. карты № II); другія же возвышенности замѣняются низменностями, напр. зимнія области высокаго давленія В. Азіи и С. Америки смѣняются лѣтомъ областями низкаго давленія. Замѣтимъ, что въ Россіи годовая область высокаго давленія въ 764 мм. представляетъ широкую полосу, простирающуюся приблизительно съ запада на востокъ между 47° и 53° с. ш. Къ югу и сѣверу отъ нея давленіе убываетъ, достигая у Ленкорани 762 мм., а въ Колѣ 757 мм.; при этомъ на западѣ изобары лежатъ ближе другъ къ другу, чѣмъ на востокѣ.



Фиг. 5а.— Распредѣленіе средняго годоваго давленія на высотѣ 2000 м. и 4000 м. между С и Ю полюсами.

Что же касается мгновеннаго рельефа, то онъ представляетъ безконечное разнообразіе формъ, ежедневно мѣняющихъ свое положеніе и очертаніе.

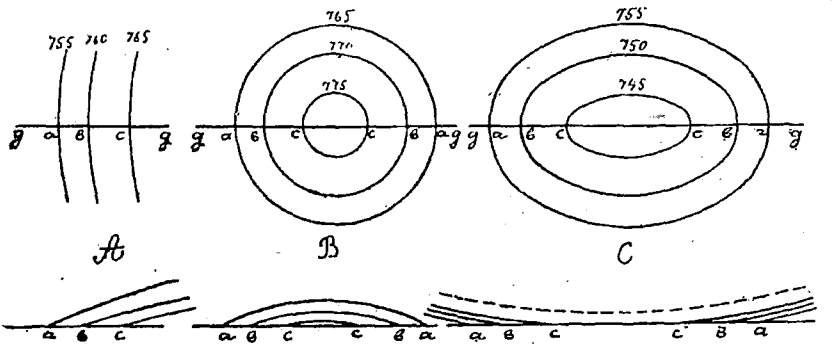
Но несмотря на такую измѣнчивость барическаго рельефа, Аберкромби различаетъ въ немъ только семь главныхъ формъ, а именно:

1. Барическая котловина или низменность (иначе—циклонъ, депрессія,

минимумъ) съ наименьшимъ давленіемъ въ центрѣ (C фиг. 6). Воздухъ въ ней стремится къ центру, но вслѣдствіе вращенія земли и центробѣжной силы, значительно отклоняется вправо отъ радіусовъ (по направленію изобаръ) и получаетъ вихревое движеніе противъ часовой стрѣлки. Эта форма встрѣчается часто и имѣетъ важное значеніе въ ученіи о предсказаніи погоды, какъ увидимъ ниже.

2. Частная депрессія (частный минимумъ) располагается обыкновенно на окраинѣ большого циклона и производитъ сильные мѣстные дожди и грозы.

3. Барическая возвышенность (максимумъ, антициклонъ, область высокаго давленія, барическій холмъ) съ наибольшимъ давленіемъ въ центрѣ (B фиг. 6).



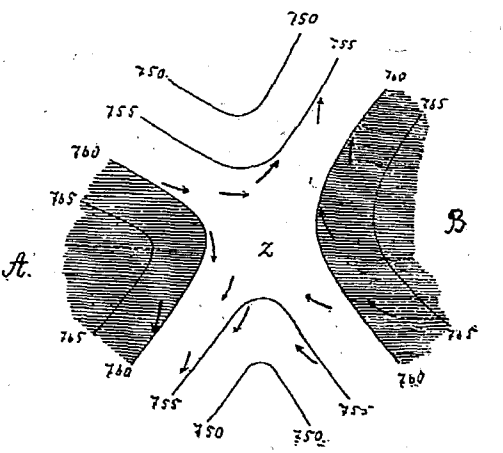
Фиг. 6.—Схемы нѣкоторыхъ формъ барическаго рельефа и соотвѣтственныя имъ изображенія поверхностей.

Воздухъ въ немъ стремится отъ центра къ окружности, но вслѣдствіе вращенія земли движется по кривымъ, т. е. получаетъ антициклоническое движеніе по стрѣлкѣ часовъ или по солнцу.

4. Барическій отрогъ представляетъ удлиненный выступъ барической возвышенности.

5. Барическая ложбина представляетъ или вытянутое продолженіе барической низменности или же самостоятельную форму.

6. Барическая сѣдловина соотвѣтствуетъ горному перевалу и характеризуется тѣмъ, что отъ нѣкоторой точки z (фиг. 7), давленіе по линіи AB, въ обѣ стороны возрастаетъ, а по линіи, перпендикулярной къ ней—падаетъ. Сѣдловина происходитъ вслѣдствіе пересѣченія барической возвышенности барическою долиною, образовавшеюся на нѣкоторой высотѣ. Вообще барическія неровности, часто налегая другъ на друга, образуютъ различныя комбинаціи.



Фиг. 7.—Схема барической сѣдловины.

7. Барическій склонъ или наклонная плоскость (A на фиг. 6) представляетъ весьма неустойчивую форму и является лишь временно при переходѣ изобаръ изъ однѣхъ формъ въ другія.

Какъ въ ходѣ температуры, такъ и въ давленіи наблюдаются неправильныя колебанія, происходящія случайно безъ всякихъ опредѣленныхъ періодовъ; въ среднихъ широтахъ онѣ достигаютъ зимой до 50 мм., а лѣтомъ до 25 мм. въ теченіе мѣсяца. Наибольшее давленіе наблюдалось въ Иркутскѣ (3/4 янв. 1893 г.) въ 807,5 мм., а наименьшее въ Аллахабадѣ въ 687,5 мм., такъ что наибольшая разность барометрическихъ давленій на землѣ равна 120,6 мм., т. е. почти одной шестой нормальнаго давленія. У насъ въ Россіи разница между minimum и maximum достигаетъ значительныхъ размѣровъ, напр. въ С.-Петербургѣ наблюдался min.=712,6 м., а max. = 797,5. въ Москвѣ min. = 724,9, max. = 795,8, въ Тифлисѣ min. = 746,5, max. = 784,3 мм. и пр.

Сравненіе изобаръ съ вѣтрами привело къ установленію двухъ законовъ, которые называются по имени ихъ открывателей или вѣрнѣе распространителей:

1) Законъ Бюйсъ-Балло заключается въ томъ, что воздухъ стремится изъ области высокаго давленія въ область низкаго давленія; при этомъ воздушный токъ или вѣтеръ, вслѣдствіе вращенія земли, отклоняется вправо въ сѣверномъ полушаріи и влѣво — въ южномъ. Это отклоненіе $= 2w \operatorname{Sin} Qr$.

2) Законъ Стефенсона состоитъ въ томъ, что сила вѣтра обусловливается барометрическимъ градіентомъ, т.-е. величиною разности давленія на единицу разстоянія въ сторону движенія воздуха и перпендикулярно къ изобарамъ. Градіенты выражаютъ миллиметрами разности давленія на 1° меридіана. Чѣмъ больше градіентъ, тѣмъ изобары плотнѣе и тѣмъ сила вѣтра больше.

Кромѣ того, для опредѣленія направленія и скорости движенія необходимо принимать во вниманіе еще и треніе о поверхность земли.

Размѣръ отклоненія вѣтра вправо въ сѣверномъ и влѣво въ южномъ полушаріи или, все равно, уголъ α между градіентомъ и направленіемъ движенія вѣтра независимо отъ скорости движенія и плотности воздуха, а только въ зависимости отъ широты и коэффиціента тренія, выражается формулой:

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{2w \operatorname{Sin} Q}{k}$$

гдѣ w — угловая скорость движенія земли, $w = \frac{2\pi}{8164} = 0{,}00007292$, а Q широта (въ сѣверномъ полушаріи берется со знакомъ +, въ въ южномъ со знакомъ —), k — коэффиціентъ тренія.

Треніе, какъ извѣстно, зависитъ отъ препятствія, представляемаго движенію воздуха земной поверхностью. Чѣмъ болѣе это препятствіе, тѣмъ болѣе, при прочихъ равныхъ условіяхъ, замедляется движеніе воздуха и тѣмъ менѣе уголъ отклоненія отъ перпендикуляра къ изобарамъ. Коэффиціентъ тренія k принимается въ 0,00002 на моряхъ съ слабыми волненіями, гдѣ гладкая поверхность воды всего менѣе препятствуетъ движенію; но онъ уже болѣе на моряхъ съ сильными волненіями, еще болѣе на материкахъ и наибольшей величины достигаетъ въ горныхъ странахъ, гдѣ $k = 0{,}00012$, т.-е. въ шесть разъ больше, чѣмъ для морей нисшихъ широтъ. Отсюда очевидно, что по вышеприведенной формулѣ, уголъ отклоненія на материкахъ будетъ меньше, чѣмъ на моряхъ подъ тѣми же широтами; а также сила вѣтра на материкахъ будетъ меньше, чѣмъ на моряхъ.

Гудбергъ и Монъ вычислили слѣдующую таблицу (стр. 35) отклоненія вѣтра отъ перпендикуляра къ изобарамъ въ зависимости отъ широты и тренія. Оно показано въ градусахъ и десятыхъ доляхъ [17]).

Для измѣренія силы вѣтра служатъ инструменты, называемые анемометрами или вѣтромѣрами, которые собственно опредѣляютъ отдѣльные порывы вѣтра, что весьма важно, потому что порывы-то и производятъ самые большія разрушенія: обрушаютъ скалы, переносятъ крупные обломки камней, срываютъ крыши, ломаютъ деревья и пр. На основаніи различныхъ опытовъ зависимость давленія вѣтра на перпендикулярную къ нему плоскость, Феррель выражаетъ слѣдующею формулою:

$$p = \frac{0{,}002698\, v^2 s}{1 + 0{,}004\, t} \cdot \frac{H}{760}.$$

Широта.	Коэффиціентъ тренія k.					
	0,00002	0,00004	0,00006	0,00008	0,00010	0,00012
0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
5°	32,4	17,6	12,0	9,0	7,3	6,0
10°	52,7	32,3	22,9	17,6	14,2	11,9
15°	62,1	43,3	32,2	25,3	20,7	17,5
20°	68,2	51,3	39,7	32,0	26,5	22,6
30°	74,7	61,2	50,6	42,4	36,1	31,3
40°	78,0	66,9	57,4	49,5	43,2	38,0
50°	79,8	70,3	61,8	54,4	48,2	43,0
60°	81,0	72,4	64,6	57,7	51,6	46,5
70°	87,7	73,7	66,4	59,7	53,9	48,8
80°	82,1	74,4	67,3	60,9	55,2	50,1
90°	82,2	74,7	67,6	61,3	55,6	50,6

гдѣ p—давленіе въ килограммахъ на 1 кв. метръ; v — скорость вѣтра въ метрахъ въ 1 секунду; t — температура въ градусахъ Ц.; s — размѣръ площади, на которую дѣйствуетъ вѣтеръ и H — давленіе атмосферы въ миллиметрахъ. Обыкновенно же сила вѣтра опредѣляется 12-ю степенями (Бофортова шкала), выражаемыя въ скорости и давленіи. Въ слѣдующей таблицѣ приведены всѣ эти степени съ соотвѣтственными скоростями по Скотту.

Баллы по Бофорту.	Сила вѣтра.	Метры въ секунду.	Километры въ часъ.	Давленіе въ килогр. на 1 кв. м.
0	Штиль	до 1,5	5,4	0,16
1	Тихій	3,5	12,6	0,87
2	Легкій	6,0	21,6	2,5
3	Слабый	8,0	29,0	4,5
4	Умѣренный	10,0	36,0	7,1
5	Свѣжій	12,5	45,0	11,1
6	Сильный	15,0	54,0	15,7
7	Крѣпкій	18,0	65,0	22,5
8	Очень крѣпкій	21,0	76,0	31,4
9	Штормъ	25,0	20,0	44,3
10	Сильный штормъ	24,0	104	60,0
11	Жестокій штормъ	33,0	120	76,2
12	Ураганъ	40,0	144	111,0

Скорость и сила вѣтра значительно увеличиваются съ высотою, потому что вліяніе тренія, хотя не исчезаетъ, но сильно уменьшается съ

высотою, особенно надъ материками. Въ холмистыхъ мѣстностяхъ нерѣдко случается, что во время полнаго затишья внизу, дуетъ сильный вѣтеръ на высотѣ 100 — 200 метровъ. По наблюденіямъ на Эйфелевой башнѣ (300 метровъ) оказалось, что сила вѣтра на этой высотѣ въ 3,6 раза больше, чѣмъ внизу въ центральной обсерваторіи Парижа. Зимой это отношеніе было значительно больше, а лѣтомъ меньше; ночью больше, чѣмъ днемъ; кромѣ того суточный ходъ силы вѣтра на башнѣ оказался обратнымъ ходу нижняго вѣтра. На горѣ Пайсъ-Пикъ въ Колорадо, на высотѣ 4308 мет. средняя годовая скорость вѣтра равна 20 метрамъ, а наивысшая достигаетъ 50 метровъ въ секунду, тогда какъ у подошвы той же горы средняя скорость равна 6 метрамъ. Тоже по наблюденіямъ въ обсерваторіи Блю-Хилль въ Соед. Штатахъ при скоростяхъ вѣтра внизу на высотѣ 200 м. лѣтомъ 7,5, а зимой 8,8 м., на большой высотѣ—13000 мет., лѣтомъ 35,2 м., а зимой 54 метр. въ секунду, т. е. лѣтомъ почти въ 5 разъ, а зимой въ 7 разъ больше. М. М. Поморцевъ [18]) на основаніи наблюденій на воздушныхъ шарахъ приходитъ къ тому заключенію, что на высотѣ кучевыхъ облаковъ (1300 м.), скорость вѣтра достигаетъ наибольшей величины, превосходящей скорость нижняго вѣтра въ 3,7 раза; но при дальнѣйшемъ повышеніи это измѣненіе скорости уменьшается. Только такимъ увеличеніемъ скорости вѣтра съ высотою можно объяснить тѣ громадныя скорости, которыя замѣчаются иногда при полетахъ птицъ и воздушныхъ шаровъ. Птицы при перелетахъ дѣлаютъ иногда болѣе 300 вер. въ часъ; воздушные шары— до 200 вер. въ часъ. Само собой разумѣется, что механическая работа вѣтра или энергія его, возрастающая съ увеличеніемъ средней скорости вѣтра, будетъ различна на разной высотѣ. По расчету М. М. Поморцева [19]) при скорости вѣтра внизу $m = 4$ метр., энергія $Q = 507$ киллограммо-метрамъ, при $m = 8$ метр., $Q = 3207$ к.-м.; на высотахъ 1000—2000 м. эта работа возростаетъ отъ 8 до 27 разъ; а такъ какъ воздухъ находится въ постоянномъ движеніи, то энергія всей воздушной оболочки земли должна быть очень велика. Увеличеніе скорости и энергіи вѣтра съ высотою объясняетъ также болѣе быстрое разрушеніе выдающихся вершинъ, переносъ минеральныхъ частицъ во взвѣшенномъ состояніи и сравнительно рѣдкіе случаи перемѣщенія крупныхъ предметовъ по поверхности земли.

Суточный ходъ силы вѣтра въ нижнихъ горизонтахъ имѣетъ другой характеръ, чѣмъ въ верхнихъ, какъ уже упоминалось выше по поводу наблюденій на Эйфелевой башнѣ. Внизу сила вѣтра какъ бы слѣдуетъ за измѣненіемъ температуры, т. е. около 4-хъ часовъ утра она наименьшая, затѣмъ увеличивается и около 1 или 2 часовъ пополудни достигаетъ наибольшей величины. Въ ясные дни и зимой эти измѣненія выражаются рѣзче, чѣмъ въ пасмурные дни и лѣтомъ. На высокихъ горахъ обратно, сила вѣтра послѣ полудня бываетъ наименьшая, а ночью наибольшая. Явленіе это г. Кеппенъ объясняетъ тѣмъ, что среди дня устанавливаются восходящіе и нисходящіе токи воздуха и обмѣнъ ихъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ ближе къ maximum нагрѣванія верхняго слоя почвы (1—2 ч. пополудни). Нисходящіе токи, обладая большою скоростью, приносятъ ее внизъ, а восходящіе, наоборотъ, приносятъ меньшую скорость наверхъ; отсюда понятно усиленіе вѣтра среди дня на равнинахъ и въ долинахъ, а на горахъ ослабленіе. На открытомъ морѣ не замѣчается этого явленія, потому что верхній слой воды, какъ и нижній слой воздуха, нагрѣваются такъ мало, что нѣтъ причины къ возникновенію восходящихъ и нисходящихъ токовъ воздуха. Годовой ходъ силы вѣтра зависитъ отъ множества причинъ; можно сказать что въ Европѣ и Европ. Россіи вѣтеръ зимою и позднею осенью

вообще сильнѣе, нежели лѣтомъ, что слѣдуетъ приписать главнымъ образомъ господству циклоновъ зимой. Въ В. Сибири зима отличается почти полнымъ затишьемъ, происходящимъ вслѣдствіе громаднаго неподвижнаго антициклона. По изслѣдованіямъ г. Керсновскаго [20]) сила вѣтра въ Россіи растетъ по мѣрѣ приближенія къ берегамъ морей; напр. сила вѣтра въ Кронштадтѣ гораздо больше, чѣмъ въ Лѣсномъ Институтѣ въ Спб. Наибольшей величины она достигаетъ по сѣвернымъ берегамъ Балтійскаго моря; наименьшей въ С. З. и Ю. З. губерніяхъ, гдѣ однако по расчету Клоссовскаго [21]) вѣтряные двигатели могутъ работать около трети года, т. е. 120 дней.

Классификація вѣтровъ. Несмотря на то, что вѣтры отличаются удивительнымъ непостоянствомъ какъ въ направленіи, такъ и въ силѣ, все таки можно кромѣ мѣстныхъ вѣтровъ выдѣлить нѣсколько общихъ типовъ, изученіе которыхъ приводитъ къ уясненію съ одной стороны общей циркуляціи атмосферы, а съ другой—основаній для предсказанія погоды (темпестологіи), такъ какъ вѣтры приносятъ съ собою тепло и холодъ, ясную и пасмурную погоду, осадки и грозы. Между ними различаютъ: пассаты, антипассаты, муссоны, вѣтры среднихъ широтъ: циклоны и антициклоны и мѣстные вѣтры: бризы или береговые вѣтры, вѣтры горныхъ склоновъ, фёны и вѣтры пустынь.

Пассаты представляютъ наиболѣе постоянные вѣтры тропической полосы между 30° с. ш. и 30° ю. ш.; они обусловливаются разностью давленія подъ экваторомъ и въ среднихъ широтахъ. Выше было указано, что подъ экваторомъ въ нижнихъ горизонтахъ давленіе меньше, чѣмъ въ среднихъ широтахъ (см. фиг. 5), а въ верхнихъ наоборотъ (см. фиг. 5а), слѣдовательно внизу давленіе уменьшается отъ высшихъ широтъ къ экватору, а вверху, наоборотъ, отъ экватора къ высшимъ широтамъ. Въ силу такихъ условій, очевидно, въ экваторіальномъ поясѣ должно образоваться два тока въ стороны наименьшаго давленія, т. е. внизу отъ высшихъ широтъ къ экватору, а вверху отъ экватора. Дѣйствительное существованіе двойнаго (нижняго и верхняго) тока въ экваторіальной полосѣ доказываютъ прямыя наблюденія надъ движеніемъ высокихъ перистыхъ облаковъ и направленіемъ вѣтра на высокихъ тропическихъ горахъ, напр. на Тенерифскомъ пикѣ. Эти токи, вслѣдствіе вращенія земли, отклоняются отъ меридіональнаго направленія и превращаются въ сѣверномъ полушаріи внизу въ СВ пассатъ (trade-winds—у англичанъ), а вверху—ЮЗ пассатъ, или антипассатъ; въ южномъ полушаріи — въ ЮВ пассатъ, а вверху — СЗ антипассатъ. Верхніе токи-антипассаты, переходя изъ нижнихъ широтъ въ высшія, понижаются и приближаются къ поверхности земли, достигая ея около 30° с. и ю. широты, откуда до 40° преобладаетъ наибольшее давленіе. Отъ 40° с. ш., по направленію къ полюсамъ, антипассаты, претерпѣвая еще бо́льшія уклоненія отъ вращенія земли, наконецъ, превращаются въ западные вѣтры. Эти послѣдніе, подъ вліяніемъ неравномѣрнаго распредѣленія суши и воды, даютъ начало центрамъ низкаго и высокаго давленія т. е. циклонамъ и антициклонамъ, образующимъ, такъ сказать, поясъ вихрей вокругъ полюсовъ.

Узкій поясъ, непостоянной ширины, подъ экваторомъ между двумя пассатами называется поясомъ штилей.

Такимъ образомъ, въ отношеніи вѣтровъ землю можно раздѣлить на три пояса: 1) Поясъ штилей съ перемѣнными вѣтрами, измѣняю-

щейся ширины, занимаетъ узкую полосу въ 3°—4° широты около экватора. 2) Поясъ пассатовъ — обыкновенно въ среднемъ принимается между поясомъ штилей и 30° широты въ сѣверномъ и южномъ полушаріи; но размѣры его измѣняются съ временами года: въ сѣверномъ полушаріи лѣтомъ онъ достигаетъ до 32° с. ш. и даже 39° с. ш., такъ что постояннымъ остается только между 11° с. ш. и 26° с. ш.; въ южномъ полушаріи колебанія его меньше: отъ 20° ю. ш. до 28° ю. ш. 3) Поясъ господствующихъ западныхъ вѣтровъ—отъ крайнихъ границъ пассатовъ до полюсовъ.

Въ слѣдующей таблицѣ указаны измѣненія границъ пассатовъ и штилей въ зависимости отъ измѣненія температуры и положенія земли къ солнцу, т. е. лѣтомъ и зимой.

Названіе.	Пассатъ СВ		Пассатъ ЮВ		Поясъ штилей.	
	Зима.	Лѣто.	Зима.	Лѣто.	Зима.	Лѣто.
Атлантическій океанъ . . .	26°N—3°N	35°N—11°N	0°—25°S	3°N—25,7°S	3°N—0°N	11°N—3°N
Тихій океанъ .	25°N—5°N	30°N—10°N	3°N—28°S	7°N—20°S	8°N—3°N	10°N—7°N

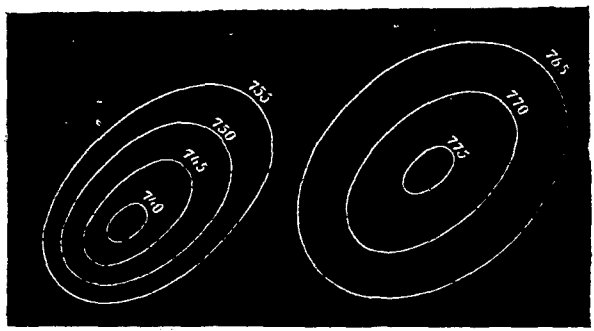
Если бы весь тропическій поясъ былъ покрытъ водою, то пояса штилей и пассатовъ представляли бы совершенно правильныя непрерывныя полосы, равномѣрно окружающія земной шаръ. Но благодаря неравномѣрному распредѣленію материковъ, которые лѣтомъ слишкомъ нагрѣваются, а зимой сильнѣе охлаждаются, измѣняется распредѣленіе давленія и нарушаются не только границы пассатовъ, но даже непрерывность ихъ.

Мусоны.—Нѣкоторыя материковыя страны, лежащія въ области пассатовъ, лѣтомъ сильно нагрѣваются; вслѣдствіе этого воздухъ надъ ними разрѣжается и давленіе значительно уменьшается; въ Аравіи, Персіи, Индіи и Восточной Азіи паденіе барометра лѣтомъ достигаетъ на 12,5 мм. и даже на 20 мм., по наблюденіямъ въ Пекинѣ; слѣдовательно область слабаго давленія мѣстами какъ бы перемѣщается отъ экватора къ сѣверу: въ эту область воздушные токи устремляются съ юга, т. е. изъ области высшаго давленія, и образуютъ вѣтры, противоположные пассатамъ и обыкновенно называемые монсунами или муссонами. Слѣдовательно они образуются такъ наз. обратимыми областями давленія т. е. такими, въ которыхъ полгода господствуетъ высокое давленіе, а полгода низкое. Направленіе ихъ, однако, различно въ зависимости отъ положенія области низкаго давленія. Индійскій океанъ къ сѣверу отъ экватора, Аравія, Персія и Остъ-Индія до Гималайя, съ мая по сентябрь, представляютъ классическую область ЮЗ муссоновъ, называемую индійскою или южно-азіатскою.

Въ Южномъ Китаѣ направленіе муссоновъ становится болѣе южнымъ, а въ Сѣверномъ Китаѣ—болѣе восточнымъ, вслѣдствіе перемѣщенія области низкаго давленія къ западу. Муссоны Восточной Азіи достигаютъ устья Амура; какъ бы на смѣну ему зимой на восточныхъ берегахъ Азіи

дуетъ сѣверо-западный муссонъ; онъ приноситъ сухой воздухъ изъ внутренности материка и обязанъ своимъ происхожденіемъ той азіатской области высокаго давленія, о которой упомянуто выше.

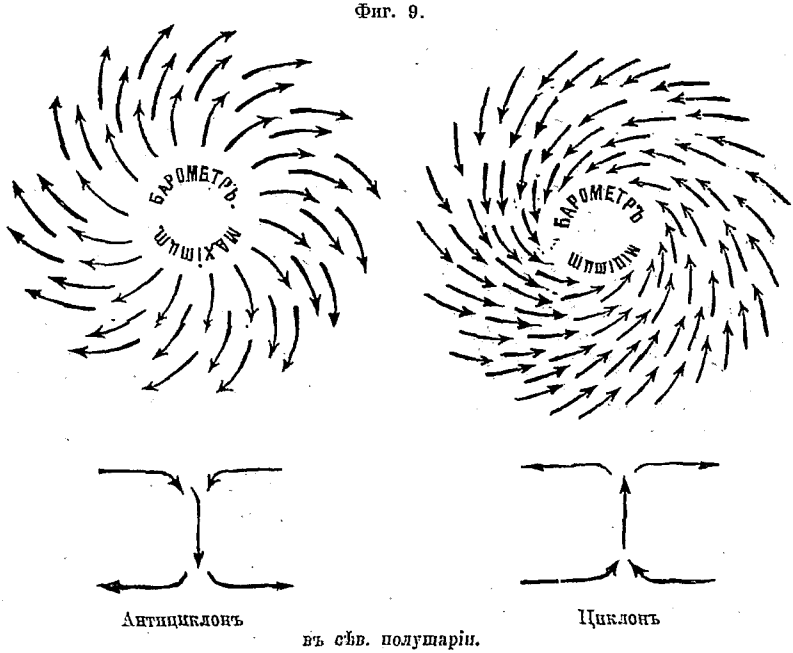
Подобнымъ же образомъ объясняется СВ и ЮЗ муссоны Гвинейскаго берега: лѣтомъ надъ раскаленной Сахарой образуется область низкаго давленія, а зимой въ С. Африкѣ находится область высокаго давленія. Также въ Австраліи сильный нагрѣвъ лѣтомъ (въ январѣ ю. полушарія) вызываетъ сѣверо-западный муссонъ на сѣверныхъ берегахъ; а зимой вѣтеръ мѣняетъ свое направленіе на юго-восточное.



Фиг. 8. — Форма циклоновъ и антициклоновъ.

Вѣтры среднихъ широтъ отличаются, въ противоположность тропическимъ, непостоянствомъ и сложностью; они представляютъ большой практическій интересъ, но до сихъ поръ система ихъ еще мало выяснена. Предполагаютъ существованіе въ верхнихъ слояхъ атмосферы (начиная

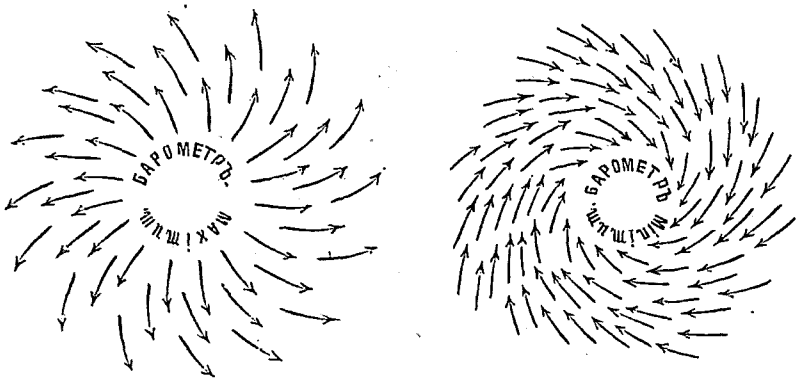
Фиг. 9.



приблизительно съ 3000 м.), постояннаго воздушнаго тока, имѣющаго въ нашемъ полушаріи ЗЮЗ направленіе и простирающагося за полярный кругъ. Повидимому онъ имѣетъ вліяніе на направленіе тѣхъ вѣтровыхъ системъ, которыя быстро передвигаются по земной поверхности,

обусловливаютъ собою перемѣны погоды и вѣтра въ нашихъ широтахъ и называются циклонами и антициклонами. Первыя изъ нихъ вызываются центрами низкаго давленія, а вторыя—центрами высокаго давленія, какъ уже объяснено выше. Разность минимальнаго давленія отъ 760 мм. называется глубиною циклона, а разность между 760 мм.

Фиг. 9а.



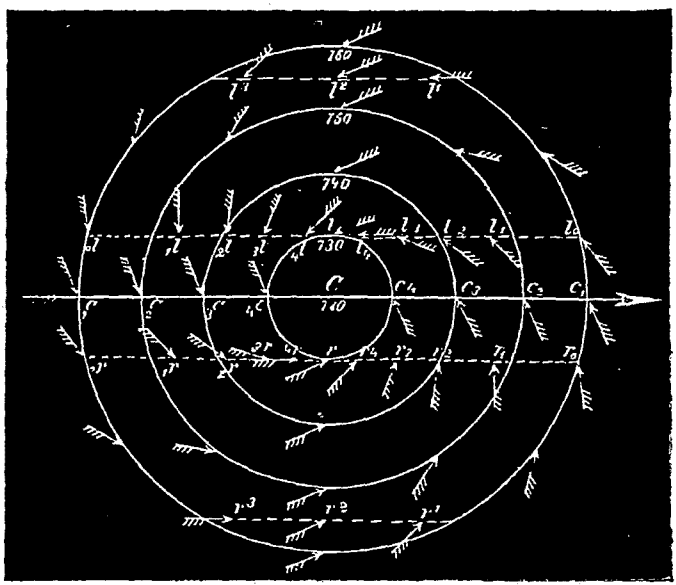
Антициклонъ Циклонъ
въ южн. полушаріи.

и максимальнымъ давленіемъ можно назвать высотою антициклона. Изобары, окружающія центры циклоновъ и антициклоновъ большею частью представляютъ видъ овалоовъ (фиг. 8). Циклоны и антициклоны представляютъ нѣчто въ родѣ вихрей, какъ указано выше, въ которыхъ движеніе воздуха для обоихъ полушарій схематически представлено на слѣдующихъ рисункахъ (фиг. 9—9а), изъ которыхъ видно, что въ сѣверномъ полушаріи отклоняющая сила земли направлена вправо отъ градіента, а потому воздухъ въ циклонахъ вращается противъ часовой стрѣлки или противъ солнца, а въ антициклонахъ согласно часовой стрѣлкѣ; въ южномъ полушаріи наоборотъ. Въ нижнихъ широтахъ и у экватора тѣ и другіе проявляются только въ области муссона и то весьма рѣдко.

Фиг. 10.—Распредѣленіе вѣтровъ и облачности въ циклонѣ:
——> нижніе вѣтры, ...> верхніе вѣтры.

Циклоны, какъ барическія котловины, до 200—300 килом. діаметромъ, втягиваютъ въ себя воздухъ изъ окружающихъ мѣстъ и еслибы этотъ воздухъ не имѣлъ исхода, то котловина быстро наполнилась бы и циклонъ прекратился; но въ дѣйствительности воздухъ близъ оси циклона поднимается вверхъ и образуетъ мощный вертикальный токъ, который достигаетъ наибольшей силы къ востоку отъ центра циклона. При поднятіи въ холодный поясъ атмосферы воздухъ этотъ выдѣляетъ изъ себя водяные пары въ видѣ обла-

ковъ и осадковъ, при чемъ освобождающаяся скрытая теплота способствуетъ поддержанію восходящаго тока. Достигнувъ высоты 3000 — 4000 м. восходящій воздухъ начинаетъ растекаться въ стороны, но такъ какъ онъ попадаетъ на этой высотѣ въ струю постояннаго западнаго вѣтра, то растеканіе происходитъ не симметрично во всѣ стороны, а преимущественно съ запада на востокъ, какъ видно на рисункѣ (фиг. 10). Циклоны передвигаются съ большою скоростью, до 300 и даже 1000 килом. въ сутки и всегда приносятъ теплую, пасмурную и дождливую погоду съ быстро измѣняющимися вѣтрами. Въ этомъ отношеніи они представляютъ совершенную противоположность медленно передвигающимся или даже неподвижнымъ антициклонамъ, сопровождающимся холодною, тихою и ясною погодою безъ осадковъ. Вслѣдствіе большого діаметра циклона, достигающаго иногда нѣсколькихъ сотъ верстъ, трудно замѣтить вихреобразное движеніе воздуха, а потому циклоны открыты только недавно благодаря развитію телеграфныхъ сообщеній.

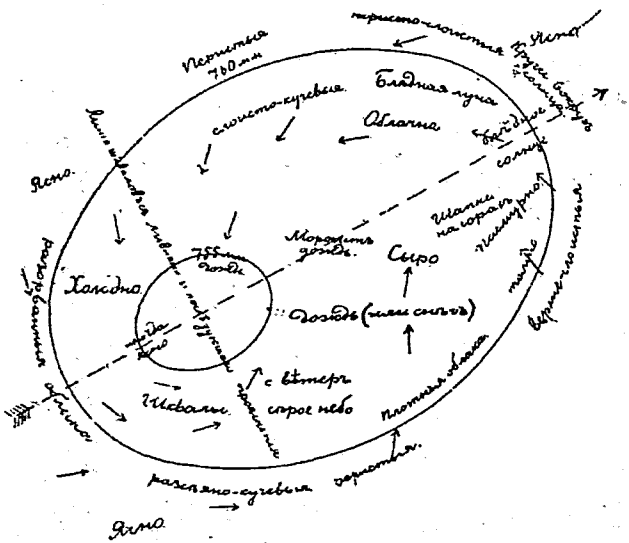


Фиг. 11. — Смѣна вѣтровъ при движеніи циклона.

Чтобы судить о состояніи атмосферы при прохожденіи циклона, разсмотримъ подробнѣе смѣну вѣтровъ и погоды согласно описанію проф. Лачинова [22]). При проходѣ циклона черезъ данное мѣсто, наблюдается постоянная смѣна вѣтровъ, происходящая двояко, смотря по тому, лежитъ ли мѣсто въ правой или въ лѣвой половинѣ циклона. Такъ напр. въ мѣстности Io (фиг. 11) первоначально дуетъ ЮВ, который по мѣрѣ прохожденія циклона, переходитъ въ В (l_4), СВ ($_4l$), С и наконецъ въ ССЗ ($_0l$), т. е. направленіе вѣтра измѣняется обратно движенію часовой стрѣлки. Напротивъ въ мѣстности r_0 (фиг. 11), лежащей въ правой (южной) половинѣ циклона—ЮВ вѣтеръ смѣняется Ю, ЮЗ (r_4), З. ($_4r$) и наконецъ СЗ ($_0r$), т. е. въ сторону движенія часовой стрѣлки. Если данное мѣсто лежитъ на пути центра циклона, то направленіе вѣтра остается постояннымъ до момента прохожденія центра, когда наступаетъ полное затишье; но лишь только центръ прошелъ, то вѣтеръ начинаетъ дуть съ противоположной стороны (см. c_4 и $_4c$ на фиг. 11); отсюда понятна разница въ смѣнѣ вѣтровъ напр. въ Европѣ и въ Гренландіи со Шпицбергеномъ при прохожденіи одного и того же циклона. Что касается качества вѣтровъ, то въ передней сторонѣ преобладаютъ теплые и влажные вѣтры; приносимый ими нагрѣтый воздухъ съ юга притекаетъ къ центральной части циклона съ передней (восточной) стороны и поднимается вверхъ; осаждая пары получаетъ еще бо́льшую возможность къ поднятію. Къ задней сторонѣ циклона притекаютъ вѣтры съ сѣвера—холодные и сухіе, приносящіе воздухъ съ большимъ давленіемъ, который и будетъ замѣщать разрѣженіе, образовавшееся отъ поднятія теплаго воздуха. Эти противоположныя качества вѣтровъ, по мнѣнію нѣкоторыхъ метеорологовъ, значительно способствуютъ передвиженію циклона съ запада на востокъ или вѣрнѣе—по направленію мгновенныхъ изобаръ, которыя идутъ болѣе или менѣе на востокъ. Дѣйствительно, поднимающійся съ передней (восточной) стороны цик-

лона теплый воздухъ содѣйствуетъ перемѣщенію низкаго давленія въ эту сторону, между тѣмъ какъ притекающій съ задней стороны холодный воздухъ, такъ сказать разливается по землѣ и оттѣсняетъ центръ циклона къ востоку. Впрочемъ другіе полагаютъ, что восточное направленіе циклоновъ обусловливается тѣмъ, что вершина ихъ вдается въ постоянный верхній потокъ воздуха, который и увлекаетъ за собой весь циклонъ; третьи полагаютъ, что направленіе движенія циклоновъ опредѣляется равнодѣйствующею всѣхъ вѣтровъ циклона.

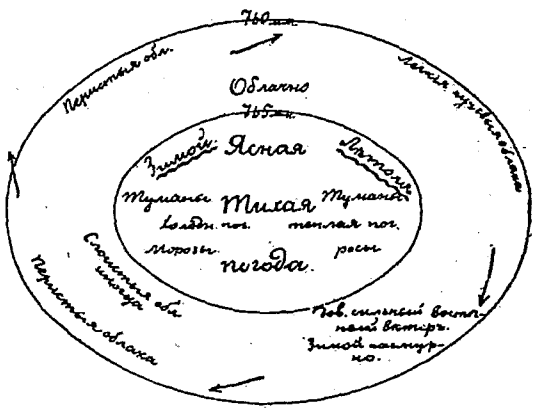
Разныя качества вѣтровъ циклона опредѣляютъ собою и погоду. Влажные, восходящіе токи въ передней сторонѣ циклона вызываютъ здѣсь облачность и осадки, а на задней сторонѣ ясную и сухую, а зимой, холодную погоду. Пасмурность возрастаетъ, начиная отъ головы циклона къ его центру (см. фиг. 12). Въ авангардѣ циклона идутъ перистыя и перисто-слоистыя облака (cirro-stratus), нерѣдко обусловливающія появленіе большихъ круговъ около солнца и луны; далѣе слѣдуютъ верхне-слоистыя облака (alto-stratus), сквозь которыя просвѣчиваетъ тусклое красное солнце, иногда окруженное ореоломъ; затѣмъ облака сгущаются и начинаетъ моросить дождь, постепенно усиливающійся. Линія, проведенная черезъ центръ циклона, перпендикулярно къ направленію движенія его, дѣлитъ весь циклонъ на переднюю и заднюю части, весьма различныя по ихъ свойствамъ; линію эту называютъ поперечиной циклона — (желобъ, Rinne). По направленію поперечины дуютъ сильные порывистые вѣтры съ ливнями, но за нею вѣтеръ стихаетъ, барометръ начинаетъ быстро повышаться и погода проясняется. Такимъ образомъ при надвиганіи циклона вмѣстѣ съ юго-восточнымъ вѣтромъ появляются перистыя облака. По мѣрѣ надвиганія циклона, вѣтеръ, постепенно крѣпчая, измѣняетъ свое направленіе по солнцу, т. е. переходитъ въ южный и юго-западный, достигая часто силы бури. Въ тоже время температура повышается, влажность увеличивается, воздухъ лѣтомъ становится душенъ (паритъ), пелена облаковъ густѣетъ и подъ нею появляются дождевыя тучи. Въ это же время нервные и больные люди впадаютъ въ меланхолію и чувствуютъ различныя недомоганія. Между тѣмъ начинаетъ выпадать мелкій затяжной дождь или снѣгъ, оканчивающійся только послѣ прохожденія черезъ данный пунктъ поперечины циклона. Послѣ этого момента характеръ погоды быстро улучшается: барометръ поднимается, вѣтеръ переходитъ въ З, а затѣмъ въ СЗ и С съ сухимъ и холоднымъ воздухомъ. Ясное небо, хотя еще временами покрывается кучевыми облаками съ дождемъ (или снѣгомъ), но вскорѣ совсѣмъ очищается отъ нихъ; вообще прояснѣніе идетъ значительно быстрѣе, чѣмъ наступленіе пасмурной погоды. Если циклонъ проходитъ данный пунктъ лѣвою (сѣверною) стороною, то измѣненіе вѣтровъ обратное и вообще перемѣны не такъ рѣзки. Несмотря на неодинаковость температуръ въ разныхъ частяхъ циклона, все-таки можно отмѣтить, что лѣтомъ циклоны понижаютъ температуру, а зимою повышаютъ ее. Обыкновенно вышеописанныя смѣны циклонической погоды продолжаются два—три дня, но иногда и больше, смотря по размѣрамъ и скорости движенія циклона.



Фиг. 12.—Распредѣленіе погоды въ циклонѣ.

Антициклоны характеризуются замкнутыми изобарами съ maximum давленія въ срединѣ, гдѣ господствуетъ затишье или дуютъ слабые, неопредѣленнаго направленія, случайные вѣтры. По краямъ же вѣтры пріобрѣтаютъ большую скорость и растекаются отъ центра во всѣ стороны, отклоняясь нѣсколько вправо отъ градіентовъ и образуя родъ кольце-

образнаго вихря, вращающагося по стрѣлкѣ часовъ въ сѣв. полушаріи. Уносимый этими вѣтрами воздухъ пополняется широкимъ нисходящимъ потокомъ, образующимся надъ среднею частью антициклона и только частью доходящимъ до поверхности земли. При опусканіи, воздухъ, какъ извѣстно, нагрѣвается и становится суше, а потому въ области антициклона постоянно господствуетъ ясная погода, такъ наз. радіаціонная или лучистая, характеризующаяся большими суточными амплитудами, сильными жарами лѣтомъ и морозами зимой (см. фиг. 13). Вслѣдствіе усиленнаго лучеиспусканія въ области антициклона весьма часто наблюдаются по утрамъ и вечерамъ туманы, особенно густые въ долинахъ и низменностяхъ, а ночью—сильныя росы. Появляющіяся облака, обыкновенно разрозненныя, принадлежатъ къ слоистымъ и отчасти къ кучевымъ формамъ. Вообще въ антициклонахъ равновѣсіе воздуха—устойчивое. Многіе полагаютъ, что антициклонъ является слѣдствіемъ стока воздуха, поднявшагося въ сосѣднемъ циклонѣ, но повидимому антициклоны могутъ образоваться самостоятельно.



Фиг. 13. — Распредѣленіе погоды въ антициклонѣ.

Размѣры антициклоновъ гораздо больше циклоновъ; діаметръ ихъ бываетъ до 2000—3000 верстъ, при чемъ они иногда по недѣлямъ и даже по мѣсяцамъ остаются неподвижными; если же перемѣщаются, то чаще всего на востокъ-юго-востокъ. Наибольшіе морозы зимой приходятся на восточной сторонѣ антициклоновъ. Антициклоны южнаго полушарія почти совсѣмъ неизслѣдованы.

Для выясненія процесса образованія циклоновъ и антициклоновъ пользуются даже опытами, напр. см. интересные и поучительные опыты В. Л. Розенберга [23]).

Взаимное расположеніе циклоновъ и антициклоновъ служитъ главнымъ основаніемъ для предсказанія вѣроятныхъ измѣненій погоды. Зная направленіе циклона можно, съ нѣкоторою вѣроятностью, предвидѣть измѣненіе метеорологическихъ элементовъ въ областяхъ, лежащихъ на его пути. Наблюденія показываютъ, что циклоны вступаютъ въ Европу изъ Атлантическаго океана и затѣмъ двигаются по нѣкоторымъ проторенным дорогамъ, которыя измѣняются въ зависимости отъ временъ года. Изслѣдованіе этихъ дорогъ и тѣхъ условій, при которыхъ циклоны выбираютъ ту или другую изъ нихъ, представляетъ громадный интересъ, такъ какъ на немъ зиждется все ученіе о предсказаніи погоды, которое съ каждымъ годомъ развивается все болѣе и болѣе; оно имѣетъ важное практическое значеніе для мореплаванія, сельскаго хозяйства и пр. Въ настоящее время, какъ у насъ, такъ особенно въ Сѣверной Америкѣ, предсказываютъ погоду за сутки съ вѣроятностью до 84% и даже болѣе, особенно въ зимнее время [24]). Но важно не только самое предсказаніе, а организація передачи предсказаній, что составляетъ немен̀ше трудную задачу, особенно у насъ въ Россіи, хотя въ С. Америкѣ она блистательно разрѣшена [25]).

Изслѣдованіе циклоновъ и антициклоновъ съ очевидностью доказало зависимость вѣтровъ отъ давленія, а потому разсмотрѣніе карты изобаръ

(карта № II) крайнихъ временъ года приводитъ къ показанію распредѣленія вѣтровъ въ высшихъ и среднихъ широтахъ въ соотвѣтствующіе мѣсяцы. Зимою барометрическій minimum—740 мм. находится къ югозападу отъ Исландіи и къ сѣверу отъ области высокаго давленія Атлантическаго океана; слѣдовательно господствующіе вѣтры, дующіе зимой съ моря въ правую сторону отъ minimum'а, т.-е. на Европу, будутъ южные и западные, значитъ теплые и влажные; вліяніе ихъ замѣтно даже въ Западной Сибири, до Енисея; тогда какъ страны, лежащія налѣво отъ барометрическаго minimum'а, какъ сѣверная часть Соединенныхъ Штатовъ, Канада, Лабрадоръ и Гренландія, будутъ находиться подъ вліяніемъ холодныхъ и сухихъ С и СЗ вѣтровъ. Совершенно то же можно сказать о вліяніи другого minimum'а, лежащаго въ Тихомъ океанѣ. Отсюда понятна разница въ климатѣ западныхъ и восточныхъ береговъ Америки и Европы-Азіи.

Слѣдующая таблица подтверждаетъ сказанное; въ ней показаны главные зимніе вѣтры въ процентахъ для внѣтропической полосы сѣвернаго полушарія.

	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Западъ Европы	6	8	9	11	13	**25**	19	11
Востокъ Азіи	12	7	6	4	4	9	24	**34**
Вост. Сѣвер. Америки . . .	12	11	6	7	9	15	15	**35**

Слѣдовательно на западныхъ берегахъ преобладаютъ ЮВ и ЮЗ вѣтры, а на восточныхъ—СВ и СЗ.

Вліяніе вѣтровъ на температуру видно изъ слѣдующей таблички, въ которой показаны въ градусахъ Ц.° возвышеніе (+) и пониженіе (—) температуры противъ нормальной для каждаго вѣтра.

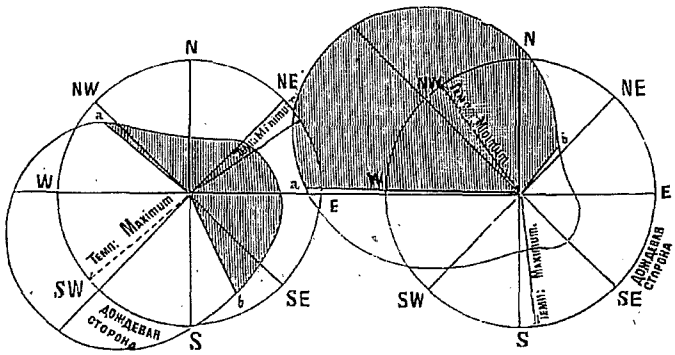
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Средняя Европа	—3,0	—3,9	—3,2	+1,3	+1,3	+3,1	+2,4	—0,4
Вост. Азія и Америка . . .	—2,4	+0,6	+3,6	+5,3	+5,8	+4,2	+0,6	—2,5

Отсюда понятно, что Неаполь (7,8°) теплѣе Нью-Іорка (—1°) почти на 9°, хотя широта ихъ почти одинакова; тоже Владивостокъ холоднѣе Флоренціи на 15°, и т. д.

На фиг. 14 наглядно показаны преобладающіе вѣтры и ихъ вліяніе на температуру зимой на восточныхъ и западныхъ берегахъ. Длина радіусовъ на чертежѣ сдѣлана пропорціонально преобладанію вѣтра, а заштрихованная часть означаетъ площадь вѣтровъ, понижающихъ температуру; какъ видно на чертежѣ эта площадь для восточныхъ береговъ гораздо больше, чѣмъ для западныхъ; на тѣхъ же фигурахъ видно направленіе самаго теплаго и самаго холоднаго вѣтра и страны дождей.

Въ іюнѣ и вообще лѣтомъ барометрическій minimum перемѣщается, а потому и характеръ вѣтровъ измѣняется. Въ Восточной Азіи и Соединенныхъ Штатахъ господствуютъ ЮЗ, Ю и ЮВ вѣтры (послѣдніе въ Техасѣ), потому что барометрическій minimum лежитъ налѣво отъ нихъ; слѣдовательно лѣтомъ преобладаютъ холодные и влажные морскіе вѣтры въ тѣхъ самыхъ странахъ, гдѣ зимой господствуютъ сухіе и холодные материковые вѣтры; стало быть, континентальный климатъ зимой смѣняется лѣтомъ морскимъ климатомъ. Поэтому, согласно съ Дове, климатъ восточныхъ окраинъ материковъ можно назвать смѣшаннымъ. Такая смѣна вѣтровъ

противоположнаго направленія и свойствъ имѣетъ, по словамъ Ганна, большую аналогію съ муссонами Южной Азіи; климатъ этотъ простирается до 60° с. ш. Тоже на востокѣ Соединенныхъ Штатовъ, но тамъ муссонный характеръ выраженъ менѣе отчетливо. Вѣтры западныхъ береговъ претерпѣваютъ сравнительно меньше измѣне



Фиг. 14. — Преобладающіе вѣтры и температура зимой (заштрихованныя части соотвѣтствуютъ холоднымъ вѣтрамъ).

ній; только въ Европѣ, особенно въ Россіи и Западной Сибири, преобладаютъ СЗ вѣтры вмѣсто ЮЗ.

Слѣдующія таблички, аналогичныя предыдущимъ, показываютъ въ процентахъ преобладающіе вѣтры лѣтомъ и термическое вліяніе розы вѣтровъ.

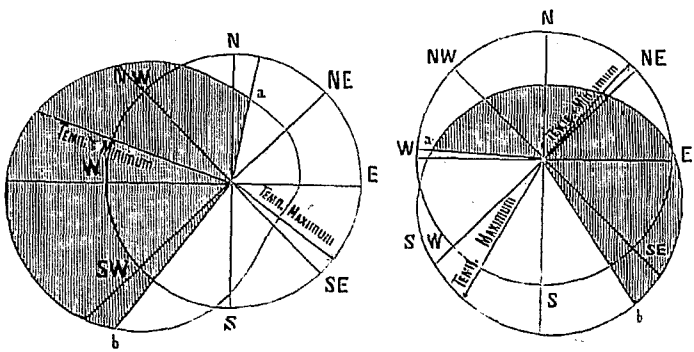
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Западъ Европы	9	8	7	7	10	**22**	21	17
Востокъ Азіи	7	9	17	**22**	16	10	9	10
Востокъ Сѣверной Америки .	8	9	7	10	17	**23**	12	14

	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Средняя Европа	—0,1	+0,9	+1,7	+2,2	+1,7	+0,2	—1,0	—1,0
Вост. Азія и Америка . . .	—1,8	—1,9	—1,6	—0,4	+1,0	+1,2	+0,1	—1,2

На фиг. 15 также точно наглядно изображены отношенія вѣтровъ на западныхъ и восточныхъ берегахъ лѣтомъ, какъ на фиг. 14 для зимы. Зупанъ [26]) выдѣляетъ три области вѣтровъ: 1) область постоянныхъ пассатовъ; 2) область перемѣнныхъ циклоновъ и антициклоновъ, и 3) область съ зимними циклонами и лѣтними антициклонами.

Таково, въ общихъ чертахъ, распредѣленіе вѣтровъ на сѣверномъ полушаріи. Что касается южнаго полушарія за 40° ю. ш., то тамъ, благодаря почти полному отсутствію материковъ, далеко нѣтъ такой сложности въ направленіи вѣтровъ; напротивъ тамъ, повидимому, на обширной поверхности моря преобладаютъ почти исключительно западные вѣтры, представляющіе продолженіе антипассатовъ и сопровождающіеся весьма низкимъ давленіемъ, которое подъ 60° ю. ш. = 746 мм., а подъ 70° ю. ш. = 734 мм.

Мѣстные вѣтры. Кромѣ главныхъ областей распредѣленія вѣтровъ, существуютъ еще, такъ сказать, мѣстные вѣтры, обусловливаемые частными причинами, не имѣющими большого географическаго распространенія. Одни изъ этихъ вѣтровъ имѣютъ нѣкоторую связь съ общимъ распредѣ-



Фиг. 15. — Преобладающіе вѣтры и температура лѣтомъ.

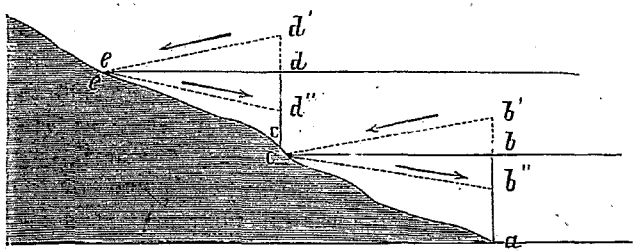
леніемъ давленія, но пріобрѣтаютъ мѣстный оттѣнокъ при нѣкоторыхъ особыхъ обстоятельствахъ, тогда какъ другіе совершенно самостоятельны. Мѣстные вѣтры имѣютъ важное геологическое значеніе, въ особенности въ образованіи дюнъ, въ накопленіи постоянныхъ снѣговъ и ледниковъ на горахъ и пр., а потому необходимо хотя бы вкратцѣ разсмотрѣть происхожденіе ихъ. Между ними различаютъ: 1) бризы или береговые вѣтры; 2) вѣтры горныхъ долинъ и склоновъ; 3) фёны и 4) вѣтры пустынь.

Бризы или береговые вѣтры. Они наблюдаются на берегахъ водныхъ бассейновъ, но наибольшей силы достигаютъ на берегахъ морей. Происхожденіе ихъ обусловливается неравномѣрнымъ нагрѣвомъ суши и воды. Въ полдень, когда суша сильно нагрѣвается, надъ нею образуется восходящій столбъ воздуха гораздо выше, нежели надъ моремъ; вслѣдствіе этого давленіе въ нижнихъ слояхъ воздуха надъ сушею уменьшается, и, для возстановленія равновѣсія воздухъ притекаетъ съ моря, тогда какъ въ верхнихъ слояхъ образуется обратный токъ съ суши; ночью, когда суша охлаждается больше моря, токи перемѣщаются; слѣдовательно днемъ вѣтеръ въ нижнихъ слояхъ дуетъ съ моря на материкъ, а ночью обратно—съ материка на море. Морскіе вѣтры, какъ претерпѣвающіе меньшее треніе о поверхность воды, отличаются гораздо большею силою, нежели материковые, ослабляющіеся сильнымъ треніемъ о неровную поверхность земли. Высота, до которой простирается нижній береговой вѣтеръ, различна: съ моря до 200 м., а съ материка до 350 м. По берегамъ Каспія такъ наз. моряны, т. е. морскіе вѣтры заходятъ на 150 вер. внутрь материка [27]).

Горные и долинные вѣтры. На горахъ и долинахъ образуется повсюду суточный муссонъ, но особенно часто проявляется онъ въ Тибетѣ и Тянь-шанѣ. Днемъ воздухъ въ долинахъ и на склонахъ горъ нагрѣвается, и воздушный столбъ *ab* и *cd* (фиг. 16) расширяется до b^1 и d^1 и образуется градіентъ отъ свободной атмосферы къ склону, какъ показываетъ

стрѣлка. Верхній восходящій токъ замѣщается нижнимъ, приходящимъ отъ прилегающей низменности; слѣдовательно днемъ вѣтеръ дуетъ вверхъ по долинѣ. Ночью воздушный столбъ *ab* и *cd* понижается до *b''* и *d''*, образуется обратный градіентъ, и вѣтеръ дуетъ внизъ по долинѣ и склону. На горахъ съ постояннымъ снѣгомъ и ледниками, дѣйствующими охлаждающе даже и днемъ, образуется вѣтеръ внизъ по долинѣ, напр. невадосы въ Квито. При крутыхъ или вертикальныхъ склонахъ, вѣтеръ, ударяясь о нихъ, отражается и образуетъ вертикальный токъ.

Вліяніе мѣстныхъ условій на вѣтры. Оба рода разсмотрѣнныхъ вѣтровъ имѣютъ чисто мѣстный характеръ; но, кромѣ того, существуютъ нѣкоторые вѣтры, хотя зависящіе отъ общаго распредѣленія давленія, но получающіе только мѣстный оттѣнокъ, благодаря особымъ климатическимъ или орографическимъ условіямъ; напр., зимній СЗ въ меридіональной долинѣ Чемплэнъ-Гудзонъ, въ штатѣ Нью-Іоркъ, превращается въ С, а лѣтній ЮЗ—въ Ю. Грандіозный примѣръ такого рода превращеній представляетъ Индостанъ, гдѣ зимній муссонъ дуетъ внизъ по долинамъ, а лѣтній — вверхъ. Но, кромѣ направленія, мѣстныя условія измѣняютъ силу вѣтра, особенно при рѣзкой разницѣ температуры зимой на морѣ и сосѣднихъ горахъ, или еще болѣе лѣтомъ, между охлажденными горами и нагрѣтой береговой полосой; къ такому роду вѣтровъ принадлежатъ, напр., С или СЗ вѣтры, имѣющіе характеръ бурь и называемые мистраль; они свойственны береговой полосѣ отъ устья Эбро до Генуэзскаго залива, но особенно зимой—въ Провансѣ и Лангедокѣ, гдѣ сталкиваются Севенны и Альпы и гдѣ онъ появляется всякій разъ, когда барометрическій minimum находится въ южномъ или юго-восточномъ Провансѣ, а maximum въ средней и юго-западной Франціи. Сюда же принадлежатъ В и СВ вѣтры горныхъ береговъ Тріеста, Далмаціи и Албаніи, называемые бора. Такіе же бора находятся на СВ берегахъ Чернаго моря — у Новороссійска, а по указанію Миддендорфа — также на берегахъ Охотскаго моря. Всѣ эти вѣтры отличаются сухостью, холодомъ и достигая силы бурь, производятъ большія опустошенія, напр. декабрьскіе вѣтры 1899 г. въ Новороссійскѣ и др. портахъ Чернаго моря.



Фиг. 16.

Фёны. Вѣтры, называемые фёнами, напротивъ, отличаются теплотою и сухостью. Они зависятъ исключительно отъ орографическихъ условій и образуются только при переходѣ вѣтровъ черезъ горные кряжи. Сначала они замѣчались только въ сѣверныхъ Альпахъ, гдѣ отъ Безансона на Юрѣ до Форарльберга и даже долины Зальцбурга и Зальцкаммергута ЮЗ и ЮВ вѣтры нерѣдко появлялись зимой и весной, производя быстрое таяніе снѣга и опасныя наводненія, почему ихъ назвали фёнами, т.-е. «снѣгоѣдами». Происхожденіе фёновъ объяснено Ганномъ: поло-

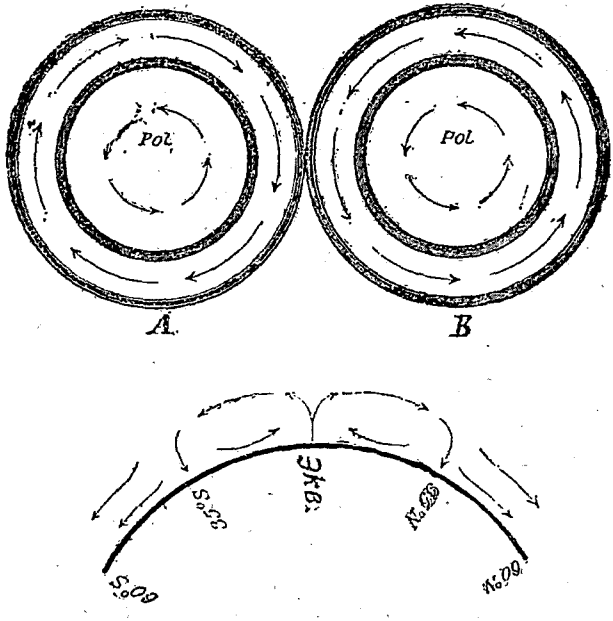
жимъ, что влажный воздухъ съ температурою + 10° Ц. поднимается на хребетъ 6000 м. высотою; онъ охлаждается сравнительно медленно, потому что конденсація паровъ поддерживаетъ его высокую температуру; на хребтѣ въ 6000 м. вмѣсто—20° онъ будетъ имѣть только—7° Ц. При опусканіи по противоположному склону хребта онъ, оставивъ всѣ осадки, нагрѣвается быстрѣе и, дойдя до той же высоты, на которой онъ имѣлъ + 10°, онъ нагрѣвается до температуры + 22° Ц. Отсюда ясно, что фёны при поднятіи на хребетъ оставляютъ много влаги, осадковъ, тогда какъ при опусканіи становятся осушителями.

Въ настоящее время доказано большое распространеніе фёновъ: къ нимъ принадлежатъ извѣстные сирокко въ Алжирѣ и на сѣверномъ склонѣ Пиренеевъ, ЮЗ вѣтеръ Модены, ЮВ въ Симферополѣ въ Крыму, ЮЗ въ Трапезунтѣ, В и СВ въ Кутаисѣ, въ Скалистыхъ горахъ, на Западномъ берегу Гренландіи, гдѣ въ Якобсгавнѣ среднее число дней съ фёнами—16,1; ЮЗ въ Ниже-Колымскѣ. Воейковъ объясняетъ фёнами нѣкоторыя климатическія особенности зимы восточной Азіи; такъ, въ мѣстахъ, не закрытыхъ съ материка горами, преобладаютъ холодный СЗ, дующій изъ полюса холода къ берегамъ и понижаетъ среднюю температуру зимы, тогда какъ, въ присутствіи горъ, тотъ же вѣтеръ, переходя горы, нагрѣвается и возвышаетъ температуру; этимъ объясняется, что въ Аянѣ средняя температура января на 2,8° Ц. выше, нежели въ Николаевскѣ; въ Пекинѣ—на 4,8° январь теплѣе, чѣмъ въ Ніучвангѣ.

Вѣтры пустынь. По сухости и теплотѣ вѣтры пустыня имѣютъ сходство съ фёнами, а потому и фёны долгое время считались за вѣтры пустынь. Но эти послѣдніе сохраняютъ свой характеръ только при извѣстныхъ условіяхъ, и тотчасъ же теряютъ ихъ, какъ только переходятъ въ другія мѣста. Таковы: хамсинъ, посылаемый Сахарою въ Египетъ, гарматтанъ Верхней Гвинеи, лесте — Мадеры и Канарскихъ острововъ, лавехе—восточныхъ береговъ Испаніи—отъ мыса Гота до мыса Нао, сирокко—Сициліи (нельзя смѣшивать съ влажно-теплымъ сирокко Италіи), самумъ — въ Сѣверной и Средней Аравіи, гармъ-салъ — Ферганы, теббадъ—Кызылъ-кумовъ. Но нигдѣ эти вѣтры не достигаютъ такой высокой температуры и сухости, какъ во внутренней Австраліи, гдѣ температура ихъ нерѣдко бываетъ 43° и 55° Ц. въ тѣни; такіе вѣтры уничтожаютъ иногда посѣвы пшеницы, фрукты на деревьяхъ, которые подъ вліяніемъ ихъ буквально бываютъ испеченными, какъ наблюдалъ Неймайеръ.

Общая циркуляція атмосферы. Еще въ 1856 г. извѣстнымъ американскимъ метеорологомъ Ферреломъ [28]) была предложена теорія круговорота атмосферы, которая несмотря на свою простоту довольно удачно объясняетъ всю сложную и измѣнчивую картину вѣтровъ. По этой теоріи атмосфера каждаго полушарія представляетъ собою ничто иное, какъ громадныхъ размѣровъ циклонъ, центръ котораго на полюсѣ, а периферія у экватора. Въ обоихъ циклонахъ болѣе быстрое движеніе происходитъ вверху, гдѣ оно свободнѣе. Слой воздуха у земли (до высоты около 500 м.), почти не принимаетъ участія въ этомъ движеніи; онъ какъ бы прижатъ къ землѣ и находится подъ непосредственнымъ вліяніемъ неравномѣрнаго распредѣленія температуры по земной поверхности вообще

и по параллелямъ въ частности, поэтому въ немъ являются минимумы и максимумы съ ихъ вихреобразными теченіями; такъ, подъ экваторомъ по обѣ стороны пояса штилей, обусловленнаго восходящимъ токомъ, имѣются два пояса пассатовъ. Эти вѣтры, дующіе съ СВ и СЗ уподобляются двумъ широкимъ кольцевымъ вихрямъ, вращающимся съ востока на западъ (антициклонально). За предѣлами пассатовъ находятся двѣ узкія затропическія полосы штиля, соотвѣтствующія поясамъ максимальнаго давленія, откуда начинаются широкія области ЗЮЗ вѣтра въ С. полушаріи и ЗСЗ вѣтра въ Ю. полушаріи; съ приближеніемъ къ высшимъ широтамъ они превращаются въ западные вѣтры, вслѣдствіе отклоняющаго вліянія земли; въ чистомъ видѣ западные вѣтры наблюдаются только въ южномъ полушаріи, гдѣ водная поверхность отличается однообразіемъ; въ сѣверномъ же полушаріи область западныхъ вѣтровъ отличается меньшею правильностью и оканчивается подъ 65° с. ш. Совокупность западныхъ вѣтровъ образуетъ въ умѣренныхъ и холодныхъ странахъ два полярныхъ вѣтра вращающихся съ запада на востокъ т. е. обратно экваторіальнымъ, значитъ циклонально.



Фиг. 17.—Схематическое изображеніе общей циркуляціи воздуха. А—циркуляція въ нижнемъ слоѣ атмосферы; В—циркуляція въ верхнемъ слоѣ атмосферы.

Въ верхнихъ же горизонтахъ условія проще и давленіе непрерывно убываетъ отъ экватора къ полюсамъ, а потому вверху воздухъ направляется къ полюсамъ безъ перерыва и только отклоняется вслѣдствіе вращенія земли, т.-е. даетъ ЗЮЗ вѣтры въ сѣв. полушаріи и ЗСЗ вѣтры въ южномъ полушаріи. Скорость этихъ вѣтровъ на высотѣ 15 кил. достигаетъ 80 м. въ секунду, какъ показываютъ наблюденія надъ высокими перистыми облаками.

Казалось бы, что при постоянныхъ теченіяхъ, направленныхъ къ полюсамъ, воздухъ долженъ скопиться у полюсовъ и прекратить дальнѣйшую циркуляцію, а между тѣмъ онъ отличается большою разрѣженностью на всѣхъ высотахъ у полюсовъ. Это обстоятельство Феррель объясняетъ существованіемъ обратнаго стока, происходящаго въ нѣкоторомъ среднемъ слоѣ атмосферы, верхняя граница котораго постепенно повышается по направленію къ экватору, а нижняя опускается. Въ этомъ слоѣ вѣтеръ имѣетъ сначала ЗСЗ направленіе (въ сѣв. полушаріи), затѣмъ переходитъ въ С и наконецъ въ СВ подъ тропиками,

т.-е. въ СВ пассатъ, а въ южномъ полушаріи въ ЮВ пассатъ. Эти основныя или главныя воздушныя теченія схематически представлены на слѣдующемъ рисункѣ (фиг. 17), гдѣ вверху изображено одно полушаріе въ полярной проэкціи съ двумя противоположными круговоротами въ нижнихъ слояхъ и съ двумя одинаковыми въ верхнихъ слояхъ, а зачерненныя полосы соотвѣтствуютъ поясамъ тишины съ вертикальными токами. Взаимное отношеніе различныхъ направленій движенія воздуха представлено ниже на разрѣзѣ черезъ атмосферу между 60° с. ш. и 60° ю. ш. Эти главные токи называются вихрями I-го порядка. Само собою разумѣется, что, если бы земля была одинаково нагрѣта, то ихъ не было бы, а съ другой стороны они были бы меридіональны, если бы земля была неподвижна. Кромѣ того, еслибы поверхность земли была совершенно однородна, то кромѣ указанныхъ вихревыхъ движеній не было бы никакихъ другихъ, а между тѣмъ наблюдаются еще вихри II-го порядка съ вертикальными осями вращенія, обусловленные восходящими и нисходящими токами; это—вышеприведенные циклоны и антициклоны. Зарожденіе ихъ исключительно зависитъ отъ неравномѣрнаго распредѣленія суши и воды, орографическихъ и почвенныхъ условій, растительности и пр. Эти вихри II-го порядка имѣютъ значительно меньшую высоту и меньшіе размѣры сравнительно съ вихрями I-го порядка. Внутри циклоновъ могутъ образоваться вихри III-го порядка, такъ наз. частныя депрессіи или эпициклоны, еще меньшихъ размѣровъ; а въ этихъ послѣднихъ—вихри IV-го порядка, которые отличаются иногда большою силою и образуютъ водяные (смерчи) и пыльные столбы (пыльные вихри).

Между всѣми родами вихревыхъ движеній съ вертикальными осями существуетъ множество промежуточныхъ или переходныхъ формъ, сглаживающихъ рѣзкіе скачки между различными формами вихрей.

Сопоставляя все извѣстное о вихревыхъ движеніяхъ въ атмосферѣ, проф. Броуновъ [29]) приходитъ къ нѣсколькимъ опредѣленнымъ выводамъ, изъ которыхъ приведемъ только нѣкоторые, резюмирующіе сущность атмосферной циркуляціи:

1. Наша атмосфера представляетъ собою два огромныхъ вихря I порядка съ вертикальными осями на полюсахъ; въ этихъ вихряхъ воздушныя частицы, въ общемъ, несутся отъ запада къ востоку.

2. Экваторіальныя границы этихъ вихрей отстоятъ всего дальше отъ экватора—вблизи земной поверхности; чѣмъ выше, тѣмъ границы ихъ все болѣе сходятся, приближаясь къ экватору, и на нѣкоторой высотѣ (около 4000 м.) сливаются совершенно.

3. Промежуточная область между двумя вихрями I порядка представляетъ собою два вихря съ горизонтальными осями, изъ которыхъ одинъ находится къ сѣверу, другой—къ югу отъ экватора. Пассаты и антипассаты суть части этихъ вихревыхъ движеній.

4. Вихри I порядка, вмѣстѣ съ экваторіальными вихрями съ горизонтальными осями, представляютъ собою круговоротъ атмосферы, охватывающій всю ее, за исключеніемъ самаго нижняго слоя.

5. Самый нижній, тонкій слой атмосферы въ общемъ движеніи участія не принимаетъ. Съ увеличеніемъ высоты скорость воздушныхъ теченій увеличивается.

6. Въ вихряхъ I порядка отклоненіе вѣтра отъ направленія градіента возрастаетъ съ увеличеніемъ высоты и географической широты. Въ нашихъ широтахъ, на высотѣ 2—4 килом., оно около 90°, т. е. вѣтры направлены отъ запада къ востоку.

7. Скорость движенія воздуха въ вихряхъ I порядка больше скорости движенія воздуха въ вихряхъ съ горизонтальными осями, находящимися вблизи экватора, предполагая при этомъ одинаковыя высоты надъ земною поверхностью.

8. Въ вихряхъ I порядка возникаютъ, вслѣдствіе неравномѣрнаго распредѣленія температуры и влажности по горизонтальному направленію, вихри II порядка—

обыкновенные циклоны (или антициклоны) умѣренныхъ широтъ. Болѣе высокія части ихъ непосредственно уносятся воздушными потоками вихрей I разряда; внизъ же, въ неподвижный слой передается разрѣженіе (или сгущеніе), которое въ немъ постоянно приводитъ въ движеніе все новыя и новыя массы воздуха.

9. На поступательное движеніе вихрей II порядка оказываетъ не малое вліяніе распредѣленіе температуры и влажности по горизонтальному направленію.

10. Скорость движенія вихрей II порядка зависитъ, повидимому, отъ скорости движенія болѣе высокихъ слоевъ вихрей I порядка, а также отъ высоты вихрей II порядка.

11. Среди вихрей съ горизонтальными осями, находящихся вблизи экватора, возникаютъ ураганы; они уносятся потоками болѣе высокихъ слоевъ этихъ вихрей, но движутся медленнѣе циклоновъ умѣренныхъ широтъ, вслѣдствіе меньшей скорости этихъ потоковъ сравнительно съ потоками вихрей I порядка.

12. Промежуточныя области между циклонами и антициклонами представляютъ собою вихри съ горизонтальными осями.

13. Среди вихрей II порядка возникаютъ вихри III порядка—грозовые. Тѣ, которые образуются среди циклоновъ—сильны и продолжительны; образующіеся же среди антициклоновъ—слабы и кратковременны.

14. Грозовые вихри перемѣщаются поступательно благодаря движенію болѣе высокихъ слоевъ вихрей II порядка, которые непосредственно уносятъ ихъ съ собою, причемъ внизъ, въ сравнительно болѣе неподвижный слой, передается вихреобразное движеніе (разрѣженіе), которое въ этомъ слоѣ постоянно приводитъ во вращеніе все новыя и новыя массы воздуха.

15. Распредѣленіе температуры и влажности оказываетъ вліяніе и на перемѣщеніе вихрей III порядка.

16. Въ вихряхъ III порядка образуются вихри IV порядка—смерчи, которые перемѣщаются подъ вліяніемъ воздушныхъ потоковъ вихрей III порядка, главнымъ образомъ болѣе высокихъ слоевъ ихъ.

17. Между вихрями I, II, III и IV порядковъ существуетъ много переходныхъ.

Такимъ образомъ наша атмосфера представляетъ собою систему тѣсно связанныхъ между собою и зависящихъ одно отъ другого вихревыхъ движеній. Между ними существуетъ полная аналогія. Изучая законы и свойства одного вихря, мы изучаемъ вмѣстѣ съ тѣмъ законы и свойства всѣхъ другихъ. Ученіе объ атмосферныхъ вихряхъ охватываетъ собою всѣ метеорологическія явленія: одни обусловливаются вихрями, другія представляютъ ихъ слѣдствія.

Инсоляція порождаетъ неравномѣрное распредѣленіе температуры, а послѣднее—вихри, но вихри въ свою очередь оказываютъ на него вліяніе. Облачность, дождь, снѣгъ, туманъ и проч. находятся въ непосредственной зависимости отъ вихрей и, въ свою очередь, вліяютъ на нихъ. Ни одна воздушная частица, ни одна водяная капля въ атмосферѣ не находятся внѣ того или другого вихря. Даже такія явленія, какъ составъ воздуха, радуга, круги и вѣнцы около солнца и луны, полярныя сіянія и проч. стоятъ въ тѣсной зависимости отъ вихревыхъ движеній. Безъ вихрей атмосфера была бы въ высшей степени однообразна и скучна; они вносятъ въ нее жизнь и разнообразіе. Поэтому можно сказать, что, въ сущности, метеорологія есть наука о вихревыхъ движеніяхъ атмосферы и явленіяхъ, ихъ обусловливающихъ и ихъ сопровождающихъ.

Влажность и осадки атмосферы. Вслѣдствіе испаренія съ поверхности океановъ, озеръ, рѣкъ и пр. воздухъ получаетъ влажность, которая содержится въ немъ или въ видѣ незамѣтнаго газа или въ видѣ облаковъ и тумана. Количество водяныхъ паровъ, могущее содержаться въ данномъ объемѣ воздуха, какъ извѣстно, возрастаетъ съ возвышеніемъ температуры, что видно изъ слѣдующей таблички, гдѣ показана влажность въ миллиметрахъ (mm.) выражающихъ высоту ртутнаго столба, уравновѣ-

шивающую упругость водяныхъ паровъ и въ граммахъ (gr.) въ одномъ кубическомъ метрѣ воздуха при разныхъ температурахъ (t):

t. . .	— 10°	— 5°	0°	5°	10°	15°	20°	25°
mm. .	2,1	3,1	4,6	6,5	9,2	12,7	17,4	23,6
gr. . .	2,3	3,4	4,9	6,8	9,4	12,7	17,1	22,8

Этотъ maximum содержанія паровъ для каждой температуры называется абсолютною влажностью воздуха; она не можетъ быть увеличена безъ измѣненія температуры, потому что избытокъ выдѣлится въ жидкомъ состояніи. Отъ абсолютной влажности отличаютъ еще относительную влажность, т.-е. процентное отношеніе дѣйствительной влажности къ максимальной при данной температурѣ; положимъ, что наблюдаемая влажность d равна 2,3 при температурѣ 0°, при которой максимальная (m), какъ видно изъ таблицы, равна 4,6, слѣдовательно относительная влажность $r = 100\,\frac{d}{m}$, т.-е. 50%.

Если черезъ E назовемъ возможное испареніе, чрезъ G—абсолютную влажность, а чрезъ r—относительную влажность, а—нѣкоторая постоянная, опредѣляемая наблюденіемъ, то имѣемъ

$$E = a.\ G\ (100 - r)$$

Отсюда очевидно, что, при той же относительной влажности и прочихъ равныхъ условіяхъ, испареніе будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ выше температура; а при той же температурѣ оно увеличивается при уменьшеніи относительной влажности. Кромѣ того, вѣтеръ имѣетъ большое вліяніе на испареніе; чѣмъ онъ сильнѣе, тѣмъ испареніе воды больше съ данной водной поверхности, потому что вѣтеръ удаляетъ пары воды, а при безвѣтріи скоро наступаетъ насыщеніе воздуха парами. Давленіе также вліяетъ на испареніе; чѣмъ оно меньше, тѣмъ испареніе больше, при прочихъ равныхъ условіяхъ. Такъ какъ абсолютная влажность зависитъ отъ силы испаренія, то ясно, что количество абсолютной влажности обусловливается въ каждомъ данномъ мѣстѣ вышеупомянутыми факторами и больше всего температурою. Отсюда—географическое распредѣленіе абсолютной влажности до нѣкоторой степени обусловливается температурой. Мёнъ полагаетъ, что линіи равной упругости дѣйствительно соотвѣтствуютъ изотермамъ во всѣхъ изгибахъ, лишь за небольшими исключеніями въ континентальныхъ областяхъ, бѣдныхъ дождями. Годовыя колебанія влажности увеличиваются такъ же, какъ и температура: отъ экватора къ полюсамъ, отъ береговъ къ центру материковъ, причемъ восточные и западные берега такъ же различаются, какъ и относительно температуры. Равнымъ образомъ съ высотою она уменьшается такъ же, какъ и температура, и также быстрѣе въ свободной атмосферѣ, нежели на горахъ, а подъ высокими широтами скорѣе, чѣмъ подъ низкими. На высотѣ около 2000 м. абсолютная влажность уменьшается уже на половину, а на 6400 м. она составляетъ только $^1/_{10}$ часть всего количества пара въ атмосферѣ (см. графикъ фиг. 1).

Совершенно иной ходъ относительной влажности. Уже вышеприведенная формула показываетъ, что она стоитъ въ обратномъ отношеніи къ температурѣ и абсолютной влажности. Годовая кривая относительной

влажности имѣетъ противоположное направленіе, чѣмъ кривыя температуръ, и только случайно онѣ совпадаютъ въ области азіатскаго муссона и въ полярныхъ странахъ съ сухою зимою. Отъ береговъ внутрь материка (за исключеніемъ береговъ Восточной Азіи) она слѣдуетъ тому же измѣненію, какъ и абсолютная влажность, т.-е. уменьшается (наименьшая—въ пустыняхъ и степяхъ), но по широтамъ ходъ ея противоположный, т.-е. въ высшихъ широтахъ она въ среднемъ больше, нежели въ низшихъ. Въ вертикальномъ направленіи она уменьшается всегда, но только до нѣкоторой высоты, гдѣ остается постоянной; высота эта, впрочемъ, измѣнчива для различныхъ широтъ и не опредѣлена съ точностью; можно только сказать, что на одномъ и томъ же уровнѣ на горахъ относительная влажность больше, чѣмъ въ свободной атмосферѣ.

Вслѣдствіе постоянныхъ движеній атмосферы влажность переносится съ одного мѣста въ другое, такъ что въ распредѣленіи влажности и осадковъ заключается главная задача вѣтровъ въ природѣ. Морскіе вѣтры, очевидно болѣе влажные, чѣмъ материковые, *постепенно измѣняютъ свой* характеръ по мѣрѣ удаленія отъ береговъ внутрь материка. Вѣтры, дующіе изъ холодныхъ странъ въ теплыя, отличаются сухостью, потому что упругость паровъ въ нихъ, по мѣрѣ приближенія къ теплымъ странамъ, удаляется отъ точки насыщенія; обратно — вѣтры, дующіе изъ теплыхъ странъ (*за исключеніемъ пустынь*) *въ холодныя*, отличаются большою влажностью. Этимъ простымъ, но основнымъ положеніемъ, опредѣляется географическое распредѣленіе осадковъ.

Конденсація паровъ въ атмосферѣ наступаетъ, когда относительная влажность достигаетъ 100% и при этомъ воздухъ быстро охлаждается; напр., если *влажный воздухъ приходитъ* въ соприкосновеніе съ тѣлами, которыя въ теченіе ночи охладились больше, чѣмъ окружающая атмосфера, или, вслѣдствіе сильнаго испаренія съ почвы и растеній въ свѣтлыя, тихія ночи, нижніе слои воздуха охлаждаются больше, чѣмъ почва, то отъ каждой изъ этихъ причинъ или отъ обѣихъ вмѣстѣ образуются такъ наз. гидрометеоры, къ которымъ принадлежатъ: роса, иней, изморозь, ожеледь или гололедица, отличающіеся формою. Измѣренія въ обсерваторіи Монсури 1874 г., показали, что мѣсячное количество этого рода осадковъ достигаетъ 2,5 *mm.*, слѣдовательно въ странахъ бѣдныхъ дождями роса играетъ большую роль. Другая причина конденсаціи паровъ заключается въ смѣшиваніи воздушныхъ токовъ различной температуры. Теплые и влажные вѣтры у насъ, особенно въ холодное время года, всегда приносятъ осадки; холодный вѣтеръ тоже можетъ произвести осадки, если онъ быстро врывается въ атмосферу, обремененную паромъ. Источникомъ самыхъ обильныхъ осадковъ являются восходящіе токи, напр. въ центрѣ циклоновъ, на склонахъ горъ, при переходѣ горизонтальныхъ токовъ черезъ хребты, напр. въ случаѣ фёновъ, а также при встрѣчѣ морскихъ вѣтровъ съ крутыми берегами.

Процессъ конденсаціи атмосферной влаги начинается съ образованія тумана и облаковъ.

Туманъ происходитъ вслѣдствіе того, что влага, содержащаяся въ воздухѣ, осѣдаетъ въ формѣ микроскопическихъ капель или можетъ быть пузырьковъ (везикулей), плавающихъ въ атмосферѣ и дѣлающихъ воздухъ непрозрачнымъ. Айткенъ [30]) полагаетъ, что туманныя частицы осѣдаютъ только на пылинки, носящіяся

въ воздухѣ и если-бы не было пыли, то воздухъ оставаясь прозрачнымъ, осаждалъ бы влагу прямо на твердыхъ предметахъ, а за неимѣніемъ ихъ оставался бы пересыщеннымъ парами. На этомъ принципѣ Айткенъ основалъ способъ опредѣленія числа пылинокъ въ воздухѣ: онъ охлаждалъ испытуемый воздухъ до появленія туманныхъ пузырьковъ, которые легче сосчитать на стеклышкѣ микроскопа, чѣмъ самыя пылинки. Онъ пришелъ къ весьма интереснымъ результатамъ, о которыхъ скажемъ ниже [30]). Слѣдовательно прозрачность воздуха зависитъ какъ отъ запыленности, такъ и отъ влажности, и значитъ образованіе тумана и облаковъ представляетъ явленіе болѣе сложное, чѣмъ можно бы думать. Туманы разстилаются надъ поверхностью земли въ видѣ болѣе или менѣе плотнаго и толстаго слоя, защищающаго ее отъ лученспусканія. Туманы чаще всего образуются ночью и утромъ, а въ теченіе года — зимой и поздней осенью; они иногда достигаютъ замѣчательной густоты, напр. въ Лондонѣ во время тумана прекращается движеніе по улицамъ, такъ какъ нельзя различить даже пальцевъ собственной вытянутой руки; во время „черныхъ тумановъ“ въ Лондонѣ, говорятъ, что слѣпые нанимаются проводниками къ зрячимъ. Отъ обыкновенныхъ тумановъ нужно отличать такъ наз. сухіе туманы, происходящіе отъ заполненія атмосферы пылью, о чемъ рѣчь будетъ впереди.

Облака имѣютъ такое же физическое строеніе, какъ и туманы, но плаваютъ на болѣе или менѣе значительной высотѣ; поэтому при восхожденіи на гору легко прослѣдить переходъ тумана въ облако и обратно. Плаваніе облаковъ объясняется ничтожными размѣрами туманныхъ частицъ, вслѣдствіе чего при небольшой скорости паденія ихъ (около 0,5 м. въ секунду) достаточно слабаго восходящаго тока, чтобы поддержать или даже поднять облако. Облака могутъ одновременно образоваться на различной высотѣ, гдѣ воздухъ будетъ пересыщенъ парами. Лѣтомъ облака бываютъ гораздо выше, чѣмъ зимой. Всего больше ихъ скопляется на высотѣ 1,5 киллом., второй максимумъ наблюдается на высотѣ 7 килом. и третій на высотѣ 9,5 километровъ. Для обозначенія формы облаковъ служатъ опредѣленныя классификаціи, изъ которыхъ самая простая Говарда различаетъ три главныхъ формы облаковъ: cirrus или перистое (облако), cumulus или кучевое и stratus или слоистое и три производныя отъ этихъ формъ: cirro-stratus—перисто-слоистое, cirro-cumulus—перисто-кучевое (т. наз. барашки) и cumulo-stratus—слоисто-кучевое, переходящее въ nimbus или дождевую тучу. Въ настоящее время принята болѣе сложная классификація Гильдебрандсона и Аберкромби, состоящая изъ десяти разновидностей, располагающихся на различной высотѣ, а именно: 1) перистыя на 10000—14000 м., 2) перисто-слоистыя—на 7500 м. 3. Перисто-кучевыя—на 6500 м. 4. Верхнеслоистыя (alto-stratus или strato-cirrus)—на 6000 м. 5. Верхне-кучевыя (alto-cumulus или cumulo-stratus)—на 4000 м. 6. Слоисто-кучевыя—на 2000 м. 7. Дождевыя тучи—на 1500 м. 8. Кучевыя—на 1500 м. 9. Грозовыя (cumulo-nimbus)—1400 до 5000 м. 10. Слоистыя (поднятый туманъ)—на 1000 м. Кромѣ того отличаютъ еще т. наз. серебристыя облака, образующіяся на высотѣ 30—70 и даже 150 километровъ и видимыя только ночью въ видѣ серебристо-бѣлыхъ пятенъ; впрочемъ происхожденіе ихъ приписываютъ космической пыли.

Количество облаковъ или облачность принято изображать баллами отъ 0 до 10, при чемъ 0 обозначаетъ совершенно чистое небо, 1—одна десятая часть неба покрыта облаками и т. д. Въ теченіи сутокъ облачность мѣняется, напр. въ Европѣ и Россіи наибольшая облачность наступаетъ послѣ полудня, а слабѣе всего около 10 ч. утра. Въ теченіи года наибольшая облачность въ Европѣ приходится на декабрь, а наименьшая на мартъ. Въ Россіи minimum облачности наступаетъ въ различные мѣсяцы: въ С. Россіи.—въ іюлѣ, въ Средней Россіи—въ іюнѣ, іюлѣ и августѣ; въ Ю. Россіи—въ августѣ, а maximum въ ноябрѣ или декабрѣ. Слѣдовательно, вообще maximum въ Россіи и З. Сибири приходится на зиму или осень, а въ В. Сибири—на лѣто. Такое распредѣленіе облачности способствуетъ болѣе умѣренной зимѣ и болѣе теплому лѣту первыхъ двухъ областей, такъ какъ облака защищаютъ землю отъ охлажденія зимою, ясное небо помогаетъ нагрѣванію ея лѣтомъ.

Линіи, соединяющія на картѣ пункты одинаковой облачности наз. изонефами. Карты изонефъ для іюля и января показываютъ, что около экватора находится облачное кольцо, охватывающее всю землю и имѣющее до 70% облачности; лѣтомъ кольцо это перемѣщается къ сѣверу, а зимой къ югу. Въ обѣ стороны отъ облачнаго кольца, въ области пассатовъ отъ 10° до 35°—облачность весьма слаба, а затѣмъ въ Ю. полушаріи непрерывно увеличивается къ югу, а въ С. полушаріи увеличивается до 45° с. ш., а далѣе къ полюсу уменьшается.

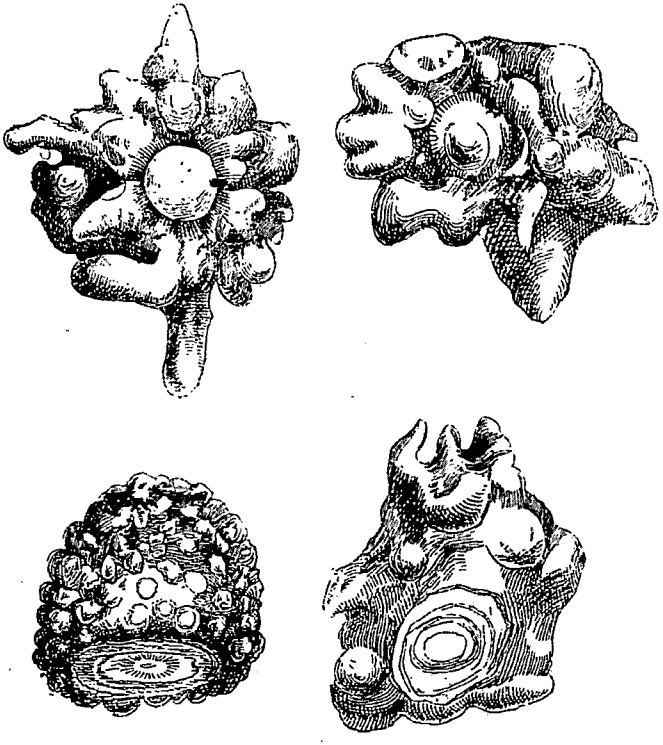
Влага падающая изъ облаковъ въ видѣ дождя, снѣга и града называется атмосферными осадками. Для насъ особенно важно количество осадковъ, выпадающихъ въ разныхъ пунктахъ на поверхности земли, что принято выражать картографически, также какъ распредѣленіе температуры, давленія и пр. Линіи, соединяющія на картѣ пункты съ равнымъ количествомъ осадковъ, выпадающихъ втеченіи года или мѣсяца, называются изохіетами, а соотвѣтственныя карты называются картами изохіетъ. Но распредѣленіе осадковъ можно выразить проще, въ самыхъ общихъ чертахъ, различно окрашенными полосами, соотвѣтствующими разному количеству осадковъ, опредѣляемому толщиною слоя въ сантиметрахъ. Такая карта (карта № II) годоваго распредѣленія осадковъ на земной поверхности даетъ только самое общее представленіе, которое требуетъ еще нѣкоторыхъ дополнительныхъ замѣчаній. Количество осадковъ зависитъ отъ широты мѣста, времени года, направленія вѣтровъ и пр. Наибольшее количество ихъ выпадаетъ въ тропическихъ странахъ, особенно въ поясѣ штилей, гдѣ капли дождя достигаютъ размѣра голубинаго яйца и гдѣ иногда въ день выпадаетъ больше, чѣмъ въ Европѣ за цѣлый годъ; такъ, напр. въ Пурни въ Ассамѣ 14-го іюня 1876 г. выпало въ сутки 104 сант., т. е. вдвое больше, чѣмъ въ С.-Петербургѣ за годъ. Такое огромное количество объясняется могучимъ восходящимъ токомъ надъ поясомъ штиля. Передвиженіемъ его объясняется смѣна тропическихъ временъ года, т. е. дождливаго и сухого періодовъ, продолжительность которыхъ различна для различныхъ мѣстъ. Дожди эти идутъ обыкновенно съ 10—11 ч. утра до 5 ч. вечера, а остальное время погода совершенно ясная. Въ области муссоновъ дожди обусловливаются направленіемъ вѣтровъ. Пояса пассатовъ представляютъ области слабыхъ дождей; а сѣверный и южный притропическіе пояса затишья снова характеризуются значительнымъ количествомъ осадковъ, т. наз. притропическіе дожди; они тоже нѣсколько перемѣщаются въ зависимости отъ измѣненія границы пассатовъ. Дожди полярныхъ странъ мало изслѣдованы, но повидимому тамъ преобладаютъ зимніе и осенніе осадки; вообще къ полюсамъ количество ихъ уменьшается.

На прилагаемой картѣ (карта № II) ясно различаются три главныхъ дождевыхъ полосы: 1—въ южной Америкѣ, особенно въ бассейнѣ Амазонки; 2—въ Африкѣ къ сѣверу отъ экватора и 3—въ области муссоновъ Ю. и В. Азіи, гдѣ на южномъ склонѣ Гималая, именно въ Чирапунджи выпадаетъ наибольшее количество дождя, достигающее 121 сант.; а въ иные года 142 сант. Съ другой стороны на той же картѣ ясно выступаютъ области, бѣдныя осадками, именно пустыни: 1—Сахара съ Аравіей, Сиріей, Месопотаміей и частью Персіей. 2—Арало-каспійская низменность, 3—Ханъ-хай въ Азіи, 4—Калагари въ Африкѣ, 5—Атакама въ Ю. Америкѣ, 6—Бассейнъ соляныхъ озеръ между Скалистыми горами и Сіерра-Невадой въ С. Америкѣ и 7—Центральная Австралія.

Дождливость даннаго мѣста характеризуется не столько количествомъ осадковъ, сколько ихъ распредѣленіемъ на число дней. Бываетъ, что дождь мороситъ по цѣлымъ недѣлямъ, но въ результатѣ воды даетъ меньше, чѣмъ одинъ большой ливень. Дождливость, кромѣ числа дней, можно выразить процентнымъ отношеніемъ числа дождливыхъ дней къ

числу всѣхъ дней разсматриваемаго періода. Отношеніе это называется вѣроятностью осадковъ. Въ Россіи число дождливыхъ дней до нѣкоторой степени согласуется съ количествомъ осадковъ, за исключеніемъ восточнаго побережья Чернаго моря, гдѣ осадковъ много, а дождливыхъ дней мало и сѣверной Сибири, гдѣ осадковъ мало, а дождливыхъ дней много. Въ зависимости отъ равномѣрности распредѣленія дождей, даже при одномъ и томъ же количествѣ осадковъ, значительно измѣняется характеръ и сила вывѣтриванія и размыванія породъ [31]).

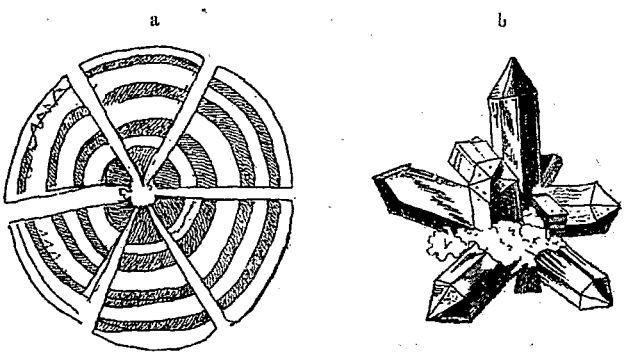
Когда облако образуется при температурѣ ниже 0°, то водяные пары переходятъ прямо въ ледяные кристаллы, гексагональной системы, въ видѣ красивыхъ шестилучевыхъ звѣздочекъ, выпадающихъ въ видѣ снѣга, накопленіе котораго имѣетъ громадное геологическое значеніе, особенно для питанія ледниковъ. При низкой температурѣ снѣгъ выпадаетъ въ видѣ мелкихъ призмъ и образуетъ рыхлую массу, объемъ которой превышаетъ иногда въ 40—45 разъ объемъ получающейся изъ него воды; при температурахъ же близкихъ къ 0° онъ выпадаетъ въ видѣ хлопьевъ и объемъ его превышаетъ только въ 2—3 раза объемъ воды. У насъ въ Россіи снѣгъ не выпадаетъ нигдѣ только два мѣсяца въ году: іюль—августъ и составляетъ отъ 20 до 35% всего количества годовыхъ осадковъ [32]), хотя на сѣверѣ, напр. въ Березовѣ, иногда доходитъ до 50% и болѣе; онъ имѣетъ важное значеніе для половодья нашихъ рѣкъ, для образованія и роста овраговъ и пр. Южная граница снѣговаго покрова зимой опускается до 35° с. ш., а лѣтомъ поднимается за полярный кругъ.



Фиг. 18 и 19.—Формы градинъ, выпавшихъ въ с. Березовкѣ Подольской губ., въ 1891 г. 6 и 7 Августа.

Кромѣ дождя и снѣга осадки выпадаютъ еще въ видѣ крупы и града. Хотя количество ихъ въ этомъ видѣ—ничтожное, но значеніе града, особенно для сельскаго хозяйства, огромное. Крупа представляетъ мелкія зерна уплотненнаго снѣга. Градины же состоятъ изъ снѣжныхъ крупинокъ, уплотненныхъ концентрическими слоями льда, чередующимися со слоями уплотненнаго снѣга. Форма градинъ весьма разнообразна: отъ округленныхъ шариковъ до красивыхъ кристаллическихъ друзъ,

(фиг. 18—19—20), аналогичныхъ друзамъ известковаго шпата изъ Андреасберга, напр. градъ 29-го мая и 9-го іюня 1869, выпавшій въ Тріалетскихъ горахъ у Тифлиса, а также въ Гротту Феррата въ 1876 г. Величина отдѣльныхъ градинъ доходитъ иногда до громадныхъ размѣровъ, напр. въ Херсонской губ. 7-го іюля 1891 г. выпало нѣсколько градинъ въ 10—11 фунтовъ вѣсомъ; въ Смоленской губ. градины бывали отъ $2^1/_2$ до 10 ф., при чемъ два дня лежали нерастаявшими; на мысѣ Доброй Надежды градины были величиною до $^1/_2$ кирпича. Хотя градъ продолжается всего нѣсколько минутъ, но иногда даетъ до 600 куб. м. льда. Градъ идетъ изъ особыхъ тучъ свинцоваго цвѣта съ бѣлою каймою и падаетъ узкою полосою, повидимому слѣдуя склонамъ долинъ, какъ подмѣтилъ Абихъ въ Тріалетскихъ горахъ; но иногда занимаетъ большія площади, напр. въ маѣ 1834 г. градовая туча прошла по всей Россіи отъ Балтійскаго до Чернаго моря. Градъ образуется только во влажной атмосферѣ и выпадаетъ въ началѣ лѣта (май—іюнь), преимущественно днемъ (отъ 12 до 3 ч. и отъ 3 до 6 ч.) и весьма рѣдко ночью; впрочемъ по южнымъ и западнымъ берегамъ Европы бываетъ и зимой. Градъ производитъ большія опустошенія на поляхъ, называемыя градобитіями, которыя для сельскаго хозяйства представляютъ неотвратимый бичъ. По изслѣдованію проф. Клоссовскаго [33]) градъ вызывается мѣстными депрессіями, появляющимися внутри большихъ циклоновъ, преимущественно въ ихъ юго-восточномъ квадрантѣ и участвующими въ движеніи циклоновъ; это объясняетъ съ одной стороны выпаденіе града полосами, простирающимися съ востока на западъ, а съ другой характерное пониженіе барометра при выпаденіи града. Въ Россіи всѣ мѣстности, бѣдныя осадками почти избавлены отъ градобитій, напр. Туранская низменность и побережье Каспія; точно также сѣверныя губерніи бѣдны ими, но зато центральная, восточная и отчасти западная Россія страдаютъ отъ нихъ.



Фиг. 20. — a) Градины, выпавшіе въ Salines d'Hyères въ маѣ 1883 г.; b) градины, выпавшія въ Grottu Ferrata 1876 г. по наблюденіямъ Секки.

Въ отношеніи географическаго распредѣленія града въ Европейской Россіи послѣдованія г. Таргонскаго [34]) доказываютъ, что градобитія находятся въ тѣсной зависимости отъ различныхъ мѣстныхъ условій, но особенно отъ высоты и вообще рельефа мѣстности; а именно мѣстности съ высотою 80—140 саж. подвергаются болѣе или менѣе сильнымъ градобитіямъ; мѣстности выше 160 и ниже 60—40 саж. испытываютъ градъ рѣдко, а мѣстности отъ 40 до 20 саж. высоты подвергаются граду только случайно при сплошныхъ градобитіяхъ. Сравнительныя карты высотъ и градобитій въ Евр. Россіи, приложенныя къ труду Таргонскаго дѣйствительно подтверждаютъ эту связь, равно какъ и характеристика мѣстностей подверженныхъ градобитіямъ въ Евр. Россіи.

Происхожденіе града до сихъ поръ еще невыяснено, хотя гипотезъ много. Такъ, Фогель полагаетъ, что сначала образуются два облака другъ надъ другомъ;

въ нижнемъ облакѣ влага находится въ жидкомъ видѣ, но переохлаждена, т. е. ниже 0°. Если при этомъ изъ верхняго облака начинаютъ падать снѣжинки или крупа, то попадая въ нижнее облако онѣ облекаются ледяною корою и получаютъ форму градинъ. Феррель приписываетъ значительную величину градинъ сильному восходящему току въ центрѣ вихря, сопровождающаго градъ. Шведовъ считаетъ градъ явленіемъ космическаго происхожденія, что впрочемъ наименѣе вѣроятно и т. д. Въ новѣйшее время одни придаютъ преимущественное значеніе атмосферному электричеству въ процессѣ образованія града, другіе же напротивъ вліянію атмосфернаго давленія; весьма возможно, что то и другое способствуетъ происхожденію града.

Гроза представляетъ довольно распространенное явленіе, зависящее отъ накопленія разноименнаго электричества въ облакахъ, средина которыхъ часто заряжена отрицательно, а края - положительно; но иногда распредѣленіе его сложнѣе. Сѣро-свинцовыя грозовыя тучи плаваютъ на небольшой высотѣ, около 1500 м., но иногда опускаются до 250 м. При такихъ тучахъ во время зимнихъ мятелей, электричество, развившееся черезъ вліяніе на поверхности земли, выдѣляется свѣтящимися пучками на кустахъ, деревьяхъ, и пр.; это явленіе наз. огнемъ св. Эльма. Въ болѣе высокихъ облакахъ (на 1000—1500 м.) избытокъ электрическаго напряженія проявляется въ молніи и громѣ. Различаютъ молніи: линейную, расплывчатую или плоскую и шаровую; изъ нихъ самая опасная шаровая молнія. Раскаты грома объясняются неправильнымъ видомъ молніи и интерференціей звука. Грозы наступаютъ обыкновенно послѣ продолжительнаго зноя, при чемъ удары молніи часто убиваютъ людей и животныхъ, производятъ пожары зданій, взрывы пороховыхъ погребовъ и проч.; но кромѣ того молнія измѣняетъ горныя породы, о чемъ будетъ сказано ниже. Грозы, также какъ и градъ, чаще всего бываютъ днемъ (отъ 3 до 6 ч.) и лѣтомъ; такъ, въ Средней Европѣ и у насъ на лѣто приходится 79%, на осень—5%, на весну—16%, а на зиму—0%.

Наибольшее количество и наисильнѣйшія грозы происходятъ въ жаркомъ поясѣ; съ удаленіемъ отъ экватора онѣ постепенно ослабляются и въ полярныхъ странахъ почти не бываютъ, несмотря на огромную напряженность электрическаго поля (см. карту № II). Грозовая дѣятельность, по изслѣдованію А. В. Клоссовскаго [35]), находится въ тѣсной связи съ температурой, влажностью и количествомъ осадковъ. Высокая температура, и большое количество осадковъ, при малой относительной влажности содѣйствуютъ грозовой дѣятельности; такъ въ экваторіальныхъ частяхъ Америки, Африки и Азіи годовое число грозъ достигаетъ 100%. На континентахъ грозовая дѣятельность, вообще говоря, усиливается по направленію на юго-востокъ. Въ Европѣ грозы убываютъ съ юга на сѣверъ; уже въ Средней Россіи ихъ около 15%, а въ Скандинавіи не болѣе одного раза въ годъ. Въ Россіи грозовыя явленія находятся въ тѣсной связи съ циклонами; при чемъ наиболѣе сильною грозовою дѣятельностью отличаются слабые, съ неправильными очертаніями и выступами циклоны. Линіи, соединяющія на картѣ пункты одновременныхъ грозъ, наз. изобрантами; онѣ даютъ ясное представленіе о пути грозы, ея скорости и площади, охваченной ею.

Климатъ. Совокупныя свойства всѣхъ метеорологическихъ элементовъ какой либо мѣстности, но особенно температуры и осадковъ, выясненныя многолѣтними средними, называется климатомъ данной мѣстности. Само собой разумѣется, что при большей измѣняемости климатическихъ факторовъ, какъ въ горизонтальномъ, такъ и въ вертикальномъ направленіяхъ, возможно выдѣлить множество климатическихъ провинцій. Такъ Зупанъ допускаетъ minimum 34 провинціи, изъ которыхъ 21 приходится на Евразію и Австралію съ Полинезіей, 12 на Америку и 1 на Арктическую область.

Для примѣра климатическаго разнообразія Россіи, приведемъ таблицу (на стр. 59) важнѣйшихъ метеорологическихъ элементовъ для нѣкоторыхъ изъ нашихъ городовъ, заимствованную изъ прекраснаго курса проф. Лачинова [36]).

Хотя границы климатическихъ провинцій признаются болѣе или менѣе постоянными, но климаты подвержены нѣкоторымъ колебаніямъ во времени. Кромѣ вышеописанныхъ суточныхъ и годовыхъ колебаній климатическихъ факторовъ, предполагаютъ еще многолѣтнія (11—35-ти лѣтнія) или волны Брюкнера, вѣковыя или волны Блитта и геоло-

Мѣста наблюденій.	Въ гр. Ц.		Средняя температура въ гр. Ц.			Часть неба покрытая облаками.			Влажность.						Количество выпадающаго дождя и снѣга въ миллиметр.		
									Абсолютная, въ мм.			Относительная въ %					
	Наивысшая температ.	Наинизшая температ.	Годъ.	Янв.	Іюль.	Янв.	Іюль.	Годъ.	Янв.	Іюль.	Годъ.	Янв.	Іюль.	Годъ.	Янв.	Іюль.	Годъ.
	+	—															
Архангельскъ . .	40,6	43,2	0,4	— 13,6	15,9	68	39	56	2,1	18,1	4,8	89	76	84	26,0	50	397
Астрахань . . .	38,9	36,2	9,4	— 7,1	25,5	61	26	57	2,7	15,1	8,0	—	—	—	15,9	14,1	156
Барнаулъ	35,0	53,3	0,3	— 19,3	19,6	41	38	41	1,3	11,2	5,0	93	70	79	9,0	45	257
Богословскъ . .	34,4	55,3	— 1,4	— 19,4	17,0	47	51	49	1,2	10,1	4,4	87	71	78	12,4	66,3	394
Варшава	35,0	31,2	7,2	— 4,5	18,6	77	60	67	3,6	11,9	6,8	93	76	81	32,3	39,9	580
Верхоянскъ . . .	50	76,0	— 16,7	— 48,9	15,2	–	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Вильно	32,5	32,7	6,6	— 5,5	18,7	88	56	71	3,5	11,9	6,9	93	73	82	20,0	41,4	445
Екатеринбургъ .	33,5	45,0	0,5	— 16,5	17,5	61	57	60	1,5	10,4	4,7	95	73	80	5,8	78,5	339
Златоустъ . . .	37,2	46,5	0,1	— 16,7	16,6	51	51	53	1,4	10,4	4,8	89	74	80	12,4	95,3	472
Иркутскъ	39,2	42,5	0	— 20,1	18,6	44	34	36	—	—	—	—	-	—	26,1	75,5	418
Казань	36,0	40,0	2,9	— 13,8	19,6	73	42	56	1,7	12,0	5,7	86	73	79	12,9	63,3	355
Кишиневъ . . .	38,5	29,1	10,0	— 3,0	22,7	83	40	58	4,1	12,1	7,6	91	74	81	18,5	70,7	450
Кіевъ	34,7	33,1	6,8	— 6,1	19,1	74	37	50	3,1	10,0	6,4	88	63	75	26,6	92,5	486
Кострома	35,1	40,7	3,0	— 12,6	19,1	72	35	55	2,1	11,4	5,5	86	73	79	23,1	63,8	492
Красноводскъ . .	—	—	15,5	— 2,4	28,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21,6	8,9	374
Кутаисъ	—	—	14,6	+ 4,6	22,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13,3	10,2	1417
Лугань	40,0	34,4	7,6	— 8,3	22,8	76	43	59	2,5	11,0	6,1	86	55	69	20,6	36,1	335
Москва	36,3	42,2	3,9	— 11,1	18,9	77	44	58	2,5	11,5	6,0	88	74	80	38,0	63,6	538
Нерчинск. зав. .	36,1	47,2	— 3,7	— 29,4	18,4	13	48	33	0,4	11,4	4,2	74	75	71	2,3	10,2	394
Николаевскъ . .	38,2	26,5	— 2,7	— 23,0	16,5	67	22	40	4,0	13,1	7,9	89	62	76	14,1	45,3	341
Нукусъ	42,3	31,3	11,0	7,0	19,7	—	-	—	—	—	—	—	—	—	5,6	1,5	85
Одесса	34,2	28,2	9,4	— 3,9	22,4	69	30	48	4,0	12,9	7,8	91	75	81	18,7	44,2	359
Оренбургъ . . .	40,8	40,5	3,3	— 15,3	21,6	50	35	41	1,7	10,7	5,3	92	58	76	31,8	44,7	395
Полтава	36,0	34,4	6,9	— 7,5	20,5	—	—	—	2,8	12,2	7,1	—	—	—	—	—	585
Поти	34,4	11,5	14,6	+ 6,2	22,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13,3	15,4	1668
Пятигорскъ . . .	35,7	30,9	9,1	— 2,8	20,5	75	44	54	3,4	12,9	7,7	87	70	77	15,3	60,5	416
Петербургъ . . .	31,6	37,9	3,7	— 9,4	17,8	67	43	55	2,7	11,4	5,7	88	74	81	21,1	62,8	470
Севастополь . .	35,0	26,2	12,1	— 1,8	23,2	72	19	39	6,0	15,7	9,3	86	74	80	33,1	69,0	414
Симферополь . .	35,1	28,7	10,1	— 0,6	20,6	57	21	39	4,2	12,6	7,6	88	70	77	19,6	27,5	332
Тифлисъ	38,8	17,3	12,6	— 0,6	24,3	56	56	58	3,6	12,2	7,6	76	56	67	12,6	56,3	492
Тобольскъ . . .	37,5	—	— 0,1	— 19,6	19,2	52	46	54	1,1	11,0	5,0	92	70	80	16,5	80,8	456
Ургa	—	—	2,7	— 24,8	17,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,1	62,3	202
Черниговъ . . .	34,8	31,2	6,7	— 4,8	20,2	80	45	60	3,4	11,1	6,6	90	64	80	28,8	60,8	431
Якутскъ	35,6	60,0	— 11,1	— 42,7	18,8	46	47	46	—	—	—	—	—	—	23,0	41,7	348
Ялта	—	—	13,4	+ 4,5	23,3	—	—	–	—	—	—	—	—	—	47,9	34,5	492

гическія волны [37]). Первые два періода отличаются тѣмъ, что вызываются перемѣннымъ положеніемъ земли относительно солнца и каждая фаза ихъ послѣдовательно наступаетъ только на одной половинѣ земли, а не на всей землѣ одновременно; тогда какъ три послѣднихъ періода проявляются можетъ быть одновременно на всей землѣ; хотя сущность ихъ изслѣдована еще весьма мало.

Прежде всего давно уже замѣчена связь климатическихъ колебаній съ одиннадцати-лѣтними періодами солнечныхъ пятенъ, хотя въ метеорологическихъ явленіяхъ она проявляется гораздо слабѣе, нежели въ земномъ магнетизмѣ и полярныхъ сіяніяхъ. Эти періоды яснѣе сказываются на осадкахъ, нежели на температурѣ. Среднее количество дождей, особенно въ тропическихъ странахъ, увеличивается съ увеличеніемъ солнечныхъ пятенъ, и наоборотъ; равнымъ образомъ циклоны появляются чаще при наибольшемъ развитіи солнечныхъ пятенъ [38]). Что же касается температуры, то хотя изслѣдованія Кеппена [39]) за періодъ времени съ 1821 по 1870 г. указываютъ на измѣненія въ зависимости отъ солнечныхъ пятенъ, но съ другой стороны до сихъ поръ еще къ сожалѣнію не сдѣлано сравнительныхъ актинометрическихъ наблюденій при minimum и maximum солнечныхъ пятенъ; но во всякомъ случаѣ колебанія эти весьма небольшія, непревышающія части одного градуса.—Э. Брюкнеръ [40]) на основаніи наблюденій подъ температурою и осадками за время, восходящее до начала XVIII столѣтія, а также — данныхъ объ измѣненіи величины ледниковъ, колебаній уровня проточныхъ и непроточныхъ водъ, вскрытія и замерзанія русскихъ рѣкъ, сбора винограда и наконецъ по извѣстіямъ о холодныхъ зимахъ, доказалъ съ достаточною ясностью существованіе метеорологическихъ періодовъ высшаго порядка, которые не могутъ быть поставлены въ связь съ солнечными пятнами, а именно 35-ти-лѣтніе періоды. Каждый періодъ распадается на холодную и теплую половины. Время между двумя температурными минимумами колеблется отъ 20 до 50 лѣтъ, подобно тому какъ и время между двумя годичными минимумами не всегда составляетъ 365 дней; но среднее въ 35 лѣтъ получается различными пріемами, а потому его можно считать, хотя бы временно, самымъ вѣроятнымъ числомъ. Колебанія температуры въ каждомъ періодѣ не превышаютъ 1° Ц., а въ періодъ 1836—1870 г. разница была всего только 0,5° Ц.; колебанія эти наступаютъ одновременно на всей землѣ, а потому причина ихъ должна находиться внѣ земли и вѣроятно кроется въ періодическихъ измѣненіяхъ силы инсоляціи, которыя однако еще неопредѣлены съ точностью. Вмѣстѣ съ температурою измѣняются и осадки, но не вездѣ въ одинаковомъ направленіи. На сушѣ холодныя половины 35-ти лѣтнихъ періодовъ отличаются влажностью, а теплыя—сухостью; но на сѣверо-атлантическомъ океанѣ и вѣроятно на всѣхъ моряхъ происходитъ обратное сочетаніе. Это стоитъ въ связи съ измѣненіями давленія воздуха. Оно уменьшается во время сухой и теплой половины на сѣверо-атлантическомъ океанѣ и повышается надъ Европой. На морѣ дѣлается глубже субполярный минимумъ, на сушѣ возникаетъ антициклонъ, который лучше береговыхъ горъ отдѣляетъ ее отъ притока влажнаго морского воздуха. Во влажно-холодную половину контрастъ нѣсколько сглаживается, такъ какъ надъ океаномъ барометръ повы-

шается, а въ Европѣ падаетъ. Періоды Брюкнера обнаруживаютъ нѣкоторыя неправильности или аномаліи, напр. періодъ 1756—1805 гг. отличается почти постоянною сухостью. Такія аномаліи вѣроятно обусловливаются недостаткомъ наблюденій. Во всякомъ случаѣ изслѣдованія Брюкнера показываютъ, что для полученія нормальныхъ величинъ, дающихъ дѣйствительное понятіе о климатѣ, необходимы наблюденія по крайней мѣрѣ въ теченіи 35 лѣтъ, т. е. должны обнимать цѣлый климатическій періодъ.

Въ слѣдующей таблицѣ сопоставлены періоды колебанія климата по Брюкнеру для всей земли. Положительныя и отрицательныя величины этой таблицы указываютъ на отклоненія отъ средней температуры и средняго годового количества осадковъ, при чемъ осадки показаны въ процентахъ средняго годового количества. По отношенію къ озерамъ maximum означаетъ повышеніе уровня, а minimum наибольшее пониженіе уровня. Наконецъ въ послѣдней графѣ указаны періоды возрастанія или наступанія ледниковъ и періоды сокращенія или отступанія ихъ, что находится въ полномъ соотвѣтствіи съ колебаніями главныхъ климатическихъ факторовъ.

Годы.	Температура.	Осадка въ %	Озера.	Ледники.
1731—1735	— 0,34°	— 4		1735 наступаніе.
1736—1740	— **0,43°**	+ **9**	1740 max.	
1741—1745	— 0,35°	— 6		
1745—1750	+ **0,45°**	+ 5		1750 отступаніе.
1750—1755	+ 0,16°	+ 5		
1756—1760	— 0,08°	— 3	1760 min.	
1761—1765	— 0,10°	+ 0		
1766—1770	— **0,42°**	— **4**		1767 наступаніе.
1771—1775	+ 0,24°	+ 7		
1776—1780	+ 0,15°	— 2	1780 max.	
1781—1785	+ 0,18°	— 2		
1786—1790	— 0,11°	+ 2		
1791—1795	+ **0,46°**	— 2		
1796—1800	+ 0,07°	— 1	1800 min.	1800 отступаніе.
1801—1805	+ 0,26°	— **4**		
1806—1810	— 0,18°	+ **3**		
1811—1815	— **0,46°**	+ 0		1814 наступаніе.
1816—1820	— 0,35°	+ 0	1820 max.	
1821—1825	+ 0,56°	— 2		1823 отступаніе.
1826—1830	+ 0,14°	— 0		
1831—1835	+ 0,03°	— 8	1835 min.	
1836—1840	— **0,30°**	— 5		1840 наступаніе.
1841—1845	— 0,00°	+ 1		
1846—1850	— 0,08°	+ **3**	1850 max.	1855 отступаніе.
1851—1855	+ **0,11°**	+ 1		
1856—1860	— 0,06°	— 4		
1861—1865	— 0,06°	— **5**	1865 min.	
1866—1870	+ 0,11°	— 1		
1871—1875	— 0,04°	+ 2	1880 max.	
1876—1880	— 0,07°	+ **7**		
1881—1886	— **0,08°**	+ 6		

Кромѣ 35-ти лѣтнихъ колебаній предполагаютъ существованіе еще болѣе продолжительныхъ, обнимающихъ столѣтія или даже болѣе и на-

зываемыхъ вѣковыми колебаніями климата. Само собой разумѣется, что по недостатку наблюденій, восходящихъ только до начала XVIII ст. и то рѣдкихъ и разнородныхъ, доказать цифровыми данными вѣковыя колебанія невозможно; о существованіи ихъ заключаютъ или по колебанію ледниковъ или по смѣнѣ растительности, какъ напр. указалъ Блиттъ [41]) для Швеціи, Норвегіи и Даніи, гдѣ онъ нашелъ торфяники, залегающіе выше морскихъ террасъ и состоящіе изъ четырехъ торфяныхъ слоевъ, чередующихся съ тремя лѣсными слоями; такіе же слои находятся въ Силезіи, Англіи, Шотландіи и въ Юрскомъ кряжѣ. На основаніи изслѣдованія этихъ осадковъ Блиттъ различаетъ четыре продолжительныхъ періода, смѣнявшихъ другъ друга; одни изъ нихъ были сухіе и теплые, характеризующіеся развитіемъ лѣса и накопленіемъ глины; другіе же напротивъ представляли влажныя и прохладныя эпохи, въ теченіе которыхъ происходило образованіе болотъ и туфовъ. Періоды эти представляютъ четыре большія климатическія волны, простирающіяся отъ ледниковаго періода до настоящаго времени. По мнѣнію Блитта каждый послѣдующій періодъ былъ теплѣе предыдущаго, но въ четвертомъ температура значительно понизилась. Всѣ періоды Блитта обнимаютъ только современную геологическую эпоху; тогда какъ предшествовавшія эпохи заключаютъ слѣды еще болѣе значительныхъ, называемыхъ геологическими. Съ ними связаны такъ называемые ледниковые періоды, а также общій вопросъ объ охлажденіи земли, а потому какъ самые періоды, такъ и гипотезы о происхожденіи ихъ будутъ разсмотрѣны ниже въ главѣ о ледникахъ. Такимъ образомъ, насколько намъ извѣстно, всѣ климатическія колебанія имѣютъ періодическій характеръ, при чемъ продолжительность періодовъ весьма разнообразна; наиболѣе точно опредѣлены: суточныя, годовыя, 11-ти лѣтнія и 35-ти лѣтнія. Въ виду этого, утвержденія о прогрессивномъ измѣненіи климата нѣкоторыхъ странъ въ историческое время едвали справедливы, тѣмъ болѣе, что всѣ попытки, сдѣланныя въ этомъ направленіи, оказались неудачными, напр. Фрааса, Т. Фишера и др. для нѣкоторыхъ областей субтропической зоны, особенно для области Средиземнаго моря, гдѣ предполагается замѣна влажнаго климата болѣе сухимъ. Дѣло въ томъ, что нерѣдко такія измѣненія обусловливаются чисто мѣстными причинами: истребленіемъ лѣсовъ, уменьшеніемъ земледѣльческихъ культуръ [42]) и пр. а не измѣненіемъ средняго годоваго количества осадковъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ хищническое пользованіе дарами природы вызываетъ развитіе овраговъ, летучихъ песковъ и пр., вслѣдствіе чего страна опустошается, дичаетъ, хотя климатъ ея не претерпѣваетъ никакихъ существенныхъ измѣненій; тоже, наоборотъ, иногда пустыня превращается въ культурную страну почти безъ измѣненія средней температуры и средняго количества годовыхъ осадковъ.

ГЛАВА II.

Механическая дѣятельность атмосферы.

Механическая работа атмосферы, — какъ уже указано въ общемъ обзорѣ, состоитъ: въ развѣваніи, перенесеніи и отложеніи; процессы эти производятъ съ одной стороны оригинальныя формы рельефа, а съ другой—своеобразные осадки, называемые эоловыми или субъаэральными; напряженность ихъ въ каждомъ данномъ мѣстѣ зависитъ отъ климата. Въ странахъ съ обильными дождями, слабыми вѣтрами, ровною температурою и густою растительностью дѣятельность ихъ едва проявляется, да и то на небольшихъ площадяхъ при сочетаніи особенно благопріятныхъ условій, напр. на обнаженныхъ плоскихъ берегахъ морей, на илистыхъ участкахъ заливныхъ долинъ, періодически осушающихся, на свѣжихъ скопленіяхъ вулканическаго пепла, на оголенныхъ вершинахъ, разрушающихся отъ вывѣтриванія и пр. Въ степяхъ съ умѣренными дождями, сильными вѣтрами, рѣзкими колебаніями температуры и мелкою растительностью дѣятельность эоловыхъ агентовъ проявляется уже весьма замѣтно; они не только измѣняютъ площади, обнаженныя отъ растительности, напр. въ рѣчныхъ долинахъ накопляютъ летучіе пески, солончаки превращаютъ въ простыя котловины [1]) и пр., но и травянистыя степи не оставляютъ въ покоѣ, а пользуются всякими случаями, чтобы превратить ихъ въ пустыню. Такіе случаи представляются часто и обусловливаются или естественными причинами, напр. продолжительными засухами или же дѣятельностью животныхъ и человѣка. Степная почва настолько слаба, а растительность нѣжна, что даже стада дикихъ животныхъ: антилопъ, сѣверо-американскихъ бизоновъ, сайгаковъ, азіатскихъ кулановъ и пр., вытаптывая траву и разрыхляя почву, отдаютъ ее въ жертву развѣванію. То же самое производитъ человѣкъ неразумнымъ хозяйствомъ, напр. уничтоженіе лѣса въ Воронежской, Тамбовской губ. вызвало образованіе летучихъ песковъ, засыпавшихъ значительные участки чернозема. Обширныя площади летучихъ песковъ (около 4,000,000 десятинъ) въ Астраханской губ. особенно у станицъ Лебяжинской, Сѣроглазинской, у г. Енатаевска, въ Кундравинской волости и пр. появились и до сихъ поръ разростаются вслѣдствіе неподходящей системы хлѣбопашества [2]). Изолированныя площади песковъ въ Калмыцкихъ степяхъ произошли вслѣдствіе неумѣренной пастьбы скота кочевниками, стѣсненными въ своихъ угодьяхъ разростающимся осѣдлымъ населеніемъ.

Нѣкоторые пески Ферганы стали накопляться съ уничтоженіемъ кустарной заросли, употребляющейся туземцами на топливо т. д. Впрочемъ всѣ такія маленькія пустыни снова легко превращаются въ травянистыя степи, особенно при пособіи человѣка.

Наибольшаго развитія эоловые процессы достигаютъ въ странахъ, бѣдныхъ или лишенныхъ дождей, съ сильными и постоянными вѣтрами, съ большими суточными амплитудами температуры и обнаженныхъ отъ растительности. Въ такихъ странахъ не только мягкія почвы, но даже твердыя скалы находятся въ постоянной борьбѣ съ вѣтромъ и не могутъ сопротивляться разрушительному дѣйствію его: вѣтеръ проникаетъ во всѣ трещины и пустоты, извлекаетъ оттуда все, что успѣло разрыхлиться; словомъ, нѣтъ уголка, который бы не подвергался вліянію вѣтра. Рѣзкія колебанія температуры, доходящія до 30—40° Ц. въ теченіи сутокъ, разрыхляя породы, подготовляютъ ихъ къ развѣванію; вѣтеръ дѣйствуетъ на нихъ не только своею механическою силою, но и пользуется твердыми частицами для обтачиванія и шлифованія ихъ, вслѣдствіе чего, рядомъ съ увеличеніемъ процесса разрушенія породъ, получаются оригинальныя формы скалъ и всего рельефа. Конечнымъ результатомъ свободной дѣятельности вѣтра являются разнообразныя и обширныя пустыни, среди которыхъ различаютъ четыре главныхъ типа; а именно пустыни: каменистыя, щебневыя (кремнистыя), песчаныя и глиняныя. Первые два типа обусловливаются преимущественно развѣваніемъ, послѣдніе же два преимущественно отложеніемъ эоловыхъ осадковъ.

Туземцы разныхъ странъ давно уже отличили типы пустынь особыми названіями; такъ, каменистыя пустыни называются джебель, тасили на возвышенностяхъ западной Сахары, родмъ во внутренней Аравіи, харашафъ въ Ливійской пустынѣ. Щебневыя называются ссериръ—плосковолнистыя, покрытыя округленнымъ кремнемъ; гамада, покрытыя остроугольнымъ щебнемъ, часто включеннымъ въ красноватой глинѣ; гоби или шамо въ Средней Азіи и пр. Песчаныя пустыни наз.: игиди и эргъ въ З. Сахарѣ, арегъ—въ В. Сахарѣ,—нефудъ во внутренней Аравіи; рамль—песчаныя равнины; кучугуры, чагылы, каракумы, кызылъ-кумы, муюнъ-кумы, и пр. въ Ср. Азіи. Глинистыя—наз.: себха въ З. Сахарѣ, шоттъ въ Тунисѣ, джефджефъ—въ оазисѣ Сокна; такыры, хаки, соры и кунгуры въ Туркестанѣ и въ Киргизскихъ степяхъ.

Разсмотримъ подробнѣе сначала процессъ развѣванія, а затѣмъ перенесенія и отложенія.

Развѣваніе.

Вышеприведенная скала силы вѣтра (см. стр. 34) показываетъ, что скорость и давленіе воздушныхъ токовъ достигаютъ большихъ размѣровъ, при которыхъ неудивительно, что бури и ураганы производятъ крупныя разрушенія; они нерѣдко вырываютъ деревья съ корнемъ, уничтожаютъ цѣлые лѣса, опрокидываютъ зданія, выбрасываютъ большія глыбы и даже корабли на берегъ и пр.

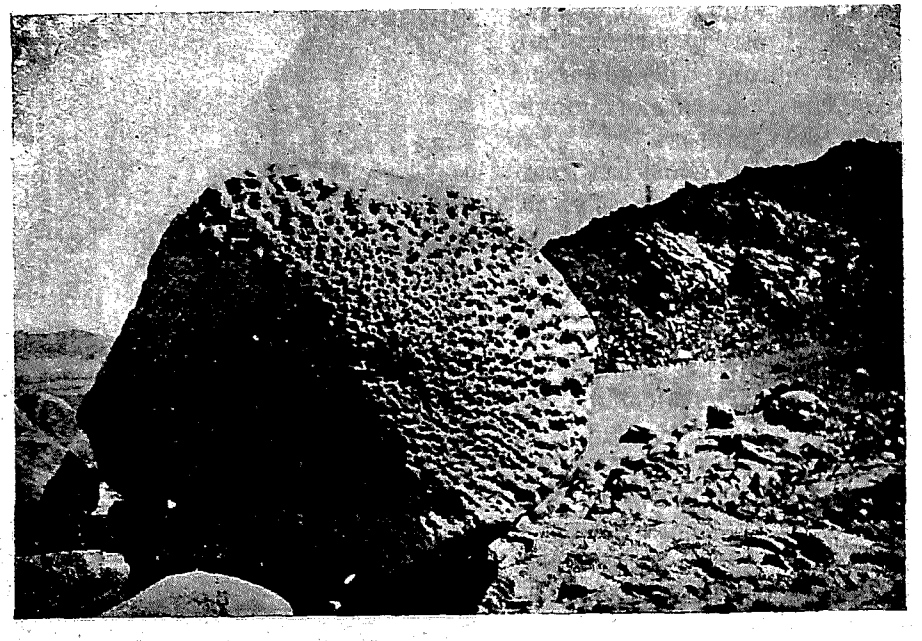
Однажды въ Калькуттѣ бамбукъ, брошенный вѣтромъ, пробилъ стѣну, толщиною въ 5 ф., такъ что въ данномъ случаѣ сила удара равнялась силѣ шестифунтоваго орудія. Въ Ганноверѣ ураганъ 1800 г. вырвалъ 200,000 елей на Гарцѣ, а на Тенерифѣ 1825 г. уничтожилъ цѣлыя лѣса. 1876 г. ураганъ въ Нью-Іоркѣ опрокинулъ церковную башню высотою 225 ф., а въ Чикаго разрушилъ нѣкоторыя зданія и погубилъ много животныхъ и даже людей. У насъ въ Новороссійскѣ зимнія бури часто срываютъ крыши съ домовъ. Въ Индіи почти каждый годъ въ періодъ смѣны пассатовъ муссонами и наоборотъ, сильныя бури сопровождаются наводненіями и

производятъ ужасныя опустошенія; такъ, 19 — 20 мая 1787 г. въ долинѣ Гадовери буря погубила 20.000 человѣкъ и около $^1/_2$ всего скота; въ долинѣ Ганга буря 1831 г. разрушила до 300 поселеній, уничтожила много народу и скота, да кромѣ того послѣдствіемъ ея былъ голодъ, унесшій до 50.000 человѣкъ. Сила урагана на о-вѣ Кубѣ въ 1847 г. равнялась 473.000,000 лошадиныхъ силъ, т. е. въ 15 разъ болѣе силы, развиваемой на землѣ всѣми вмѣстѣ взятыми вѣтряными мельницами, водяными колесами, паровыми машинами и животными. Иногда только одно быстрое паденіе давленія атмосферы производитъ разрушеніе, напр. въ 1866 г. на Багамскихъ о-вахъ при пониженіи давленія съ 763 до 702 мм. стекла въ окнахъ выпаливались наружу.

Хотя бури и ураганы развиваютъ громадную силу, но они происходятъ сравнительно рѣдко и продолжаются недолго, тогда какъ умѣренные вѣтры работаютъ постоянно и потому, несмотря на меньшую силу, достигаютъ болѣе крупныхъ результатовъ въ дѣлѣ развѣванія. Само собою разумѣется, что дѣятельность ихъ тѣмъ замѣтнѣе, чѣмъ климатъ суше, растительность бѣднѣе, почва рыхлѣе и вывѣтриваніе интенсивнѣе. Рыхлыя почвы, непокрытыя растительностью, развѣваются вѣтромъ непосредственно до основанія, такъ что на обширныхъ пространствахъ не остается и клочка ихъ, а вся мѣстность понижается на величину ихъ мощности. Даже въ травянистыхъ степяхъ такія почвы легко развѣваются, если наступаютъ благопріятныя обстоятельства, напр. въ степяхъ Евр. Россіи по колеямъ проселочныхъ дорогъ, гдѣ ѣзда уничтожаетъ растительность и разрыхляетъ почву, всегда наблюдается углубленіе. Въ южной Россіи углубленіе по колеямъ бываетъ до $^1/_2$ фут., а на крутыхъ склонахъ, гдѣ вѣтеръ сильнѣе, доходитъ до 1—2 ф.; ѣзда по нимъ становится затруднительною и часто прекращается; въ глинистыхъ (лёссовыхъ) площадяхъ Туркестана, гдѣ осадковъ еще меньше, а вѣтры сильнѣе, дорожныя колеи на крутыхъ склонахъ, углубляются до 6 метровъ, а въ Китаѣ даже до 30 м., превращаясь въ небольшія узкія тѣснины съ вертикальными склонами или такъ называемыя гольвеги (фиг. 21), которые часто являются единственными элементами расчлененія равнины; вертикальность ихъ склоновъ обусловливается, кромѣ вліянія вѣтра, еще свойствами лёсса, какъ увидимъ ниже.

Фиг. 21. — Гольвегъ въ лёссѣ Китая.

Не только мягкія, но и самыя твердыя породы, будучи обнаженными, не могутъ сопротивляться продолжительное время разрушительному вліянію вѣтра, тѣмъ болѣе, что развѣваніе ихъ значительно облегчается предварительнымъ разрыхленіемъ отъ вывѣтриванія, которое въ жаркихъ и обнаженныхъ областяхъ вызывается, главнымъ образомъ, рѣзкими колебаніями температуры. Не останавливаясь на подробностяхъ этихъ процессовъ, которые будутъ разсмотрѣны ниже (въ главѣ III), мы замѣтимъ здѣсь только, что вслѣдствіе колебаній температуры не только обнаженные утесы, скалы, но даже отдѣльныя глыбы и щебень разсѣкаются съ поверхности многочисленными трещинами, часто незамѣтными



Фиг. 22. — Развѣваемыя скалы гранита и ноздреватые камни въ окрестностяхъ города Кобдо на пер. Уланъ-дабанъ (по Клеменцу).

для глаза, но обнаруживающимися при легкомъ ударѣ молотка; при этомъ утесъ, съ виду совершенно здоровый, разсыпается на остроугольные обломки, которые въ свою очередь при сильномъ ударѣ, разлетаются на мелкіе кусочки, такъ что бываетъ затруднительно добыть свѣжій образецъ породы для коллекціи. Такія гнилыя скалы, разумѣется, легко разрушаются ударами вѣтра и потому у подошвы ихъ всегда накопляются различной величины обломки и песокъ (фиг. 22); мѣстами цѣлые утесы и гряды превращаются въ кучи глыбъ и щебня. Процессъ этотъ можно прослѣдить даже на самыхъ мелкихъ кускахъ, величиною съ лѣсной орѣхъ, которые часто до того разбиты незамѣтными трещинами, что раздавливаются между пальцами. При такихъ условіяхъ вѣтеръ еще больше измельчаетъ подготовленный матеріалъ, мелкія частицы постепенно развѣваетъ и такимъ образомъ очищаетъ склоны разрушающихся скалъ.

Процессъ развѣванія прежде всего выражается въ обтачиваніи и шлифованіи, которыя состоятъ въ томъ, что вѣтеръ, подхватывая мел-

кіе камушки, песчинки и пылинки, ударяетъ ими о поверхность скалъ или отдѣльныхъ глыбъ или даже мелкихъ обломковъ, обтачиваетъ, истираетъ или шлифуетъ ихъ, и тѣмъ самымъ придаетъ имъ особую оригинальную форму. Процессъ этотъ уже давно примѣняется въ техникѣ для приготовленія матоваго стекла посредствомъ воздушной струи, несущей шлифовальный порошокъ, но въ природѣ онъ подмѣченъ только недавно, хотя проявляется весьма разнообразно и мощно, увеличивая силу развѣванія.

Характеръ и сила обтачиванія зависитъ отъ многихъ частныхъ условій: отъ твердости, однородности и сложенія обтачиваемыхъ породъ, отъ формы ихъ залеганія, отъ силы вѣтра и крупности обтачивающихъ частицъ, которыя въ одномъ случаѣ дѣйствуютъ какъ рѣзцы, проводящіе штрихи, борозды и желоба, въ другомъ какъ сверлящія орудія, обусловливающія ноздреватыя и пещеристыя скалы и въ третьемъ какъ шлифовальный порошокъ, образующій черную корку или такъ называемый загаръ породъ.

Въ этомъ отношеніи весьма поучительны опыты проф. Туле [3]), который, дѣйствуя при разныхъ условіяхъ летучимъ пескомъ или порошкомъ на породы, пришелъ къ слѣдующимъ результатамъ:

I. Интенсивность обтачиванія прямо пропорціональна количеству порошка или песка, направляемаго на породу.

II. Полированныя породы гораздо лучше сопротивляются обтачиванію, нежели шероховатыя.

III. Обтачиваніе увеличивается съ удаленіемъ отъ центра истеченія песка, но только до извѣстныхъ предѣловъ, обусловленныхъ силою выдуванія, за которыми быстро уменьшается и даже совершенно прекращается.

IV. Песокъ, служившій для обтачиванія, на столько округляется, что при вторичномъ употребленіи оказываетъ болѣе слабое дѣйствіе, чѣмъ свѣжій, состоящій изъ угловатыхъ зеренъ.

V. Обтачиваніе увеличивается съ увеличеніемъ зеренъ песка, но сравнительно слабо.

VI. Известковый порошокъ не производитъ обтачиванія кварцевой породы; при однородности порошка и породы обтачиваніе проявляется слабо; сильнѣе всего оно наблюдается при дѣйствіи твердаго порошка на слабую породу, напр. кварцеваго песка на известнякъ.

VII. Обтачиваніе прямо пропорціонально скорости воздушной струи или вѣтра, приносящаго песокъ.

VIII. Обтачиваніе происходитъ наиболѣе энергично при дѣйствіи горизонтальнаго тока на вертикальную поверхность и быстро уменьшается при наклонѣ этой поверхности до 60°; а при болѣе пологомъ паденіи почти прекращается.

IX. Сопротивленіе обтачиванію всѣхъ твердыхъ тѣлъ возможно выразить цифрами, если принять за единицу—сопротивленіе кварцевой пластинки, вырѣзанной перпендикулярно къ кристаллографической оси.

X. Въ кристаллахъ обтачиваніе, какъ и всѣ другія физическія свойства, слѣдуютъ законамъ симметріи.

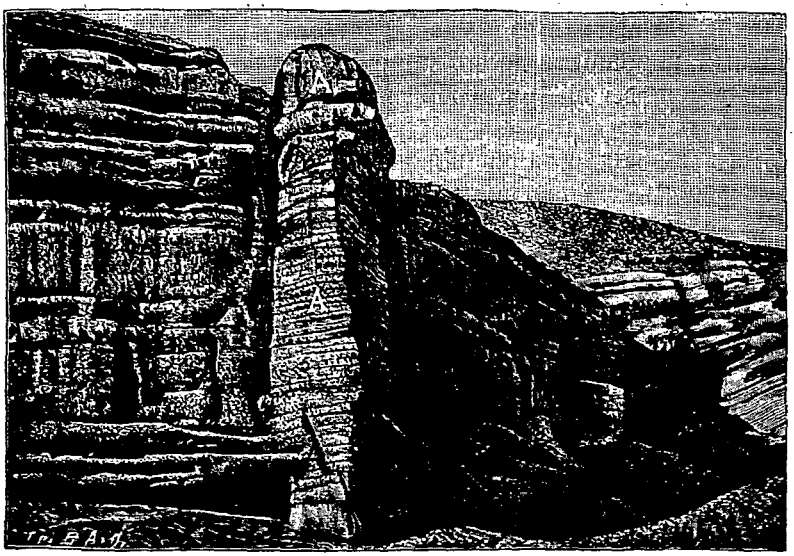
XI. Мелкозернистыя и однородныя породы гораздо устойчивѣе и лучше сопротивляются обтачиванію, нежели крупнозернистыя породы, состоящія изъ разнородныхъ элементовъ.

XII. Сухія и плотныя породы труднѣе поддаются обтачиванію, нежели влажныя и пористыя.

Обтачиваніе, какъ и вообще развѣваніе, прежде всего истираетъ самыя слабыя части скалъ, пользуясь трещиноватостью и разнородною твердостью породъ, вслѣдствіе чего поверхность ихъ покрывается бугорками, бороздками, желобами и даже пещерками, расположеніе которыхъ зависитъ отъ состава, сложенія и формы залеганія породъ.

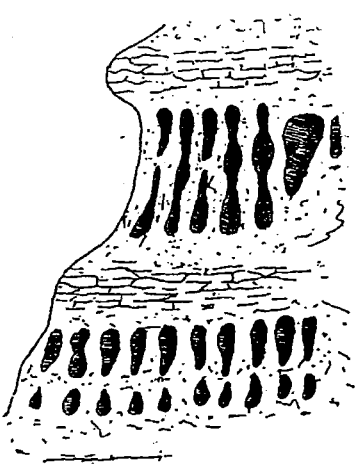
Въ слоистыхъ породахъ съ разнообразными трещинами обнаженія подъ вліяніемъ обтачиванія получаютъ ребристую поверхность, такъ какъ

болѣе мягкіе слои быстрѣе истираются и на мѣстѣ ихъ появляются углубленія, между которыми выступаютъ болѣе твердые слои въ видѣ реберъ; но кромѣ того вертикальныя трещины, постепенно расширяясь, при-



Фиг. 23. — Песчаники съ эоловыми углубленіями въ ур. Кара-сакалъ на Когартѣ, въ Ферганѣ.

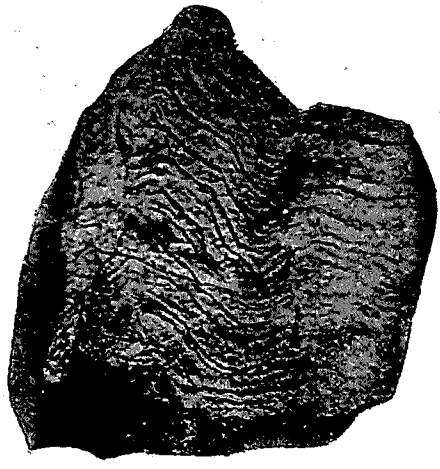
даютъ породѣ какъ бы столбчатую отдѣльность, при чемъ нѣкоторые столбы иногда совершенно отдѣляются и изолируются, какъ напр. въ третичныхъ красныхъ песчаникахъ Иркештама на Алаѣ, въ долинѣ Когарта въ Ферганѣ (фиг. 23), гдѣ углубленія отъ развѣванія разростаются до величины большихъ пещеръ, а отдѣляющіяся части обнаженія принимаютъ форму столбовъ (АА. фиг. 23) или даже цѣлыхъ колоннадъ, напр. въ Египетской пустынѣ (фиг. 24). На плотныхъ известнякахъ и даже твердыхъ повидимому однородныхъ кварцитахъ бороздки достигаютъ размѣровъ ледниковыхъ желобовъ, напр. у колодцевъ Джуванъ-кумъ въ Кызылъ-кумахъ на плоскостяхъ напластованія мѣлового песчаника бороздки имѣютъ до 10 см. ширины и до 70 см. длины; онѣ раздѣлены острыми гребнями, напоминающими карровыя поверхности въ миніатюрѣ. Въ горахъ Кукча, Устыкъ и др. тѣ же породы покрыты не только бороздками, но котлообразными и цилиндрическими углубленіями, похожими на исполиновые котлы, образующіеся при водопадахъ. Не только на большихъ обнаженіяхъ, но даже на маленькихъ галькахъ, повидимому совершенно однородныхъ, обтачиваніе обнаруживаетъ различную твердость и производитъ ребристость,



Фиг. 24. — Колоннады развѣванія въ Египетской пустынѣ.

напр., въ совершенно однородномъ известнякѣ (фиг. 25) или въ известнякѣ съ прожилками кварца, гдѣ болѣе твердыя ребра не только отшлифованы, но и покрыты блестящей черной коркой, тогда какъ углубленія — шероховатыя и матовыя (фиг. 26). Иногда эти борозды располагаются даже не по слоямъ, а въ зависимости отъ направленія измѣненія твердости и господствующаго вѣтра; такъ иногда онѣ располагаются какъ бы пучками или діагонально, напр. борозды на сфинксѣ у Гизеха въ Египтѣ (фиг. 27), которыя принимались даже за настоящую діагональную слоеватость; между тѣмъ это борозды обтачиванія, расположившіяся косо вслѣдствіе наибольшей податливости частицъ въ этомъ направленіи. Если въ слоистой породѣ находятся включенія бо́льшей твердости, чѣмъ окружающая масса, то вмѣсто бороздокъ получаются непра-

Фиг. 25. — Поверхность развѣванія на известнякѣ.



Фиг. 26. — Ребристая поверхность развѣванія на известнякѣ съ прослойками кварца.

вильныя углубленія съ сосцевидными возвышеніями, соотвѣтствующими твердымъ включеніямъ напр., въ мѣловомъ известнякѣ съ кремневыми конреціями, въ нуммулитовыхъ известнякахъ (фиг. 28), въ песчаникахъ съ галъками и пр.

Въ сложныхъ массивно-кристаллическихъ породахъ, состоящихъ изъ минераловъ различной твердости, вмѣсто бороздокъ и штриховъ чаще происходятъ углубленія, соотвѣтствующія болѣе слабымъ минераламъ, напр. на порфирахъ и порфиритахъ, у которыхъ блестящая отполированная поверхность основной массы покрыта крупными и мелкими углубленіями, на подобіе оспинокъ, происшедшими отъ развѣванія кристалловъ полевого шпата, болѣе мягкаго, чѣмъ основная масса; тоже бываетъ у крупнозернистаго многослюдистаго гранита, сіенита и пр., сло-

вомъ такимъ путемъ происходятъ ноздреватые камни (см. фиг. 22). Нерѣдко эти ноздрины или дырки разростаются въ большія углубленія на подобіе пещеръ или котловъ (фиг. 29).

При сочетаніи породъ различной твердости и состава, болѣе однородныя и твердыя выступаютъ въ видѣ отполированныхъ гребней, тогда какъ болѣе слабыя, истачиваясь, даютъ углубленія; такое явленіе отчет-

Фиг. 27. — Развѣваемый сфинксъ у Гизеха съ ложною діагональною слоеватостью.

ливо наблюдается на жилахъ, которыя при обтачиваніи выступаютъ или въ видѣ деекъ, если они тверже окружающей породы, напр. жилы порфира въ гранитѣ Синайской пустыни, (фиг. 30) или же въ видѣ соотвѣтствующихъ углубленій: желобовъ, каналовъ и пр.

Направленіе господствующихъ вѣтровъ обнаруживается на неравномѣрномъ расположеніи бороздъ или ноздринъ выдуванія не только на утесахъ, скалахъ или большихъ глыбахъ, но даже на маленькихъ галькахъ, которыя получаютъ особую окраску; такъ въ Центральной Азіи при господствѣ СЗ вѣтра—эта сторона камней гораздо болѣе обточена,

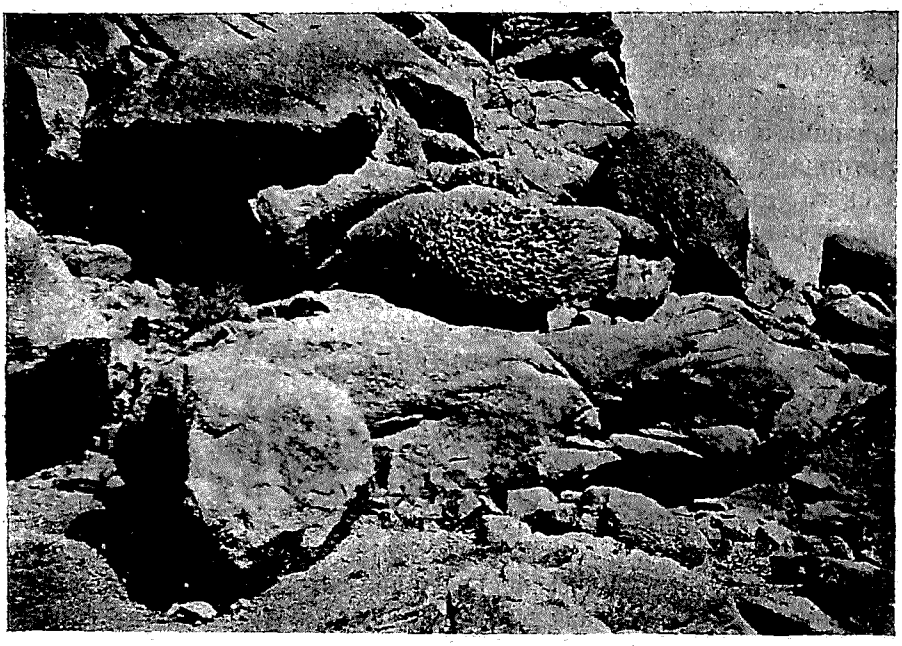
нежели другія, покрытыя нерѣдко мелкими расходящимися штрихами, а противуположная юго-восточная сторона обнаруживаетъ очень сложный рисунокъ выпуклостей и впадинъ, произведенный песчинками, стекавшими по этой сторонѣ сверху. Въ Туркестанѣ наиболѣе обточенною стороною является сѣверо-восточная, вслѣдствіе преобладанія СВ вѣтра. При одинаковомъ господствѣ вѣтровъ двухъ или трехъ направленій нерѣдко получается двухъ—трехъ—или многогранники (фиг. 31—32), которые встрѣчаются не только въ пустыняхъ, но и среди дюнъ, напр. въ Потсдамѣ [4]), Ютландіи, Веллингтона въ Новой Зеландіи [5]), у Синихъ горъ близъ Ревеля, [6]) и пр.; въ послѣдней мѣстности они имѣютъ форму трехгранниковъ (Dreikanter) въ зависимости отъ господствующихъ С, ЮВ и ЮЗ вѣтровъ; есть указанія [7]) на нахожденіе подобныхъ камней въ древнихъ системахъ, напр. въ кембрійской у Люгнесъ въ Швеціи, что свидѣтельствуетъ о такой же дѣятельности вѣтра въ минувшія эпохи. Нѣкоторые изслѣдователи [8]) отрицаютъ орьентировку граней по странамъ свѣта, въ зависимости отъ направленія господствующихъ вѣтровъ, и предполагаютъ, что огранка ихъ происходитъ вслѣдствіе отклоненія движущихся песчинокъ другими сосѣдними камнями по направленіямъ различнымъ для одного и того же мѣста и что ребро представляетъ вторичную случайную особенность, происходящую отъ пересѣченія двухъ граней, обтачиваемыхъ двумя опредѣленными токами песчинокъ и представляющихъ первичную, существенную особенность многогранниковъ; это отчасти подтверждается расположеніемъ граненыхъ камней среди другихъ (фиг. 32). При господствѣ вѣтровъ разнаго направленія гальки обтачиваются со всѣхъ сторонъ и превращаются въ правильные шарики (фиг. 32) разной величины, которые какъ орѣхи разсыпаны по поверхности и называются въ пустыняхъ Азіи — каменнымъ дождемъ.

Фиг. 28. — Развѣваемый нуммулитовый известнякъ.

Такимъ образомъ породы однородныя и твердыя истачиваются меньше и полируются больше, тогда какъ мягкія и сложныя породы наоборотъ; въ нихъ обтачиваніе песчинками, точно рѣзцомъ или сверломъ, обнаруживаетъ составляющія ихъ зерна, слои, гнѣзда и жилы различной твердости; болѣе твердые участки образуютъ отполированныя выпуклости, а болѣе мягкія—впадины: матовыя и шероховатыя. Вообще полагаютъ [9]), что болѣе мягкія породы песокъ точитъ, а болѣе твердыя—шлифуетъ и полируетъ. Хотя вода съ иломъ и пескомъ, какъ увидимъ ниже, производитъ подобное же дѣйствіе, но гораздо въ меньшей степени; работа воды и ея рѣзецъ, такъ сказать, грубѣе и обнаруживаетъ разницу въ твердости породъ менѣе рельефно; кромѣ того вода не полируетъ породъ такъ совершенно; обточенные водою гальки, валуны и

утесы блестятъ только пока они влажны, а по высыханіи они становятся матовыми. Вода уничтожаетъ даже полировку, произведенную пескомъ, такъ какъ въ сухихъ руслахъ пустынь, гдѣ имѣются благопріятныя условія для шлифовки и гдѣ вода бываетъ только изрѣдка, можетъ быть одинъ разъ въ теченіи нѣсколькихъ лѣтъ, полировка не наблюдается, а зарождающаяся уничтожается; вообще нужны многіе годы, чтобы на утесахъ и галькѣ получились тѣ рѣзкіе слѣды работы песка, которые развиты тамъ, гдѣ не работаетъ проточная вода.

Кромѣ вышеописанныхъ явленій обтачиванія и шлифовки пескомъ, большой интересъ представляетъ также черная или черно-бурая корка



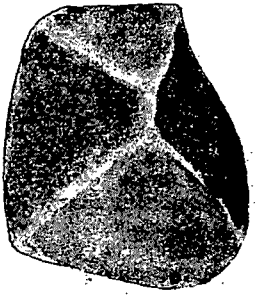
Фиг. 29. — Пещеры развѣванія въ гранитахъ окр. Кобдо на пер. Уланъ-дабанъ (по Клеменцу).

или такъ называемый пустынный загаръ, который покрываетъ подобно блестящему лаку утесы, валуны и щебень самыхъ разнообразныхъ, но твердыхъ породъ, неисключая бѣлыхъ сахаровидныхъ известняковъ и кварцитовъ. Несмотря на свою нѣжность, она защищаетъ покрытыя ею поверхности отъ дальнѣйшаго истиранія, такъ что надписи, высѣченныя за 2—3000 лѣтъ, сохраняютъ подъ нею свою свѣжесть и удобочитаемость, тогда какъ скалы, непокрытыя коркой, истираются или обтачиваются до уничтоженія. Происхожденіе этого страннаго загара до сихъ поръ еще не выяснено окончательно. Можно только сказать, что эта тонкая, но устойчивая и блестящая корка, состоящая преимущественно изъ окисловъ желѣза (до 36%) и марганца (до 30%) съ глиноземомъ (до 9%) и кремнеземомъ (до $8^1/_2$%), представляетъ слѣдствіе какихъ то загадочныхъ химическихъ процессовъ, которые обусловливаются только исключительными особенностями климата пустынь, такъ какъ внѣ пустынь

загаръ никогда не наблюдается. Что касается блеска корки, то очевидно онъ происходитъ вслѣдствіе полировки тонкою атмосферною пылью, что подтверждается ихъ совмѣстнымъ нахожденіемъ.

На возможность оригинальныхъ химическихъ процессовъ въ пустыняхъ указываютъ изслѣдованія Зикенбергера [10]), который свидѣтельствуетъ, что пыль изъ углекислаго кальція, подъ вліяніемъ рѣзкихъ перемѣнъ температуры и сильнаго нагрѣванія, доходящаго лѣтомъ до 60°, теряетъ часть углекислоты; если при этомъ она дѣйствуетъ въ присутствіи влаги на аморфный кремнеземъ, то, подобно жженой

Фиг. 30. — Дейки порфира, выступившія отъ развѣванія въ Синайской пустынѣ.



Фиг. 31. — Эоловый многогранникъ.

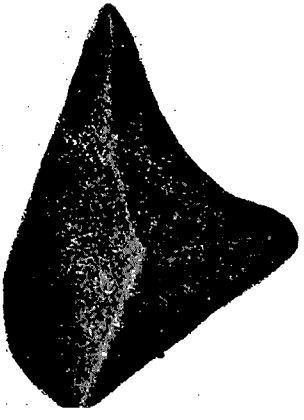
извести съ кварцевымъ пескомъ, даетъ кремневокислый кальцій. Хотя пустыня бѣдна влагою, но при образованіи черной корки вода принимала участіе, какъ доказываетъ анализъ корки съ нубійскаго песчаника въ Ливійской пустынѣ, приводимый проф. Циттелемъ [11]), а именно:

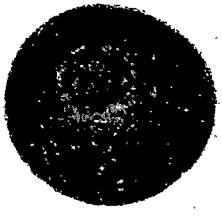
Закиси марганца.	30,57	Окиси желѣза	36,86
Кислорода	4,04	Кремнезема	8,44
Окиси барія.	4,89	Воды.	5,90
Глинозема	8,91	Фосфор. кисл.	0,25
			99,86

В. А. Обручевъ [12]), сопоставляя свои наблюденія надъ условіями нахожденія черной корки въ пустыняхъ Центральной Азіи, дѣлитъ эти условія на двѣ категоріи: a—внѣшнія условія, при которыхъ встрѣчается корка и b—внутреннія, т. е. составъ и строеніе породъ.

Къ внѣшнимъ относятся слѣдующія:

1. Корка достигаетъ наибольшаго развитія, если почва, на которой разсѣяны валуны и щебень, лишена растительности и достаточно тверда; наиболѣе темная и блестящая корка встрѣчается тамъ, гдѣ окружающая почва представляетъ болѣе или менѣе чистую лёссовидную глину.





Фиг. 32. — Трехгранникъ. Многогранники въ пескѣ. Эоловый шарикъ.

2. Если почва рыхлая, песчаная, корка отсутствуетъ и замѣняется песчаной шлифовкой, такъ что эти два рода явленій исключаютъ другъ друга; равнымъ образомъ корка отсутствуетъ тамъ, гдѣ хотя бы изрѣдка бываетъ проточная вода, т. е. по сухимъ русламъ и по дну логовъ и ущелій.

3. Сила освѣщенія и инсоляціи играетъ въ образованіи корки не существенную роль, такъ какъ утесы, валуны и щебень покрыты коркой со всѣхъ сторонъ и разница въ интенсивности корки на южной и сѣверной сторонахъ очень слаба.

4. Корка образуется только на поверхностяхъ, открытыхъ для доступа воздуха, въ трещинахъ она отсутствуетъ и замѣчается только на нѣсколько линій въ глубь отъ наружнаго края, да и то вмѣсто блестящей находится шероховатая, матовая и желтоватаго цвѣта, какъ и на сторонѣ галекъ, обращенной къ почвѣ.

Къ внутреннимъ условіямъ принадлежатъ:

1. Твердость породъ; въ этомъ отношеніи наблюдается полная аналогія между появленіемъ черной корки и песчаной шлифовки, такъ какъ наиболѣе темная и блестящая корка покрываетъ большинство тѣхъ же породъ, которыя обнаруживаютъ наилучшую полировку пескомъ, т. е. породы твердыя, однородныя, плотныя или мелкозернистыя.

2. Цвѣтъ породы не имѣетъ никакого значенія для густоты и блеска корки, которая въ одинаковомъ развитіи встрѣчается на породахъ различныхъ цвѣтовъ: бѣлаго, сѣраго, зеленаго, краснаго и чернаго.

3. Породы, содержащія наибольшее количество кремнезема и желѣза, покрываются наиболѣе темною и блестящею коркою, напр. кварциты, лидиты, кварцевые и кремнистые сланцы, діабазы, базальты, порфиры, порфириты, желѣзняки и пр.; на крупнозернистыхъ гранитахъ корка располагается не сплошь, а пятнами.

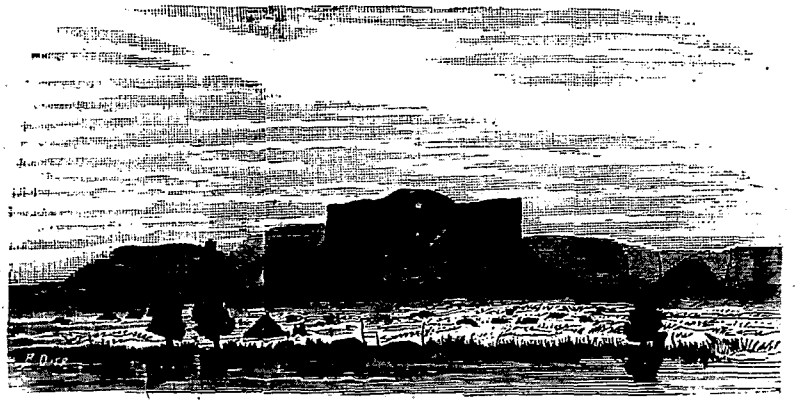
4. На известнякахъ, съ прожилками желѣзистаго кварца, корка не одинаковой интенсивности; наиболѣе темная и блестящая находится на желѣзистомъ кварцѣ, выступающемъ ребрами и бугорками; промежуточные участки известняка грубо шероховаты и покрыты бурой или желтобурой матовой коркой. (см. выше фиг. 25—26).

На основаніи изученія этихъ условій В. А. Обручевъ приходитъ къ слѣдующему заключенію: черная, бурая или желтобурая корка образуется на поверхности горныхъ породъ на счетъ содержащагося въ нихъ кремнезема и желѣза, извлекаемыхъ на поверхность не разъясненными еще путями и способами; блескъ корки зависитъ вѣроятно отъ полировки ея поверхности лёссовою пылью, переносимой вѣтромъ и полировка эта подчиняется тѣмъ же законамъ, какъ и шлифовка пескомъ, представляя явленіе аналогичное, но менѣе интенсивное, вслѣдствіе меньшей величины, большей легкости и поэтому меньшей силы удара лёссовыхъ пылинокъ, сравнительно съ песчинками.

Само собою разумѣется, что шлифовка пескомъ и обмывъ проточной водой, какъ процессы болѣе грубые, въ мѣстахъ своего хотя бы временнаго проявленія быстро уничтожаютъ слѣды нѣжной полировки пылью; но зато тамъ, гдѣ нѣтъ или мало свободнаго песка и куда не попадаетъ проточная вода, блестящая черная корка получаетъ широкое развитіе; она покрываетъ галки, валуны и цѣлые склоны отъ подошвы до вершины, маскируетъ естественный цвѣтъ породъ и придаетъ особый колоритъ какъ отдѣльнымъ ущельямъ, такъ и цѣлымъ полосамъ пустынь, которыя при этомъ въ зависимости отъ освѣщенія то блестятъ и сверкаютъ множествомъ синеватыхъ огоньковъ, то погружаются въ мракъ и подавляютъ своею чернотою. Всѣ эти явленія проявляются въ широкихъ размѣрахъ въ каменистыхъ пустыняхъ, гдѣ много выдающихся скалъ или высокихъ террассъ (см. фиг. 22, 29, 30), которыя вмѣстѣ съ тѣмъ подвергаются довольно сложному и оригинальному расчлененію.

Развѣваніе не только точитъ, сверлитъ и шлифуетъ породы, но и удаляетъ измельченный матеріалъ, вслѣдствіе чего мелкія бороздки и ноздрины, постепенно увеличиваясь, превращаются въ теченіе вѣковой дѣятельности вѣтра въ глубокія долины и котловины, а промежуточныя между ними части выступаютъ въ видѣ причудливыхъ скалъ, отвѣсныхъ утесовъ и крутобокихъ столовыхъ горъ. Исключительное развитіе этихъ элементовъ развѣванія на обширныхъ площадяхъ свидѣтельствуетъ о той могучей силѣ, которую проявляетъ вѣтеръ въ пустыняхъ, гдѣ онъ по истинѣ является богатыремъ, подчиняющимъ себѣ всѣ другіе агенты и создающимъ особыя формы рельефа, рѣзко отличающіяся отъ рельефа

размыванія. Вода, какъ болѣе сильный агентъ, производитъ гораздо болѣе грандіозныя формы рельефа, но работа ея имѣетъ совершенно другой характеръ; она такъ сказать привязана къ опредѣленному мѣсту, ограниченному рамками ущелій и долинъ; высокія вершины, подвергаясь вывѣтриванію, большею частью находятся внѣ сферы дѣйствія проточной воды. Вѣтеръ же наоборотъ дѣйствуетъ совершенно свободно и не стѣсняется никакими рамками; онъ одинаково развѣваетъ узкія ущелья, широкія долины, обширныя равнины и высокія вершины. Вода уноситъ смываемые ею продукты разрушенія всегда внизъ; вѣтеръ же разноситъ ихъ по самымъ различнымъ направленіямъ и даже вверхъ по долинамъ, черезъ гребни хребтовъ, вывѣваетъ ихъ изъ замкнутыхъ котловинъ и отлагаетъ на высотахъ. Формы размыва отличаются мягкими контурами, склоны ихъ сглажены, покрыты растительностью, а подножіе утопаетъ



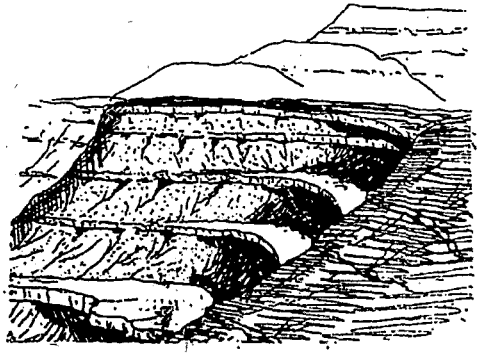
Фиг. 33. — Горы Маха-деневъ на Сенегалѣ.

въ мощныхъ осыпяхъ; вертикальные склоны имѣютъ ограниченное распространеніе, появляются только при началѣ формированія долинъ, въ ущельяхъ, но затѣмъ постепенно превращаются въ пологіе, съ угломъ паденія въ зависимости отъ геологическаго состава; такое измѣненіе склоновъ происходитъ сравнительно въ короткое время, напр. въ нашихъ ростущихъ оврагахъ, которые вмѣстѣ съ тѣмъ показываютъ, что верховья долинъ размыва большею частью имѣютъ заостренную форму. Совершенно другое представляютъ формы развѣванія: онѣ отличаются острыми и рѣзкими контурами и почти всегда крутыми или даже отвѣсными, обнаженными склонами; крутобокія долины, скалы и горы составляютъ непремѣнную принадлежность каменистой пустыни (фиг. 33). Но самая характерная особенность рельефа пустынь заключается въ отсутствіи какихъ либо щебневыхъ накопленій: осыпей или розсыпей на склонахъ и у подножія горъ, даже въ случаѣ ихъ энергичнаго вывѣтриванія (фиг. 34, также см. фиг. 30). Причина этого явленія кроется въ томъ, что съ одной стороны рѣдкіе дожди легко уносятъ рыхлый матеріалъ, а съ другой вѣтеръ постоянно раздуваетъ продукты разрушенія и очища тъ склоны. Вслѣдствіе этого горы пустынь всегда сохраняютъ рѣзкость контуровъ и представляютъ большой контрастъ съ окружающею, выровненною поверхностью; онѣ возвышаются надъ пустынею наподобіе

крутосклонныхъ островововъ, омываемыхъ волнами моря. Не только отдѣльныя горы среди пустыни или склоны глубокихъ долинъ, но и большіе горные кряжи обнаруживаютъ такой же контрастъ въ сосѣдствѣ съ пустынею, напр. Копетъ-дагъ, Тянь-шань, Куэнь-лунь и др., которые поднимаются сразу безъ промежуточныхъ предгорій, сглаживающихъ рѣзкость перехода отъ равнины къ горамъ [13]). Въ такихъ случаяхъ бурныя воды, вырывающіяся изъ горъ, сразу ослабляютъ свою дѣятельность, разбиваются на множество рукавовъ и быстро поглощаются пустынею.

Долины развѣванія также отличаются своеобразнымъ характеромъ; кромѣ отвѣсныхъ склоновъ съ разнообразными выступами и углубленіями, онѣ въ противуположность островершиннымъ оврагамъ или вообще долинамъ размыва, оканчиваются и прерываются котловинами или цирками. Вода, стекая сверху внизъ, производитъ рытвины, расширяющіяся къ низу и съуживающіяся къ верху; вѣтеръ же выдуваетъ котловины или такъ

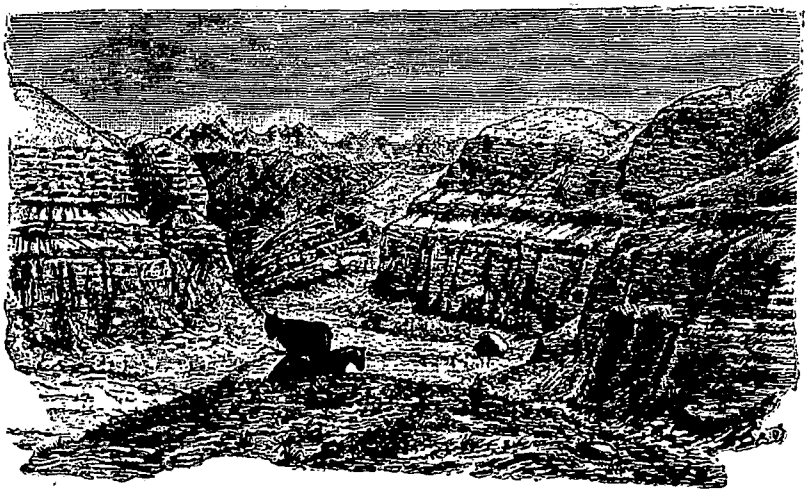
Фиг. 34. — Склоны и русло вади въ Синайскоой пустынѣ.



Фиг. 35. — Террассы въ видѣ амфитеатра на сѣв. склонѣ Джебель.

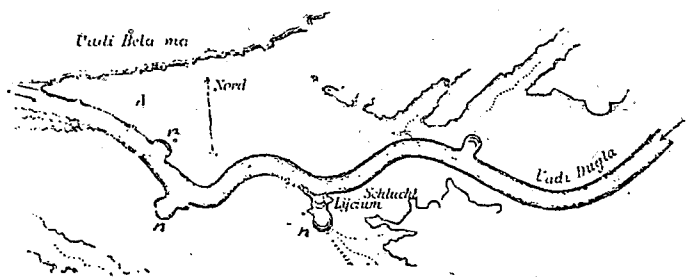
называемыя ванны, а на крутыхъ склонахъ бухтообразныя выемки, получающія въ горизонтальныхъ неоднородныхъ породахъ характеръ амфитеатра, напр. на сѣв. склонѣ Джебель-турра (фиг. 35), гдѣ ломали квадерный песчаникъ для постройки пирамидъ Гизеха. Тѣ и другія попадаются отдѣльно или же соединяются въ самостоятельныя системы, или наконецъ пріурочиваются къ старымъ сухимъ русламъ размыва, которыхъ въ пустыняхъ всегда много. Эти сухія русла, называемыя вади (Сахара), узбои, унгузы (Закаспійская область), прорѣзываютъ пустыню въ разныхъ направленіяхъ и свидѣтельствуютъ о бывшемъ когда-то болѣе влажномъ климатѣ. Хотя они произведены размывомъ и до сихъ поръ служатъ для стока рѣдкихъ и бурныхъ водъ пустыни, но общій характеръ ихъ измѣненъ развѣваніемъ. Дно ихъ выглажено (см. фиг. 34), крутые или отвѣсные склоны лишены осыпей и покрыты различными формами развѣванія, въ зависимости отъ состава, напр. на гранитовыхъ склонахъ наблюдаются многочисленныя норы, ниши и группы разнообразной формы столбовъ (см. фиг. 34); на склонахъ, состоящихъ изъ разнородныхъ горизонтальныхъ пластовъ: конгломератовъ, песчаниковъ и пр., рядомъ съ норами, нишами преобладаютъ террассы (фиг. 36), напр. въ конгломератовыхъ склонахъ долины Исфанэ въ Ферганѣ. Нерѣдко на склонахъ вади

небольшія впадины разростаются въ слѣпыя мѣшкообразныя бухты, напр. въ вади Дугла (фиг. 37) наблюдается ихъ четыре на небольшомъ разстояніи (*n*, *n* фиг. 37). Сосѣднія бухты, удлиняясь, соединяются иногда своими вершинами и вообще обособляютъ столовыя горы или отдѣльные столбы и



Фиг. 36. — Долина Исфанэ въ Ферганѣ.

усложняютъ гидрографическую систему вади. Весьма вѣроятно, что развитіемъ такихъ бухтъ объясняется та особенность долинъ пустынъ, на которую давно уже обратилъ вниманіе Швейнфуртъ, а именно, что боковыя ущелья почти всегда составляютъ съ главнымъ вади прямой или тупой уголъ, а не острый, какъ въ большинствѣ живыхъ рѣкъ; хотя вообще вади или узбои большею частью бѣдны или даже лишены при-

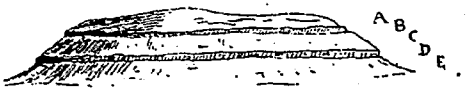


Фиг. 37. — Вади Дугла съ бухтообразными углубленіями *n*, *n*.

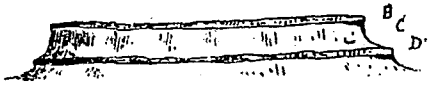
токовъ. Благодаря сочетанію бухтъ русло вади мѣстами значительно расширяется, что впрочемъ можетъ произойти также отъ соединенія вади съ прежде образовавшеюся котловиною. Иногда вмѣсто бухтообразныхъ выемокъ появляются узкіе каналы, которые тоже могутъ измѣнить гидрографическій характеръ вади. Такой случай наблюдалъ Вальтеръ на вади Мухейредъ въ области гранитовъ Синайской пустыни. Плоская котловина съ уцѣлѣвшимъ отъ развѣванія островкомъ гранита, продолжалась въ вади Мухейредъ, которая и служила единственнымъ сточнымъ кана-

ломъ во время рѣдкихъ дождей до тѣхъ поръ, пока не образовалось на правой западной сторонѣ узкое ущелье на мѣстѣ развѣянной жилы порфира около 1 м. толщиною, которое сдѣлалось сточнымъ каналомъ вмѣсто вади Мухейредъ.

Что касается самостоятельныхъ котловинъ и долинъ развѣванія, то расположеніе ихъ отличается большою сложностью и отсутствіемъ какой либо правильности, такъ какъ въ каждомъ данномъ мѣстѣ оно зависитъ отъ распредѣленія болѣе мягкихъ породъ или болѣе слабыхъ частей

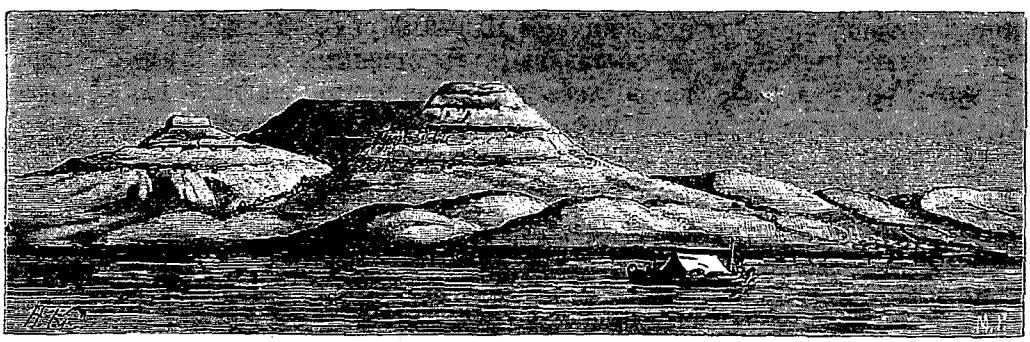


Фиг. 38. — Перемежающіеся слои мергеля (A, C, E) и известняка (B, D).



Фиг. 39.

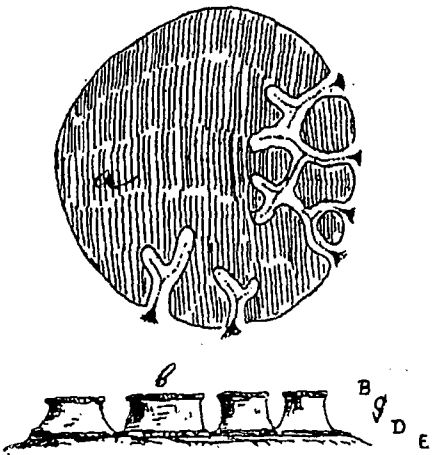
одной и той же породы. При благопріятныхъ условіяхъ онѣ постепенно разростаются, расширяются и сливаются между собою, образуя запутанную систему выемокъ; въ то же время высоты между ними также постепенно уменьшаются, раздѣляются на отдѣльныя скалы, столовыя горы и даже изолированные столбы, которые въ концѣ концовъ развѣваются до основанія, пустыня совершенно выравнивается, поверхность ея покрывается щебнемъ или летучимъ пескомъ и тогда каменистая пустыня



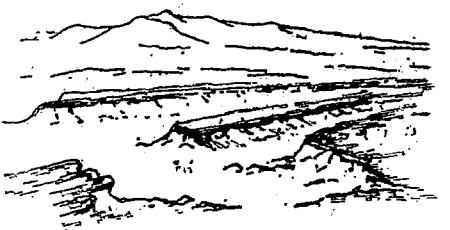
Фиг. 40. — Горы Устыкъ на Аму-Дарьѣ.

превращается въ кремнистую или песчаную. Процессъ этотъ происходитъ постоянно, хотя медленно и съ разною интенсивностью въ зависимости отъ геологическаго строенія пустыни; съ наибольшею отчетливостью онъ проявляется въ слабыхъ осадочныхъ породахъ, гдѣ и прослѣдить его весьма удобно. Допустимъ, что пустыня, какъ напр. сахарская Гамада, состоитъ изъ горизонтальныхъ, перемежающихся слоевъ мягкаго мергеля (A, C, E фиг. 38) и твердаго известняка (B, D фиг. 38), тогда верхній слой A, постепенно развиваясь, быстро уничтожается и поверхность пустыни понижается на толщину этого верхняго мергеля (фиг. 39); такимъ путемъ иногда выдуваются кладбища на столько, что обнажаются гроба, напр. въ нѣкоторыхъ селеніяхъ по Аму-дарьѣ, у станцій пилигримовъ на Синайскомъ полуостровѣ, и пр. Въ Кызылъ-кумахъ третичные

мергелистые песчаники, до 40 м. толщиною, развѣваются до твердыхъ известняковъ, такъ что на значительныхъ площадяхъ уцѣлѣли только клочки ихъ въ видѣ небольшихъ столовыхъ или коническихъ горъ, напр. горы Храчь, Келятъ, Устыкъ (фиг. 40) на Аму-дарьѣ и др.; большая же часть ихъ превратилась въ летучій песокъ, который ихъ окружаетъ. Всѣ такія столовыя горы развѣванія Вальтеръ называетъ «свидѣтелями» (Zeugen), а арабы—гура; они представляютъ подобіе тѣхъ земляныхъ



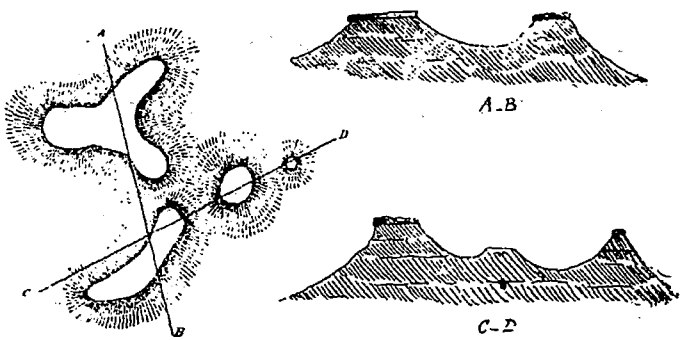
Фиг. 41.—a—планъ; b—профиль развѣваемой площади.



Фиг. 42. Рытвины развѣванія.

столбовъ, которые оставляются при выемкахъ для учета земляныхъ работъ.

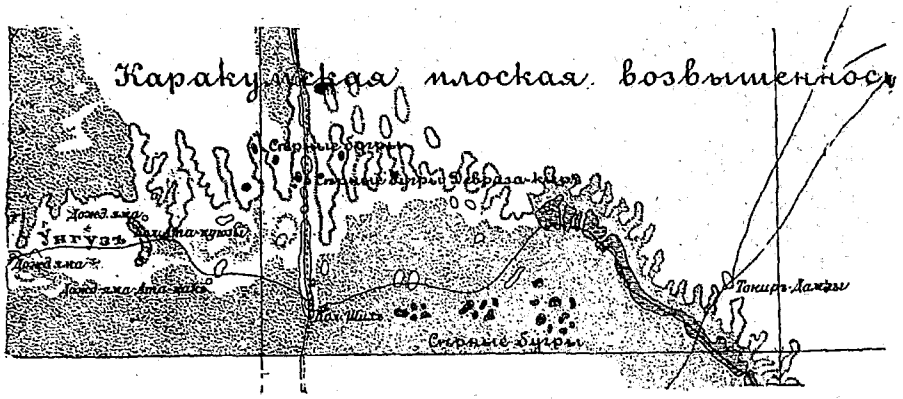
Известнякъ (B фиг. 39), обнажившійся послѣ уничтоженія верхняго мергеля, отличается устойчивостью и съ поверхности мало поддается раз-



Фиг. 43.—Планъ и профили холмовъ развѣванія въ Гадамесѣ.

вѣванію, но такъ какъ подъ нимъ залегаетъ тотъ же рыхлый мергель (C фиг. 39), то на всѣхъ обрывахъ и особенно на окраинахъ плато онъ подтачивается вѣтромъ снизу и выступаетъ въ видѣ террассъ и карнизовъ. Нависающія части обламываются неравномѣрно, вслѣдствіе чего вскорѣ образуются бухтообразныя углубленія, въ которыхъ выдуваніе происходитъ особенно энергично, тѣмъ болѣе, что бухточки обыкновенно соотвѣтствуютъ или трещинамъ или наиболѣе слабымъ мѣстамъ известняка. Бухты, постепенно увеличиваясь, превращаются въ слѣпыя долины, которыя соединяются своими вершинами и придаютъ однообраз-

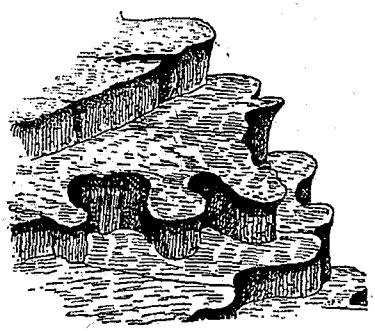
ной поверхности довольно сложное расчлененіе, характеризующееся столовыми горами, или гура (фиг. 41a—планъ, 41b — профиль). Глубина такихъ долинокъ соотвѣтствуетъ толщинѣ второго слоя мергеля (С фиг. 39); въ развѣваемыхъ мѣстностяхъ онѣ встрѣчаются на каждомъ шагу вмѣстѣ съ раздѣляющими ихъ плоскими гребнями (фиг. 42) и представ-



Фиг. 44. — Сѣрные бугры у расчлененной окраины Устюрта.

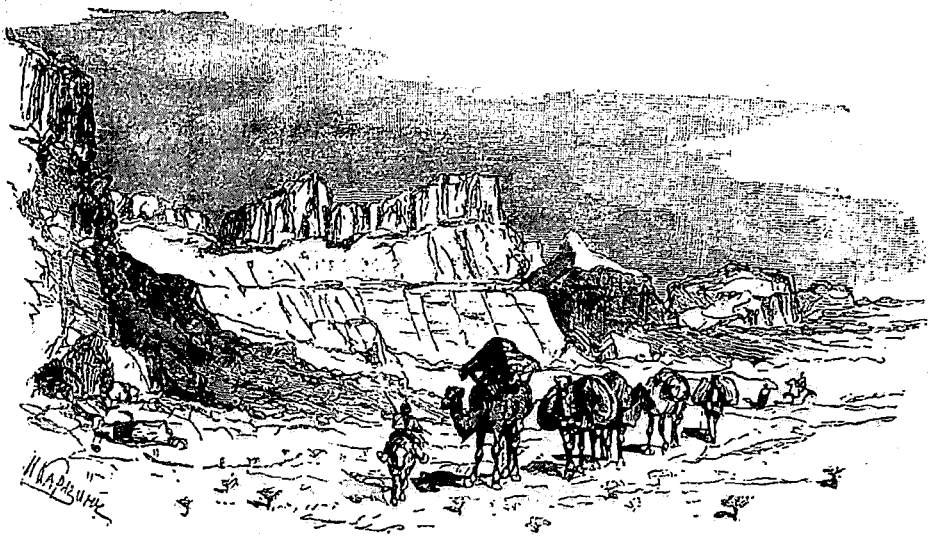
ляютъ характерный элементъ развѣванія. При дальнѣйшемъ дѣйствіи вѣтра столовыя горки постепенно уменьшаются, получаютъ однообразную форму и образуютъ группы разобщенныхъ холмовъ, какъ напр. въ Кефъ-эль-гара въ Гадамесѣ (фиг. 43) или такъ называемые сѣрные бугры въ Закаспійской области недалеко у колодцевъ Шихъ (фиг. 44) и пр. Нѣкоторыя изъ этихъ столовыхъ горокъ или свидѣтелей благодаря большей устойчивости переживаютъ своихъ сосѣдей и представляютъ изолированные холмы среди ровной поверхности, (фиг. 45), но въ концѣ концовъ и онѣ развѣваются, а пустыня еще болѣе понижается. Въ В. Монголіи на окраинахъ плато, состоящихъ изъ такъ называемыхъ ханхайскихъ отложеній, образуются совершенно такія же формы развѣванія, какъ и въ вышеприведенной схемѣ; твердыя ханхайскіе конгломераты соотвѣтствуютъ известнякамъ Гамада, а подстилающіе ихъ рыхлые песчаники и глины—мергелямъ. Въ болѣе или менѣе однородныхъ и мощныхъ слояхъ на окраинахъ обрывовъ происходятъ иногда замѣчательно правильныя террассы и бухты, напр. въ Нубійскомъ песчаникѣ Джебель Гамамъ Муза (фиг. 46). Въ трещиноватыхъ же известнякахъ, на-

Фиг. 45. — Свидѣтель или гура.



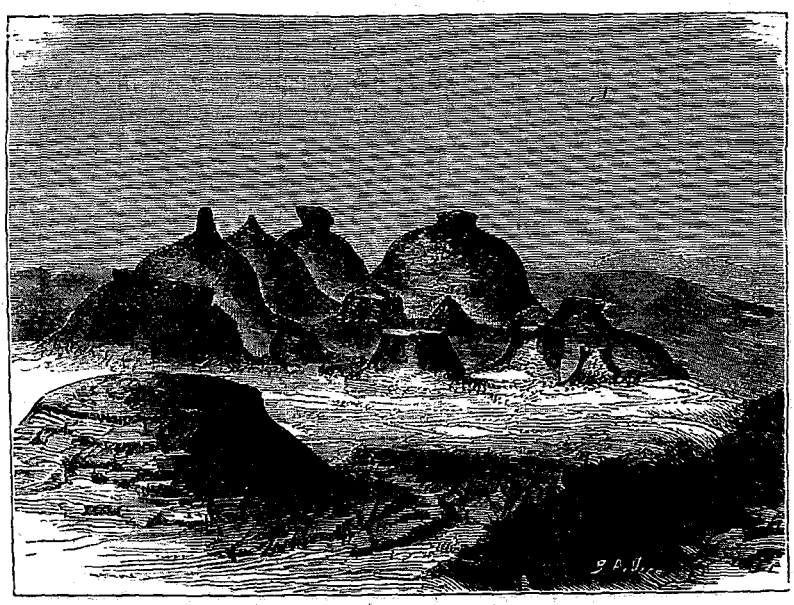
Фиг. 46. — Нубійскіе песчаники Джебель Гамамъ Муза.

противъ, получаются неправильные выступы и углубленія съ острыми шпицами, столбами и пр., напр. на обрывахъ Устюрта, называемыхъ



Фиг. 47. — Окраина Устюрта (чинки).

чинками и кырами (фиг. 47). Свидѣтели или гуры изъ плотныхъ породъ развѣваются медленно и образуютъ иногда группы правильно обточенныхъ куполообразныхъ холмовъ, напр. въ Мокки-кунти въ С. Аме-



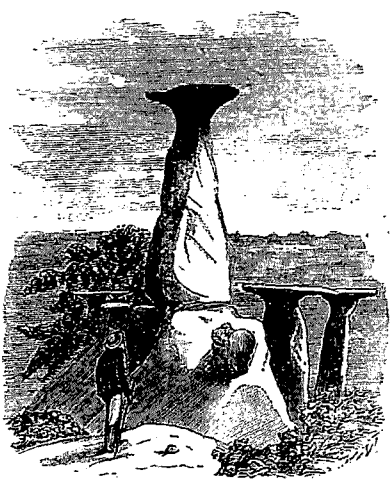
Фиг. 48. — Эоловые купола въ Мокки-кунти.

рикѣ (фиг. 48). Въ такихъ случаяхъ, при благопріятномъ сочетаніи твердыхъ породъ, на мѣстѣ «свидѣтелей» или гура появляются крайне оригинальныя и замѣчательныя формы развѣванія, такъ называемыя грибообразныя скалы или грибы пустынь, эоловые столбы (фиг. 49), напр.

въ вади Тарфехъ въ 15 кил. къ востоку отъ Маттао. Они напоминаютъ собою друидическіе памятники и достигаютъ до 10 метровъ высоты. Особенно замѣчательны такіе столбы въ третичныхъ песчаникахъ Колорадо, въ такъ называемомъ паркѣ Монументовъ (фиг. 50—51); верхушки ихъ обыкновенно расширены въ видѣ гриба вслѣдствіе того, что верхніе

Фиг. 49. — Грибы пустыни въ вади Тарфехъ.

пласты песчаника, по словамъ Гайдена [15]), сильно желѣзистые и твердые. Въ отличіе отъ столбовъ низкія формы называютъ эоловыми столами (фиг. 52), которые, развѣваясь иногда съ одной стороны, образуютъ нависшія скалы или такъ наз. эоловыя бальмы (фиг. 52*a*).



Фиг. 50. — Эоловый столбъ.

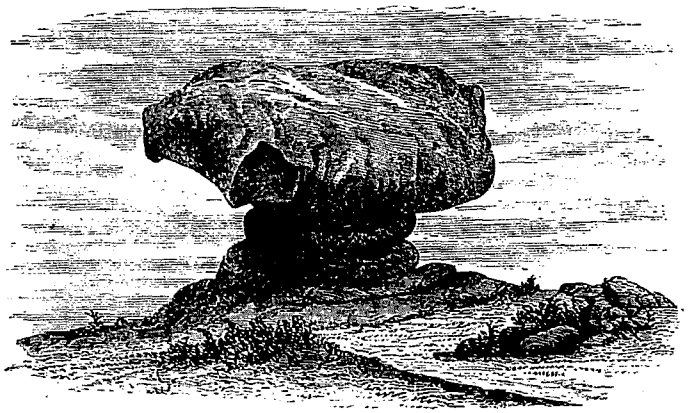
При нарушенномъ залеганіи слоистыхъ породъ, особенно при складчатости ихъ, формы развѣванія получаются иныя; вмѣсто столовыхъ горъ преобладаютъ шатрообразныя горы (фиг. 53). Около Абу-Роаша, складчатый мѣловый известнякъ (фиг. 54) при развѣваніи даетъ цѣлыя группы шатрообразныхъ выступовъ, соотвѣтствующихъ головамъ отдѣльныхъ пластовъ (фиг. 55), которые, постепенно разрушаясь, сравниваются и на мѣстѣ холмистой страны появляется равнина съ небольшими только выступами болѣе твердыхъ слоевъ и съ разсѣянными на ней валунами устойчивыхъ марганцевыхъ конкрецій (фиг. 56). Если эти конкреціи большихъ размѣровъ, то онѣ прикрываютъ собою породы отъ развѣванія и позади ихъ сохраняются небольшіе разносклонные холмики (фиг. 57), которые нарушаютъ однообразіе равнины, напр. въ Арабахскихъ горахъ на Синайскомъ полуостровѣ, въ области Нубійскаго песчаника; рядомъ съ валунами остаются мѣстами небольшіе столбики изъ болѣе твердыхъ частей породы (фиг. 57) или изъ кремневыхъ (силифицированныхъ) стволовъ, напр. такъ называемый окаменѣлый лѣсъ у Каира или же изъ трубчатыхъ конкрецій, продуктовъ быв-

шихъ гейзеровъ, напр. на сѣверномъ склонѣ Джебель Ахмара къ западу отъ Каира. Такимъ образомъ холмистая пустыня, сложенная изъ дисло-

Фиг. 51. — Группа эоловыхъ столбовъ въ Сѣв. Америкѣ.

цированныхъ породъ, подъ вліяніемъ развѣванія превращается въ такую же равнину, какъ и пустыня изъ горизонтальныхъ пластовъ.

При болѣе сложномъ геологическомъ составѣ, т. е. когда кромѣ оса-

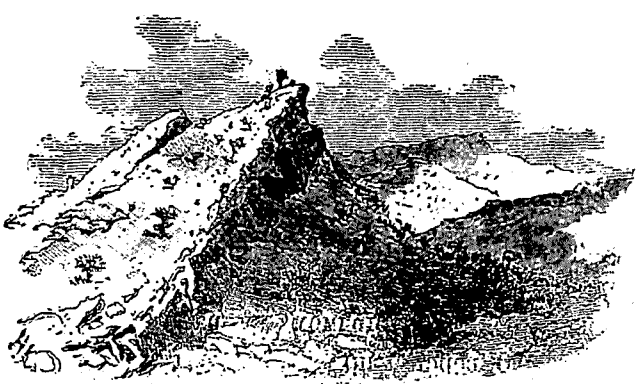


Фиг. 52. — Эоловый столъ.

дочныхъ породъ, горизонтальныхъ или нарушенныхъ, принимаютъ участіе массивно кристаллическія въ видѣ жилъ или штоковъ, то, само собой

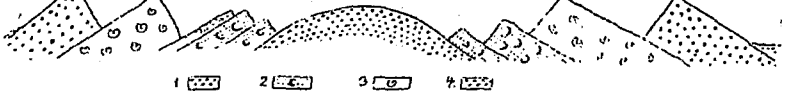
разумѣется, формы развѣванія получаются еще болѣе разнообразныя; перечислить ихъ нѣтъ возможности, но всѣ онѣ отличаются крутосклонностью, сглаженностью и способностью расчленяться на столовыя и шатрообразныя горы, изолированные столбы, столы и грибы (см. выше фиг. 50—52). Наконецъ какимъ бы первоначальнымъ рельефомъ пустыня ни обладала, изъ какихъ бы породъ ни состояла, она не въ состояніи сопротивляться разрушительной работѣ вѣтра и его пособниковъ, которые стремятся снести всѣ хребты, сгладить всѣ скалы, словомъ уничтожить всѣ препятствія для свободнаго передвиженія воздуха и превратить поверхность пустыни въ плоско-волнистую равнину безъ малѣйшаго выдающагося утеса, но покрытую щебнемъ (фиг. 58) или летучимъ пескомъ; въ первомъ случаѣ каменистая пустыня переходитъ въ щебневую или кремнистую, а во второмъ въ песчаную пустыню. Слѣдовательно каменистая пустыня, какъ справедливо считаетъ Вальтеръ, представляетъ такъ сказать первоначальную или эмбріональную стадію развитія всѣхъ другихъ типовъ пустынь.

Фиг. 52 а. — Навѣсы выдуванія въ гранитѣ или эоловая бальма.



Фиг. 53. — Шатрообразныя скалы на Тапъ-Каламѣ въ Бухарѣ.

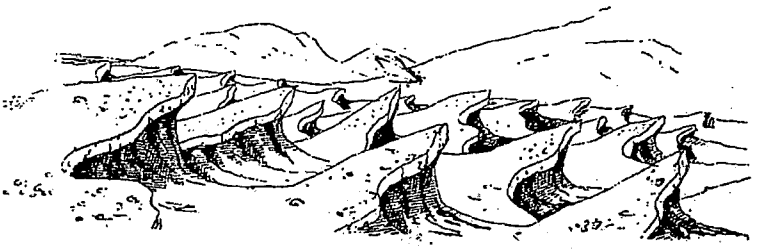
Кремнистыя пустыни происходятъ отъ развѣванія сложныхъ породъ, содержащихъ твердыя и крупныя включенія, которыя, по мѣрѣ развѣванія породъ и унесенія мелкихъ и мягкихъ частей, вываливаются, постепенно



Фиг. 54. — Мѣловые складки Абу-Роаша.

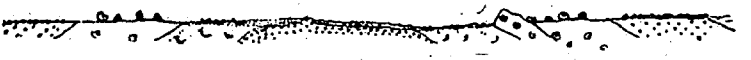
обогащаются и образуютъ цѣлый слой; среди этихъ накопленій преобладаютъ минералы, отличающіеся наибольшею устойчивостью, какъ напр. кварцъ (Сахара), кремень, халцедонъ (Гоби въ Азіи), конкреціи марганца и бураго желѣзняка (Синай) (см. фиг. 57—58); они представляютъ или округленныя гальки или ограненный щебень, дву-и трехъ-гран-

ники или наконецъ кремневыя окаменѣлости; морскіе ежи, нуммулиты, древесные стволы и пр. мѣстами точно вымащиваютъ поверхность пустыни. Накопленіе такихъ галекъ или окаменѣлостей въ видѣ сплошного



Фиг. 55. — Поверхность развѣванія складчатыхъ мѣловыхъ слоевъ.

слоя свидѣтельствуетъ иногда о значительной толщѣ развѣянной породы, если только эти элементы въ самой породѣ находились въ рѣдко разсѣянномъ состояніи. Между этими накопленіями особенно замѣчателенъ



Фиг. 56. — Равнина развѣванія на мѣстѣ складчатыхъ слоевъ.

такъ называемый окаменѣлый лѣсъ у Каира (фиг. 59). Въ Ливійской пустынѣ, вмѣстѣ съ остатками кремневыхъ деревьевъ, накопившихся отъ развѣванія Нубійскаго песчаника (Palmacites Zitteli, Dadoxylon Aegyptiacum, Nicolia Aegyptiaca и др.), [16]) иногда встрѣчаются остатки новѣйшей третичной флоры; слѣдовательно находятся вмѣстѣ представители двухъ различныхъ эпохъ и даже различнаго происхожденія, потому что третичные деревья окремнены, по предположенію Швейнфурта, бывшими когда-то гейзерами. Такое же сонахожденіе изъ совершенно различныхъ эпохъ возможно и для другихъ, особенно кремнистыхъ, окаменѣлостей, а потому при опредѣленіи древности метаморфизованныхъ эоловыхъ отложеній минувшихъ эпохъ нужно быть весьма осторожнымъ.

Фиг. 57. — Равнина развѣванія съ конкреціями марганца и столбиками.

Фиг. 58. — Общій видъ кремнистой пустыни.

Песчаныя пустыни образуются изъ тѣхъ же породъ, что и кремнистыя, но такъ какъ происхожденіе и развитіе ихъ связано съ процес-

Фиг. 59. — Окаменѣлый лѣсъ у Каира.

сами перенесенія и отложенія, то мы разсмотримъ ихъ отдѣльно, какъ слѣдствіе созидательной дѣятельности вѣтра.

Перенесеніе и отложеніе.

Развѣваніе подготовляетъ измельченный матеріалъ для перенесенія воздушными потоками на неопредѣленныя, иногда весьма значительныя разстоянія или путемъ перекатыванія по поверхности земли или во взвѣшенномъ состояніи. При благопріятныхъ условіяхъ, переносимый матеріалъ осаждается и образуетъ накопленія, которыя также способствуютъ измѣненію наружнаго вида земной поверхности, какъ и развѣваніе, но въ противоположномъ направленіи, т. е. они возвышаютъ уровень пустыни, и извѣстны подъ именемъ эоловыхъ отложеній. Характеръ переносимаго матеріала зависитъ отъ скорости и силы вѣтра; чѣмъ сильнѣе вѣтеръ, тѣмъ онъ переноситъ болѣе крупный матеріалъ; въ этомъ отношеніи между воздушными и водяными токами существуетъ полная аналогія; но къ сожалѣнію до сихъ поръ не сдѣлано точныхъ опредѣленій величины частицъ, переносимыхъ вѣтромъ различной скорости. Приблизительныя же наблюденія на дюнахъ Сестрорѣцка и Ревеля, на высотѣ 4 дюймовъ отъ поверхности, указываютъ эту зависимость, какъ видно изъ слѣдующей таблички [17]).

При скорости вѣтра отъ	4,5	до	6,7	м. передвигаются песчинки	0,25	мм.
» » »	6,7	—	8,4	» » »	0,50	»
» » »	9,8	—	11,4	» » »	1,00	»
» » »	11,4	—	13	» » »	1,50	»

Скорость движенія каждой отдѣльной песчинки всегда меньше скорости несущаго ее вѣтра, а разность этихъ скоростей (песка и вѣтра) прямо пропорціональна вѣсу зерна и обратно пропорціональна той пло-

щади, къ которой приложено давленіе вѣтра; слѣдовательно скорости отдѣльныхъ зеренъ песка будутъ весьма разнообразны. Слабый вѣтеръ передвигаетъ только отдѣльныя песчинки, но по мѣрѣ усиленія его приходитъ въ движеніе все большее и большее количество песчинокъ; часть ихъ постепенно поднимается на воздухъ, тогда какъ другая ползетъ по поверхности узкими и длинными языками, производя нѣкоторый шипящій звукъ, свойственный большей части сыпучихъ тѣлъ; длина этихъ струй, а также разстояніе между ними весьма различны въ зависимости нетолько отъ силы вѣтра, величины и формы зеренъ, но и отъ встрѣчаемыхъ препятствій. Опыты надъ передвиженіемъ песковъ въ Ферганѣ показали [18]), что количество песка, діаметромъ около 1 мм., проносящагося при сильномъ вѣтрѣ надъ поверхностью земли, будучи значительнымъ, быстро уменьшается съ поднятіемъ и на высотѣ уже 3—4 ф. его проносится вѣтромъ меньше, чѣмъ на высотѣ 1 ф., а выше 10 ф. поднимаются только мелкія песчинки (до 0,200), но зато значительно увеличивается тонкая пыль, которая образуетъ сплошное облако при долгомъ вѣтрѣ и называется въ Ферганѣ буза. Кромѣ величины, на легкость передвиженія песчинокъ вліяетъ форма ихъ и характеръ залеганія, что понятно само собой; при правильной формѣ и при залеганіи на возвышенной или ровной поверхности онѣ передвигались бы легче, нежели при неправильной формѣ и залеганіи въ углубленіи; слѣдовательно, при различныхъ условіяхъ одинъ и тотъ же вѣтеръ переносилъ бы песчинки различнаго діаметра. Въ зависимости отъ тѣхъ же условій измельченныя минеральныя вещества переносятся воздушными токами различными способами; болѣе крупныя передвигаются перекатываніемъ по самой поверхности, какъ гравій на днѣ рѣкъ; болѣе мелкія переносятся какъ бы отдѣльными прыжками, взлетая на высоту метра и болѣе, и наконецъ, самыя мелкія частицы поднимаются высоко въ атмосферу и переносятся вѣтрами на громадныя разстоянія, такъ сказать, во взвѣшенномъ состояніи, на подобіе минеральной мути въ водѣ рѣкъ и морскихъ теченій. При первыхъ двухъ способахъ измельченный матеріалъ обыкновенно отлагается и образуетъ накопленія вблизи мѣста своего первоначальнаго залеганія, а при послѣднемъ—на неопредѣленно далекомъ разстояніи. Первыя, производя особыя формы рельефа, разнообразятъ расчлененіе поверхности земли, вторыя же, напротивъ, нивеллируютъ ее; наконецъ, минералогическій составъ и географическое распредѣленіе тѣхъ и другихъ различны. Представителемъ первыхъ являются, главнымъ образомъ, подвижные песчаные холмы и гряды, возрастающіе до значительной высоты и извѣстные подъ общимъ именемъ дюнъ, если они образуются въ прибрежныхъ мѣстахъ, и бархановъ, если внутри материка; а представителемъ вторыхъ—отложенія атмосферной пыли, которая можетъ быть теллурическаго или космическаго происхожденія; между всѣми видами этой пыли первое мѣсто занимаютъ мощныя толщи лёсса. Разсмотримъ подробнѣе происхожденіе и характеръ этихъ эоловыхъ отложеній.

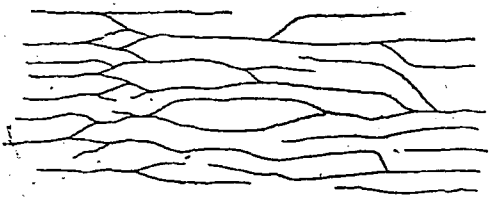
Дюны и барханы.

При вывѣтриваніи, размываніи и развѣваніи различныхъ породъ самымъ устойчивымъ минераломъ является кварцъ и родственные ему виды,

а такъ какъ онъ же вмѣстѣ съ тѣмъ не только имѣетъ наибольшее распространеніе въ корѣ земной, но находится почти повсюду, то поэтому продуктомъ этихъ процессовъ, остающимся на мѣстѣ, большею частью, являются кварцевыя частицы въ различныхъ видахъ; если онѣ значительной величины, то, какъ выше указано, образуются кремнистыя пустыни; если же измельчаются, то переносятся вѣтромъ и служатъ главнымъ матеріаломъ для возникновенія песчаныхъ пустынь; поэтому-то кварцевый песокъ имѣетъ преобладающее распространеніе въ эоловыхъ отложеніяхъ.

Выше было замѣчено, что песчинки переносятся вѣтромъ, или перекатываясь, или же, при неправильной формѣ, передвигаясь какою либо одною широкою стороною непрерывнымъ движеніемъ или прыжками. Но, кромѣ того, по замѣчанію нѣкоторыхъ ученыхъ, перемѣщеніе ихъ совершается путемъ болѣе или менѣе медленнаго передвиженія маленькихъ песчаныхъ грядокъ или песчаной ряби, которыя представляютъ какъ бы миніатюрныя дюны.

Песчаная рябь, въ видѣ небольшихъ грядокъ, расположенныхъ болѣе или менѣе параллельно другъ другу, образуется не только на всякой поверхности рыхлаго песка, но также на днѣ рѣкъ, озеръ, морей, гдѣ она нерѣдко вмѣсто песка состоитъ изъ тончайшаго ила.



Фиг. 60. — Песчаная рябь (ripple-marks)

Песчаная рябь впервые изслѣдована Ляйэллемъ, который наблюдалъ ее въ окрестностяхъ Кале на поверхности сухого песка и назвалъ ее ripple-marks (слѣды ряби) (фиг. 60); происхожденіе ея онъ объяснилъ тѣмъ, что вѣтеръ скучивалъ песокъ въ маленькіе холмики, сливавшіеся въ грядки, которыя постепенно передвигались впередъ вслѣдствіе свѣванія песчинки за песчинкой съ пологаго навѣтреннаго склона на крутой подвѣтренный склонъ; словомъ, грядки представляютъ собою дюны въ миніатюрѣ. Происхожденіе подводной ряби приписывалось дѣйствію волнъ, которыя какъ бы отпечатывались на илѣ или пескѣ дна. Послѣдующія, болѣе детальныя, изслѣдованія и особенно многочисленные опыты Декандолля [18a]) приводятъ къ слѣдующему заключенію относительно происхожденія ряби, „когда какая-либо вязкая матерія (въ томъ числѣ и сыпучія тѣла), находясь въ соприкосновеніи съ жидкостью менѣе вязкою, подвергается маховому или прерывистому тренію, происходящему вслѣдствіе движенія ея самой или покрывающей ее жидкости, то, во-первыхъ, поверхность вязкой матеріи покрывается грядками ряби, расположенными перпендикулярно направленію тренія, и, во-вторыхъ, промежутки между образовавшимися грядками ряби находятся въ прямомъ отношеніи къ амплитудѣ тренія"; такъ объясняется Декандоллемъ подводная и подвоздушная рябь. Но, по справедливому замѣчанію Соколова, грядки ряби, подъ вліяніемъ вѣтра, значительно измѣняютъ свою форму въ томъ отношеніи, что склонъ, подвергающійся дѣйствію вѣтра, дѣлается положе, а противоположный круче. Вмѣстѣ съ тѣмъ грядки ряби постепенно возрастаютъ въ вышину, задерживая движущіяся по землѣ песчинки и, вслѣдствіе пересыпанія песчинокъ съ навѣтреннаго склона на подвѣтренный, пріобрѣтаютъ поступательное движеніе и такимъ образомъ дѣйствительно представляютъ собой миніатюрныя дюны. Величина грядокъ ряби тѣмъ значительнѣе, чѣмъ крупнѣе песокъ, что видно изъ слѣдующей таблицы, которая согласуется съ опытами Декандолля, такъ какъ грядки изъ болѣе крупнаго песка образуются при болѣе сильномъ вѣтрѣ.

Крупность песка въ mm.	Высота грядокъ ряби въ mm.	Разстояніе между грядками ряби въ cm.
до — 0,2	10	8—10
„ — 1	25—40	25—35
2 — 3	70—100	60—120

Если на поверхности находятся неровности или какіе-либо предметы, ослабляющіе дѣйствіе вѣтра и задерживающіе движеніе песчинокъ, то происходитъ около нихъ такое скучиваніе песка, которое ведетъ за собой образованіе подвижныхъ песчаныхъ холмовъ или грядъ, достигающихъ значительной высоты, до 300—400 ф. Впервые такія накопленія въ большихъ размѣрахъ замѣчены были на приморскихъ берегахъ, гдѣ они невольно обратили на себя вниманіе еще первобытнаго человѣка, потому что обусловливали собою экономическій характеръ побережья. Въ однихъ мѣстахъ они служатъ защитою отъ вторженія моря, напр. въ Бельгіи, Голландіи и Фрисландіи, а въ другихъ, напротивъ, являются страшнымъ бичемъ, засыпая пескомъ луга, пашни, лѣса и даже поселенія.

Этимъ объясняется древность названія „дюна", которое было присвоено подвижнымъ песчанымъ холмамъ на морскихъ берегахъ. „Старинное названіе: дюна, говоритъ Реклю [19]),—кельтское и латинское, которое примѣнялось къ горамъ и крутымъ буграмъ и сохранилось до сихъ поръ въ именахъ многихъ городовъ, какъ напр. Verdun, Loudun, Issoudun, Saverdun, что доказываетъ, что древніе обитатели поморья были поражены громаднымъ размѣромъ и величественнымъ видомъ наносныхъ песчаныхъ холмовъ".

На морскихъ побережьяхъ дюны развиты вслѣдствіе того, что прибой волнъ, разрушая породы берега, доставляетъ большое количество рыхлаго песчанаго матеріала, который, при благопріятныхъ орографическихъ условіяхъ берега, легко перерабатывается вѣтромъ и служитъ для построенія дюнъ. Подобныя же условія, но въ меньшей степени, производятъ дюны на берегахъ большихъ озеръ, въ рѣчныхъ долинахъ и вообще въ мѣстахъ, подверженныхъ частой перемѣнѣ уровня воды, вслѣдствіе періодическаго чередованія засухъ и разливовъ.

Но, кромѣ приморскихъ или вообще прибрежныхъ дюнъ, существуютъ такъ называемыя материковыя дюны, которыя, въ отличіе отъ прибрежныхъ, мы называемъ барханами. Они образуются среди материка и не зависятъ отъ какого-либо воднаго бассейна. Названіе барханъ почти такое же древнее, какъ дюна, но въ науку введено сравнительно недавно—въ послѣднія два десятилѣтія. Оно заимствовано изъ Средней Азіи, гдѣ этимъ именемъ туземцы—тюрки изстари называютъ песчаныя накопленія въ пустыняхъ. Хотя способъ накопленія тѣхъ и другихъ образованій имѣетъ много общаго, а потому многіе изслѣдователи не отличаютъ дюны отъ бархановъ, тѣмъ не менѣе физико-геологическое значеніе тѣхъ и другихъ слишкомъ различно, чтобы соединять ихъ въ одну группу. Во-первыхъ, главнымъ агентомъ, доставляющимъ рыхлый матеріалъ для постройки приморскихъ дюнъ, является вода и преимущественно механическая дѣятельность ея—прибой волнъ. Тогда какъ при образованіи бархановъ сначала до конца работаетъ воздухъ, и чѣмъ онъ суше, чѣмъ менѣе содержитъ влаги, чѣмъ рѣзче измѣняются его свойства, тѣмъ успѣшнѣе накопляются летучіе пески, тѣмъ большей величины достигаютъ барханы. Отсюда ясно, что приморскія дюны могутъ образоваться подъ самыми различными широтами, почти нисколько не завися отъ климатическихъ условій мѣстности, какъ и доказывается ихъ географическимъ распространеніемъ — отъ Бѣлаго моря до береговъ Африки; тогда какъ барханы исключительно свойственны только внутренне-материковымъ областямъ, отличающимся сухимъ и жаркимъ континентальнымъ

климатомъ, бѣднымъ атмосферною влагою, съ сильнымъ испареніемъ и значительною суточною амплитудою температуры. Словомъ, географическое распредѣленіе чисто материковыхъ летучихъ песковъ совсѣмъ иное, нежели приморскихъ; они пріурочиваются только къ извѣстнымъ широтамъ, тогда какъ приморскія въ этомъ отношеніи могутъ быть названы космополитами. Во-вторыхъ, условія воздушныхъ теченій на берегахъ и внутри материковъ, какъ видно изъ предыдущей главы, совершенно различны, отсюда разница въ направленіи и въ формѣ приморскихъ дюнъ и бархановъ. Въ-третьихъ, также различны и оро-топографическія условія, вліяющія на распространеніе и форму песчаныхъ накопленій. Въ-четвертыхъ, въ нѣкоторыхъ случаяхъ тѣ и другія песчаныя накопленія различаются даже петрографическими качествами песка; въ приморскихъ дюнахъ песокъ чище, меньше содержитъ примѣсей и вообще однообразнѣе по составу, тогда какъ въ пескѣ бархановъ нашихъ туркестанскихъ Кызылъ-кумовъ примѣси представляютъ весьма обыкновенное явленіе.

Такимъ образомъ, различіе между дюнами и барханами довольно существенно и смѣшиваніе ихъ можетъ повести къ совершенно ложнымъ заключеніямъ о физической жизни той или другой части земного шара, особенно въ смыслѣ климатическихъ измѣненій. Но, съ другой стороны, нужно замѣтить, что мѣстами, особенно въ областяхъ совмѣстнаго нахожденія ихъ, напр. на побережьѣ Аральскаго бассейна, гдѣ барханы постепенно сливаются съ дюнами Арала, бываетъ затруднительно провести между ними рѣзкую границу и это достижимо только при изслѣдованіи обширной площади распространенія летучихъ песковъ.

Что касается рѣчныхъ дюнъ, то мѣстами онѣ отличаются ясными признаками, напр. въ Туранскомъ бассейнѣ, мѣстами же сливаются съ прибрежными морскими, но вообще они имѣютъ меньшее распространеніе и меньшее физико-геологическое значеніе.

Разсмотримъ сначала приморскія дюны, какъ наиболѣе изученныя, а затѣмъ рѣчныя и, наконецъ, материковыя или барханы.

Приморскія дюны. Приморскія дюны хотя и образуются на счетъ матеріала, доставляемаго моремъ, и почти не зависятъ отъ климата, тѣмъ не менѣе распространеніе ихъ ограничено и далеко не всѣ берега морей покрыты дюнами. Появленіе и распространеніе ихъ прежде всего зависитъ отъ топо-орографическаго характера береговъ; эта связь указана еще Эли де-Бомономъ для дюнъ французскихъ береговъ и въ настоящее время подтверждается многочисленными наблюденіями въ разныхъ странахъ. Прослѣдивъ на орографической картѣ распространеніе приморскихъ дюнъ, легко замѣтить, что онѣ, главнымъ образомъ, предпочитаютъ плоскіе берега крутымъ и обрывистымъ. «Берега, окаймленные болѣе или менѣе широкой полосой намывного песка и омываемые мелководнымъ, изобилующимъ пескомъ, прибрежьемъ, представляютъ наиболѣе благопріятныя условія для образованія и дальнѣйшаго развитія приморскихъ дюнъ» [20]).

Такъ, по побережью Балтійскаго моря дюны находятся только на плоскихъ берегахъ, имѣющихъ широкую намывную полосу, напр. на западномъ берегу Курляндіи, на южномъ берегу Рижскаго залива, у устья р. Наровы и пр., тогда какъ на крутыхъ берегахъ Эстляндіи, гдѣ развитъ глинтъ, дюны находятся въ ничтожномъ количествѣ, и то въ мѣстахъ нахожденія намывной береговой полосы, а на скалистыхъ берегахъ Финляндіи ихъ вовсе нѣтъ. То же повторяется на берегахъ Восточ-

ной Пруссіи, Фрисландіи, Ютландіи, Норфолька, на атлантическихъ берегахъ Франціи, по берегамъ Средиземнаго моря, въ Аравіи, Америкѣ и пр. Правда, если крутой берегъ невысокъ и имѣетъ широкую намывную полосу, то тогда дюны могутъ образоваться на немъ. Въ этомъ отношеніи интересны западные берега Ютландіи, обрывающіеся круто къ морю, но съ широкой намывной полосой, покрытые высокими дюнами. На островѣ Сильтъ, въ Западномъ Шлезвигѣ, береговой обрывъ имѣетъ до 34 м. высоты, тѣмъ не менѣе покрытъ обширными дюнами, достигающими 28 м. высоты; то же въ Нормандіи, на берегу Ламанша, на южномъ берегу Балтійскаго моря, у Свинемюнде. Такимъ образомъ, существованіе плоской намывной полосы, или plage, составляетъ необходимое условіе для появленія морскихъ дюнъ и при достаточной ширинѣ ея, дюны образуются даже на крутыхъ берегахъ, хотя это явленіе принадлежитъ уже къ исключительнымъ.

Причина такой связи заключается въ томъ, что плоскіе намывные берега, образованные механическою дѣятельностью моря, содержатъ готовый рыхлый матеріалъ для построенія дюны, и чѣмъ его больше, тѣмъ дюны возрастаютъ легче. Слѣдовательно, наоборотъ, та или другая степень развитія дюнъ въ большинствѣ случаевъ можетъ указывать на плоскій берегъ, т. е. на дурныя естественныя гавани. Образованіе прибрежныхъ отложеній, производимыхъ моремъ, мы разсмотримъ ниже, въ главѣ о дѣятельности моря; теперь же укажемъ только, что спокойные, правильно и мало изогнутые намывные берега можно назвать областью отложенія, въ противоположность извилистымъ скалистымъ берегамъ, которые представляютъ область разрушенія или размыванія; вслѣдствіе этого, кривая первыхъ какъ бы соотвѣтствуетъ изгибу волнъ, набѣгающихъ на берегъ, которыя отпечатлѣваютъ на немъ правильность своихъ очертаній, тогда какъ изрубленность вторыхъ обусловливается неодинаковою быстротою разрушенія различныхъ породъ берега, подъ вліяніемъ прибоя морскихъ волнъ, и потому они не могутъ имѣть какихъ-либо правильныхъ очертаній. Такое различіе въ очертаніи естественно должно отражаться на расположеніи и формѣ дюнъ. Съ другой стороны, петрографическія свойства намывныхъ береговыхъ отложеній также вліяютъ на развитіе дюнъ и, въ нѣкоторыхъ случаяхъ, напр. при составѣ ихъ изъ ила, вмѣсто дюнъ на плоскихъ берегахъ образуются прибрежныя болота.

Такъ какъ оро-топографическія условія берега, а часто и геологическій составъ его значительно измѣняются подъ вліяніемъ отрицательныхъ и положительныхъ движеній его, то очевидно, что развитіе и географическое распространеніе дюнъ зависитъ также и отъ этихъ факторовъ. По изслѣдованію Соколова [21]) оказывается, что болѣе 90% всѣхъ приморскихъ дюнъ Европы находятся на берегахъ, испытывающихъ положительное движеніе, т. е. опусканіе, и только въ немногихъ мѣстахъ онѣ извѣстны на берегахъ съ отрицательнымъ движеніемъ, т. е. поднимающихся, да и то наиболѣе значительныя изъ нихъ залегаютъ вблизи устій большихъ рѣкъ, гдѣ происходитъ накопленіе рыхлаго рѣчнаго матеріала, напр. дюны заливовъ Тэ и Мурэй въ Шотландіи, дюны при устьѣ Сѣв. Двины на Бѣломъ морѣ, при устьяхъ Наровы и Зап. Двины.

Преобладаніе дюнъ на положительныхъ, или понижающихся берегахъ отчасти объясняется тѣмъ, что при погруженіи берега нерѣдко отъ размыванія обнажается рыхлый песокъ старыхъ береговыхъ образованій или старыхъ успокоившихся уже дюнъ, что препятствуетъ развитію растительности и способствуетъ возникновенію новыхъ дюнъ; примѣромъ могутъ служить самыя обширныя въ Европѣ дюны Ландъ или Гасконскаго залива, протягивающіяся на 240 километровъ отъ устья р. Адура до Гаронны и занимающія площадь около 120,000 гектаровъ; также дюны южнаго берега Нѣмецкаго моря отъ Па-де-Кале до устья Эльбы; дюны Даніи, Шлезвига и Голштиніи; дюны южнаго и юго-восточнаго побережья Балтійскаго моря отъ Свинемюнде до Домеснеса въ Курляндіи и пр.

Съ другой стороны, не мало фактовъ говоритъ въ пользу оскудѣнія дюнъ на отрицательныхъ, или поднимающихся берегахъ, происходящее отъ того, что при поднятіи берега часто прекращается намываніе песка на берегъ, потому что прибрежныя песчаныя отложенія дна выходятъ изъ сферы дѣйствія морскихъ волнъ и смѣняются отложеніями, не дающими песка или содержащими значительную примѣсь глины, которая, цементируя выбрасываемый моремъ песокъ, препятствуетъ образованію дюнъ. Такое оскудѣніе песка и дюнъ наблюдается, напр. въ Сестрорѣцкѣ, въ Ревелѣ. Правда, что если песчаныя отложенія дюнъ отличаются большой мощ-

ностью и простираются на значительное разстояніе отъ берега, то дюны не прекращаются на продолжительное время и на поднимающихся берегахъ.

Кромѣ указанныхъ условій, опредѣляющихъ географическое распространеніе приморскихъ дюнъ, въ этомъ отношеніи имѣютъ также большое значеніе суточныя колебанія моря, т. е. приливы и отливы и направленіе господствующихъ вѣтровъ. Впрочемъ, приливы и отливы далеко не играютъ такой роли, какую имъ недавно приписывали, и часто величина дюнъ вовсе не зависитъ отъ высоты прилива; такъ, дюны Гаскони въ нѣсколько разъ больше дюнъ Ламанша, однако высота приливовъ въ первомъ не превышаетъ 2,8 м., а во второмъ достигаетъ до 8 м.; дюны Балтійскаго моря, почти не имѣющаго приливовъ, развиваются до большихъ размѣровъ; дюны Куришъ-Нерунга превышаютъ всѣ остальныя дюны по своей величинѣ, хотя суточныя колебанія Нѣмецкаго моря ничтожны, особенно по сравненію съ Ламаншемъ.

Что касается господствующихъ вѣтровъ, то, разумѣется, они представляютъ главный факторъ накопленія дюнъ. Такъ, въ Европѣ преобладающее нахожденіе дюнъ на берегахъ обращенныхъ къ западу (дюны Ютландіи, Шлезвига и Курляндіи) или сѣверо-западу (дюны Куришъ-Нерунга, Фришъ-Нерунга и Нидерландовъ), или къ юго-западу (дюны Гаскони и Олерона), объясняется господствующими западными, юго-западными и отчасти сѣверо-западными вѣтрами. Уклоненія отъ этого обусловливаются частными, въ данномъ случаѣ береговыми вѣтрами.

Происхожденіе ихъ разобрано выше; здѣсь припомнимъ только одно весьма существенное свойство ихъ, весьма важное для образованія дюнъ, а именно, что вѣтеръ, дующій съ моря, за немногими исключеніями, зависящими отъ очертаній береговъ, напр. на югѣ Франціи, въ нѣкоторыхъ мѣстахъ Финляндіи, на сѣверныхъ берегахъ Чернаго и Азовскаго морей, всегда сильнѣе материковаго, вслѣдствіе меньшаго тренія о водную поверхность; отсюда бо́льшее распространеніе дюнъ въ сторону материка, а не свѣваніе ихъ въ море. Частные береговые вѣтры иногда могутъ измѣнить среднее направленіе вѣтра на 180°; такъ, напр., въ Ярмутѣ, при господствѣ надъ страною западныхъ вѣтровъ, на берегу преобладаютъ восточные вѣтры, которые вдвое сильнѣе западныхъ; это обстоятельство объясняетъ появленіе дюнъ на восточныхъ берегахъ Англіи у Ярмута.

Познакомившись съ главнѣйшими условіями географическаго распредѣленія дюнъ, разсмотримъ теперь способъ накопленія, формированія дюнъ, ихъ составъ, поступательное движеніе и тѣ измѣненія, которыя онѣ производятъ на берегахъ; при этомъ замѣтимъ, что развитіе песка на берегу вовсе не указываетъ на песчаное дно моря, какъ это часто думаютъ.

Береговой песокъ подвергается непосредственному дѣйствію вѣтра только тогда, когда онъ не защищенъ водянымъ покровомъ. Пока песчинки влажны, онѣ лежатъ такъ плотно другъ возлѣ друга, что вѣтеръ не можетъ унести ихъ, не по причинѣ бо́льшей тяжести песчинокъ, окутанныхъ тонкимъ слоемъ воды, а вслѣдствіе бо́льшого сцѣпленія между ними. Каждому извѣстенъ тотъ фактъ, что смоченный мелкій песокъ до того плотенъ, что колеса экипажа оставляютъ на немъ едва замѣтный слѣдъ; это можно наблюдать во многихъ мѣстахъ, напр., на почтовыхъ дорогахъ Астраханской губ., около ст. Дурновской, Лебяжинской, гдѣ развиты барханы, или по восточному побережью Арала. Высыханіе песка идетъ тѣмъ скорѣе, чѣмъ онъ крупнѣе. Какъ только песчинки обсохли, вѣтеръ начинаетъ увлекать ихъ одну за другой, сдуваетъ слой за слоемъ и, конечно, сильнѣе всего съ болѣе возвышенныхъ частей, напр. съ гребня

берегового вала, который иногда, вслѣдствіе этого, совершенно выравнивается и исчезаетъ. Если за береговой полосой слѣдуетъ совершенно ровная мѣстность, не имѣющая никакихъ задерживающихъ предметовъ, то песокъ не скучивается, а ложится ровнымъ слоемъ, еще болѣе сглаживающимъ поверхность и образуетъ песчаное поле съ маленькими параллельными грядками песчаной ряби, подобно тому, какъ снѣгъ на равнинѣ не образуетъ заносовъ и сугробовъ. Такія песчаныя поля наблюдаются, напр., въ окрестностяхъ Либавы, Сестрорѣцка, во многихъ мѣстахъ Астраханской губ. и пр. Но такъ какъ совершенно ровныя прибрежныя поверхности встрѣчаются весьма рѣдко, а большею частью покрыты или кустами растительности, или пашнями, или, наконецъ, орографически неровны, то всѣ такіе предметы, задерживая или ослабляя вѣтеръ, обусловливаютъ скучиваніе песка и зарожденіе дюны. Процессъ формированія дюны зависитъ отъ характера преграды: сплошной или не сплошной.

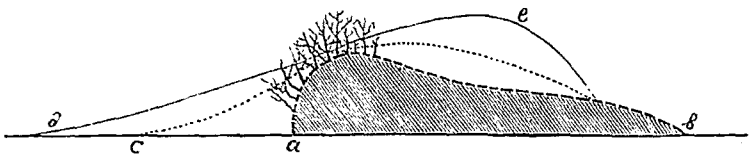
Передъ не сплошной преградой, каковы, напр., кусты песчаной растительности: колоснякъ (Elymus arenarius), ива (Salix acutifolia), песчаный тростникъ (Arundo arenarius), различныя колючки (Alhagi camelorum) и др., песокъ скопляется подъ каждымъ кустикомъ на сторонѣ вѣтровой тѣни или подвѣтренной и образуетъ сначала маленькую косу высотою и шириною около 1 м., а длиною до 10 м. (фиг. 61). Коса имѣетъ крутой навѣтренный склонъ и пологій подвѣтренный. Если кустики расположены близко другъ къ другу, то подъ ихъ защитою отдѣльные холмики сливаются въ одинъ широкій холмъ, неправильной формы, съ боковъ котораго, гдѣ происходитъ значительное передвиженіе песку, выдвигаются двѣ косы на подобіе двухъ роговъ. Въ случаѣ болѣе крѣпкихъ и густыхъ кустарниковъ, какъ напр. можжевельника, первое скучиваніе песка происходитъ на навѣтренной сторонѣ куста, потому что такіе кусты, по отношенію къ задерживанію песка, приближаются къ сплошной преградѣ.

Фиг. 61. — Холмикъ-коса.

Первоначальные холмики песка еще не дюны; это, такъ сказать, эмбріоны дюнъ. Съ медленнымъ возрастаніемъ ихъ, засыпанные кустики иногда также возрастаютъ, а не умираютъ, а именно когда накопленіе песка идетъ медленно, а влага способствуетъ быстрому развитію кустика, вслѣдствіе этого при разрытіи дюнъ находили корневища колосняка и др. растенія на глубинѣ 20 и даже 30 ф. Возрастая до значительной высоты, песчаный холмикъ начинаетъ самъ задерживать приносимый песокъ, т. е. дѣйствуетъ какъ преграда; на навѣтренной сторонѣ песокъ, все болѣе и болѣе скопляясь, образуетъ, наконецъ, пологій навѣтренный склонъ, а затѣмъ уже образуется крутой подвѣтренный склонъ, и песчаный холмикъ превращается въ настоящую дюну (фиг. 62, гдѣ *ab* — холмикъ-коса; *ce* и *de*—формирующаяся изъ него дюна).

Передъ сплошною преградою, какой бы она ни была формы, пе-

сокъ образуетъ на навѣтренной сторонѣ бугоръ, который не прикасается, однако, къ преградѣ: стѣнѣ, скалѣ и проч., но отдѣляется отъ нея болѣе или менѣе широкимъ желобомъ. Причина появленія желоба [22]), заключается въ томъ, что передъ препятствіемъ происходитъ сжатіе воздуха, вслѣдствіе чего образуются два противоположныхъ теченія вдоль преграды, которыя, выдувая песокъ въ стороны, образуютъ желобъ. Желобъ этотъ уничтожится только тогда, когда высота бугра достигнетъ высоты преграды. Очевидно, что если вѣтеръ направляется перпендикулярно къ преградѣ, то боковыя теченія будутъ одинаковой силы, и желобъ выдуванія будетъ равномѣренъ; въ противномъ случаѣ, видъ его будетъ измѣняться въ зависимости отъ направленія вѣтра. Кромѣ сжатія воздуха и боковыхъ теченій, передъ преградой происходитъ еще сильный восходящій токъ воздуха, который увлекаетъ песокъ снизу, отлагая его наверху обрыва, и



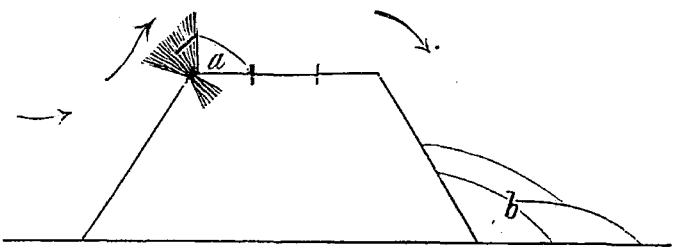
Фиг. 62. — Преобразованіе холмика-косы въ дюну.

образуетъ дюны на высокихъ, отвѣсныхъ берегахъ; таково происхожденіе вышеупомянутыхъ дюнъ на высокихъ западныхъ берегахъ Ютландіи, Шлезвига, Нормандіи и пр.

Знакомство съ процессами накопленія песка передъ различными преградами имѣетъ важное значеніе съ одной стороны при рѣшеніи многихъ практическихъ вопросовъ, а съ другой для разъясненія нѣкоторыхъ физико-географическихъ и даже историческихъ явленій. Такъ, при постройкѣ Закаспійской желѣзной дороги въ первое время казалось совершенно невозможнымъ предохранить отъ развѣванія насыпи въ летучихъ пескахъ; мѣстами онѣ возводились по нѣсколько разъ и держались только до первой бури, которая превращала ихъ въ безформенную массу съ подвѣянными шпалами и сдвинутыми рельсами. Это была сизифова работа, приводившая даже къ убѣжденію въ неосуществимости желѣзнодорожнаго пути въ пустынѣ; но она сразу прекратилась, какъ только примѣнили къ насыпямъ условія скопленія песка передъ несплошною преградою. Дѣло въ томъ, что большинство насыпей на Закаспійской дорогѣ вытянуты почти перпендикулярно къ направленію господствующихъ СВ вѣтровъ, которые развѣвали преимущественно сѣверные и сѣверо-восточные склоны насыпей; слѣдовательно вопросъ о предохраненіи насыпей сводился къ вопросу о закрѣпленіи этихъ склоновъ; для этой цѣли ихъ покрывали глиной, валежникомъ и пр., но это мало помогало; тогда рѣшили воспользоваться тощею песчаною растительностью: различными колючками, вѣтвями саксаула и пр.; изъ нея приготовляли пучки, нѣчто въ родѣ вѣниковъ, и вставляли ихъ въ бровку песчаной насыпи такимъ образомъ, чтобы своими вѣтвями они были обращены къ господствующему СВ вѣтру (фиг. 63) и значитъ образовали бы не сплошную преграду. При такихъ условіяхъ песокъ, нагоняемый вѣтромъ, скоплялся сзади пучковъ на окраинѣ насыпи въ видѣ валика *a* (фиг. 63), который предохранялъ отъ подвѣванія рельсы и шпалы. При возрастаніи, валикъ превращался въ сплошную преграду и обусловливалъ появленіе вертикальныхъ токовъ, которые, поднимая песчинки вверхъ, вмѣстѣ съ тѣмъ переносили ихъ на противоположную сторону насыпи, гдѣ они давали большія скопленія *b* (фиг. 63), но поверхность насыпи оставалась не тронутою. Когда валикъ возрасталъ на столько, что вѣтви пучковъ или вѣниковъ совершенно закрывались и слѣдовательно наступалъ моментъ формированія настоящей дюны или бархана, которая бы засыпала насыпь, тогда необходимо было ремонтировать защиту, т. е. очистить насыпь, возстановить бровку и снова образовать на ней несплошную преграду. Ремонтъ этотъ, по отзыву строителя дороги покойнаго М. Н. Анненкова, не представлялъ никакихъ затрудненій, производился

быстро и стоилъ всего только около 5 р. на версту. Такое простое и дешевое использованіе несплошной преграды избавило отъ вышеупомянутой сизифовой работы, дало возможность укрѣпить насыпи болѣе солидно на будущее время, не прерывая движенія поѣздовъ и навсегда рѣшило вопросъ въ положительномъ смыслѣ объ осуществимости желѣзнаго пути въ пустыняхъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ пользуются также искусственными сплошными преградами, напр. при наращиваніи переднихъ береговыхъ дюнъ (Vordune) въ Голландіи, гдѣ онѣ нерѣдко такимъ способомъ превращаются въ прекрасныя плотины, защищающія отъ морскихъ наводненій низменныя поля, лежащія за ними. Для этой цѣли на гребнѣ передовой дюны возводится вертикальная стѣнка (часто просто плетень), передъ которой сначала песокъ скопляется, отдѣляясь отъ нея желобомъ выдуванія; а когда онъ достигнетъ вершины стѣнки, то желобъ уничтожается и песокъ перемѣщается по другую сторону ея, увеличивая дюну на высоту стѣнки; слѣдующая стѣнка еще болѣе возвыситъ дюну и т. д., а потому въ случаѣ надобности, даже маленькую дюну можно превратить въ большую плотину.

Кромѣ примѣненія сплошныхъ преградъ для практическихъ цѣлей, онѣ объясняютъ намъ нѣкоторыя явленія, кажущіяся на первый взглядъ странными и непонятными, напр. о предѣлахъ расширенія песчаныхъ пустынь, о возможности или вѣроятности засыпанія древнихъ и современныхъ культурныхъ областей и пр. По этимъ вопросамъ существуютъ весьма противорѣчивыя мнѣнія и при томъ такихъ изслѣдователей, авторитетъ которыхъ совершенно одинаковъ и не подлежитъ сомнѣнію. Одни изъ нихъ утверждаютъ и приводятъ цѣлый рядъ вполнѣ доказательныхъ фактовъ въ пользу того, что песокъ пустынь распространяется безгранично и засыпаетъ не только отдѣльныя поселенія, города, но даже цѣлыя области, что доказывается множествомъ историческихъ свидѣтельствъ. Исходя изъ этого, они предсказываютъ гибель или превращеніе въ пустыню нѣкоторыхъ современныхъ культурныхъ площадей. Другіе же напротивъ отрицаютъ массовыя засыпанія въ историческое время, считаютъ песокъ мало подвижнымъ и подтверждаютъ это многовѣковымъ существованіемъ культурныхъ областей, которыя несмотря на близкое сосѣдство съ песчаными пустынями и другія неблагопріятныя условія, не засыпаются пескомъ и въ теченіи тысячелѣтій остаются приблизительно въ одномъ и томъ же положеніи. Тѣ и другія показанія вполнѣ справедливы и во многихъ случаяхъ провѣрены, а между тѣмъ причина противорѣчія между ними долгое время была совершенно непонятна и выяснена только въ послѣднее время русскими изслѣдователями Средней Азіи. Приведемъ для примѣра Бухарское Ханство и Закаспійскую область. Сѣверо-западная часть Бухары засыпается пескомъ на столько сильно, что нѣкоторыя провинціи превратились въ пустыню въ теченіи послѣдняго столѣтія, можно сказать на глазахъ у современниковъ, напр. г. Каракуль и округъ Варданзи. На этомъ основаніи полагали и даже были убѣждены, что узкая культурная полоса Закаспійской области, прилегающая къ Копетъ-дагу, просуществуетъ недолго, дни ея сочтены, она должна быть поглощена мощными песками обширной пустыни Каракумъ, которая надвигается съ сѣверо-востока. Однако, не смотря на такую очевидность, несмотря даже на политическія неурядицы и запущенность орошенія, маленькая предгорная культурная полоска Закаспійской области нисколько неизмѣняетъ своего вида, остается такою же, какою она была много лѣтъ тому назадъ. Въ послѣднія 20 лѣтъ, когда мы познакомились съ ней ближе, пески Каракумъ повидимому нисколько не подвинулись впередъ и несмотря на свой грозный видъ нисколько не вредятъ культурной полосѣ. Это удивительное явленіе объясняется исключительно существованіемъ громадной сплошной преграды, которую въ данномъ случаѣ представляетъ Копетъ-дагъ, простирающійся перпендикулярно преобладающему СВ вѣтру. Пески, гонимые этимъ вѣтромъ быстро распространяются и занимаютъ уже обширныя площади, но передъ сплошной преградой останавливаются очевидно на границѣ желоба выдуванія, который будетъ существовать до тѣхъ поръ, пока песчаныя гряды не возвысятся до высоты Копетъ-дага, что невозможно, или Копетъ-дагъ не понизится до высоты песчаныхъ грядъ, что потребуетъ продолжительнаго геологическаго періода. Итакъ, культурная полоса Закаспійской области представляетъ



Фиг. 63. — Разрѣзъ желѣзнодорожнаго полотна.

громадный желобъ выдуванія и совершенно безопасна отъ засыпанія песками, и значитъ вполнѣ пригодна для культуры. Совершенно подобныя же условія находятся у сѣверной подошвы западнаго Куэнь-луня, гдѣ предгорная полоса культивируется много вѣковъ, а рядомъ въ прилегающихъ пустыняхъ Тарима засыпано пескомъ нѣсколько городовъ.

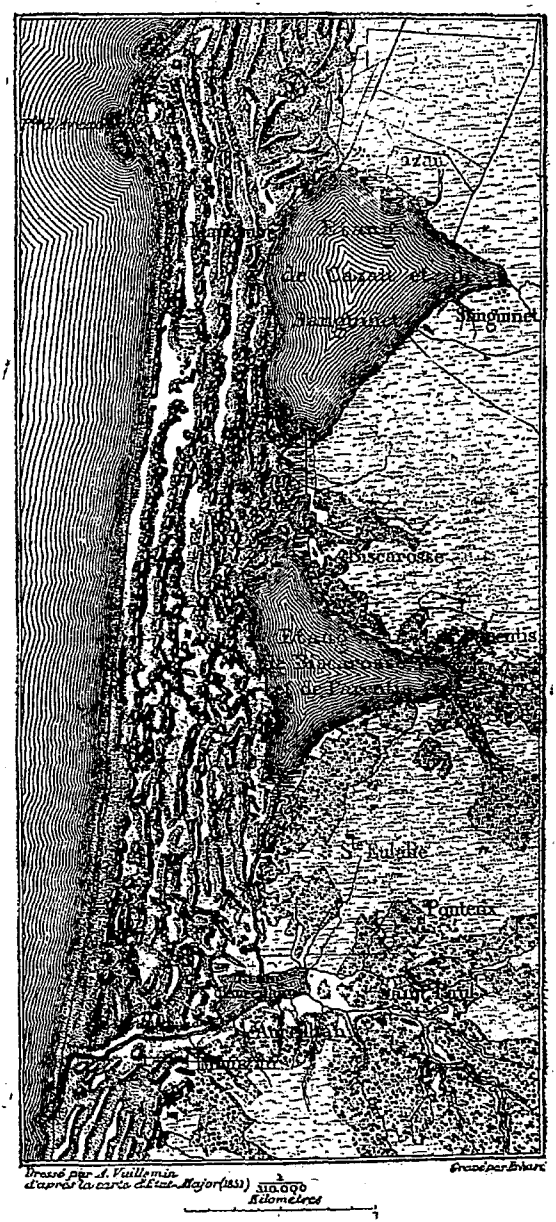
Правильно образовавшаяся дюна имѣетъ опредѣленную, часто изящную форму, характеризующуюся рѣзкимъ гребнемъ и различіемъ склоновъ. Большею частью она представляетъ гряду съ ровнымъ, плоско изогнутымъ гребнемъ и двумя склонами: навѣтреннымъ и подвѣтреннымъ. Склонъ, обращенный къ вѣтру, или навѣтренный, всегда болѣе пологій, нежели противоположный. Уголъ наклона его, по многочисленнымъ измѣреніямъ, варьируетъ чаще всего отъ 5° до 12° и только изрѣдка на небольшомъ протяженіи доходитъ до 15° и 17°. Профиль его, особенно у большихъ дюнъ, представляетъ не прямую, но слабо изогнутую кривую, обыкновенно въ нижней части вогнутую, а въ верхней выпуклую, причемъ переходъ между тою и другою часто весьма постепененъ (см. фиг. 62). Появленіе вогнутости, равно какъ и выпуклости на навѣтренномъ склонѣ обусловливается одновременнымъ сдуваніемъ и навѣваніемъ песка вѣтромъ, происходящимъ безпрестанно, песчинка за песчинкой по всему склону. Наибольшее выдуваніе происходитъ у подножія дюны, гдѣ горизонтальный вѣтеръ, встрѣчая склонъ, производитъ наиболѣе сильный ударъ: здѣсь-то и образуется углубленіе, которое то же можно назвать котловиной выдуванія. При сильныхъ вѣтрахъ и при смоченности дюннаго песка, котловинки образуются вдоль навѣтреннаго склона дюны и служатъ какъ бы ложемъ, по которому передвигаются песчинки. Перенесеніе песчинокъ на навѣтренномъ склонѣ большею частью совершается вблизи поверхности. Большинство изслѣдователей полагаютъ, что песокъ поднимается не болѣе какъ на высоту одного метра, въ то время какъ на вершинѣ дюнъ песокъ поднимается на значительную высоту, по мнѣнію нѣкоторыхъ — даже до 10 м. и болѣе, вслѣдствіе чего при сильномъ вѣтрѣ вершина дюнъ какъ бы окутывается песчанымъ туманомъ. Токъ воздуха какъ бы придавливаетъ песчинки, что подтверждается значительнымъ уплотненіемъ навѣтреннаго склона; при ходьбѣ по немъ нога не только не вязнетъ, но даже оставляетъ неглубокій слѣдъ, не болѣе 1—2 мм. глубины, тогда какъ на вершинѣ и на противоположномъ склонѣ нога погружается по колѣно.

Подвѣтренный склонъ рѣзко отличается отъ навѣтреннаго по своей рыхлости и особенно по крутизнѣ. Уголъ наклона его значительно больше; можно сказать a priori, что онъ не превышаетъ угла естественныхъ склоновъ сыпучихъ тѣлъ, т. е. около 40°, но непосредственныя многочисленныя наблюденія рѣдко даютъ 40° и еще рѣже большій уголъ, а въ большинствѣ случаевъ — отъ 29° до 32°, потому что онъ часто подверженъ дѣйствію различныхъ вѣтровъ и особенно отраженныхъ. Профиль подвѣтреннаго склона большею частью — прямая линія. Хотя при сильныхъ вѣтрахъ песокъ ссыпается по немъ сплошными широкими потоками, которые нерѣдко нарушаютъ правильность очертаній его, но это только временно. Гребень, раздѣляющій оба склона, представляетъ ясно выраженный переломъ только тогда, когда дюна не подвержена дѣйствію другихъ вѣтровъ, кромѣ господствующаго; въ противномъ случаѣ, вер-

шина дюны представляетъ закругленный гребень, и одинъ склонъ постепенно, безъ рѣзкой границы, переходитъ въ другой.

Такова нормальная форма дюны, образующейся на сравнительно ровной поверхности и подъ вліяніемъ какого-либо одного господствующаго вѣтра. Эта форма измѣняется, въ зависимости, во-первыхъ, отъ разнообразія вѣтровъ, а во-вторыхъ, отъ разнообразія орографическихъ условій.

Перечислить всѣ эти разнообразныя уклоненія формы дюнъ рѣшительно невозможно, но понять ихъ въ каждомъ данномъ случаѣ легко, руководствуясь вышеуказанными принципами. Приморскія дюны являются то въ видѣ короткихъ, разносклонныхъ грядъ, то, при господствѣ двухъ противоположныхъ вѣтровъ, въ видѣ равносклонныхъ грядъ, то грядъ, изогнутыхъ въ формѣ полумѣсяца, полуцирка и т. д. Но вообще приморскія дюны рѣдко являются изолированными и еще рѣже въ видѣ полуцирка; эта послѣдняя форма болѣе свойственна барханамъ. Приморскія же дюны, отъ какихъ бы преградъ онѣ ни образовались, уже по топографическимъ особенностямъ береговъ, въ большинствѣ случаевъ, сливаются между собой и образуютъ гряды, расположенныя болѣе или менѣе параллельно между собой.



Фиг. 64. — Дюны Казо.

Первыя дюны, образовавшіяся на берегу на счетъ морского песка, не остаются въ покоѣ, а постепенно переносятся вѣтромъ далѣе отъ берега внутрь материка, а на мѣсто ихъ вырастаютъ новыя. Благодаря поступательному движенію дюнъ, береговая полоса, нерѣдко въ нѣсколько верстъ шириною, покрывается песчаными холмами, засыпающими все, что встрѣчается на пути, не исключая озеръ, лѣсовъ и даже поселеній, что въ маломъ видѣ можно наблюдать даже вблизи Сестрорѣцка, гдѣ высота дюнъ, засыпающихъ деревья, достигаетъ 24 мет. (фиг. 65).

Хотя дюны, по словамъ почти всѣхъ изслѣдователей, не образуютъ длинныхъ, непрерывныхъ цѣпей съ ровнымъ гребнемъ, одинаковой высоты на всемъ протяженіи, а всегда поднимаются болѣе или менѣе обособленными вершинами, раздѣленными глубокими ложбинами, тѣмъ не менѣе, въ обширной области развитія дюнъ, при кажущемся безпорядкѣ, всегда можно отличить параллельныя и однообразныя цѣпи или ряды дюнъ, раздѣленные продольными и поперечными долинами, а иногда замкнутыми котловинами. Продольныя долины всегда идутъ параллельно морскому берегу и нерѣдко тянутся на нѣсколько верстъ, равно какъ и прилегающія къ нимъ цѣпи дюнъ. Несмотря на разнообразіе группировки дюнъ, площади, занятыя ими, носятъ своеобразный отпечатокъ однообразія и правильности, что́ несомнѣнно обусловливается однообразіемъ ихъ формъ, а склонность къ рядовому расположенію объясняется оро-топографическимъ характеромъ береговъ, способствующимъ возрожденію и развитію дюнъ; поэтому чѣмъ болѣе дюны удаляются отъ береговой полосы, тѣмъ болѣе теряютъ рядовой характеръ и тѣмъ большій безпорядокъ является въ ихъ взаимныхъ отношеніяхъ. Подробныя карты дюнъ Гасконскаго залива доказываютъ это наглядно, какъ видно на слѣдующей карточкѣ дюнъ Казо (фиг. 64), интересной и въ другихъ отношеніяхъ, какъ увидимъ ниже. Число цѣпей весьма различно: отъ одной, какъ въ Куришъ-Нерунгѣ и до 11—въ Ландахъ Гаскони (на приложенной карточкѣ показано 7 рядовъ дюнъ къ сѣверу отъ Казо), и нисколько не зависитъ отъ величины дюнъ; такъ, громадныя дюны Куришъ-Нерунга образуютъ одну цѣпь, а небольшія дюны у Свинемюнде—6 рядовъ.

Углубленія между дюнами представляютъ или долины, или котловины выдуванія, или, наконецъ, ложбины, происшедшія изъ морскихъ лагунъ, отдѣленныхъ отъ моря перемычкою, или покинутыя русла рѣчекъ, или болота.

Что касается скорости движенія дюнъ, то многочисленныя измѣренія на дюнахъ Куришъ-Нерунга, Гаскони и пр., доказываютъ большую неравномѣрность движенія дюнъ не только въ различныхъ мѣстахъ, но даже на одномъ и томъ же берегу (отъ 1 м. до 20 м. въ годъ), а потому положеніе Весселя, что скорости движенія дюнъ въ различныхъ странахъ пропорціональны скоростямъ дующихъ тамъ вѣтровъ, съ одной стороны, а съ другой—предложеніе Эли де-Бомона опредѣлять по скорости движенія дюнъ и по длинѣ пройденнаго ими пути—древность морскихъ береговъ—не выдерживаютъ критики.

По опредѣленію Бремонтье, скорость движенія дюнъ близъ Тэста равна 20—25 м. въ годъ; вся же цѣпь, по Дежессу, въ годъ подвигается только на 1—2 м. Въ Суффолькѣ часть Даунгэма была засыпана дюнами, прошедшими въ 100 лѣтъ 5 миль. На островѣ Сильтѣ годовое движеніе составляетъ 5 м., а въ Даніи—отъ 1 до 7 м., въ среднемъ до 4 м., на Фришъ-Нерунгѣ—5,5 м. и т. д. Материковыя дюны Баната, по 20-лѣтнимъ наблюденіямъ, двигаются со скоростью 2,2 м. въ годъ. Какъ разнообразна скорость движенія дюнъ, показываетъ слѣдующая таблица, выведенная Берендтомъ [23]) на основаніи 24-лѣтнихъ наблюденій на огромной цѣпи дюнъ Куришъ-Нерунга.

Изъ нижеслѣдующей таблицы видно, что средняя годовая скорость движенія дюнъ Куришъ-Нерунга варьируетъ въ большихъ предѣлахъ отъ 7 до 36,5 ф. Такая же разница получается, если взять среднюю скорость для разныхъ мѣстъ за всѣ 24 года.

Такая неравномѣрность въ скорости движенія дюнъ обусловливается сложностью факторовъ, вліяющихъ на движеніе, какъ-то: разнообразіе

Названіе мѣстностей.	Навѣтренная сторона. Скорость въ прусскихъ футахъ въ годъ.	Подвѣтренная сторона. Скорость въ прусскихъ футахъ въ годъ.	Средняя скорость въ прусскихъ футахъ въ годъ.
Зандкругъ противъ Мемеля	36	27	31
$1^1/_4$ м. южнѣе Зандкруга	3	47,5	25,5
У церкви Шварцорта	14	0	7
Мѣстечко Альтъ-Неегельнъ	39	22,5	30,75
Урбо-Кальнсъ, близъ Ниддена.	6,5	7,5	7
У Грабстеръ-Гакена.	45,5	27,5	36,5
Близъ горы Преднпъ	2,5	37,5	20
Сѣвернѣе мѣст. Штагосвальде	2,5	3	2,75
Между Первелькъ и Карвантенъ	20,5	7,5	14

силы вѣтра, топографія мѣстности, бо́льшая или меньшая степень влажности песка, растительность и пр., словомъ—такихъ частныхъ факторовъ, которые могутъ измѣняться на каждой верстѣ.

Что касается высоты дюнъ, то она также весьма различна и зависитъ отчасти отъ силы вѣтра, обилія матеріала, но отчасти также отъ круп-

Фиг. 65. — Сестрорѣцкая дюна съ подвѣтренной стороны, надвигающаяся на сосновый лѣсъ.

ности песка. Сестрорѣцкія дюны выше Нарвскихъ только потому, что въ первыхъ песокъ крупнѣе (отъ 0,5 до 1 мм. въ діаметрѣ), чѣмъ во вторыхъ (0,25 въ діаметрѣ); высота ихъ до 24 м. и при надвиганіи онѣ засыпаютъ даже большія деревья (фиг. 65). Маленькія дюны Либавы состоятъ изъ песка въ 0,1 мм. діаметромъ, а большія дюны Куришъ-

Нерунга содержатъ песокъ до 2 мм. въ діаметрѣ. Высота дюнъ на берегахъ Нѣмецкаго моря доходитъ до 30—40 м.; въ Англіи до 20—30 м., во Франціи до 100 — 120 м. и даже 155 м.; во Флоридѣ, Тампико, Мексикѣ до 30 м., у мыса С.-Рокъ до 45 м., въ Африкѣ у мыса Баядоръ до 120—180 м., а въ Тунисѣ до 200 метровъ [23a]).

Съ поступательнымъ движеніемъ дюнъ связаны многія, весьма интересныя, явленія. Не говоря объ опустошительномъ вліяніи наступающихъ дюнъ на культурныя площади, распространеніе ихъ производитъ различныя физико-геологическія измѣненія въ береговой полосѣ. Наступающія дюны нерѣдко перемѣщаютъ устья рѣкъ; такъ, устье р. Суммы, впадающей въ Капорскій заливъ, отодвинуто къ востоку на 5 верстъ слишкомъ. Рѣка Аа отклонена почти на 30 верстъ, а р. Виндава—на 10 верстъ отъ мѣста своего первоначальнаго впаденія въ Балтійское море. Эти и подобныя имъ отклоненія почти всегда направлены въ сторону господствующихъ вѣтровъ и, значитъ, въ сторону движенія дюнъ.

Иногда возрастающая дюна пересыпаетъ русло рѣки, запружаетъ рѣку и такимъ образомъ производитъ береговое озеро, напр., Нарвское озеро образовалось отъ запруды протока Рысони. Но чаще береговыя

Фиг. 66. — Береговое озеро (étang), отдѣленное отъ моря дюнами.

озера среди дюнъ представляютъ лагуны, отдѣленныя отъ моря сначала береговымъ валомъ, но потомъ отодвинутыя дюнами внутрь материка. Лагуны, по выраженію Реклю, бѣжали вверхъ по скату материка, подъ неотразимымъ натискомъ песчаныхъ массъ (см. фиг. 66). Образованіе озеръ и болотъ, въ связи съ возникновеніемъ береговыхъ валовъ и дюнъ, составляетъ одну изъ замѣчательнѣйшихъ особенностей французскихъ Ландъ, гдѣ они расположены вдоль подошвы подвѣтреннаго склона дюнъ и называются прудами (etang) (см. фиг. 64). Отличаясь формою и величиною, они имѣютъ то общее свойство, что на протяженіи почти 200 верстъ вдоль берега отстоятъ въ равномъ разстояніи отъ моря, напр.: Гуртекъ, Лагано, Казо, Паранти, Орельянъ, Леонъ, Сенъ-Жюльенъ и др. Нѣкоторые изъ нихъ имѣютъ еще соленую воду и сообщаются съ моремъ, какъ лагуны Аркашона, другіе же опрѣснились и значительно возвышаются надъ поверхностью моря. Историческія данныя свидѣтельствуютъ, что благодаря движенію лагунъ и дюнъ, многія селенія должны были по нѣсколько разъ переноситься съ мѣста на мѣсто, чтобы избавиться отъ затопленія водою или засыпанія пескомъ [24]). Вслѣдствіе того же нѣкогда изрѣзанный берегъ залива Казо—нынѣ совершенно ровный (см. фиг. 64).

Подобное явленіе въ еще болѣе грандіозныхъ размѣрахъ происходитъ въ настоящее время въ Куришъ-Гаффѣ, который дюнами Куришъ-Нерунга постепенно засыпается и отодвигается къ востоку, со среднею скоростью около 26 ф. ежегодно, и результатомъ этого процесса, по

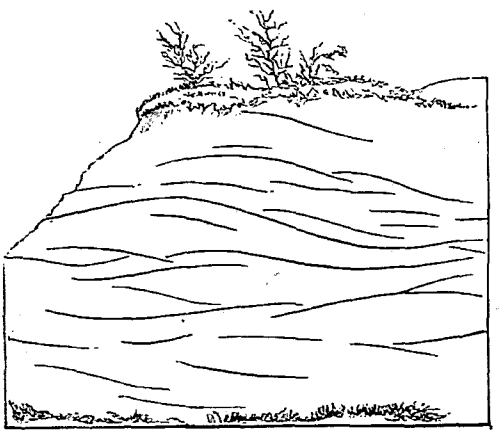
мнѣнію Берендта, будетъ отдѣленіе Куришъ-Гаффа и превращеніе его въ лагуну. Весьма вѣроятно, что и наши нѣкоторыя озера по берегу Балтійскаго моря, какъ напр. Тосмарское, Либавское и Папенское—такого же происхожденія.

Иногда летучій песокъ, встрѣчая на своемъ пути озеро со стоячею водою и покрытое липкою плѣсенью, осаждается на немъ слой за слоемъ и совершенно скрываетъ подъ собою озеро. Слой наноснаго песка можетъ сдѣлаться до того крѣпкимъ, что остается въ равновѣсіи даже при пониженіи уровня озера и при высыханіи песка съ поверхности. Такія скрытыя подъ пескомъ лужи и озера называются въ Ландахъ блузами (blouse) и представляютъ большую опасность для людей и животныхъ, такъ какъ затягиваютъ всякаго вступившаго на обманчивую поверхность блузы.

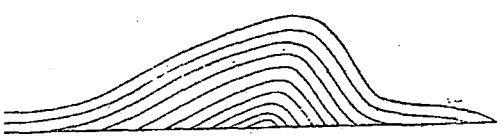
Такъ какъ движеніе дюнъ часто ведетъ за собой гибельныя послѣдствія для культурныхъ мѣстностей, то, понятно, что давно уже обращено вниманіе на изысканіе способовъ удержанія ихъ. Способы эти указаны самой природой и заключаются или въ устройствѣ такъ-называемой передовой дюны (Vordüne), или въ разведеніи растительности на пескахъ.

Передовая дюна, какъ уже выше указано, кромѣ того, что задерживаетъ песокъ на себѣ и не даетъ ему распространяться внутрь страны, служитъ какъ плотина, задерживающая наступленіе моря. Что касается растеній, то пользуются такими, которыя указаны самой природой, т. е. растеніями, являющимися піонерами при естественномъ заростаніи дюнъ; напр., у насъ колоснякъ (Elymus arenarius), мелкіе злаки изъ родовъ Festuca и Triticum, ива (Salix acutifolia), толокнянка (Arctostaphylos uva ursi), брусника (Vaccinium vitis idea), верескъ (Calluna vulgaris), тростникъ (Arundo arenaria); въ болѣе южныхъ странахъ, кромѣ того: молочай (Euphorbia girardiana), красная полынь (Artemisia inodora), донникъ (Melilotus officinalis), камышникъ (Calamagrostis Epigejos), кумарчикъ (Agriophylum arenarium), кызылъ-джузганъ (Calligonum Palasii), гребеньщики (Tamarix Palasii и T. tetrandia), саксаулъ (Haloxylon amodendron), колючка (Alhagi camelorum), морская сосна (Pinus maritima) и мн. др. Многія изъ этихъ растеній съ ползучими, длинными корнями, достигающими 40—50 ф. длиною, пронизываютъ дюну по всѣмъ направленіямъ, связываютъ песокъ и превращаютъ дюну въ неподвижный холмъ. Дюны, закрѣпленныя искусственнымъ или естественнымъ путемъ, напр. при измѣненіи орографическихъ и климатическихъ условій берега, могутъ снова, при благопріятныхъ условіяхъ, сдѣлаться подвижными. Примѣровъ тому много, и причина новаго раскрытія дюнъ часто заключается въ дѣятельности человѣка: пастьба скота, прогоны его, проложеніе дорогъ, неумѣренная пахота, хищническое истребленіе лѣсовъ,—все это способствуетъ обнаженію и новому движенію уже закрѣпившихся дюнъ. Старыя дюны Европы нѣкогда были сплошь покрыты лѣсами, которые, по словамъ Реклю [24]), существовали еще во времена Страбона и Плинія, а въ Медокѣ—еще въ XIV ст. Возобновленіе обширныхъ дюнъ Гаскони и Нидерландовъ обязано истребленію этихъ лѣсовъ. Уже Монтескьё въ XIV вѣкѣ сообщаетъ, что береговые пески „съ нѣкотораго времени“ стали проникать внутрь страны. Подъ многими изъ дюнъ Гаскони находятъ стволы дубовъ, сосенъ и другихъ деревьевъ, засыпанныхъ новымъ пескомъ. Въ Массачузетѣ, на берегу озера Мичиганъ, летучіе пески образовались вслѣдствіе расчистки земель подъ пашни. Въ Астраханской губ. неразсчетливая пахота и пастьба до того быстро производятъ летучій песокъ, что населеніе (казачьи станицы) принуждено часто переселяться; жители, испортивъ окрестности, сами же бѣгутъ отъ наступанія песковъ, не будучи въ состояніи бороться съ ними. Кочевники-калмыки Астраханской губ. нарушаютъ пастьбою скота неподвижность старыхъ, заросшихъ дюнъ, удаленныхъ отъ Каспія на десятки и даже до сотни верстъ и производятъ уже материковые барханы. Человѣкъ, вызывая нераціональною дѣятельностью образованіе летучихъ песковъ, въ настоящее время вмѣстѣ съ тѣмъ заботится объ укрѣпленіи ихъ. Блестящимъ примѣромъ этого рода дѣятельности служитъ работа знаменитаго Бремонтье, который въ концѣ прошлаго столѣтія закрѣпленіемъ песковъ Аркашона (Ланды) и разведеніемъ на нихъ сосноваго лѣса, превратилъ значительную площадь пустынныхъ дюнъ въ культурныя поля съ обширными виноградниками, которые теперь ежегодно даютъ французскому правительству прибыли больше всей суммы, затраченной Бремонтье.

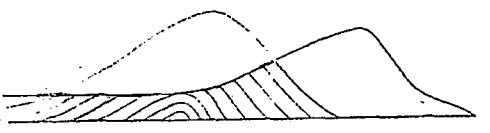
Описанный способъ образованія дюнъ и ихъ передвиженіе обусловливаетъ ихъ слоистое строеніе. При остановкѣ и закрѣпленіи дюнъ на поверхности ихъ появляется растительность и небольшой слой перегноя (до 3—5 сант. и рѣдко до 20 сант.), напр. въ дюнахъ Нарвскаго залива, при устьѣ З. Двины, у Сестрорѣцка, Куоккала (фиг. 67) и пр.; слѣдовательно слои перегноя, равно какъ стволы и пни деревьевъ указываютъ на періодъ остановки въ развитіи дюнъ. Слоистость дюнъ зависитъ отъ разнообразной силы вѣтровъ, которые нагоняютъ не только песокъ разной крупности, но и разнаго петрографическаго состава; въ общемъ слоистость эта представляетъ повтореніе уклоновъ навѣтреннаго и подвѣтреннаго склоновъ, т. е. въ одну сторону до 5, а въ другую до 30°, слѣдовательно, въ поперечномъ разрѣзѣ дюны, слои ея представляютъ какъ бы антиклинальную складку съ разнымъ паденіемъ крыльевъ (фиг. 68); но это только по линіи, перпендикулярной къ гребню дюны, по всѣмъ же другимъ разрѣзамъ она менѣе правильная и обнаруживается въ чисто песчаныхъ дюнахъ только при особыхъ условіяхъ, напр. въ дюнахъ Сестрорѣцка и Куоккала (фиг. 67) только въ началѣ обсыханія свѣжаго разрѣза; дѣло въ томъ, что слои крупнаго песка (въ 1 мм.) высыхаютъ быстрѣе, чѣмъ слои мелкаго песка (въ 0,5 мм.) и потому легко осыпаются и оставляютъ замѣтныя бороздки между выступающими слоями мелкаго песка. Но въ дюнахъ, состоящихъ изъ разноороднаго петрографиче-



Фиг. 67. — Разрѣзъ слоистой дюны близъ дер. Куокала.



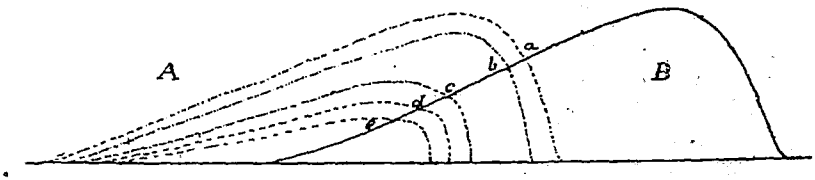
Фиг. 68. — Поперечный разрѣзъ дюны.



Фиг. 69.—Разрѣзъ дюны, отчасти перемѣстившейся.

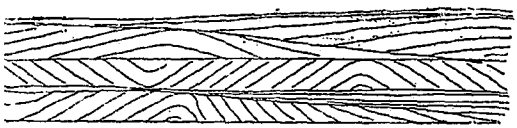
скаго песка, слоистость проявляется гораздо отчетливѣе, напр. при перемежаемости песка съ глиною (напр. въ Ферганѣ), или съ черными зернами титанистаго желѣзняка (напр. въ сѣверной Ютландіи), гдѣ поверхность дюны кажется сѣтчатою, вслѣдствіе того, что грядки ряби состоятъ изъ бѣлаго кварцеваго песка, а промежутки между ними покрыты черными зернами титанистаго желѣзняка; въ Астраханской губ. такая сѣтчатость и слоистость обусловливаются скопленіемъ и перемежаемостью бѣлыхъ осколковъ нѣжныхъ каспійскихъ раковинъ. Въ разрѣзахъ дюнъ, перпендикулярныхъ длинѣ ихъ, слоистость менѣе характерна и правильна. Вообще же можно сказать, что чѣмъ больше размѣры дюны, чѣмъ больше она претерпѣла

періодовъ покоя и движенія, тѣмъ сложнѣе слоистость ея, которую Бріаръ [25]), изучавшій ее въ дюнахъ Фландріи, называетъ вообще перекрещивающеюся слоистосью (stratification entrecroisée). Но особенно часто въ большихъ и старыхъ дюнахъ развита діагональная сложная слоистость, происхожденіе которой Вальтеръ [26]) объясняетъ неполнымъ перемѣщеніемъ дюнъ. Если сформировавшаяся дюна (см. фиг. 68) начинаетъ перемѣщаться, то прежде всего развѣвается или лучше сказать свѣ-

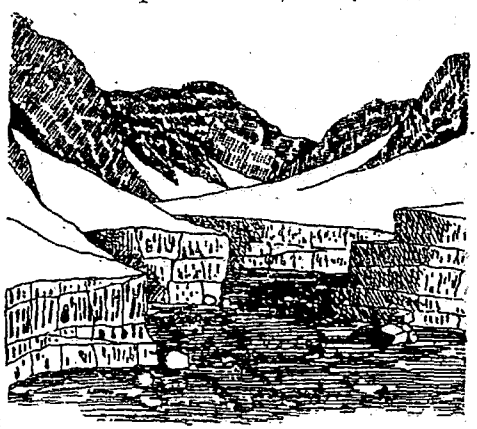


Фиг. 70. — *Дюна B, пропедшая изъ дюны A съ глинистыми прослоями a, b, c, d, e.*

вается вершина ея антиклинальнаго гребня, на мѣстѣ котораго образуется воздушное сѣдло (фиг. 69), а гребень передвигается впередъ; вслѣдствіе этого нерѣдко на пологомъ навѣтренномъ склонѣ перемѣстившейся дюны наблюдаются крутопадающіе слои, которые въ случаѣ ихъ петрографическаго отличія выдѣляются весьма отчетливо, какъ напр. въ Ферганѣ [27]), гдѣ въ Коканской песчаной пустынѣ находятся дюны съ лёссовыми глинистыми слоями на навѣтренномъ склонѣ, падающими весьма круто, какъ видно на слѣдующемъ рисункѣ (фиг. 70), поясняющемъ появленіе этихъ слоевъ вслѣдствіе передвиженія дюны A въ положеніе B; когда формировалась дюна A, то поверхность ея время отъ



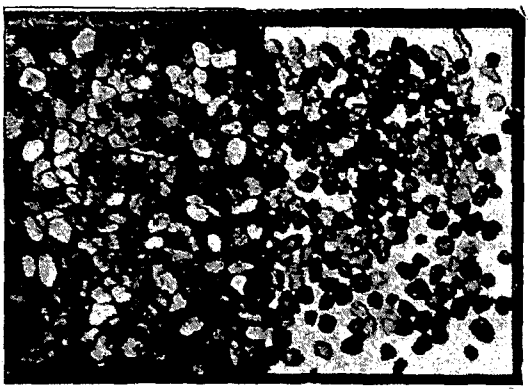
Фиг. 71. — *Діагональная слоистость дюнъ.*



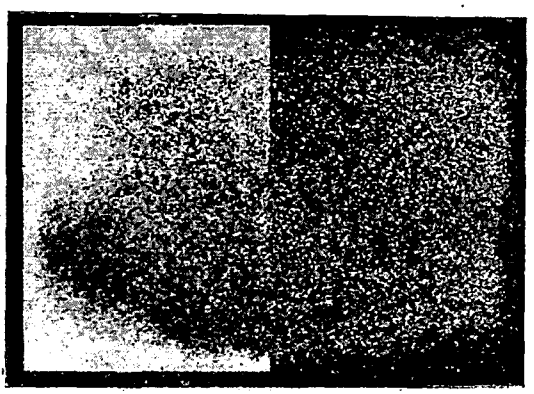
Фиг. 72. — Твердые эоловые песчаники вади Гашебъ на Синайскомъ полуостровѣ.

времени покрывалась отложеніями лёссовый пыли (a, b, c, d, e), которыя перемежались съ пескомъ и образовали пять слоевъ, толщиною до $^1/_4$ дюйма, уплотнявшихся вѣроятно снѣговою водою. Впослѣдствіи, когда сильный вѣтеръ прорвалъ эти лёссовыя корки одна за другою и привелъ въ движеніе песокъ, холмъ перекочевалъ изъ A въ B и на навѣтренной сторонѣ выступили только головы этихъ слоевъ. Если вообще развѣваніе старой дюны не доходитъ до основанія, а останавливается на нѣкоторой глубинѣ, какъ это часто наблюдается, то на поверхности срѣзанной антиклинали или воздушнаго сѣдла возникаетъ новая дюна,

слоистость которой будетъ рѣзко отличаться отъ прежней. Новая дюна можетъ испытать такія же преобразованія и покроется слѣдующей и т. д., такъ что въ концѣ концовъ на мѣстѣ старыхъ дюнъ образуется цѣлая свита пластовъ съ развитою и сложною діагональною слоеватостью, какъ указано на слѣдующемъ рисункѣ (фиг. 71). Такимъ образомъ діагональная слоеватость происходитъ изъ эоловыхъ изолированныхъ грядъ, представляющихъ неравно-склонные антиклиналы и перемѣщающихся не всей массой, а только отчасти, оставляя свое основаніе на прежнемъ мѣстѣ. Діагональная слоеватость свойственна преимущественно материковымъ эоловымъ образованіямъ и только въ рѣдкихъ случахъ появляется въ отложеніяхъ мелкаго моря, но здѣсь рѣдко образуются холмы съ крутыми уклонами; точно также въ отложеніяхъ текучихъ водъ, напр. въ рѣчныхъ дельтахъ діагональная слоеватость гораздо проще и совершенно лишена такихъ крутыхъ изгибовъ, какъ въ эоловыхъ осадкахъ (см. фиг. 70). Словомъ, діагональная слоеватость составляетъ одинъ изъ важнѣйшихъ признаковъ, пользуясь которымъ возможно опредѣлить эоловое происхожденіе древнихъ осадковъ, какъ это напр. сдѣлалъ Вальтеръ по отношенію къ твердымъ песчаникамъ вади Гашебъ въ южной части Синайскаго полуострова (фиг. 72) [28]).



Фиг. 73.—Крупнозернистый кварцевый песокъ.



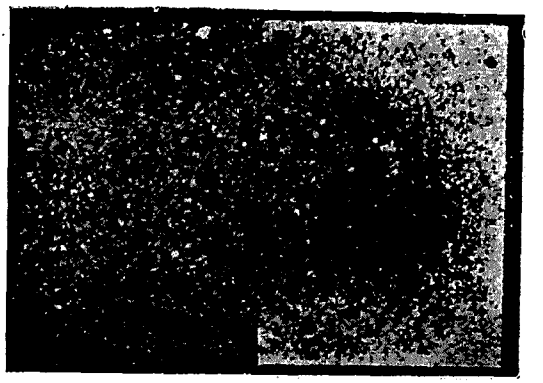
Фиг. 73а.—Тонкозернистый гранитовый песокъ.

Что касается крупности дюннаго песка, то уже изъ вышеприведенной таблицы видно (стр. 86), что она не можетъ быть значительной. Обыкновенно величина песчинокъ не превосходитъ 2 мм. въ діаметрѣ, но чаще около 0,5 мм.; только въ рѣдкихъ случаяхъ, напр., въ небольшихъ дюнахъ около Евпаторіи зерна достигаютъ 5 мм. въ діаметрѣ. Крупный песокъ (Perlsand) можетъ двигаться только при сильныхъ буряхъ.

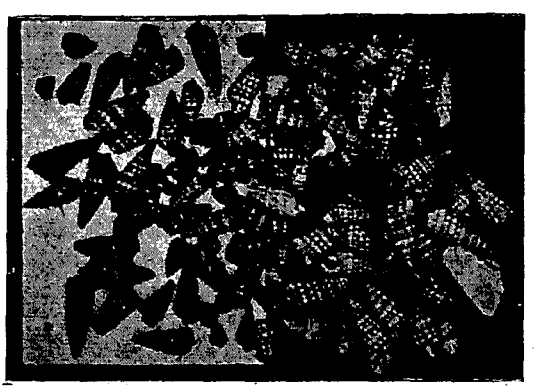
Форма песчинокъ болѣе или менѣе угловатая и округленность ихъ нисколько не больше округленности морского песка. На слѣдующихъ рисункахъ показаны различные эоловые пески: отъ самыхъ мелкихъ до раковинныхъ (фиг. 73 а, б, в въ нат. величину).

Минералогическій составъ дюннаго песка, очевидно, по самому происхожденію своему, долженъ имѣть полное сходство съ прилегающимъ морскимъ пескомъ. Такъ песокъ Балтійскихъ дюнъ содержитъ тѣ же

составныя части, какъ и песокъ прилегающаго ледниковаго наноса; песокъ Гасконскихъ дюнъ похожъ на пліоценовый песокъ Ландъ, и т. д. Но количественное отношеніе различныхъ составныхъ частей въ дюнномъ пескѣ другое, нежели въ морскомъ; различіе это обусловливается, такъ сказать, обогащеніемъ дюннаго песка кварцемъ, какъ болѣе другихъ сопротивляющимся разрушенію. Нѣкоторыя дюны состоятъ изъ чистаго кварцеваго песка, другія же содержатъ примѣсь углекислаго кальція, напр. дюны Франціи и Англіи до 2% и даже до 10%; въ дюнахъ бухты Одіернъ, Сантэка, близъ С. Польде-Леона, углекислаго кальція содержится до 68%. На берегахъ Западной Австраліи, о-ва Оагу и на восточномъ склонѣ Сави дюны состоятъ исключительно изъ известковаго песка; нѣкоторые дюны и барханы у Евпаторіи состоятъ изъ правильныхъ шариковъ известняка до 2 мм. діаметромъ, происшедшихъ отъ разрушенія мелкоолитоваго или икрянаго третичнаго известняка; ближе къ берегу къ известняковымъ шарикамъ примѣшиваются зерна кварца, а у самаго берега известковыя дюны смѣняются почти чистыми кварцевыми съ многочисленными раковинами Cerithium. На Чорохѣ у Батума наблюдались небольшія дюны, состоящія изъ зеренъ магнитнаго желѣзняка, въ нижнихъ горизонтахъ съ зернами оливина, а въ верхнихъ съ раковинами и раковиннымъ пескомъ [29]).



Фиг. 73б.—Оолитовый песокъ.



Фиг. 73в.—Раковинный песокъ (Cerithium).

Изслѣдованія Ретгерса [30]) показываютъ, что песокъ нѣкоторыхъ дюнъ отличается весьма сложнымъ составомъ, напр. въ пескѣ Швенингена на западномъ берегу Голландіи, онъ нашелъ цѣлый рядъ минераловъ: твердыхъ, мягкихъ и даже легко разлагающихся; онъ дѣлитъ ихъ на двѣ группы: 1—главные минералы: кварцъ, гранатъ, авгитъ, амфиболъ, турмалинъ, эпидотъ, ставролитъ, рутилъ, цирконъ, магнетитъ, ильменитъ, ортоклазъ, апатитъ, известковый шпатъ и 2—второстепенные минералы, находящіеся въ небольшихъ количествахъ: микроклинъ, плагіоклазъ, кордіеритъ, титанитъ, силлиманитъ, оливинъ, дистенъ, корундъ и шпинель. Изучая микроскопически и химически песокъ голландскихъ дюнъ, Ретгерсъ пришелъ къ тому заключенію, что онъ произошелъ изъ кристаллическихъ породъ, вѣроятно ледниковыхъ валуновъ Скандинавіи и Финляндіи, а не изъ наносовъ рѣкъ: Рейна, Мааса и Шельды, имѣющихъ другой составъ.

О составѣ и крупности песка нашихъ сѣверныхъ дюнъ интересныя данныя приводитъ Раунеръ [31]), у котораго мы заимствуемъ слѣдующія таблицы; въ первой изъ нихъ указана крупность, а во второй составъ песка дюнъ Сестрорѣцка, Нарвы, Ревеля, Мангустова, Виндавы и Либавы.

Діаметръ песчинокъ въ миллиметр.	Сестрорѣцкій песокъ въ %.	Нарвскій песокъ въ %.	Ревельскій песокъ въ %.	Мангустовскій песокъ въ %.	Виндавскій песокъ въ %.	Либавскій песокъ въ %.
0,1—0,2	19%	51%	—	57%	4%	40%
0,2—0,3	37	44	4	43	42	53
0,3—0,4	21	4	11	—	31	3
0,4—0,5	18	1	19	—	20	4
0,5—0,6	2	—	19	—	2	—
0,6—0,7	2	—	22	—	1	—
0,7—0,8	1	—	11	—	—	—
0,8—0,9	—	—	7	—	—	—
0,9—1 и болѣе . .	—	—	7	—	—	—
Средній діаметръ въ миллим. . .	0,29	0,19	0,59	0,18	0,37	0,20

Составныя части.	Сестрорѣцкій.	Нарвскій.	Ревельскій.	Мангустовскій.	Виндавскій.	Либавскій.
Нераствор. вещ.	98,030	97,520	98,210	99,210	92,450	98,450
Потеря прокалив. . . .	0,310	0,570	0,440	0,160	0,640	0,280
Раствор. въ *HCl*. . . .	1,970	2,480	1,510	0,740	7,550	1,550
Окиси кальція	0,128	0,675	0,097	0,092	2,910	0,350
Угольной кислоты. . .	0,122	0,355	0,076	0,072	2,178	0,239
Сѣрной кислоты	0,023	0,020	0,010	0,030	0,034	0,047
Окиси магнія	0,085	0,150	0,087	0,055	0,238	0,082
Фосфорной кислоты . .	0,040	0,072	0,014	0,013	0,006	0,024
Окиси желѣза	1,355	0,696	0,826	0,422	0,616	0,531
SiO_2 раствор. въ *HCl* .	0,046	0,066	0,070	0,023	0,071	0,041
Щелочей, потери и пр.	0,171	0,446	0,330	0,083	1,487	0,236
SiO_2 раств. въ щелочи .	0,725	0,320	0,635	0,465	0,583	0,647

Изъ этихъ таблицъ видно, что песокъ нашихъ дюнъ отличаются, во 1-хъ, весьма малою крупностью и, во 2-хъ, сравнительною чистотою, состоя преимущественно изъ зеренъ кварца. Самый крупный песокъ находится въ дюнахъ Ревеля, а самый мелкій въ Либавѣ; вслѣдствіе этаго Ревельскія дюны достигаютъ несравненно большей высоты, нежели дюны Либавы, гдѣ онѣ едва возвышаются надъ песчаною равниною. Песокъ Астраханскихъ дюнъ мѣстами отличается замѣчательною чистотою, нисколько не уступающею Мангустовскому, который, какъ видно изъ анализовъ, можетъ считаться самымъ чистымъ. Вообще Каспійскія и Аральскія дюны тѣмъ чище, чѣмъ старше, потому что осколки раковинъ, примѣшанныя въ большемъ количествѣ къ песку въ новыхъ дюнахъ, постепенно выщелачиваются до полнаго уничтоженія, какъ это особенно замѣтно на восточныхъ берегахъ Арала.

Среди дюнъ нерѣдко встрѣчаются слои торфа: напр., въ дюнахъ Курляндіи торфъ достигаетъ 1 см. толщины; въ Ютландіи (такъ назы-

ваемый martorv) слои торфа достигаютъ бо́льшаго развитія и прикрываются толщею песка въ 10 ф. мощностью, но залегаютъ всегда на морскихъ отложеніяхъ, содержащихъ раковины Cardium edule и Mytilus edulis. Происхожденіе торфа объясняется засыпаніемъ пескомъ дюнныхъ болотъ.

Присутствіе галекъ, мелкаго гравія или такихъ тяжелыхъ раковинъ, какъ устричныя, которыя не могутъ передвигаться вѣтромъ, свидѣтельствуетъ о значительныхъ колебаніяхъ берега, тогда какъ мелкія и легкія раковины, какъ Cardium edule, Tellina baltica, Dreissena polymorpha, Neritina liturata и др., легко переносятся вѣтромъ—или цѣлыя, или, чаще, въ видѣ осколковъ и составляютъ иногда существенную примѣсь въ дюнномъ пескѣ. Кости животныхъ, какъ кроликовъ, мышей, нѣкоторыхъ птицъ, попадаютъ въ дюны или благодаря ихъ случайной гибели, или вслѣдствіе ихъ жизни въ норахъ дюнъ, или же заносятся другими животными.

Кромѣ того въ дюнахъ находится еще особая порода, извѣстная у нѣмцевъ подъ именемъ ортштейна (ortstein), а у французовъ—алiосъ (alios); она представляетъ красновато-бурую или темную породу, состоящую изъ дюннаго песка, сцементированнаго частью окисью желѣза (до $2^0/_0$), а частью гумусомъ (до $14^0/_0$). Она залегаетъ обыкновенно на глубинѣ 1—4 ф. слоемъ, толщиною до 8 дециметровъ [32]).

Въ заключеніе о приморскихъ дюнахъ замѣтимъ, что прежде и еще весьма недавно, когда были мало знакомы съ происхожденіемъ, формою и составомъ дюнъ, ихъ часто смѣшивали съ береговыми валами, образованными прибоемъ волнъ. Ниже, когда мы познакомимся съ прибрежными морскими отложеніями, мы убѣдимся, что дюны и береговые валы—совершенно различныя образованія, и смѣшеніе ихъ приводитъ къ грубымъ и неправильнымъ заключеніямъ о физическихъ измѣненіяхъ даннаго берега.

Рѣчныя дюны. Предыдущее знакомство съ приморскими дюнами даетъ намъ возможность ограничиться только краткимъ описаніемъ нѣкоторыхъ особенностей рѣчныхъ дюнъ, во многихъ отношеніяхъ сходныхъ съ приморскими. Долины рѣкъ, въ особенности въ низовьяхъ, отлагаютъ значительное количество рыхлаго матеріала, который, при пониженіи уровня рѣки, служитъ для образованія дюнъ. Чѣмъ долина обширнѣе, открытѣе, тѣмъ она болѣе благопріятна для накопленія дюнъ; однако не вездѣ въ широкихъ долинахъ образуются дюны. Судя по географическому распространенію рѣчныхъ дюнъ, можно думать, что онѣ зависятъ отъ климатическихъ условій, что́ какъ мы видѣли выше, не имѣетъ значенія для приморскихъ дюнъ. Это обстоятельство составляетъ уже различіе между тѣми и другими дюнами.

Такъ, въ Западной Европѣ онѣ развиты очень мало и достигаютъ незначительной величины, напр., въ долинахъ Одера, Эльбы и Шпре; южнѣе въ знойномъ Лангедокѣ и особенно въ области мистраля въ долинѣ Гардонь, дюны возвышаются уже до 10 м.; а дюны Жиронды занимаютъ площадь до 55,000 гектаровъ [33]); въ Испаніи въ долинѣ Гвадалквивира въ Андалузіи, высокія Los Arenos достигаютъ 25 м. высоты, а въ болѣе континентальной Венгріи — еще больше. У насъ въ Россіи рѣчныя дюны какъ бы увеличиваются съ приближеніемъ къ югу, т. е. въ область болѣе сухого климата. Въ долинахъ сѣверныхъ рѣкъ: Волхова, Ояти, Сяси, дюны имѣютъ около 5 м. высоты и попадаются только изрѣдка. Гораздо бо́льшаго развитія достигаютъ дюны въ долинахъ средней Россіи: на Западной Двинѣ, Нѣманѣ, Волгѣ, Мологѣ, Окѣ, но еще болѣе — южнѣе, напр. дюны Днѣпра тянутся мѣстами

на 12 в. между Гусинницами и Сошниковымъ, а мѣстами, напр. въ Переяславскомъ уѣздѣ Полтавской губ., занимаютъ, хотя и не сплошь, площадь въ 370 кв. вер.; въ низовьяхъ Днѣпра, такъ называемые, Алешкинскіе пески [34]) занимаютъ еще бо́льшую площадь. Въ долинѣ р. Дона, напр. около Усть-Медвѣдицкой станицы, дюны высотою до 20 м. занимаютъ площадь 50 вер. шириною; то же въ долинѣ Хопра, у Урюпинской, Михайловской и др. станицъ; дюны Донца производятъ впечатлѣніе дюнъ Гаскони. По Волгѣ дюны значительно увеличиваются къ низовью рѣки. Всѣ эти факты указываютъ, что въ рѣчныхъ дюнахъ отражается вліяніе климата; вѣроятно это обусловливается тѣмъ, во-первыхъ, что богатая растительность въ долинахъ можетъ успѣшнѣе бороться съ летучими песками, а во-вторыхъ, что вѣтры въ долинахъ гораздо рѣже и слабѣе, нежели на морскихъ берегахъ.

Рѣчныя дюны зарождаются, преобразовываются такъ же, какъ морскія. Точно также могутъ образоваться онѣ на высокихъ, крутыхъ берегахъ, напр. по Волхову, противъ дер. Вельсы. Полуцирковая форма свойственна имъ чаще, нежели морскимъ; напр., въ низовьяхъ Волги онѣ нерѣдко имѣютъ видъ типичныхъ барха́новъ, но, съ другой стороны, благодаря совершенно инымъ оро-топографическимъ условіямъ долинъ, рѣчныя дюны рѣдко группируются въ такіе правильные параллельные ряды или цѣпи, какъ приморскія дюны, а скорѣе образуютъ неправильно разбросанные холмы. По составу рѣчныя дюны отличаются развѣ только меньшею крупностью песка, большею округленностью, меньшею примѣсью углекислаго кальція, а известковаго песка въ рѣчныхъ дюнахъ вовсе не наблюдалось. Нѣкоторыя рѣчныя дюны, напр. въ долинѣ Аму-дарьи, отличаются стально-сѣрымъ цвѣтомъ песка, зависящимъ отъ примѣси зеренъ роговика, различнаго цвѣта кремня и томпаково-бурой слюды, чѣмъ онѣ рѣзко отличаются отъ бѣлыхъ приморскихъ и красныхъ материковыхъ. Высота рѣчныхъ дюнъ хотя мѣстами и достигаетъ 20 м., какъ у Усть-Медвѣдицы, но вообще несравненно менѣе высоты морскихъ дюнъ; чаще всего рѣчныя дюны не превышаютъ 5—10 м. и никогда не достигаютъ высоты морскихъ.

По слоистости, нахожденію торфа, перегноя, и проч. онѣ аналогичны морскимъ, но только раковины въ нихъ рѣчныя, а не морскія и, кромѣ того, наши русскія дюны въ послѣднее время сдѣлались извѣстны по нахожденію въ нихъ остатковъ до-историческаго человѣка: напр., въ дюнахъ Оки, близъ Рязани, Мурома (Волосовскія дюны) и с. Павлова, также въ дюнахъ Днѣпра у Кіева, по Волгѣ и Волхову. Остатки до-историческаго человѣка были находимы въ слояхъ перегноя, среди дюннаго песка, или на днѣ котловинъ выдуванія. Дюны при устьяхъ рѣкъ смѣшиваются съ приморскими, и отличить ихъ часто невозможно. Переходную форму между ними нерѣдко представляютъ дюны озеръ, напр. дюны Ладожскаго, Онежскаго, Чудскаго и др. озеръ, которыя въ сущности представляютъ приморскія дюны въ миніатюрѣ.

Барханы или материковыя дюны. Барханы или материковыя дюны не пріурочиваются къ какому-либо водному бассейну, подобно приморскимъ и рѣчнымъ, а образуются внутри материковъ повсюду, гдѣ находятся благопріятныя климатическія условія; слѣдовательно появленіе и развитіе ихъ зависятъ, главнымъ образомъ, отъ климата. Въ этомъ отношеніи онѣ составляютъ противоположность съ приморскими, тогда какъ рѣчныя, завися только въ нѣкоторой степени отъ климата, занимаютъ средину между тѣми и другими.

Материковые эоловые пески имѣютъ несравненно большее распро-

страненіе и занимаютъ болѣе обширныя площади, нежели приморскіе. Образованіе ихъ обусловливаетъ существованіе такихъ громадныхъ пустынь, какъ: Ханъ-хай, Сахара, Туранъ, Аравія и др. Географическое распространеніе ихъ, опредѣляемое климатомъ, въ общемъ, совершенно иное, нежели приморскихъ и рѣчныхъ, хотя, съ другой стороны, при отсутствіи въ явленіяхъ природы рѣзкихъ скачковъ, и здѣсь извѣстно не мало случаевъ совмѣстнаго нахожденія не только двухъ, но даже всѣхъ трехъ родовъ дюнъ. Главное же развитіе материковые пески получаютъ въ странахъ съ сухимъ, знойнымъ климатомъ пустынь, гдѣ проявленіе геологической дѣятельности атмосферы достигаетъ своего апогея, гдѣ она является главнымъ агентомъ, преобразовывающимъ рельефъ земной поверхности.

Въ странахъ съ умѣренно-влажнымъ климатомъ материковые пески, если и попадаются мѣстами, то въ сравнительно ничтожномъ количествѣ и почти всегда своимъ появленіемъ обязаны человѣку; они не занимаютъ здѣсь обширныхъ площадей и при раціональномъ уходѣ легко поддаются культурѣ.

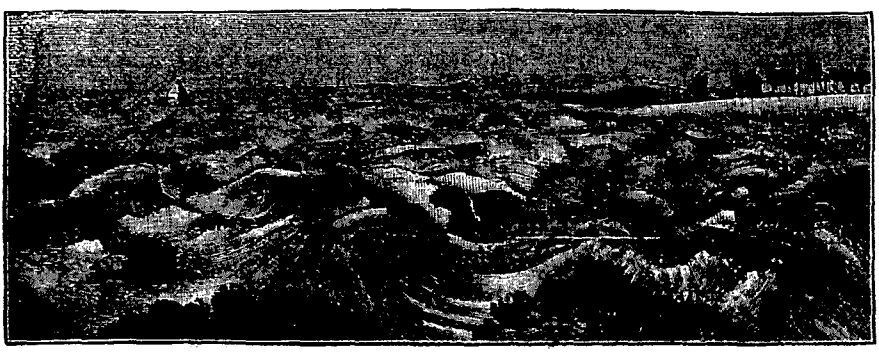
Въ Европѣ извѣстны материковые пески въ различныхъ мѣстахъ, напр. въ Фонтенебло, во Франціи, гдѣ они появились, благодаря лѣсоистребленію, въ Сѣверо-Германской низменности, въ Бельгіи и Голландіи, гдѣ они называются кампинами. Въ Венгріи, гдѣ климатъ континентальнѣе, они распространены въ Куманской, Нирской и Банатской областяхъ, занимая, по словамъ Весселя [35]), площадь около 237 кв. м. и достигая высоты 52 м. Въ Россіи они находятся въ Польшѣ, напр. около Олькушъ, но особеннаго развитія достигаютъ въ Полѣсьѣ (Волынская, Минская, Гродненская, часть Черниговской и Кіевской губ. [36]). Встрѣчаются также въ западныхъ губ и даже въ области распространенія чернозема, особено въ Воронежской, Тамбовской и др. губ., гдѣ, какъ и во Франціи, главною причиною ихъ является безпощадное лѣсоистребленіе.

Въ континентальныхъ пустыняхъ, какъ это указано выше (см. гл. I и карты распредѣленія температуры и осадковъ), атмосфера отличается необыкновенною сухостью, отсутствіемъ осадковъ, самыми большими суточными амплитудами температуры, рѣзкими и сильными вѣтрами, переходящими нерѣдко въ бури и ураганы, не уступающими по силѣ морскимъ. При высокой средней годовой температурѣ (отъ 12 до 30° Ц.) сухіе вѣтры, достигающіе наибольшей силы въ самое жаркое время года—лѣтомъ и осенью при температурѣ до 40° и 50° Ц., обусловливаютъ громадное испареніе, которое въ нѣсколько десятковъ разъ превышаетъ осадки (напр. въ Петро-Александровскѣ въ 36 разъ, въ Нукусѣ въ 24 раза), а лѣтомъ—въ нѣсколько сотъ разъ (въ Петро-Александровскѣ въ 270 разъ). При такихъ условіяхъ и особенно при отсутствіи влаги растительность не только не развивается, но даже уничтожаются и тѣ жалкіе, рѣдко разсѣянные кустики колючекъ, которые составляютъ характерный ландшафтъ пустыни (см. фиг. 74). Обширныя площади поверхности земли совершенно обнажены и лишены даже признаковъ растительности. Съ другой стороны, крайне рѣзкія колебанія температуры, доходящія до 60° Ц. въ сутки, переходъ отъ знойнаго дня къ холодной и даже морозной ночи производитъ сильные вихри и обусловливаетъ интенсивное разрушеніе и разрыхленіе обнажешныхъ горныхъ породъ.

Не говоря уже о слабыхъ осадочныхъ породахъ, каковы песчаники, мергели, и пр., даже плотныя кристаллическія, какъ: граниты, базальты и пр., весьма энергично разрушаются подъ вліяніемъ атмосферы и даютъ матеріалъ для образованія летучихъ песковъ. Вѣтеръ, такъ сказать, сортируетъ этотъ матеріалъ; мелкія частицы онъ переноситъ иногда на значительное разстояніе и слагаетъ изъ нихъ цѣлыя горы, называемыя барханами или материковыми дюнами, а крупныя оставляетъ на мѣстѣ. Развитіе первыхъ производитъ песчаную пустыню, а вторыхъ—каменистую пустыню, о которыхъ сказано выше.

Площади, занятыя летучими песками въ области великихъ пустынь, достигаютъ громадныхъ размѣровъ. Въ одной Сахарѣ, по словамъ Цит-

теля [37]), по самому уменьшенному разсчету, т. е. принимая только $^1/_9$ ч. всей поверхности, площадь, занятая песками, составляетъ не менѣе 18,000 кв. геогр. миль. Въ Центральной Азіи при такомъ же разсчетѣ площадь летучихъ песковъ гораздо больше; въ одномъ Ханъ-хаѣ она болѣе 30,000 кв. г. миль; въ Туркестанѣ около 3,000 кв. м., но, на самомъ дѣлѣ, гораздо больше. По словамъ многихъ путешественниковъ, пески въ Туркестанѣ занимаютъ не $^1/_9$, а напротивъ $^9/_{10}$ всей поверхности, и тогда площадь ихъ будетъ около 20,000 кв. г. миль. Если прибавить къ этому еще громадныя площади песковъ Аравіи, Сиріи, Белуджистана, Индіи и Ирана, то оказывается, что самый большой материкъ—Азія отличается самымъ большимъ распространеніемъ летучихъ песковъ. За нею слѣдуютъ Африка съ Сахарой и Калагари, Австралія, гдѣ во внутренности материка, пески также достигаютъ повидимому огромнаго развитія, но они мало изслѣдованы. Въ Сѣверной Америкѣ

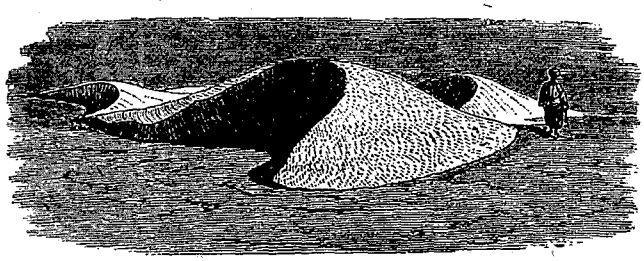


Фиг. 74. — Пески Туггурта въ алжирской Сахарѣ.

пустыни, хотя меньшей величины, но также суровыя, находятся между Скалистыми горами и Сьерра-Невадой, особенно въ области Колорадо; въ Южной Америкѣ извѣстна пустыня Атакама.

Песокъ пустынь, подъ вліяніемъ одного и того же агента—вѣтра, образуетъ накопленія по тѣмъ же самымъ законамъ, какъ и прибрежныя, а потому въ пустыняхъ возможно формированіе дюнъ такой же формы, какъ приморскія и рѣчныя, особенно въ пустыняхъ, прилегающихъ къ морю или большому озеру, напр. въ Туркестанѣ, гдѣ встрѣчаются всѣ роды дюнъ и гдѣ нерѣдко приморскія такъ тѣсно сливаются съ материковыми, что затруднительно различить ихъ. Однако, благодаря иному оро-топографическому характеру поверхности пустынь, иному распредѣленію вѣтровъ и, наконецъ, иному способу происхожденія песка, безъ помощи воды, форма материковыхъ дюнъ гораздо разнообразнѣе и между ними самою распространенною и характерною для всѣхъ пустынь является форма въ видѣ полукруглаго или удлиненнаго съ навѣтренной стороны и полуцирковаго или серпообразнаго съ подвѣтренной, неравносклоннаго холма, называемаго бархаѣномъ, чистый типъ котораго изображенъ на фиг. 75; въ средней Аравіи они извѣстны подъ именемъ фульджесъ (Fuldjes) или дугообразныхъ дюнъ. Они составляютъ совершенную противоположность песчанымъ равнинамъ, называемымъ рамль, которыя

б. ч. слагаются самымъ мелкимъ пескомъ. Типичной формы барханы образуются только на совершенно ровной поверхности, гдѣ малѣйшіе выступы даютъ поводъ къ зарожденію ихъ. Въ планѣ барханъ представляетъ овалъ, тѣмъ болѣе удлиненный, чѣмъ онъ моложе и ниже; съ возрастаніемъ овалъ укорачивается и приближается къ кругу. На одной, именно подвѣтренной, сторонѣ овала находится полукруглая выемка, величина которой различна; если она мала, то форма бархана приближается къ овалу; если же проникаетъ до средины холма, то барханъ получаетъ форму полумѣсяца или серпа, оба рога котораго совершенно равны (см. фиг. 76). Иногда, при преобразованіи бархана вѣтромъ, дующимъ подъ нѣкоторымъ острымъ угломъ къ первоначальному вѣтру, образовавшему барханъ, выемка находится не по срединѣ подвѣтреннаго склона и въ такомъ случаѣ одинъ рогъ полумѣсяца значительно больше другого. Навѣтренный склонъ представляетъ кривую со слабою вогнутостью внизу, плавно и постепенно переходящую въ выпуклость вверху, которая характеризуетъ большую часть навѣтреннаго склона, и плоскую, съ навѣтренной стороны кажущуюся куполообразной, вершину бархана. Уголъ наклоненія навѣтреннаго склона, какъ и въ приморскихъ дюнахъ, не превышаетъ 17°, но чаще отъ 5° до 12°. Расположеніе грядокъ ряби на навѣтренномъ склонѣ весьма поучительно; направленіе ихъ не одинаково въ разныхъ частяхъ склона. Въ средней части его они располагаются, такъ сказать, нормально, т. е. перпендикулярно къ направленію вѣтра и продольной оси холма, тогда какъ на обоихъ бокахъ направленіе грядокъ всегда отклонено къ основанію подвѣтреннаго склона и тѣмъ больше, чѣмъ ближе къ окраинѣ рога, такъ что они поворачиваются почти на 90°. Такое расположеніе ряби ясно указываетъ, что воздушный токъ вблизи поверхности склона какъ бы раздѣляется и обтекаетъ выпуклую вершину бархана. Обтекающее движеніе вѣтра подтверждается, кромѣ того, непосредственными наблюденіями надъ движеніемъ песчинокъ по навѣтренному склону. Это же обстоятельство объясняетъ намъ основную форму барханов, и измѣненія ея въ зависимости отъ рельефа, такъ какъ въ данномъ случаѣ рябь уподобляется миніатюрнымъ барханамъ. Ниже мы увидимъ, что дѣйствительно большіе барханы измѣняютъ свое направленіе и характеръ подобно ряби въ зависимости отъ рельефа.

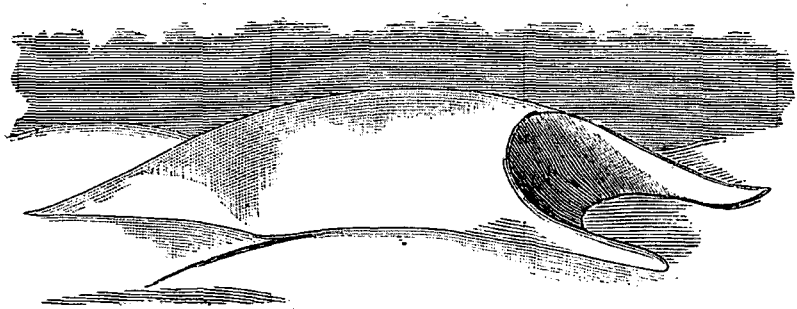


Фиг. 75. — Барханъ Джиделли.

Подвѣтренный склонъ представляетъ въ профили прямую линію, съ крутымъ наклономъ, доходящимъ maximum до 40°, но чаще отъ 30° до 35°, словомъ, равнымъ естественному склону сыпучихъ тѣлъ. При началѣ образованія бархана этотъ склонъ болѣе или менѣе прямолинейный, но затѣмъ, вслѣдствіе выступающихъ и удлиняющихся роговъ онъ принимаетъ форму полукруга, полумѣсяца или серпа (фиг. 76). Наблюденія показываютъ,

что наростаніе роговъ или боковыхъ концовъ происходитъ быстрѣе, нежели средины бархана. Перемѣнные вѣтры и особенно вихри заворачиваютъ иногда концы роговъ внутрь и, преобразовывая навѣтренный склонъ, дѣлаютъ его террассообразнымъ.

На ровной поверхности барханы, несмотря на нѣкоторыя уклоненія отъ типичной формы, кажутся совершенно одинаковыми, необыкновенно изящными, точно выточенными; тысячи барханов Джидели, въ Кызылъкумахъ, одинъ изъ которыхъ представленъ на фиг. 75, до того похожи другъ на друга, что непривычный путешественникъ теряется въ нихъ на первой верстѣ. Мѣстами, при заворотѣ роговъ, они кажутся съ углубленіемъ на вершинѣ въ видѣ кратера, въ которомъ виднѣются иногда умирающія, полузасыпанныя деревья, кустарники, производящіе непріятное впечатлѣніе смерти. Во время вѣтра, когда съ вершинъ барханов



Фиг. 76.— Барханъ близъ Дурновской станицы.

поднимаются, на подобіе дыма, густыя струи песка, барханы кажутся какъ бы дымящимися сальзами; при этомъ песчинки взлетаютъ до 10 и даже до 50 м. высоты [38 а]), а въ исключительныхъ случаяхъ еще болѣе (см. выше стр. 4). Передвиженіе песчинокъ обнаруживается легкимъ трескомъ и зудомъ на рукахъ и лицѣ, а крупные песчинки производятъ чувствительную боль.

Высота барханов обыкновенно небольшая, отъ 2 до 10 метровъ, но въ нѣкоторыхъ исключительно благопріятныхъ случаяхъ достигаетъ до 100 и даже до 150 м., сохраняя свою изящную форму, какъ, напр., знаменитый изолированный барханъ у подошвы горъ Калканъ въ Семирѣченской области (фиг. 77), образовавшійся отъ развѣванія твердыхъ кварцевыхъ порфировъ и уже начавшій покрываться отдѣльными кустами, очевидно, вслѣдствіе близости къ долинѣ р. Или. При движеніи барханы сливаются между собою, сначала попарно (фиг. 78, гдѣ видно направленіе ряби по вѣтровой сторонѣ), а затѣмъ цѣлыми группами, которыя часто занимаютъ большія площади и напоминаютъ собою какъ бы застывшую поверхность бушующаго моря, напр., пески Тынгери (фиг. 79) въ Ц. Азіи, получившіе свое названіе вслѣдствіе обширнаго распространенія (тынгери—значитъ небо) [38]). Одно внѣшнее сравненіе ихъ съ группировкою дюнъ Казо (см. фиг. 64) наглядно поясняетъ разницу между дюннымъ и барханнымъ ландшафтами.

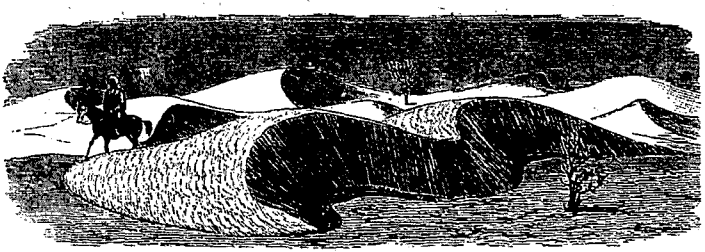
Типичная форма какъ отдѣльныхъ барханов, такъ и ихъ группировка

однако не всегда проявляется, а проявившись не всегда сохраняется. Форма песчаныхъ накопленій въ пустынѣ значительно измѣняется: во-1-хъ, отъ основныхъ формъ рельефа или орографіи, во-2-хъ, отъ силы вѣтровъ различнаго направленія и, въ-3-хъ, отъ влажности почвы.

Что касается первой причины, то она сказывается только при зарожденіи бархановъ на неровной поверхности пустыни; напр., на пологихъ

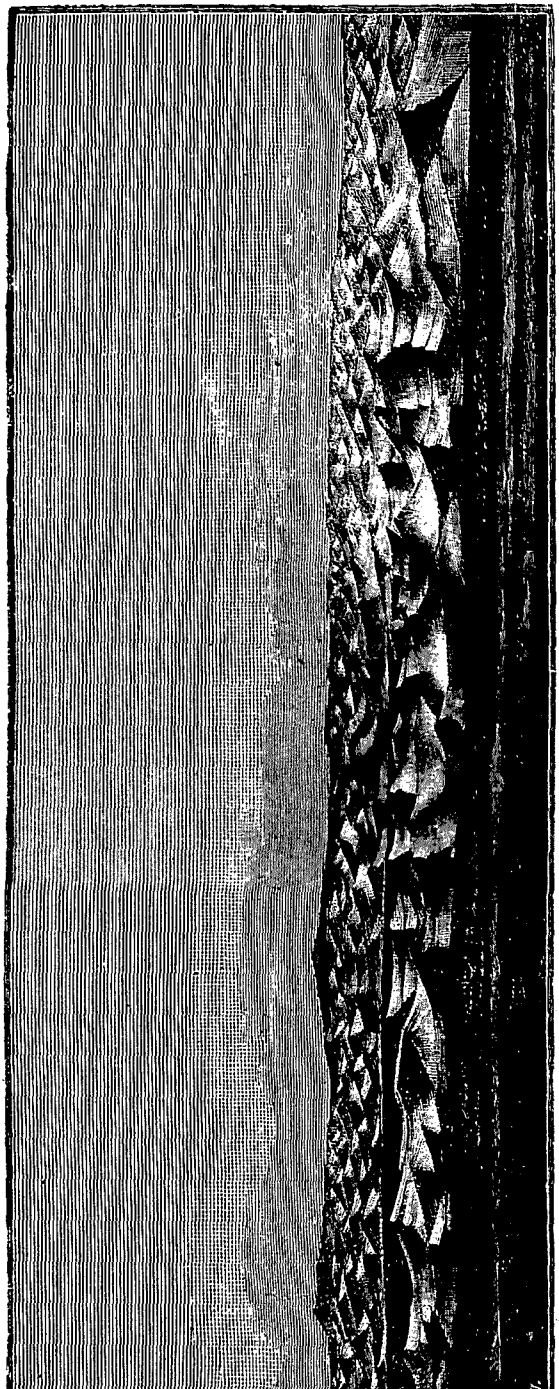
Фиг. 77. — Барханъ, 120 м. высотою, у горъ Калканъ въ Семирѣченской Области.

склонахъ горъ Калятъ въ Кызылъ-кумахъ, сѣвернѣе г. Чарджуя вмѣсто бархановъ образуются широкія песчаныя гряды, обращенныя крутыми склонами къ подошвѣ склона и представляющія снизу какъ бы восходя-



Фиг. 78. — Двойной барханъ Джидели.

щія террасы. На крутыхъ склонахъ горъ, простирающихся согласно съ направленіемъ господствующаго вѣтра, образуются узкія, параллельныя между собою, невысокія гряды, располагающіяся поперекъ склона; если же на склонѣ имѣются основныя террасы или обрывы, то гребень пес-



Фиг. 79. — Пески Тыгери въ Центральной Азіи.

чатыхъ грядъ утрачиваетъ прямолинейность. Очевидно, значеніе рельефа проявляется еще больше при группированіи барханов [39]).

Гораздо важнѣе вліяніе вѣтровъ разнаго направленія на форму и группированіе барханов, которые находятся въ постоянномъ движеніи. Движеніе это такъ же неравномѣрно, какъ и въ приморскихъ дюнахъ; мѣстами оно проявляется весьма ясно и имѣетъ поступательный характеръ, мѣстами же такъ мало замѣтно, что барханы, кажутся неподвижными. Вслѣдствіе этого между изслѣдователями возникло большое разногласіе о движеніи барханов; одни придаютъ ему слишкомъ важное значеніе, другіе же, напротивъ, отрицаютъ его [40]), считая барханы малоподвижными [41]) и даже устойчивыми [42]), наконецъ третьи допускаютъ то и другое и даже различаютъ подвижные пески или дюны скучиванія, и неподвижные, или дюны разрушенія [43]). Несомнѣнно однако, что пески пустынь передвигаются и расширяются; за это говорятъ не только многія историческія данныя, но и непосредственныя наблюденія. Мелкіе барханы передвигаются очень быстро, до 10 м. въ сутки, тогда какъ большіе, даже при постоянныхъ вѣтрахъ, только около 2—3 м. въ годъ.

Наблюденія Коншина [44]), Гельмана [45]), Обручева [46]) и др. доказали, что пески передвигаются съ различною быстротою, доходящею для маленькихъ барханов Баба-ходжа у Нефтяной горы, въ 0,25 мет. высотою, до 20 мет.

въ сутки, а для барханов въ 1,5 м. уже только 3 м. въ сутки. Сопоставляя свои наблюденія, Коншинъ приходитъ къ слѣдующимъ выводамъ объ условіяхъ движенія барханов:

1) Что скорость движенія барханов находится въ прямой зависимости отъ силы вѣтра и обратно пропорціональна массѣ барханов.

2) Что быстрота передвиженія барханов значительно замедляется и даже почти пріостанавливается по мѣрѣ того, какъ отдѣльные барханы превращаются въ группы или гряды.

3) Что въ этомъ послѣднемъ случаѣ прямолинейное, поступательное движеніе отдѣльныхъ барханов переходитъ: a) въ восходящее, вслѣдствіе нагроможденія ихъ другъ на друга и образованія сложнаго бархана или группы ихъ и b) въ боковое, вслѣдствіе наращиванія краевъ барханной гряды новыми барханами.

4) Быстрота передвиженія отдѣльныхъ барханов весьма значительна, доходитъ до 20 мет. въ сутки и во много разъ превосходитъ скорость движенія морскихъ

Фиг. 80. — Китайскій поселокъ въ южномъ Ордосѣ, засыпаемый барханными песками.

дюнъ. Прямолинейное же, поступательное движеніе сложнаго бархана, группы барханов или барханной гряды не превышаетъ 2 м въ годъ.

5) Форма бархана, т. е. размѣры его въ высоту, длину и ширину измѣняются гораздо медленнѣе и въ небольшихъ предѣлахъ. Это измѣненіе идетъ значительно скорѣе въ періодъ уничтоженія бархана, при чемъ относительно быстрое пониженіе высоты бархана служитъ признакомъ начала уничтоженія его, т. е. разметыванія вѣтромъ.

6) Направленіе движенія отдѣльныхъ барханов прямолинейное, согласное съ направленіемъ дующихъ вѣтровъ.

7) Съ измѣненіемъ направленія вѣтра происходитъ перемѣщеніе составныхъ элементовъ бархана, т. е. его внутренняго серповиднаго откоса, боковыхъ дугъ и внѣшняго пологаго склона, въ извѣстномъ опредѣленномъ порядкѣ, свойственномъ формѣ бархана, согласно новому направленію вѣтра. Барханы при этомъ, такъ сказать, перемѣняютъ фронтъ, сохраняя свои размѣры и свое положеніе относительно другъ друга.

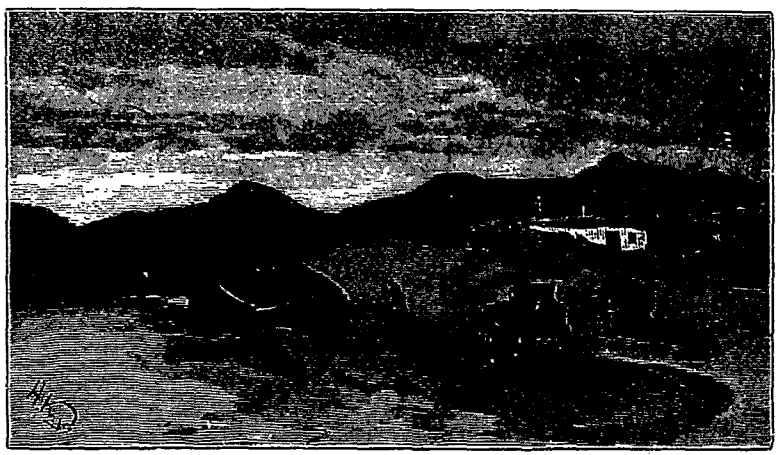
Что касается бо́льшей скорости передвиженія мелкихъ барханов сравнительно съ движеніемъ дюнъ, то по мнѣнію Коншина, она объясняется, во-1-хъ, малою массою барханов сравнительно съ дюнами, во-2-хъ, сухостью песка, слагавшаго барханы, сухостью почвы, по которой они двигались и, наконецъ, въ-3-хъ, силою, постоянствомъ и сухостью вѣтровъ, дувшихъ въ періодъ наблюденій.

То же подтверждаютъ и опыты Наливкина въ Ферганѣ.

Кромѣ непосредственныхъ наблюденій, цѣлый рядъ фактовъ современныхъ и историческихъ свидѣтельствуетъ о передвиженіи песковъ, что особенно отмѣчается при надвиганіи ихъ къ культурнымъ мѣстностямъ.

Въ Ферганѣ [47]) давно извѣстны случаи засыпанія пескомъ садовъ, полей и даже цѣлыхъ деревень. Въ 1881 г. 22 мая сильный вѣтеръ, продолжавшійся 5—6 часовъ, засыпалъ у дер. Андарханъ поля слоемъ песку въ $^1/_4$ арш. толщиною, содержавшемъ 34,000 куб ф.; у Шендъ-Мазара засыпано уже много полей, а у дер. Кикыръ не только поля, но и дома засыпаются настолько, что песокъ попадаетъ въ трубы саклей, такъ что правовѣрному по нѣсколько дней нельзя варить пищи. Въ Чанкентѣ и Баіучѣ песокъ занесъ сотни десятинъ культурной земли съ прекрасными древесными насажденіями. Въ послѣдніе 20 — 30 лѣтъ изъ многихъ деревень жители выселились подъ напоромъ песковъ; понуждаемые бѣдностью, они уничтожаютъ кустарную растительность на пескахъ и тѣмъ самымъ вызываютъ образованіе новыхъ площадей летучаго песка. Словомъ, въ настоящее время въ Ферганѣ жители лишились нѣсколькихъ тысячъ десятинъ годной земли, засыпанной пескомъ, а въ будущемъ, если не будутъ приняты мѣры для удержанія песковъ, количество это еще болѣе увеличится, и цвѣтущая Фергана наполовину превратится въ пустыню.

Пржевальскій, Джонсонъ и др. разсказываютъ о цѣлыхъ городахъ, занесенныхъ пескомъ въ Ханъ-хаѣ, а Обручевъ приводитъ примѣры современнаго засыпанія китайскихъ деревень въ южномъ Ордосѣ (фиг. 80). Культурныя поля Бухары съ каждымъ годомъ все болѣе и болѣе запосятся пескомъ, наступающимъ съ сѣвера изъ Кызыл-



Фиг. 81. — Пески Алты-кудукъ.

кумовъ. Каракуль, знаменитый своими мерлушками и еще лѣтъ 80 тому назадъ богатый, нынѣ представляетъ жалкую, полузасыпанную деревню; среди бархановъ, до 15 м. высотою, мѣстами видны остатки старыхъ построекъ, засохшихъ деревьевъ и т. д. Долина Зеравшана у Каракуля тоже засыпана и рѣка даже давно не доходитъ до Аму-дарьи, куда она впадала. По словамъ Соболева, иногда одна буря покрываетъ большія пространства орошенныхъ полей слоемъ песка въ два вершка толщиною. Подобно Каракулю, засыпанъ городъ Варданзи, а въ округѣ Гомитанъ опустошеніе такъ велико, что съ 1868 г. выселилось около 16,000 жителей, бросивъ свои поля и дома; Архиповъ [48]) перечисляетъ нѣсколько засыпанныхъ деревень, изъ которыхъ жители ушли: Ходжи, Давлетъ, Соинъ и др.; то же подтверждаетъ Обручевъ. Въ Кара-кумахъ подобной участи подвергаются почтовыя станціи, какъ наглядно видно на слѣдующемъ рисункѣ (фиг. 81), представляющемъ полузасыпанную станцію Алты-кудукъ.

Въ Астраханской губ. нѣкоторыя станицы, какъ напр. Лебяжинская, должны были переселиться, чтобы избѣгнуть засыпанія наступающими песками; городу Енотаевску, къ которому пески уже подступили и вдвигаются даже въ улицы, грозитъ та же участь и вѣроятно въ скоромъ времени [49]).

Но рядомъ съ этими, несомнѣнно подвижными, барханами, существуютъ другіе, которые кажутся неподвижными, не измѣняющими своего мѣста. Если на поверхности находятся плоскіе увалы, въ родѣ Астраханскихъ бугровъ, состоящіе изъ рыхлыхъ, легко развѣвае-мыхъ породъ, напр. каспійскихъ песчано-глинистыхъ осадковъ или третичныхъ мергельныхъ песчаниковъ, какіе покрываютъ бо́льшую часть Туранскаго бас-

сейпа, то вѣтеръ, развѣвая эти породы, покрываетъ увалы барханами, основныя породы маскируются и увалы представляются громадными грядами бархановъ. Епотаевскіе, Лебяжинскіе, Дурновскіе пески съ перваго взгляда представляются массивными грядовыми барханами, до 100 м. и болѣе высотою; на самомъ же дѣлѣ это бугры, только съ барханною оболочкою, а собственно барханы не болѣе 3 м. высотою. Сколько бы ни разносился песокъ съ этихъ барханов, они, имѣя подъ собою не истощимый запасъ матеріала, постоянно возобновляются и кажутся неподвижными. То же самое наблюдается въ нѣкоторыхъ песчаныхъ грядахъ, производящихъ барханы въ Кызылъ-кумахъ; къ нимъ принадлежатъ вышеупомянутыя горы Калятъ, Устыкъ и др. На окраинѣэтихъ грядъ ясно видно, что снесенный съ нихъ песокъ образуетъ новые, далеко распространяющіеся барханы. Отчетливѣе всего это наблюдается въ тѣхъ случаяхъ, когда горы оканчиваются крутымъ склономъ, за которымъ распо-

Фиг. 82. — Барханы горъ Храчъ.

лагается равнина, какъ, напр., на одномъ концѣ горъ Храчъ (сѣвернѣе Чарджуя, по правую сторону Аму-дарьи), представленныхъ на рис. 82, съ происшедшими на счетъ разрушенія ихъ барханами. На лѣвой стороны рисунка виденъ крутой склонъ горъ Храчъ, покрытый пескомъ; гдѣ крутой склонъ переходитъ въ равнину, тамъ накопленія песка пріобрѣтаютъ типичную форму барханов, которые состоятъ изъ песка горъ Храчъ, разносимаго преобладающимъ въ Туранѣ СВ вѣтромъ (болѣе 40% всѣхъ другихъ вѣтровъ) на огромную площадь, съ каждымъ годомъ увеличивающуюся по направленію къ ЮЗ. Въ то время, какъ эти барханы передвигаются и распространяются, другіе, залегающіе на вершинѣ Храчъ, остаются въ одномъ и томъ же положеніи и кажутся неизмѣнными и неподвижными, хотя едва ли можно сомнѣваться въ томъ, что нижніе произошли на счетъ перенесенія верхнихъ. Барханы горъ Храчъ, Устыкъ, Калятъ и многихъ другихъ въ туранскихъ пустыняхъ наглядно доказываютъ еще то, что летучій песокъ образуется непосредственно изъ подлежащихъ породъ, вслѣдствіе разрушенія ихъ исключительно вѣтромъ, безъ всякаго участія прибоя морскихъ волнъ, какъ это еще недавно предполагали по отношенію къ пескамъ Сахары; считали, что Сахара и другія пустыни недавно были покрыты моремъ, и песокъ ихъ разсматривали, какъ дюны отступившаго моря. Однако ближайшія изслѣдованія показали, что боль-

шая часть Сахары уже съ конца мѣловаго періода представляла сушу и подвергалась развѣванію, которое уничтожило цѣлыя толщи породъ, превратило ихъ въ песокъ, скрывающій подъ собою неровную развѣянную поверхность основныхъ породъ, какъ напр. въ Уаргла у Эль-Голеа, гдѣ мѣловые известняки покрыты летучими песками, изъ подъ которыхъ только мѣстами выдѣляются гура или свидѣтели (фиг. 83).

Но кромѣ кажущихся неподвижными, существуютъ дѣйствительно неподвижныя накопленія песковъ. Помимо тѣхъ исключительныхъ случаевъ, какіе указаны выше по поводу желоба выдуванія передъ сплошной преградой, движеніе барханова замедляется, какъ только возникаютъ барханныя гряды, но зато высота ихъ увеличивается. Весьма вѣроятно, что при постоянствѣ вѣтра и при отсутствіи факторовъ, задерживающихъ движеніе песковъ, напр. растительности, площадь песковъ разросталась бы неограниченно, но такой процессъ къ счастію нарушается не только влагой и растительностью, но даже самими вѣтрами, особенно противоположнаго направленія. Подъ вліяніемъ такихъ вѣтровъ прежде всего

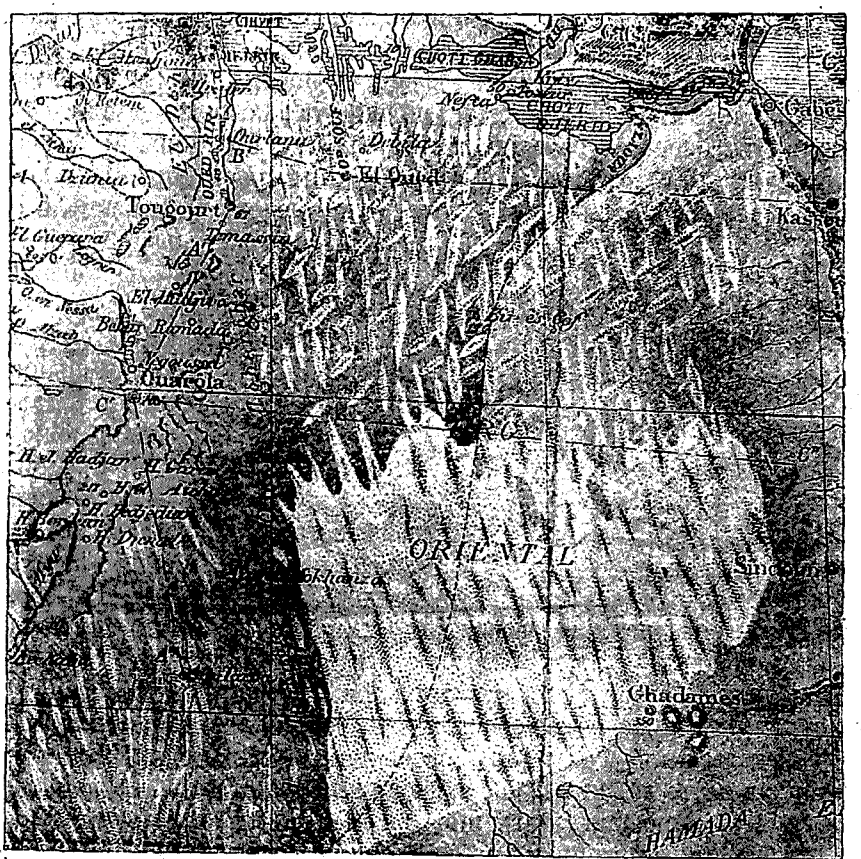
Фиг. 83. — Разрѣзъ развѣянныхъ мѣловыхъ известняковъ, покрытыхъ барханами въ Уаргла близъ оазиса Эль-Голеа.

барханъ утрачиваетъ свою форму, на подвѣтренномъ склонѣ появляются террасы, гребень притупляется и барханъ превращается въ равносклонный холмъ, а барханная гряда въ равносклонную гряду. При косыхъ вѣтрахъ образуются неправильныя барханныя горы. Нерѣдко въ одной и той же пустынѣ встрѣчаются всѣ эти формы, т. е. отдѣльные барханы, барханныя гряды, равносклонныя гряды, называемыя въ Сахарѣ ссифъ, и барханныя горы; такъ, на югѣ Кашгаріи при СВ, ЗСЗ и ЗЮЗ вѣтрахъ развиты равносклонныя длинныя гряды до 30 м. высотою; сѣвернѣе при СВ и ВСВ вѣтрахъ онѣ замѣняются барханными грядами до 60 м. высотою, раздѣленными широкими котловинами съ отдѣльными барханами; еще сѣвернѣе тѣ же гряды достигаютъ 100 м. высоты. Подвергаясь преобразованіямъ подъ вліяніемъ разныхъ вѣтровъ, т. е. мѣняя свои очертанія и форму, песчаныя накопленія сохраняютъ однако свое мѣсто. Гребень песчаныхъ грядъ постоянно перемѣщается то въ одну, то въ другую сторону, параллельно самому себѣ, но площадь основанія остается неизмѣнной [50]), вслѣдствіе этого нерѣдко грядовые пески располагаются очень правильно по одному или двумъ направленіямъ, въ зависимости отъ направленія вѣтровъ, какъ напр. грядовые пески въ восточномъ Эргѣ у залива Габесъ въ Африкѣ (фиг. 84). Различные вѣтры обусловливаютъ разнообразіе формъ песчаныхъ накопленій и относительную неподвижность нѣкоторыхъ изъ нихъ. Подобныя же преобразованія испытываютъ даже приморскія дюны, если онѣ находятся въ сосѣдствѣ съ пустынями, и въ такомъ случаѣ рѣзкая граница между областями дюнъ и бархановъ совершенно исчезаетъ, особенно, если пески

мало отличаются петрографически, напр. на восточныхъ побережьяхъ Каспія въ Закаспійской области. По южному побережью Арала тѣ и другія отличаются только цвѣтомъ песка: дюны — бѣлаго цвѣта, барханы — красноватаго, а рѣчные пески — стально-сѣраго.

Наконецъ влага и растительность обусловливаютъ особаго рода формы песчаныхъ накопленій, называемыхъ доны и бугристые пески.

Доны (отъ слова донъ — бугоръ, холмъ въ Кашгаріи, дёмъ — на Лобъ-норѣ, кельдъ — въ Сахарѣ) представляютъ образованія, аналогичныя «холмику-косѣ» (см. фиг. 61) прибрежныхъ областей и возникаютъ только при нахожденіи въ пустынѣ подземной влаги и подъ вліяніемъ быстраго роста нѣкоторыхъ растеній, особенно тамариска. Доны (фиг. 85) отличаются отъ холмика-косы не только формою, но и тѣмъ еще, что они не всегда переходятъ въ барханы, а развиваясь, существуютъ самостоятельно неопредѣленно долгое время и достигаютъ 5 м. высоты; слѣдовательно доны представляютъ не эмбріональные барханы, хотя и могутъ переходить въ нихъ, тогда какъ холмикъ-коса почти всегда является эмбріономъ дюны. Распространеніе доновъ тѣсно ограничивается прирѣчными районами, гдѣ развивается кустарная растительность, около



Фиг. 84. — Грядовые пески двухъ направленій въ восточномъ Эргѣ у залива Габесъ въ Африкѣ.

которой образуются ряды и группы такихъ бугровъ, иногда въ видѣ кольца, четыреугольника и проч. Различныя растительныя формы (тамарискъ и тогракъ въ Кашгаріи, саксаулъ, кызылъ-джузганъ въ Туркестанѣ и пр.) въ различномъ ихъ развитіи (спорадическое и сплошное) относятся неодинаково къ возникновенію и развитію доновъ и барха-новъ. При господствѣ доновъ, какъ только уменьшится влага, работа вѣтра пересиливаетъ дѣятельность растеній, и доны переходятъ въ бар-ханы, которые сразу принимаютъ сложныя формы подъ вліяніемъ бугри-стой поверхности первоначальныхъ донъ, напр. послѣ того, какъ воды Тарима покинули русло Итекъ-Тарима, доны этой части превратились въ мощныя барханныя горы и гряды. То же наблюдается въ южной ча-сти Синайскаго полуострова и по сѣверному побережью Каспія, гдѣ доны находятся только въ прибрежной полосѣ съ почвенною влагою, а съ удаленіемъ отъ береговъ замѣняются барханами. Но доны не сразу усту-паютъ свое мѣсто барханамъ, а только послѣ упорной борьбы. Благодаря тому, что песокъ впитываетъ и сохра-няетъ влагу настолько, что несмотря на полную сухость съ поверхности, напр., въ Кара- и Кызылъ-кумахъ, влажность обнаруживается уже на глубинѣ 2—3 ф., растительность на вершинѣ доны развивается даже при постепенномъ засыпаніи ея; одно-временно съ возвышеніемъ доны, ко-гда нижнія части куста, заносясь пескомъ, отмираютъ, верхнія продол-жаютъ рости и подниматься. Если холмъ перестаетъ увеличиваться, то растеніе, вѣнчающее его вершину, вскорѣ достигаетъ полнаго развитія. Отмирающія вѣтви цементируютъ песокъ и придаютъ донамъ большую устойчивость. Это удивительное явленіе поднятія, разростанія кустовъ, при засыпаніи ихъ пескомъ, при-надлежитъ къ весьма обыкновеннымъ и часто наблюдаемымъ въ на-шихъ туркестанскихъ пустыняхъ, особенно на окраинахъ Кара-кумъ въ между-барханныхъ долинахъ, обладающихъ нѣкоторою почвенною вла-гою (фиг. 86). Заросшія доны при развѣваніи превращаются въ пес-чаные столбы съ торчащими по склонамъ ихъ отмершими вѣтвями (фиг. 86) и тогда ихъ легко смѣшать съ такъ называемыми бугристыми песками, которые отличаются отъ донъ тѣмъ, что происходятъ отъ по-слѣдующаго заростанія песковъ растительностью, т. е. разница между тѣми и другими заключается только въ послѣдовательности процессовъ: доны образуются самостоятельно, путемъ скучиванія песка около гото-выхъ кустовъ, и при извѣстныхъ условіяхъ переходятъ въ барханы, тогда какъ у бугристыхъ песковъ, наоборотъ, сначала образуются обнаженные барханы, а затѣмъ они при благопріятныхъ условіяхъ покрываются ра-стительностью.

Фиг. 85. — Доны.

Само собой разумѣется, что появленіе и развитіе растительности на барханахъ обусловливается прониканіемъ и распредѣленіемъ влаги внутри бархана. Въ этомъ отношеніи весьма интересны наблюденія Налив-

кипа въ Ферганѣ, доказавшія, что внутри каждаго бархана находится глыба влажнаго песка, форма которой до нѣкоторой степени приближается къ формѣ самого бархана. Разстояніе между поверхностями влажной глыбы и бархана наибольшее у его вершины и уменьшается по мѣрѣ удаленія отъ послѣдней къ подошвѣ бархана. Разстояніе это тѣмъ больше, чѣмъ больше размѣры бархана и чѣмъ меньше атмосферныхъ осадковъ въ данный промежутокъ времени; оно достигаетъ 1 и даже 2 метровъ подъ вершиною, а на склонѣ вдвое меньше. Въ маленькихъ подвижныхъ барханахъ влага быстро исчезаетъ, и растенія не въ состояніи укрѣпиться уже вслѣдствіе подвижности барханов, тогда какъ на большихъ, болѣе устойчивыхъ барханахъ влага сохраняется всегда, даже въ самое сухое время. Между Мервомъ и Чарджуемъ, гдѣ атмосферныхъ осадковъ больше, по наблюденіямъ Н. И. Королькова въ 1886 г., влаж-

Фиг. 86. — Бугристые пески въ Кара-кумахъ.

ный песокъ залегалъ на небольшой глубинѣ отъ $^1/_2$ до 1 арш. При такихъ условіяхъ, на поверхности бархана могутъ появиться и развиваться только такія растенія, которыя отличаются весьма длинными корнями, не менѣе одной сажени; поэтому песчаная флора отличается такими особенностями, какъ длинные корни съ острыми и твердыми концами для пробуриванія песка, способность не только пронизывать барханъ по горизонтальному направленію, но даже перекидываться съ одного бархана на другой, и пр., которыхъ лишены другія растенія. Типичные представители песчаной флоры приведены выше (см. стр. 101).

Бугристые пески представляютъ бугры неправильной формы до 10 м. высотою, мѣстами соединяющіеся въ гряды съ нѣсколько округленными вершинами и раздѣленные котловинами различной величины. Растительность ихъ настолько велика, что кусты кызылъ-джузгана (Calligonum), деревья сезена и саксаула (Haloxylon amodendron) достигаютъ значительныхъ размѣровъ и образуютъ цѣлыя рощи, напр. у станціи Кельчи въ Закаспійской области; склоны бугровъ и котловины покрыты многочисленными лужайками хамана (Capsella elliptica) и другими мелкими травами. Поверхность бугровъ обнажена только мѣстами,

преимущественно на склонахъ и вершинахъ бугровъ, гдѣ появляются небольшіе барханчики. Въ Кара-кумахъ бугристые пески имѣютъ широкое распространеніе и настолько богаты растительностью, что если бы кочевники не истребляли ее, то она бы сдѣлалась сплошною, и бывшая пустыня превратилась бы въ песчаную степь съ рѣдкими барханами или даже совсѣмъ безъ нихъ и съ глинистыми котловинами, называемыми: хаки, такыры и пр.; какъ это наблюдается, напр., между Мурхабомъ и Тедженомъ, Псаде и Аму-дарьей и пр., Само собой разумѣется, что уничтоженіе растительности снова вызываетъ барханы и превращеніе въ пустыню, напр., въ нѣкоторыхъ участкахъ Кара-кумъ, въ Калмыцкихъ, Киргизскихъ степяхъ и пр.

Такимъ образомъ поверхность песчаной пустыни далеко не такъ однообразна, какъ это часто думаютъ. Напротивъ, рядомъ съ обнаженными барханами, грядами и песчаными горами встрѣчаются доны и бугристыя пески съ лужайками и даже рощами своеобразной растительности, приспособленной къ добыванію влаги съ большой глубины. Всѣ путешественники свидѣтельствуютъ, что голые пески, какъ бы ни были массивны и обширны, никогда не покрываютъ всю пустыню сплошь, а всегда являются, такъ сказать, спорадически [51]), перемежаясь или съ бугристыми песками или же съ глинистыми и ровными такырами (см. фиг. 79). Барханныя площади поражаютъ своею безжизненностью: «въ воздухѣ ни птицы, на землѣ ни растенія, ни насѣкомаго; только мѣстами слѣды разрушенной, уничтоженной жизни, въ видѣ бѣлѣющихъ костей людей и животныхъ, собранныхъ прохожими въ груды, чтобы служить указаніемъ и предостереженіемъ путешественникамъ [52])», таково впечатлѣніе знаменитыхъ песковъ Адамъ-Крылганъ (т. е. могила человѣка) въ Кызылъ-кумахъ, пріобрѣвшихъ печальную извѣстность послѣ хивинскаго *похода въ 1873 г., когда эта могила поглотила много жизней*. Въ сравненіи съ такими могилами, бугристые пески, даже съ жалкою растительностью, представляются пріятными оазисами, въ которыхъ ютится кочевникъ.

Слоистость барханов по существу почти ничѣмъ не отличается отъ дюнной, но благодаря большой сухости песка проявляется менѣе ясно, если нѣтъ глинистыхъ прослойковъ, какъ въ вышеупомянутыхъ барханахъ Ферганы (см. фиг. 70 на стр. 103). Весьма вѣроятно, что въ старыхъ барханныхъ грядахъ и горахъ она сложнѣе, чѣмъ въ простыхъ барханахъ, но подмѣтить это затруднительно, да никто и не пытался заняться этимъ среди мало доступныхъ пустынь, гдѣ естественныхъ разрѣзовъ нѣтъ и гдѣ сколько-нибудь продолжительная остановка грозитъ гибелью.

Что же касается состава барханнаго песка, то онъ нѣсколько отличается отъ песка дюнъ меньшею чистотою и большею примѣсью глины.

Благодаря происхожденію барханов отъ разрушенія на мѣстѣ залеганія различныхъ породъ, песокъ ихъ болѣе разнообразнаго состава. Кромѣ чистаго кварцеваго песка различныхъ цвѣтовъ, очень часто они сложены изъ песка известковаго, напр., всѣ барханы Кара-кумовъ, а мѣстами даже изъ зеренъ или мелкихъ шариковъ икрянаго известняка, что замѣчено еще Эверсманомъ [53]). Въ барханахъ, образовавшихся изъ мергельныхъ третичныхъ песчаниковъ Кызылъ-кумъ, часто вмѣстѣ съ пескомъ

находятся въ большомъ количествѣ (на $^1/_3$ или даже на $^1/_2$) листочки красноватаго мергеля (до 8—10 мм.), придающіе барханамъ пеструю окраску, напр. въ барханахъ горъ Устыкъ, Калятъ, Ичке, Храчъ, и пр. въ Кызылъ-кумахъ; въ барханахъ Джидели, около Петро-Александровска, Кукча, въ пескѣ находится большая примѣсь мелкихъ (3—4 кв. мм.; блестящихъ листочковъ гипса, которые, располагаясь правильными грядками на ряби, придаютъ навѣтренному склону красивый, блестящій видъ) въ барханахъ Ферганы то же явленіе производятъ листочки томпаково-бурой, золотистой слюды, которая является одною изъ главныхъ составныхъ частей въ рѣчныхъ барханахъ Аму-дарьи. Въ барханахъ Кара-кумовъ и особенно Ферганы нерѣдко находятся зерна бураго желѣзняка, которыя точно также придаютъ сѣтчатый видъ поверхности ихъ. Кромѣ бураго желѣзняка, въ барханахъ Ферганы попадаются зерна граната, роговика, полевого шпата, роговой обманки [54]); такое же разнообразіе минераловъ находится въ барханахъ Семирѣчья, образовавшихся на счетъ порфировъ.

Форма зеренъ песка пустынь (см. выше фиг. 73) несравненно округленнѣе или, лучше сказать, ошлифованнѣе, нежели въ приморскихъ дюнахъ. Сравнительное микроскопическое изученіе песка бархановъ и песка, полученнаго изъ неразвѣяннаго третичнаго песчаника въ Кызылъ-кумахъ, показываетъ бо́льшую степень закругленности и ошлифовки барханнаго песка; то же нашелъ Сорби [55]) для бархановъ Египетской пустыни; нерѣдко, особенно зерна роговика, представляютъ совершенно правильные шарики. Величина зеренъ колеблется отъ 0,2 мм. до 2 мм., но въ Кызылъ-кумахъ попадаются небольшія скопленія (0,5 м. высотою) состоящія изъ крупнаго песка до 3—5 мм. діаметромъ.

О крупности и составѣ песковъ Закаспійской области имѣются данныя В. А. Обручева [56]), который указываетъ, что крупность песка варьируетъ отъ 0,2 до 1 мм., но въ барханахъ на чинкахъ Унгуза встрѣчается особенно мелкій песокъ до 0,15 мм. діаметромъ. Въ составѣ песковъ всегда имѣется значительная примѣсь глины, количество которой въ бугристыхъ пескахъ достигаетъ до 12%, напр., у Аннау, Чалой-кумъ, въ долинѣ Теджена, Аму-дарьи и пр., а въ барханахъ на сухихъ руслахъ даже до 30—40%. Особенно въ грядовыхъ дюнныхъ пескахъ, немного листочковъ гипса и слюды, а также глинистыхъ частицъ, но съ удаленіемъ отъ русла количество это уменьшается. Въ песчаной степи глины содержится до 5—7%, въ барханахъ Унгуза до 4—5%, а въ грядовыхъ пескахъ отъ 2 до 7%. Кромѣ того находится примѣсь извести, осозерна полевыхъ шпатовъ, авгита, роговой обманки, магнитнаго желѣзняка, роговика, но конечно больше всего чистаго и желѣзистаго кварца. Въ слѣдующей таблицѣ приведены два анализа барханнаго песка; изъ нихъ № 1 взятъ изъ типичнаго бархана близъ горъ Дёртъ-гуль на лѣвомъ берегу Аму-дарьи; а № 2 — изъ бархана у колодца Балъ-кую въ 20 вер. къ сѣверу отъ Асхабада, въ песчаной области, составляющей переходъ отъ бугристыхъ песковъ къ грядовымъ.

Составныя части.	№ 1.	№ 2.
Нерастворимаго остатка	86,48	71,48
Изъ веществъ, растворимыхъ въ HCl: глинозема, фосфорной кислоты и окиси желѣза .	2,48	2,40
Извести	4,88	11,88

Кромѣ того въ слѣдующей таблицѣ приведены анализы не только разныхъ эоловыхъ песковъ, но для сравненія также — коренныхъ третичныхъ песчаниковъ, отъ развѣванія которыхъ произошли барханы.

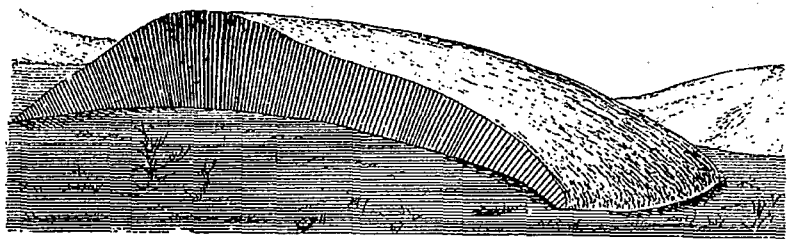
По поводу этихъ анализовъ Обручевъ замѣчаетъ, что песчаники отличаются отъ песковъ бо́льшимъ содержаніемъ кремнезема и силикатовъ, но меньшимъ содержаніемъ окиси желѣза и отсутствіемъ извести. Если сравнить песчаникъ увалovъ Аму-дарьи съ пескомъ бархановъ, бугровъ и песчаной степи, то оказывается, что по мѣрѣ перехода песковъ изъ одной стадіи въ другую, по мѣрѣ закрѣпленія ихъ

растительностью, они обогащаются глиноземомъ, окисью желѣза и угольной кислотой, а содержаніе кремнезема въ нихъ уменьшается; это объясняется тѣмъ, что вмѣстѣ съ песчаникомъ увалов разрушаются и прослои мергеля, содержащіеся въ немъ, благодаря чему, даже барханный песокъ богаче желѣзомъ и углекислотой, чѣмъ песчаникъ изъ котораго онъ образовался; при дальнѣйшемъ развитіи песковъ, это обогащеніе продолжается на счетъ подстилающихъ барханы плотныхъ глинъ, выходы которыхъ встрѣчаются среди песковъ. При сравненіи грядовыхъ песковъ Перенгъ (№ 4) съ пескомъ дюнъ Узунъ-ада, замѣчается въ первомъ большее содержаніе глинозема, желѣза и углекислоты и меньшее кремнезема; это указываетъ на то, что и морскіе пески, при своемъ закрѣпленіи, подвергались тому же процессу, какъ и материковые, т. е. обогащенію глиноземомъ, желѣзомъ и углекислотой, на счетъ рѣчныхъ глинъ, встрѣчающихся среди нихъ и уменьшенію относительнаго количества кремнезема и силикатовъ.

СОСТАВНЫЯ ЧАСТИ.	Эоловые пески.					Третичные песчаники.	
	Барх. п. изъ Салинъ-Кую.	Бугр. п. Учъ-аджи.	Песч. ст. Сопаджи-текке.	Грид. п. у Перенгъ.	Дюн. п. Узунъ-ада.	Аму-Дарья.	Унгузъ.
	1	2	3	4	5	6	7
	%	%	%	%	%	%	%
1) Нерастворимый остатокъ	83,09	80,32	76,15	83,03	85,01	92.20	94,65
2) Глиноземъ	8,70	10,54	13,24	10,15	8,36	9 37	8,22
Изъ веществъ растворенныхъ въ HCl:							
3) Окись желѣза	1.10	1,06	1,74	1,65	0,70	0,64	0,54
4) Угольной кислоты.	4,49	6,12	8,31	3,88	3,65	нѣ	тъ.
5) Фосфорной кислоты	0,08	не	опре	дѣле	но	слѣ	ды.

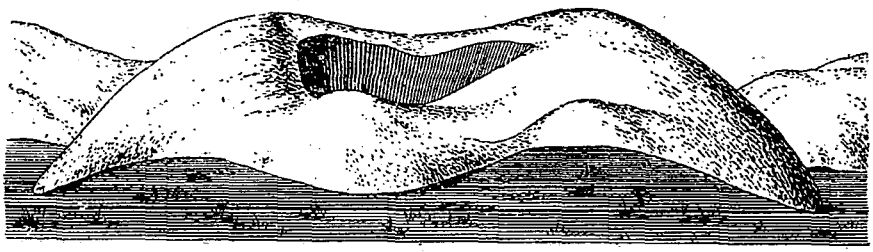
Благодаря примѣси известково-глинистыхъ частицъ, нѣкоторые пески Закаспійской области, предоставленные самимъ себѣ, довольно быстро покрываются растительностью, если только человѣкъ не препятствуетъ этому, и переходятъ въ бугристые пески и наконецъ въ песчаную степь. Такому зарастанію или лучше сказать закрѣпленію иногда способствуетъ атмосферная пыль, которая отлагается или непосредственно на поверхность бархана или даже проникаетъ внутрь его, вмѣстѣ съ атмосферною влагою. Поверхностный слой большею частью снова развѣвается и удерживается только въ рѣдкихъ случаяхъ, когда отложеніе пыли совпадаетъ съ большою влажностью атмосферы. Тѣ же частицы пыли, которыя проникаютъ съ дождемъ внутрь бархана, накопляются тамъ въ большомъ количествѣ и цементируютъ песокъ настолько, что онъ и безъ того уже влажный, представляетъ вполнѣ устойчивое ядро бархана, по формѣ обыкновенно соотвѣтствующее вышеуказанной влажной глыбѣ бархана. При передвиженіи верхней части бархана внутренняя глыба, достаточно прочно сцементированная, обнажается и представляетъ крѣпкій бугоръ на мѣстѣ бывшаго бархана. Такія глыбы или барханы слежавшагося песка встрѣчаются, напр. на правомъ берегу Сыръ-дарьи въ Каракумахъ, у переправы Гумбазъ, между Махрамомъ и Канибадамомъ и въ

другихъ мѣстахъ Ферганы. Хотя бугры эти большею частью неправильной формы, но иногда они сохраняютъ изящныя очертанія бархана, какъ напр. уплотненные барханы, состоящіе изъ песчанаго суглинка или глинистаго песка, наблюдавшіеся А. М. Коншинымъ [57]) (фиг. 87—88) на афганской границѣ между Тахта-базаромъ и Моръ-кала въ треугольникѣ, ограниченномъ Мургабомъ и Кушкой. Бугры этого оригинальнаго «кладбища бархановъ» имѣютъ значительные размѣры; они дости-



Фиг. 87. — Уплотненные старые барханы между Кушкой и Мургабомъ.

гаютъ до 25 и даже до 50 саж. высоты и отъ 150 до 250 саж. длины (фиг. 87—88); подвѣтренный склонъ имѣетъ до 35°, а навѣтренный пологій до 10—12°. Одни изъ нихъ сохранили форму нормальнаго бархана (фиг. 87), другіе же настолько преобразованнаго, что выступы на подвѣтренномъ склонѣ соединились (фиг. 88) и образовали воронкообразное углубленіе на вершинѣ бархана. Окаменѣлые барханы состоятъ изъ песчано-глинистаго матеріала на столько плотнаго, что вершины ихъ имѣютъ углубленія отъ вывѣтриванія. Поверхность ихъ покрыта



Фиг. 88. — Уплотненные старые барханы между Кушкой и Мургабомъ.

мелкою растительностью, преимущественно Artemisia и Alhagi camelorum и только мѣстами на подвѣтренныхъ откосахъ попадается сыпучій песокъ, но все-таки съ кустиками Artemisia. Само собой разумѣется, что при пособіи человѣка закрѣпленіе песковъ растительностью происходитъ легко и скоро, но только при условіи взаимопомощи всего населенія, въ противномъ случаѣ это таже сизифова работа [58]).

Закрѣпленіе бархановъ, равно какъ и дюнъ, помимо растительности, можетъ происходить при посредствѣ цементаціи песка растворами, напр. углекислымъ кальціемъ, кремнекислотою, окисью желѣза и пр., какъ это наблюдалось въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ Сахары; но къ сожалѣнію,

въ этомъ отношеніи имѣется еще слишкомъ мало наблюденій. Во всякомъ случаѣ, такіе процессы мыслимы, и они, превращая летучій песокъ въ постоянную породу—твердый песчаникъ, вмѣстѣ съ тѣмъ, сохраняли бы всѣ особенности строенія бархана или дюны на неопредѣленно долгое время. Съ другой стороны, знакомство съ этими особенностями на современныхъ дюнахъ и барханахъ, даетъ полную возможность опредѣлять аналогичныя эоловыя отложенія въ осадкахъ болѣе древнихъ геологическихъ періодовъ. Если эоловую шлифовку нѣкоторыхъ многогранниковъ относятъ къ силурійской системѣ, какъ выше сказано, а ниже мы увидимъ, что отпечатки дождя находятся въ тріасовой системѣ, то, разумѣется, нужно допустить, что эоловыя накопленія песка также происходили въ раннія геологическія эпохи, и для того чтобы выдѣлить ихъ, нужно точнѣе и полнѣе познакомиться съ характеромъ ихъ въ настоящее время. Не смотря на недавнее изученіе ихъ, на трудность и отрывочность изслѣдованій пустынь, оставляющихъ большіе пробѣлы въ нашихъ знаніяхъ объ эоловыхъ песчаныхъ осадкахъ, уже извѣстныя намъ данныя позволяютъ считать нѣкоторыя древнія образованія — дюннаго происхожденія, напр. третичные песчаники Остриkура, верхнемѣловые и жерновые песчаники у села Скворня [59]), въ такъ называемыхъ Сурковскихъ ямахъ (Лебедянскаго уѣзда), а также песчаники вади Гашебъ (см. выше фиг. 72), нубійскіи можетъ быть ханхайскіе песчаники [60]) и др. Очевидно такихъ образованій найдется много среди древнихъ отложеній, если только будетъ подробнѣе изучена структура и слоистость ихъ съ одной стороны, а съ другой свойства современныхъ эоловыхъ накопленій, изслѣдованіе которыхъ можно сказать только-что началось.

Атмосферная пыль.

Атмосферная пыль изучена еще менѣе, нежели дюны и барханы, хотя геологическое значеніе ея еще важнѣе. Въ воздухѣ всегда находится, въ видѣ примѣси, то или другое количество не только минеральной, но и органической пыли и даже микроорганизмы, способствующіе броженію и гніенію, а также распространенію различныхъ эпидемическихъ болѣзней [61]). Воздушныя теченія разносятъ эту пыль на громадныя разстоянія, и при благопріятныхъ условіяхъ, отлагая ее въ новыхъ мѣстностяхъ, образуютъ совершенно особый эоловый осадокъ, который рѣзко отличается отъ передвигаемыхъ по поверхности земли летучихъ песковъ, по составу, структурѣ, географическому распространенію и формѣ залеганія. Составъ и мѣстопроисхожденіе этой пыли чрезвычайно разнообразны. Одни склонны приписывать ей исключительно теллурическое, другіе же, напротивъ, космическое происхожденіе; но, очевидно, существуетъ та и другая пыль, хотя въ нѣкоторыхъ случаяхъ раздѣлить ихъ между собою невозможно. Нѣкоторые ученые [62]) дѣлятъ пыль безъ отношенія къ теллурическому или космическому происхожденію, а просто на мѣстную и принесенную откуда бы то ни было. Первую называютъ энтопическою пылью, происходящею изъ ближайшихъ окрестностей мѣстоотложенія ея; она неравномѣрнаго зерна, смѣшаннаго состава и не

сортирована. Вторую же называютъ экзотическою пылью, принесенною издалека; она равномѣрнаго зерна и обыкновенно хорошо сортированная. Разумѣется, это дѣленіе можетъ имѣть только самое общее значеніе, потому что во многихъ случаяхъ его приложить нельзя.

Въ составъ атмосферной пыли, кромѣ минеральныхъ частицъ, входятъ діатомеи, мелкіе грибы, крылатые плоды, микроорганизмы, различныя легкія части растеній, именно цвѣточная пыль, споры и кусочки умершихъ растеній. Они находятся иногда въ огромномъ количествѣ и обусловливаютъ такъ называемые: сѣрные дожди, съ примѣсью цвѣточной пыли, кровяные дожди, красный снѣгъ, съ примѣсью окиси желѣза. Мелкіе грибы и діатомеи осаждаются иногда въ удивительно большомъ количествѣ вмѣстѣ съ минеральною пылью. Въ мѣстностяхъ населенныхъ количество пыли въ атмосферѣ зависитъ, повидимому, отъ сухости воздуха и отъ густоты населенія. По изслѣдованіямъ Тиссандье воздуха Парижа и открытаго поля, оказывается, что въ первомъ, послѣ продолжительной засухи, количество пыли въ 1 куб. м. воздуха=0,023 грм., послѣ сильнаго и продолжительнаго дождя=0,006, въ нормальное время=0,007 гр.; въ полѣ послѣ засухи=0,0045 грм. и въ нормальное время 0,00025 гр. Пыль, осаждавшаяся въ полѣ въ 24 часа на 1 кв. м. около 0,0056 гр., состояла изъ мелкихъ, неравномѣрныхъ зеренъ, діаметромъ отъ 0,1 до 0,01 мм. Надъ Марсовымъ полемъ, въ Парижѣ, на площади около 500,000 кв. м. въ слоѣ воздуха въ 5 м. толщиною пыли заключалось около пуда. Анализъ пыли, собранной на соборѣ Notre Dame, т.-е. на высотѣ 60 м., показалъ, что она состоитъ изъ 32,25% горючихъ веществъ, 9,220% солей растворимыхъ въ водѣ, 24,181% растворимыхъ въ соляной кислотѣ и 34,334% нерастворимаго остатка. Часть, разложенная соляной кислотой, состояла изъ 6,120 FeO_3, 15,940 $CaCO_3$, 2,21 $MgCO_3$, слѣдовъ глинозема и фосфорной кислоты.

Интересны наблюденія Айткина [63]) надъ количествомъ пылинокъ въ воздухѣ при разныхъ условіяхъ, что, какъ выше указано, онъ опредѣлялъ (см. выше стр. 54) по количеству туманныхъ пузырьковъ. Онъ нашелъ въ 1 куб. сант. воздуха на вершинѣ Риги отъ 200 до 2,000 пылинокъ, на Шотландской возвышенности отъ 205 до 4,000, близъ Канна отъ 1,550 до 150,000, въ Парижѣ отъ 160,000 до 210,000, въ Лондонѣ отъ 48,000 до 116,000; въ залѣ засѣданія Эдинбургскаго Общества у пола 275,000 пылинокъ, а у потолка до 3.000,000, въ обыкновенной жилой комнатѣ 46,000, а послѣ 2 ч горѣнія 4-хъ газовыхъ рожковъ—46.000,000 пылинокъ. Такимъ образомъ атмосфера въ жилыхъ помѣщеніяхъ переполнена пылью и не лишена ея даже на открытыхъ вершинахъ вдали отъ городовъ.

Среди этой пыли находится огромное количество бактерій, какъ видно изъ слѣдующей таблицы, составленной по Микелю и заимствованной изъ очерка г. Моора [64]); въ ней указано количество бактерій въ 1 куб. метрѣ воздуха различныхъ мѣстъ:

Атлантическій океанъ	0,6
На высокихъ горахъ	1,0
Въ судовыхъ каютахъ	60
„ паркѣ Монсури	480
На улицѣ Риволи въ Парижѣ	3,480
Въ новыхъ домахъ Парижа	4,500
„ старыхъ домахъ Парижа	36,000
„ госпиталѣ Pitié	79,000
„ классѣ до урока въ Берлинѣ	2,000
„ „ во время урока	16,500
„ „ послѣ урока	35,000
Набережная Невы лѣтомъ	4,625
Въ квартирѣ на выборгской сторонѣ	8,800
При подметаніи той же квартиры	13,900
Въ квартирѣ Дмитровскаго переулка	20,000
„ паркѣ Лѣсного Института (ноябрь)	700
„ хирургической клиникѣ Военно-Медиц. Академіи.	9,000
„ Анатомическомъ залѣ	86,000

Наименьшее количество бактерій въ воздухѣ приходится на зимніе мѣсяцы. Въ воздухѣ населенныхъ мѣстностей больше преобладаютъ микрококки, чѣмъ палочки. Въ дождливую погоду количество бактерій значительно уменьшается, въ сухую же погоду увеличивается; но если она длится 10—15 дней, то тоже уменьшается. При такихъ условіяхъ вполнѣ возможно, что мы ежедневно вмѣстѣ съ воздухомъ вводимъ въ легкія около 100 милл. бактерій и что среди нихъ могутъ быть болѣзне-

творныя и конечно можно опасаться ежеминутной возможности зараженія какою-либо болѣзнью [64]).

Хотя всякая осаждающаяся пыль болѣе или менѣе индивидуальна по своему составу, тѣмъ не менѣе возможно различить три сорта пыли, выпадающей изъ атмосферы.

1) Пыль, представляющая измельченные вулканическіе продукты, получающіеся при изверженіи вулкановъ и разносящіеся вѣтромъ на большія пространства.

2) Пыль, происходящая отъ разрушенія породъ въ сухихъ континентальныхъ областяхъ. Эта пыль имѣетъ громадное распространеніе, образуетъ мощныя толщи эоловыхъ осадковъ и прежде всѣхъ другихъ родовъ пыли обратила на себя вниманіе ученыхъ. Она долгое время, по предложенію Эренберга, называлась пассатною пылью, пока въ новѣйшее время не изслѣдованы были внѣпассатныя области распространенія ея. Наконецъ —

3) Пыль космическая, которая отличается отъ первыхъ двухъ постояннымъ содержаніемъ желѣза и никкеля.

Первые два рода пыли могутъ быть энтопическаго и экзотическаго происхожденія, третья же — очевидно экзотическаго.

Вулканы при своихъ изверженіяхъ, какъ это изложено выше (т. I гл. VI), кромѣ жидкихъ и газообразныхъ продуктовъ, выдѣляютъ громадныя массы измельченныхъ рыхлыхъ продуктовъ разной величины. Болѣе крупные изъ нихъ, какъ бомбы, лапилли и пр., падаютъ въ ближайшихъ окрестностяхъ вулкановъ, тогда какъ самые мелкіе, особенно вулканическій пепелъ, разносятся вѣтромъ на огромныя разстоянія и отлагаясь, образуютъ слои вулканическихъ туфовъ въ мѣстностяхъ, лишенныхъ всякихъ признаковъ вулканизма, не только на материкахъ, но и въ морскихъ бассейнахъ.

Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ на днѣ Тихаго океана залегаютъ слои измельченной пемзы, повидимому образовавшіеся вслѣдствіе перенесенія и отложенія вѣтромъ; тоже подтверждается пробами дна другихъ морей. Если же пепелъ падаетъ на материкъ, особенно съ сухимъ климатомъ, то нерѣдко онъ образуетъ пепельные холмы на подобіе дюнъ или бархановъ, напр., около Лаахерскаго озера.

Космическая пыль, происходящая иногда отъ раздробленія метеоритовъ при вступаніи ихъ въ земную атмосферу, не имѣетъ никакого или весьма малое значеніе, какъ самостоятельное эоловое отложеніе. Обыкновенно она такъ тѣсно смѣшивается съ теллурическою пылью, что выдѣлить и опредѣлить количество ея даже приблизительно невозможно. Въ чистомъ видѣ она можетъ проявляться только на поверхности полярныхъ снѣговъ, напр., въ Гренландіи, гдѣ Норденшильдъ [66]) наблюдалъ желтоватую пыль на пространствѣ болѣе 100 кв. кил., считалъ ее космическою и назвалъ кріоконитомъ; но ближайшія изслѣдованія ея состава, преимущественно изъ мелкихъ зеренъ кварца и полеваго шпата, заставляютъ сомнѣваться въ ея космическомъ происхожденіи [67]). Что же касается крупныхъ метеоритовъ, то значеніе и происхожденіе ихъ было разсмотрѣно въ первомъ томѣ этого курса (см. т. I, гл. I, стр. 20).

Теллурическая пыль, происходящая отъ непосредственнаго развѣванія земныхъ породъ, имѣетъ громадное значеніе для исторіи земли,

такъ какъ она разносится на большія разстоянія и отлагаясь вдали отъ мѣста своего происхожденія, образуетъ мощныя толщи своеобразныхъ породъ. Само собой разумѣется, что наибольшее количество пыли образуется и отлагается въ областяхъ съ сильнымъ развѣваніемъ, т. е. въ пустыняхъ и въ сосѣдствѣ съ ними, но часто атмосферная пыль происходитъ и въ другихъ странахъ, обильныхъ дождями и растительностью. Такъ, въ Европѣ давно извѣстны случаи массоваго отложенія ея, напр, въ окрестностяхъ Лаго-Маджоре въ 1755 г. выпалъ «кровавый дождь», причемъ площадь около 200 кв. геог. м. покрылась землистымъ осадкомъ, имѣвшимъ мѣстами до 1 д. толщины; въ то же время въ Альпахъ красноватый снѣгъ имѣлъ около 9 ф. толщины; допуская, что средняя толщина выпавшей пыли была только 2 мм., то на каждую квадратную милю приходилось до 2.700 куб. ф. осадка. Въ Италіи и Сициліи въ 1803 г. выпадало пыли въ день около 112,000 центнеровъ и эта пыль покрывала площадь въ 6,300 кв. миль. Въ Зальцбургѣ въ 1862 г., Вестфаліи въ 1859 г. пыль покрыла около 37.000 кв. килом. и составляла массу болѣе 100.000 центнеровъ. На Мальтѣ выпадаетъ два рода пыли: одна почти бѣлая — мѣстнаго происхожденія, а другая красноватая, приносимая повидимому изъ Африки. Пыль, выпавшая въ Силезіи, Моравіи и Венгріи, покрыла площадь въ 140 кв. геогр. м. и составляла массу въ 1,400 куб. саж.; повидимому она принесена была изъ Скандинавіи [68]).

Чтобы судить о составѣ этой пыли, приведемъ нѣсколько анализовъ ея изъ слѣдующихъ мѣстностей:

1. Пыль, выпавшая съ дождемъ 7 октября 1846 г. въ Средней Франціи, вѣроятно мѣстнаго происхожденія.
2. Пыль, выпавшая съ краснымъ снѣгомъ въ маѣ 1863 г. въ Аріежѣ (восточные Пиринеи) и въ Испаніи: a) собранная въ Перпиньянѣ, b) въ Олеттѣ.
3. Пепельно-сѣрая пыль, выпавшая съ дождемъ 2 октября 1876 г. въ Булони.

Мѣста.	$Si\ O_2$	$Al_2\ O_3 + Fe_2\ O_3$	$Ca\ CO_3$	$Mg\ CO_3$	Орган. вещ.	$H_2\ O$	$P_2\ O_5$
1	52,0	7,5 8,5	26,0	2,0	4,0	—	—
2a	60,05	7,50	21,55	2,15	2,00	5,85	слѣды
2b	64,90	5,00	21,50	2,26	2,25	4,09	„
3	55,21	1,81	30,57	2,21	—	—	„

Особенно интересны такъ называемыя черныя бури или черноземныя мятели, происходящія у насъ въ степной полосѣ Европейской Россіи въ засушливое жаркое время; онѣ передвигаютъ огромное количество черноземной пыли и производятъ большія опустошенія на поляхъ; въ однихъ мѣстахъ онѣ выдуваютъ почву вмѣстѣ съ посѣянными зернами, а въ другихъ, напротивъ, накопляютъ толстый слой пыли и тѣмъ самымъ заглушаютъ молодые всходы и всякіе посѣвы. Результатомъ того и другого является неурожай и голодовки во время засухъ, которыя почти ежегодно поражаютъ тѣ или другія части Россіи, т. е., становятся почти хроническимъ бѣдствіемъ; въ нѣкоторые годы онѣ захватывали большія площади, напр., въ 1885, 1891, 1898, 1899 гг.

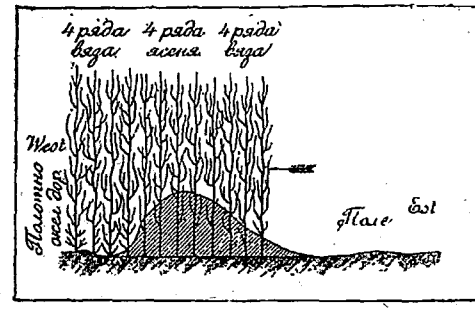
Въ тихую и жаркую погоду на поверхности ровныхъ степей во многихъ мѣстахъ сразу появляются десятки смерчей, которые въ нѣсколько секундъ выростаютъ въ гигантскіе столбы 50—100 саж. въ высоту; они поднимаютъ съ собой массу пыли и достигнувъ повидимому предѣльнаго

напряженія, превращаются въ ряды огромныхъ двойныхъ воронокъ, обращенныхъ вершинами другъ къ другу. При разрывѣ нижняя воронка падаетъ и отлагаетъ поднятую пыль на поверхности, верхняя же быстро поднимается въ видѣ чернаго пыльнаго облака и уносится далеко, часто за сотни верстъ, гдѣ отлагается вмѣстѣ съ атмосферными осадками; конечно, вмѣстѣ съ минеральными частицами такіе вихри разносятъ мелкія сѣмена сорныхъ травъ, различныя бактеріи и пр. При сильныхъ вѣтрахъ черноземныя бури достигаютъ громадныхъ размѣровъ; облака пыли становятся совершенно непроницаемыми, подымаются на большую высоту и протягиваются до предѣловъ внѣшняго горизонта; рядомъ съ мелкою пылью, болѣе крупныя зерна чернозема шлифуются, какъ ружейный порохъ, несутся на сажень отъ земли и въ нѣсколько минутъ уничтожаютъ, напр., всѣ плантаціи свеклы и др. нѣжныхъ корнеплодовъ [68]); свѣже посѣянныя зерна оголяются и даже выкатываются, слагая цѣлыя грядки или маленькіе барханы въ межахъ или передъ изгородью, какъ это было, напр., въ Рязанской, Тульской и др. губерніяхъ въ 1892 г. Во время черной бури на югѣ Россіи 18—22 Апрѣля 1892 г. кромѣ массы пыли и комочковъ земли, вѣтромъ переносились молодые всходы, вырванные съ корнемъ, обломки старыхъ корней, и множество жуковъ - бронзовиковъ; все это неслось по вѣтру до перваго препятствія, гдѣ болѣе тяжелые предметы останавливались и отлагались въ видѣ широкихъ валовъ, достигавшихъ до 2—3 мет. высотою, на поверхности которыхъ мѣстами изнемогали ящерицы, пригнанныя вѣтромъ. Всѣ площади, занятыя пыльными полосами, послѣ бури оказались совершенно опустошенными: одни отъ выдуванія, другія отъ покрытія слоемъ пыли до 50 сант. толщиною. Не только поля, но даже сады пострадали отъ пыльнаго заноса, который на навѣтренной сторонѣ достигалъ до 2 м. толщиною. Полагаютъ, что пыльная мгла, наблюдавшаяся въ то же время отъ Кіева до Петербурга, зависѣла отъ той же черной бури [69]); если это такъ, то значитъ пыль разносится на громадныя разстоянія и что такъ называемая помоха, мгла или сухой туманъ (callina въ Германіи, kobar на верхнемъ Нилѣ), вредно отзывающійся не только на поляхъ, но и на садахъ, также обусловливается черными бурями [70]). Скопленія землистыхъ частицъ на ровной поверхности представляютъ болѣе или менѣе равномѣрные слои, тогда какъ передъ преградами они образуютъ небольшія грядки или валы съ такою же разносклонностью, какъ у дюнъ и бархановъ, но менѣе ясно выраженною и мало устойчивою. Передъ древесными защитами вдоль желѣзныхъ дорогъ на югѣ Россіи они образуются преимущественно на восточной сторонѣ и не передъ самою защитою, а нѣсколько входя въ нее, какъ видно, напр., на профили черезъ защитное насажденіе Донецкой желѣзной дороги (фиг. 89 [71]). Само собой разумѣется, что наибольшое количество атмосферной пыли образуется въ странахъ сухихъ и обнаженныхъ отъ растительности, а отлагается по сосѣдству съ ними.

Въ противоположность нашей черноземной пыли на западномъ берегу Африки и прилегающихъ частяхъ Атлантическаго океана выпадаетъ красноватая пыль, а въ Китаѣ и вообще Средней Азіи желтоватая пыль, затемняющая воздухъ и придающая атмосферѣ желтоватый оттѣнокъ. Па-

деніе пыли въ этихъ мѣстахъ составляетъ не случайное, а постоянное явленіе. О ней свидѣтельствуютъ греческія, римскія и арабскія хроники; о ней упоминается Моисеемъ (кн. Исходъ, гл. X, ст. 21—23) и даже имѣются указанія за 3,000 лѣтъ до нашего времени. По даннымъ, собраннымъ Маккоуэномъ, однажды въ Китаѣ, въ 1154 году до Р. Хр., пыль падала непрерывно въ теченіе 10 дней.

Въ болѣе новое время на то же явленіе, особенно на выпаденіе красной пыли въ той части Атлантическаго океана, которая издавна извѣстна подъ именемъ «Темнаго моря», указывали различные мореплаватели, но систематическое изслѣдованіе ея было предпринято по иниціативѣ знаменитаго естествоиспытателя Дарвина, который собралъ красную пыль при своемъ путешествіи въ 1833 г. и отправилъ ее для микроскопическаго изслѣдованія академику Эренбергу. Съ этого времени Эренбергъ, въ теченіе многихъ лѣтъ, усердно занимался не только микроскопическимъ изученіемъ пыли, доставлявшейся ему изъ разныхъ мѣстъ, но и собраніемъ драгоцѣнныхъ извѣстій о ней изъ древнихъ и новыхъ хроникъ. Онъ напечаталъ цѣлый рядъ сочиненій о ней и, вслѣдствіе преобладанія ея въ области пассатовъ, назвалъ ее пассатною пылью [72]).



Фиг. 89. — Скопленіе пыли у защитнаго насажденія Донецкой желѣзной дороги.

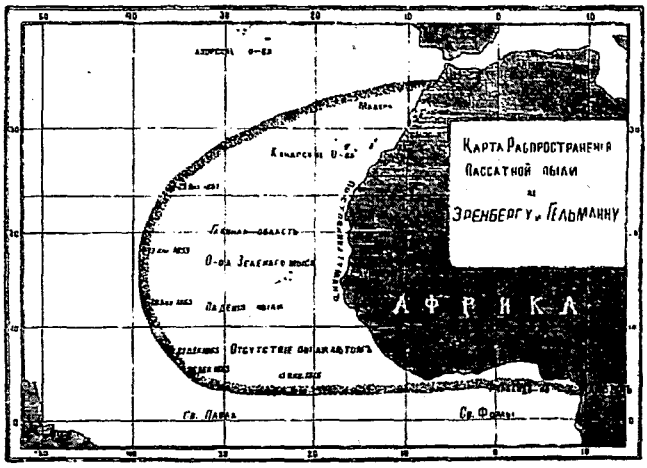
На основаніи всѣхъ своихъ наблюденій и изслѣдованій Эренбергъ пришелъ къ слѣдующимъ заключеніямъ: 1) въ нѣкоторыхъ частяхъ экваторіальной области, особенно къ западу отъ Африки, въ воздухѣ почти всегда находится примѣсь красной или красновато-бурой пыли, которая, медленно осаждаясь на поверхность земли, окрашиваетъ ее въ бурый цвѣтъ, также какъ палубу и паруса кораблей, проходящихъ въ области этой пыли.

2) Въ области пассата къ западу отъ Африки, гдѣ пыль осаждается почти непрерывно, она занимаетъ огромную площадь, около 3.000,000 кв. километровъ. Внѣ этой главной области красная пыль хотя выпадаетъ, но сравнительно рѣдко и на небольшихъ площадяхъ. Кровяные дожди, всегда возбуждавшіе страхъ въ народѣ, какъ предзнаменователи войны, чумы и др. несчастій, обязаны исключительно примѣси красной пассатной пыли, разносимой вѣтрами иногда далеко къ сѣверу за область пассатовъ.

3) Всѣ изслѣдованные образцы пыли, выпавшей въ разныхъ мѣстахъ въ періодъ времени отъ 1803 г. до 1849 г., по наружному цвѣту и составу, изъ зеренъ кварца и глины, были почти одинаковы. Иногда, впрочемъ, она смѣшивается съ метеорическою пылью, и слѣдовательно часть ея—космическаго происхожденія. Но кромѣ минеральныхъ частей въ ней находятся мельчайшіе организмы инфузорій и діатомей, которыхъ Эренбергъ насчитываетъ до 320 родовъ и которые составляютъ $^1/_6$ ч. всей массы пыли. Вулканическій пепелъ, равно какъ и пыль

африканскихъ пустынь, по мнѣнію Эренберга, почти не принимаютъ участія въ пассатной красной пыли. На этомъ основаніи, а также потому, что организмы принадлежатъ къ американскому типу, а анализы показываютъ отсутствіе въ ней неокисленныхъ металлическихъ частицъ, Эренбергъ полагалъ, во-первыхъ, что пассатная пыль — земного происхожденія, а во-вторыхъ, что она приносится восходящими токами изъ Южной Америки, что́ совершенно расходилось съ установившимся мнѣніемъ всѣхъ моряковъ, которые считали красную пыль Темнаго моря — «африканскою пылью».

Новѣйшія изслѣдованія, на основаніи многочисленныхъ данныхъ, собранныхъ преимущественно англійскими моряками, дѣйствительно показываютъ, что правда не на сторонѣ Эренберга, т. е. пыль происходитъ не изъ Южной Америки, а изъ Африки. Прилагаемая карточка (фиг. 90) распространенія этой пыли наглядно доказываетъ, что оно находится въ тѣснѣйшей зависимости отъ Африки, а наблюденія указываютъ, что наиболѣе обильное выпаденіе ея совпадаетъ съ восточными вѣтрами, и потому вѣроятнѣе считать, что мѣсто происхожденія этой пыли находится въ западной части Сахары. Что же касается природы діатомей, то онѣ въ этомъ случаѣ не могутъ имѣть рѣшающаго значенія, такъ какъ, во-первыхъ, микроорганизмы Сахары совершенно не изучены, а во-вторыхъ, пыль, собираемая стряхиваніемъ съ парусовъ, можетъ заключать и организмы, ранѣе осѣвшіе изъ атмосферы, т.-е. отъ вѣтровъ другого направленія [73]). Съ другой стороны, на окраинахъ Атлантическаго океана нѣтъ другой области, столь богатой атмосферною пылью, какъ западная Сахара, которая зимою посылаетъ тучи пыли въ Суданъ и Сенегамбію, гдѣ къ ней прибавляется еще красная пыль латерита и все вмѣстѣ разносится гарматаномъ по берегамъ Африки. На западноафриканскихъ берегахъ къ сѣверу отъ устья Гамбіи и Зеленаго мыса господствуетъ густой и большею частью сухой туманъ, представляющій, такъ сказать, связующее звено между пассатною пылью и пылью пустыни.



Фиг. 90. — Карта распространенія пассатной пыли.

Красная пыль, хотя не всегда, но часто совпадаетъ съ восточнымъ вѣтромъ и на югъ распространяется до границы NO пассата, т.-е. лѣтомъ до 11° с. ш., а зимой до 3° с. ш. Жаркій воздухъ или сухой туманъ днемъ и ночная роса служатъ предвѣстниками паденія пыли, которая иногда распредѣляется на площади равной Германіи. На при-

ложенной картѣ показано самое обширное распространеніе пыли въ январѣ въ 1866 г.; дальнѣйшее отстояніе ея отъ берега материка — около 2,000 килом. Однажды американскій корабль «Джэмстоунъ» находился (въ февралѣ 1856 г.) непрерывно въ теченіе шести дней въ Темномъ морѣ, между 7° 30′ и 9° с. ш. и между 15°—19° з. д., со всѣхъ сторонъ окруженный пыльнымъ туманомъ.

Красная пыль, попадая въ море, разносится теченіями и осаждается на днѣ его, занимая обширныя пространства. Зондировка почвы дна Сѣв. Атлантическаго океана подтверждаетъ это, такъ какъ англійскіе ученые красноватый илъ дна, состоящій изъ мелкихъ, округленныхъ зеренъ кварца, считаютъ тождественнымъ съ пассатною пылью.

Не менѣе широкое развитіе атмосферная пыль имѣетъ въ континентальныхъ областяхъ Азіи, гдѣ при сухости воздуха, отсутствіи растительности и энергичномъ развѣваніи, сильные вѣтры поднимаютъ массу желтоватой пыли, которая до того мелка и легка, что держится при тихой погодѣ по нѣсколько дней въ воздухѣ, прежде чѣмъ осядетъ и проникаетъ въ дома даже при закрытыхъ окнахъ и ставняхъ. При сильныхъ вѣтрахъ въ Туркестанѣ, Китаѣ и пр. атмосфера до того переполняется пылью, что получаетъ особый желтоватый оттѣнокъ, а солнце кажется желтовато-матовымъ кружкомъ. Отлагаясь на поверхность земли она образуетъ своеобразную желтоватую почву, давно извѣстную подъ именемъ лёсса или желтозема, который представляетъ сѣровато-или буровато-желтую, известково-песчанистую глину, пористаго сложенія. По своему замѣчательному плодородію желтоземъ нисколько не уступаетъ нашему чернозему или индійскому краснозему, что объясняется его пористымъ сложеніемъ и составомъ изъ мельчайшихъ частицъ самыхъ разнообразныхъ породъ. Выпаденіе этой пыли дѣйствительно представляетъ естественное удобреніе полей, а потому китайцы, да и вообще жители востока, въ противоположность европейцамъ или людямъ запада, не пугаются, а благословляютъ и радуются выпаденію пыли, смотрятъ на нее какъ на предзнаменованіе урожайнаго года и народнаго благоденствія, а не бѣдствія, какъ считаютъ жители запада. Интересно, что у туземцевъ южной Кашгаріи существуетъ даже выраженіе—топа ягды, т. е. пыль идетъ, соотвѣтственное выраженіямъ снѣгъ идетъ, дождь идетъ, что указываетъ на обильное и частое выпаданіе пыли.

Хотя въ пустыняхъ пыль образуется повсюду и въ большомъ количествѣ, но часто воздухъ ихъ поражаетъ своею чистотою и прозрачностью, потому что пыль эта рѣдко отлагается въ центральныхъ частяхъ пустыни, а всегда уносится къ окраинамъ ея и отлагается тамъ, гдѣ вѣтеръ, переносящій ее, встрѣчается съ преградой въ видѣ высокихъ горъ или же сталкивается съ противоположными воздушными токами, которые его останавливаютъ или хотя бы только ослабляютъ силу его. Вслѣдствіе этого отложенія лёсса образуютъ еще болѣе спорадическія площади, нежели летучій песокъ, при чемъ очень часто они граничатъ съ площадями песка; обыкновенно одинъ и тотъ же господствующій вѣтеръ сначала отлагаетъ песокъ, какъ болѣе крупный матеріалъ, а за тѣмъ уже легкую пыль, которая разносится настолько, что выходитъ за предѣлы климатической области пустынь, гдѣ на осажденіе ея кромѣ уменьшенной силы вѣтра,

оказываютъ вліяніе атмосферные осадки, которые съ одной стороны прибиваютъ и уплотняютъ отлагающуюся пыль, а съ другой обусловливаютъ густую травянистую растительность, препятствующую вторичному поднятію пыли даже при высыханіи почвы, напр. въ Центральной Азіи отложенія лёсса достигаютъ наибольшаго развитія по окраинамъ и за окраинами ея, образуя много отдѣльныхъ площадей и съ разною мощностью лёсса. Площади эти обыкновенно залегаютъ рядомъ съ песчаными, но далѣе въ направленіи господствующихъ вѣтровъ; такъ въ южной и юго-восточной Центральной Азіи при господствѣ СЗ и ЗСЗ вѣтровъ наибольшія площади летучихъ песковъ находятся въ Алашанѣ и Ордосѣ, а за ними далѣе къ юго-востоку тянется самая обширная площадь лёсса, гдѣ онъ отличается наибольшею мощностью; тогда какъ на восточной и особенно на сѣверной окраинѣ Центральной Азіи пески и лёссъ имѣютъ сравнительно слабое развитіе, а лёссъ кромѣ того имѣетъ незначительную мощность [74]). Въ юго-западной части Центральной Азіи или собственно въ Таримскомъ бассейнѣ преобладаютъ СВ вѣтры, вслѣдствіе чего за обширною песчаною пустынею Такла-маканъ [75]) слѣдуетъ поясъ лёсса, поднимающійся на склоны Куэнь-луня и Памира [76]). Въ русскомъ Туркестанѣ подъ вліяніемъ тѣхъ же СВ и СЗ вѣтровъ за песчаными пустынями Кара-кумы, Кызылъ-кумы, Моюнъ-кумы, слѣдуетъ лёссовая полоса, окаймляющая предгорія Тянь-шаня и отчасти покрывающая ихъ [77]); даже въ сравнительно небольшихъ бассейнахъ, какъ напр. въ Ферганѣ [78]) распредѣленіе песка и лёсса обусловливается направленіемъ вѣтровъ и преградами, лежащими на пути ихъ.

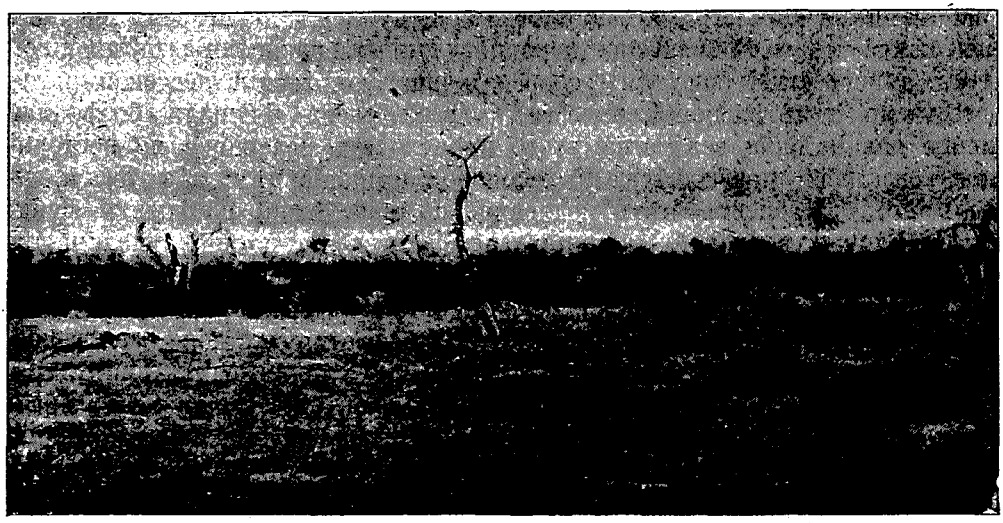
Такимъ образомъ накопленія песка и лёсса происходятъ подъ вліяніемъ одного и того же агента—вѣтра. Но несмотря на эту общность основной причины ихъ образованія, они рѣзко отличаются какъ по составу, такъ по формамъ залеганія и рельефа поверхности. Атмосферная пыль не стѣсняется какимъ-либо опредѣленнымъ горизонтомъ; она отлагается на самыхъ разнообразныхъ высотахъ, и даже на самыхъ крутыхъ склонахъ; въ населенныхъ мѣстахъ можно наблюдать осажденіе ея не только на крышахъ домовъ, но и на стѣнахъ, на шпицахъ башень и колоколенъ. Но какъ легко осаждается, также легко она и сдувается при послѣдующемъ вѣтрѣ, если только влажность не уплотнитъ ее; тогда напротивъ она держится очень крѣпко и постепенно слой ея утолщается отъ новыхъ отложеній. Это постепенное накопленіе и утолщеніе отложеній пыли легко прослѣдить на развалинахъ древнихъ городовъ Туркестана, которые, покрываясь этою пылью, постепенно, такъ сказать, врастаютъ въ землю и при благопріятныхъ условіяхъ даже покрываются растительностью; если бы возможно было опредѣлить ежегодный приростъ пыли на старыхъ развалинахъ, то получился бы прекрасный способъ для опредѣленія древности самихъ толщъ пыли. Еще нагляднѣе и въ большомъ масштабѣ возрастаніе толщъ атмосферной пыли наблюдается при отложеніи ея на лѣсистыхъ склонахъ, напр. въ западной Кашгаріи, гдѣ пыльные туманы, особенно у Яркендъ-дарьи, появляются почти ежедневно и отлагаютъ массу пыли, которая надъ тополевыми и тамарисковыми лѣсами какъ бы конденсируется и придаетъ имъ необыкновенную пыльность, какъ свидѣтельствуютъ всѣ путешественники.

Пыльные туманы почти всегда сопровождаются облачностью, но чрезвычайно рѣдко—дождемъ [79]). Вліяніе лѣса выражается также на самомъ характерѣ отложеній пыли. Около отдѣльныхъ деревьевъ или группъ ихъ пыль образуетъ бугры насыпанія, состоящіе изъ перемежающихся слоевъ листвы и лёсса, имѣющихъ наклонно облекающее расположеніе; въ данномъ случаѣ отдѣльно стоящія деревья или кусты удерживаютъ осѣдающую пыль или лёссъ, тогда какъ внѣ сферы вліянія ихъ вѣтеръ снова поднимаетъ и уноситъ осѣдающія частицы. Лёссовые бугры хотя по своему образованію аналогичны донамъ, но отличаются отъ нихъ какъ по составу, такъ и по облекающему наслоенію. Разница въ образованіи лёссого бугра и доны такая же какъ между осадками стоячей и проточной воды; въ первомъ случаѣ осадокъ отлагается облекающими слоями вокругъ дерева или куста, а во второмъ осадокъ задерживается и образуетъ неравносклонныя накопленія. Сплошной лѣсъ дѣйствуетъ иначе; онъ, сосредоточивая отложенія лёссовой пыли, вмѣстѣ съ тѣмъ распредѣляетъ ее на всей своей площади болѣе или менѣе равномѣрно; вслѣдствіе этого происходитъ медленное, но постоянное возвышеніе почвы лѣса, постепенное засыпаніе лѣса, а затѣмъ и гибель его. «Процессъ этотъ медленно, но неизбѣжно измѣняетъ функціи различныхъ частей растенія; засыпаемыя части стебля начинаютъ функціонировать, какъ корни, которыя такимъ образомъ все удлиняются по мѣрѣ поднятія почвы; наконецъ растеніе не выдерживаетъ этой борьбы съ лёссомъ изъ за влаги, постепенно уходящей отъ его стебля все глубже, и гибнетъ, при томъ не въ одиночку, какъ это происходитъ напр., при возрастаніи донъ, а цѣлыми областями, такъ какъ отложеніе лёсса представляетъ процессъ регіональный [80])». Такіе вымершіе или вымирающіе лѣса наблюдались, напр. у дер. Майнэтъ, Ала айгыръ и др. въ области Яркенда и всегда совмѣсно съ лёссовыми буграми, поросшими тамарискомъ (фиг. 91). Такія лёссовыя отложенія нерѣдко впослѣдствіи снова развѣваются и на мѣстѣ ихъ образуются бугры развѣванія, которые отличаются отъ бугровъ насыпанія и доновъ горизонтальностью слагающихъ ихъ слоевъ лёсса и листьевъ, напр. ниже Лайлыка по той же Яркендъ-дарьѣ, также у Черчена и пр.

Еще нагляднѣе происходитъ накопленіе атмосферной пыли въ какихъ либо котловинахъ или озерахъ. Если она попадаетъ на поверхность безъисточнаго озера, то она отлагается тонкими слоями, постепенно заполняетъ озеро, превращаетъ его въ болото, которое, смотря по составу пыли, можетъ превратиться или въ солончакъ, или же въ сухую, плоскую котловину; очень можетъ быть, что нѣкоторые такыры, соры и хаки Туркестана произошли такимъ путемъ.

Наиболѣе же благопріятныя мѣстности для скопленія атмосферной пыли представляютъ степи, съ мелкою травяною растительностью, расположенныя обыкновенно по сосѣдству или, лучше сказать на окраинахъ пустынь. Въ пустыняхъ, какъ мы видѣли, развѣваніе производитъ массу пыли, которая, разносясь вѣтромъ, прежде всего и въ большомъ количествѣ осаждается на поверхности прилегающихъ степей. Осѣвшая пыль находитъ себѣ защиту подъ каждымъ стебелькомъ; ближайшій дождь прибиваетъ ее къ поверхности, уплотняетъ и образуетъ слой пыли, а слѣдовательно

возвышаетъ поверхность на его толщину. Отдѣльные слои, суммируясь въ продолженіе года и еще болѣе возвышая поверхность, поднимаютъ, такъ сказать, горизонтъ растеній на подобіе того, какъ гребенщикъ и кызылъ-джузганъ, засыпаемые пескомъ, не умираютъ, а поднимаются съ возвышеніемъ доны или бархана и при остановкѣ роста ихъ развиваются на вершинѣ песчаныхъ холмовъ. Въ теченіе столѣтій этотъ процессъ можетъ дать уже значительные результаты, а черезъ тысячелѣтія онъ можетъ совершенно преобразовать огромную площадь поверхности земли. Хотя, къ сожалѣнію, мы не имѣемъ достовѣрныхъ цифровыхъ данныхъ о скорости подобныхъ наростаній, тѣмъ не менѣе едвали можно сомнѣваться въ нивеллирующемъ вліяніи ихъ на земную

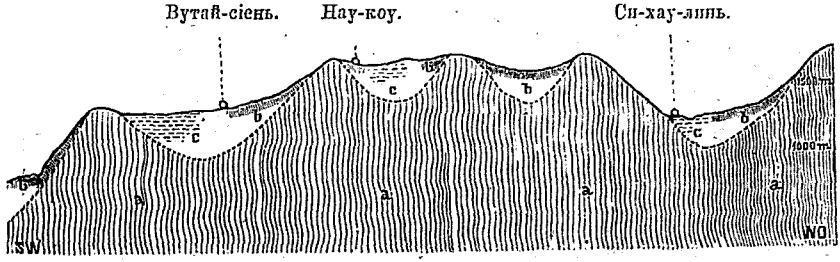


Фиг. 91. — Лёссовые бугры, поросшіе тамарискомъ и мертвый тополевый лѣсъ между дер. Ала-Айгыръ и Майнэтъ.

поверхность. Само собой разумѣется, что наибольшія скопленія пыли происходятъ въ углубленіяхъ, а по заполненіи ихъ, осадки разныхъ котловинъ сливаются между собою и образуютъ сплошной лёссовый покровъ, который сглаживаетъ всѣ неровности и придаетъ поверхности равнинный или плоско-волнистый характеръ, безъ рѣзкихъ выступовъ и углубленій (фиг. 92). Нивеллирующему вліянію лёсса помогаютъ продукты вывѣтриванія и размыва, отлагавшіеся до осажденія пыли на склонахъ горъ и котловинъ. Продукты эти нерѣдко отдѣляютъ лёссъ отъ основныхъ породъ въ видѣ слоя щебня, галекъ, и валуновъ, которые иногда распространяются до самой средины лёссовой мульды. Лёссъ горныхъ склоновъ вообще не такъ типиченъ, какъ вдали отъ нихъ, особенно если толщи его не отличаются значительною мощностью, напр. въ Ферганѣ лёссъ мѣстами не только подстилается, но даже перемежается со слоями гальки [81]). Если эоловая пыль содержитъ много легко растворимыхъ солей или заполняетъ соленое озеро, то мыслимо образованіе солончаковъ, въ которыхъ атмосферныя воды, постепенно выщелачивая соли съ краевъ, концентрируютъ ихъ въ срединѣ; вслѣд-

ствіе этого получается рѣзкая разница въ качествѣ воды колодцевъ, расположенныхъ въ одной и той же котловинѣ.

Мощность лёсса чрезвычайно разнообразна: отъ самыхъ тонкихъ слоевъ до 400 м. толщиною, напр. въ сѣверо-западномъ Китаѣ. Для образованія такихъ толщъ очевидно потребовался громадный періодъ времени; напр. если въ теченіи года отлагается только слой въ одинъ сантиметръ толщиною, то для скопленія толщи въ 400 м. потребуется около 40000 лѣтъ, что скорѣе меньше, чѣмъ больше дѣйствительнаго числа лѣтъ, потому что накопленія лёссовой пыли происходятъ весьма медленно: а такъ какъ образованіе ея возможно только при климатическихъ условіяхъ близкихъ или аналогичныхъ современнымъ, то очевидно, что Внутренняя Азія уже многія тысячелѣтія пользуется климатомъ, который мало отличается отъ настоящаго. Вслѣдствіе такой древности лёсса въ немъ мѣстами погребены остатки дилювіальныхъ организмовъ, почему еще весьма недавно лёссъ считали исключительно дилювіальнымъ образованіемъ и не находили ему аналоговъ среди современныхъ отложеній.



Фиг. 92. — Разрѣзъ лёссовыхъ бассейновъ у южной подошвы Вутай-шань.
a—породы горъ, b—материковый лёссъ, c—озерный лёссъ.

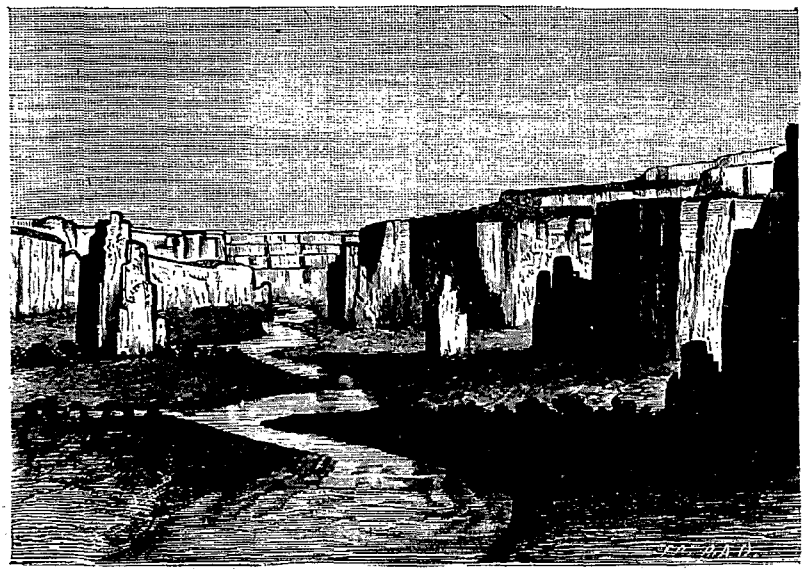
Итакъ одна изъ характерныхъ особенностей лёсса состоитъ въ томъ, что онъ залегаетъ на самыхъ разнообразныхъ высотахъ и на самыхъ различныхъ формахъ рельефа, причемъ повсюду онъ стремится нивеллировать поверхность и превратить ее въ равнину.

Другою особенностью лёсса, также обусловленною способомъ образованія его, является полное отсутствіе слоистости; такой лёссъ собственно и называется материковымъ (Land-Löss) въ отличіе отъ озернаго лёсса (See-Löss), который отлагаясь въ водныхъ бассейнахъ, получаетъ не только слоистость, но другое сложеніе и даже составъ. Онъ обыкновенно пропитанъ различными солями, имѣетъ плотное сложеніе и отличается водонепроницаемостью. При совмѣстномъ залеганіи материковаго не слоистаго и озернаго слоистаго, послѣдній всегда подстилаетъ первый и служитъ водоупорнымъ горизонтомъ, надъ которымъ часто вытекаютъ обильные источники. Наконецъ озерный лёссъ иногда содержитъ прослойки песка и даже галекъ.

Третья характерная особенность материковаго лёсса состоитъ въ его замѣчательной пористости, проявляющейся въ видѣ тонкихъ развѣтвленныхъ трубочекъ или канальцевъ; она происходитъ вслѣдствіе сгниванія стебельковъ и корней степныхъ травъ, постепенно засыпаемыхъ лёссовою пылью. Благодаря пористости материковый лёссъ отличается водопрони-

цаемостью; на поверхности его никогда не образуется стоячихъ водъ; атмосферные осадки быстро впитываются лёссомъ и капилярными ходами проникаютъ черезъ него; вслѣдствіе этого въ лёссовыхъ обрывахъ источники вытекаютъ всегда изъ-подъ лёсса, но никогда изъ середины его толщи. Это же свойство обусловливаетъ отсутствіе лѣсовъ на поверхности мощныхъ лёссовыхъ отложеній, такъ какъ корни деревьевъ, требующіе много влаги, скорѣе находятъ ее въ пескахъ, нежели въ пористомъ лёссѣ; деревья могутъ рости только на тонкихъ покровахъ лёсса, которые они пронизываютъ насквозь своими корнями, достигая до болѣе влажныхъ, менѣе проницаемыхъ породъ.

Неслоистый, пористый лёссъ, благодаря подмыву, а также пронизывающимъ его вертикальнымъ трубочкамъ, стѣнки которыхъ нерѣдко ин-



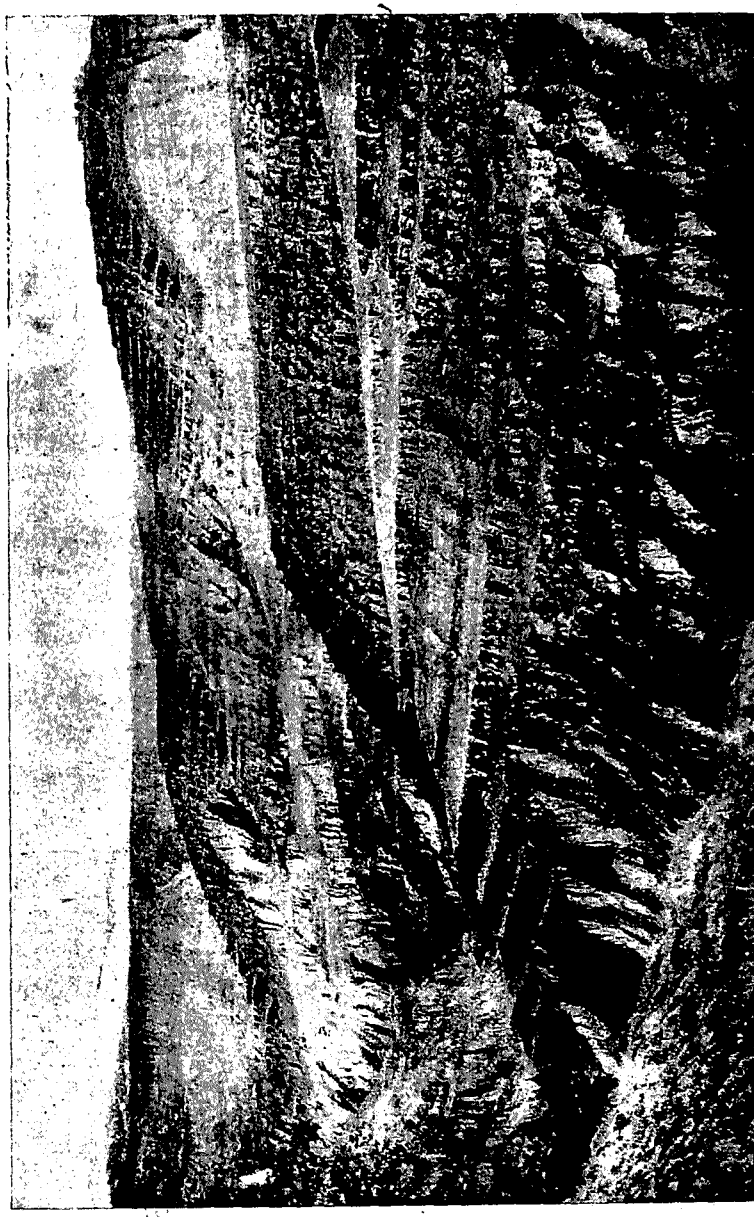
Фиг. 93. — Лёссовые берега къ С. отъ Тай-уень-фу въ провинціи Чензи.

крустированы углекислымъ кальціемъ, отличается вертикальною отдѣльностью, а слѣдовательно способностью давать отвѣсные обрывы значительной высоты, иногда спускающіеся террасами, напр. на склонахъ рѣчныхъ долинъ и овраговъ (фиг. 93). Иногда ряды мелкихъ террасъ такъ многочисленны, что они придаютъ лёссовымъ склонамъ видъ громадныхъ амфитеатровъ, напр. на склонахъ овраговъ лёссоваго плато Гань-су къ сѣверу отъ Цзинъ-янъ-фу (фиг. 94). При всей его мягкости или, лучше сказать, нѣжности сложенія, онъ достаточно твердъ и вязокъ, чтобы поддерживать долгое время въ устойчивомъ равновѣсіи не только вертикальные, но даже нависшіе стѣны и своды.

Эта мягкость, съ одной стороны, и устойчивость, съ другой, способствуютъ легкому проведенію въ немъ обширныхъ пещеръ, которыя еще недавно считались жилищами троглодитовъ, а между тѣмъ въ нихъ не только въ древности, но и въ настоящее время живутъ цѣлыя общины. Около Самарканда пещеры уже оставлены; въ нѣкоторыхъ пещерахъ сѣвернаго Афганистана кочевое населеніе живетъ только зимой, а въ сѣ-

верныхъ провинціяхъ Китая до сихъ поръ еще лёссовыя пещеры имѣютъ постоянное милліонное подземное населеніе [82]).

Лёссъ до того мягокъ и нѣженъ, что легко растирается между пальцами, причемъ известково-глинистыя частицы втираются въ кожу, а квар-



Фиг. 94. — Террасовые склоны оврагов на лёссовом плато восточнаго Гань-су къ сѣв. отъ Цзянь-нинь-фу.

цевыя зерна остаются; подъ микроскопомъ они представляются неправильной формы, съ острыми углами; величина ихъ отъ 0,025 до 0,05 мм. Углекислый кальцій часто облипаетъ кварцевыя пылинки, обнаруживающія иногда обтертость [83]), частью же распредѣленъ равномѣрно въ массѣ породы въ видѣ тончайшихъ частичекъ; этимъ объясняется бурное

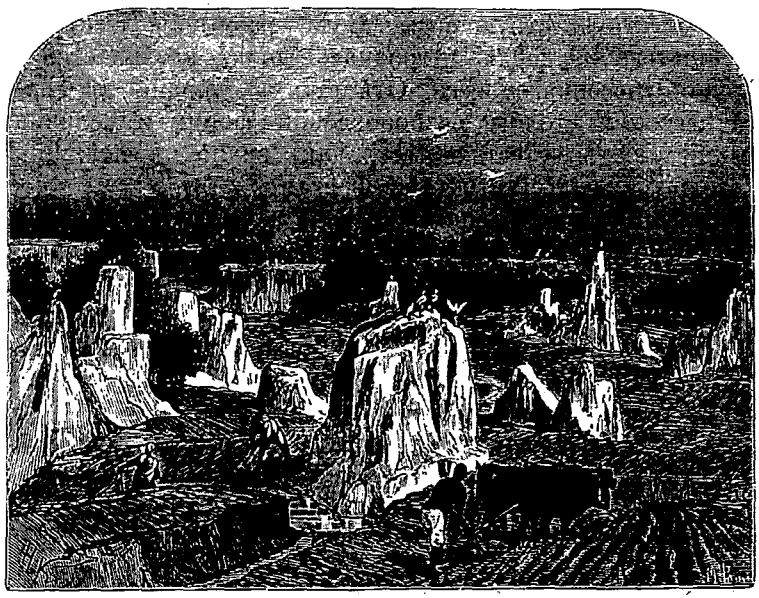
вскипаніе лёсса при смачиваніи кислотой и быстрое прекращеніе выдѣленія пузырьковъ газа. Кромѣ того въ лёссѣ встрѣчается въ видѣ примѣси болѣе 20 видовъ различныхъ минераловъ, но особенно часто листочки слюды, зерна полевыхъ шпатовъ и окисловъ желѣза; мелкіе листочки слюды обыкновенно залегаютъ въ самыхъ разнообразныхъ положеніяхъ, но никогда горизонтально. Съ поверхности лёссъ легко подвергается выщелачиванію и теряетъ свои основныя свойства. Въ верхнихъ частяхъ его нерѣдко образуются мергельныя конкреціи, сѣровато-бѣлаго цвѣта, самой различной формы, чаще въ видѣ неправильныхъ рогулекъ, называемыхъ буравчиками (Lössmännchen или Lösspupchen) (см. фиг. 44 на стр. 123 т. I, гл. IV); отъ переполненія ими лёссъ на югѣ Россіи называютъ бѣлоглазкой. Китайцы называютъ эти стяженія лёссовыми имбирчиками, такъ какъ по формѣ они напоминаютъ корни имбиря; они состоятъ не только изъ мергеля, но иногда изъ чистаго кальцита, напр. въ Кара-тепѣ (Туркестанъ), магнезіальнаго кальцита, напр. въ лёссѣ Наманганъ-яны-кургана (Фергана) и даже изъ нормальнаго доломита, напр. въ лёссѣ Кара-булака, Бекляръ-бега (Туркестанъ), гдѣ они представляютъ веретенообразныя кристаллическія конкреціи отъ 3—7 мм. толщиною и 2—4 сант. длиною, цвѣта желтаго до свѣтло-коричневаго, часто съ остатками корневыхъ мочекъ, послужившими ядромъ для образованія ихъ.

Составъ лёсса, какъ и слѣдовало ожидать, не можетъ быть повсюду одинаковъ уже потому, что атмосферная пыль образуется отъ развѣванія самыхъ разнообразныхъ породъ, а слѣдовательно количество составныхъ частей можетъ варьировать въ широкихъ предѣлахъ даже въ сосѣднихъ пунктахъ залеганія лёсса. Главными же составными частями въ лёссѣ являются: силикатовъ и песку отъ 27 до 90%, глинозема отъ 4 до 20% и углекислаго кальція отъ 6% до 67 %.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены анализы нѣкоторыхъ образцовъ типичнаго и плодороднѣйшаго лёсса изъ Туркестана и Закаспійской области согласно Миддендорфу [84]) и Обручеву [85]).

НАЗВАНІЕ МѢСТНОСТЕЙ.	Силикаты и кварцевый песокъ, нераств. въ HCl.	Фосфорнокислыя и углекислыя соли.	$CaCO_3$	Al_2O_3	K_2O	Окись желѣза.
1) Моянъ (плодороднѣйшій) . . .	27	69	67	4	(и 4 ма	гнезіи)
2) Тоже отмученный	48	51	50	7	2 (маг	нез. 10)
3) Кара-тепе	61	29	28	13	2	2,7
4) Спонъ	69	19	18	10	2,5	3,6
5) Казалинскъ	71	22	21	13	2	3,6
6) Кокандъ-Яны-Курганъ	73	24	23	20	2	2,7
7) Намапганъ	76	20	19	12	2	—
8) Сары-Курганъ	90	7	6	19	3,2	4,8
9) Теджепъ	73	CO_2 7,3	9	2,36	—	2,5
10) Степная подгорная полоса Закаспійской области	72	7,94	9,8	2,01	—	2,1

Что касается органическихъ остатковъ или окаменѣлостей лёсса, то они принадлежатъ исключительно наземнымъ формамъ или обитателямъ суши и при томъ появляются или рѣдкими отдѣльными экземплярами или же массами, которыя богаты особями, но бѣдны видами. Прѣсноводныхъ раковинъ чрезвычайно мало даже въ европейскомъ лёссѣ, напр. между Базелемъ и Бонномъ [86]) наземные моллюски, какъ то: Succinea oblonga, Helix hispida, Helix arbustorum, Helix diluvii, Helix cristallina, Pupa muscorum, Pupa columella, Clausilia parvula, Clausilia gracilis и др., всего до 30 видовъ находятся въ количествѣ 211.988 экземпляровъ, среди которыхъ только 33 экземпляра или 0,015% прѣсноводныхъ моллюсокъ: Limnaeus, Planorbis и Vitrina. Рядомъ съ нѣжными раковинами, ко-



Фиг. 95. — Лёссовые столбы у дер. Чуртукъ въ Ферганѣ.

торыя однако отличаются полнѣйшею сохранностью и не обнаруживаютъ никакихъ слѣдовъ истиранія, встрѣчаются крупныя кости степныхъ млекопитающихъ: Alactaga, Spermophylus, Lagomys, Arctomys и др., рѣже Elephas, Rhinoceros, Cervus и др., расположеніе которыхъ въ лёссѣ такое же, какое наблюдается въ скелетахъ животныхъ на поверхности современныхъ степей. Это удивительное сочетаніе хрупкихъ раковинъ и твердыхъ костей объяснимо только эоловымъ происхожденіемъ лёсса.

Такимъ образомъ всѣ вышеописанныя свойства типичнаго лёсса свидѣтельствуютъ объ его эоловомъ происхожденіи, а именно: его однородное тонкое сложеніе, пористость, пронизываніе растительными корнями, отсутствіе слоистости, устойчивость въ вертикальныхъ обрывахъ, залеганіе на самыхъ разнообразныхъ высотахъ — отъ уровня моря до 2.500 м. и болѣе, сохраненіе нѣжныхъ раковинъ вмѣстѣ съ грубыми костями—все это неоставляетъ сомнѣнія въ томъ, что лёссъ представляетъ уплотненную атмосферную пыль.

Составъ его и сложеніе обусловливаютъ его необыкновенное плодо-

родіе, особенно для злаковъ и степныхъ травъ. Не только въ Азіи, но повсюду онъ представляетъ превосходную почву; «изъ тонкаго слоя лёсса (1 ф. толщины) около Мюнхена говоритъ Гюмбель, проистекаетъ больше богатства для населенія, нежели отъ богатыхъ рудныхъ залежей или каменноугольныхъ копей». Въ Туркестанѣ же и вообще въ Средней Азіи распредѣленіе культурныхъ оазисовъ обусловливается распространеніемъ лёсса. Онъ служитъ не только плодороднѣйшею почвою, но и универсальнымъ строительнымъ матеріаломъ, изъ котораго туземцы строятъ всѣ зданія въ городахъ и деревняхъ, отъ бѣдной хижины до крѣпостныхъ стѣнъ и знаменитыхъ мечетей Самарканда и Бухары. Въ Ферганѣ употребляютъ его для удобренія полей. Для этого гдѣ-нибудь на лёссовыхъ террассахъ проводятъ небольшія канавки, называемыя арыками, и пускаютъ по нимъ быструю струю воды. Вода, размывая лёссъ, уноситъ съ собой частицы его и, дойдя до ровнаго поля, разливается по нему и отлагаетъ слои унесеннаго лёсса. Отъ такихъ операцій въ Ферганѣ часто образуются лёссовые столбы разнообразной формы и величины, почти не отличающіеся отъ естественныхъ, какъ видно на фиг. 95, гдѣ изображены столбы у дер. Чуртукъ въ Ферганѣ.

Въ Китаѣ онъ имѣетъ еще большее значеніе; не только на немъ сѣютъ, изъ него строятъ, имъ удобряютъ, но въ немъ живутъ, какъ упомянуто выше. Эта желтоватая почва, повидимому, обусловливаетъ пристрастіе желтолицыхъ китайцевъ къ желтому цвѣту, выражающемуся не только въ одеждѣ, но въ разводимыхъ ими растеніяхъ; вѣроятно ей обязано происхожденіе титула китайскаго императора—Гоангъ-ти, т. е. «повелитель желтой земли».

Съ такими же свойствами или близкими къ нимъ лёссъ встрѣчается и на другихъ материкахъ. Въ С. Америкѣ онъ занимаетъ обширныя площади, особенно между Сіерра-Невадой и Скалистыми горами отъ Калифорніи до Мексики, также въ бассейнахъ Миссури и Миссисипи между дельтой и фортомъ Пьерра, въ Дакотѣ, гдѣ средняя ширина лёссовой площади около 600 г. м., а высота залеганія ея отъ нѣсколькихъ метровъ до 1800 м. Въ Ю. Америкѣ лёссъ развитъ въ Атакамѣ, Аргентинской республикѣ и пр.; въ Африкѣ и Австраліи онъ очень мало изслѣдованъ. Въ Европѣ лёссъ занимаетъ также обширныя пространства; начинаясь на западѣ отъ Пиренеевъ онъ протягивается широкою полосою къ сѣверо-востоку; южная граница ея совпадаетъ съ сѣверною окраиною Альпъ, откуда мимо Балканъ доходитъ до Чернаго моря (см. карту № IV), а сѣверная почти совпадаетъ съ южною границею ледниковыхъ отложеній и только мѣстами заходитъ сѣвернѣе ея; онъ тянется отъ Бельгіи черезъ Гарцъ, Саксонію, Силезію по всей южной Россіи до границъ Азіи [87]). Но лёссъ западной Европы далеко не такъ типиченъ и не достигаетъ такого мощнаго развитія, какъ въ южной Россіи, гдѣ сѣверная граница, также отчасти совпадающая съ южною границею ледниковыхъ валуновъ, проходитъ (см. карту № III) изъ Польши черезъ Волынскую и Кіевскую губ., а далѣе черезъ губ.: Черниговскую, Орловскую, Тульскую и Нижегородскую до Волги, гдѣ лёссъ присоединяется къ каспійскимъ отложеніямъ. Къ сѣверу отъ этой границы лёссъ встрѣчается только отдѣльными островами, а къ югу отъ нея онъ почти сплошь покрываетъ все пространство до Чернаго моря и предгорій Кавказа.

Какъ въ западной Европѣ, гдѣ лёссъ впервые обратилъ на себя вниманіе и получилъ на Рейнѣ свое названіе, такъ и въ Россіи, онъ во 1-хъ, по своему распространенію находится въ нѣкоторомъ, довольно тѣсномъ, соотношеніи съ развитіемъ ледниковыхъ отложеній, а во 2-хъ, давно уже закончилъ свое образованіе и мѣстами даже значительно измѣнился, напр. въ Средней Россіи подъ вліяніемъ влаги и растительности онъ превратился съ поверхности въ черноземъ, въ другихъ мѣстахъ въ такъ называемую лёссовидную глину. Этими особенностями онъ рѣзко отличается отъ азіатскаго лёсса, который не закончилъ свое образованіе и продолжаетъ накоплятся до сихъ поръ, безъ всякой зависимости отъ ледниковыхъ явленій.

Диловіальная древность европейскаго лёсса, законченность его образованія, измѣненіе его свойствъ, отсутствіе аналогичныхъ современныхъ отложеній и наконецъ нѣкоторая связь его съ древними ледниковыми отложеніями, все это при открытіи лёсса въ Европѣ, когда съ эоловыми агентами почти не были знакомы, породило много гипотезъ о происхожденіи его, которыя до сихъ поръ поддерживаютъ и внушаютъ сомнѣніе въ эоловомъ образованіи лёсса. Дѣйствительно, съ одной стороны связь европейскаго лёсса съ ледниковыми отложеніями, а съ другой отсутствіе въ Европѣ такихъ обширныхъ пустынь, которыя, подобно азіатскимъ, служили бы, такъ сказать, лабораторіями для приготовленія лёсса, заставляютъ предполагать нѣсколько иныя условія происхожденія лёсса въ Европѣ, а вѣроятно и въ Америкѣ; если условія эти даже аналогичны, то во всякомъ случаѣ не тождественны. Это обстоятельство, препятствуя всеобщему признанію эоловаго происхожденія лёсса, оправдываетъ до нѣкоторой степени появленіе новыхъ гипотезъ, которыя вмѣстѣ со старыми составляютъ нѣсколько категорій, имѣющихъ большею частью только ограниченное значеніе, за исключеніемъ новѣйшей эоловой, которая согласуетъ европейскія и азіатскія условія образованія лёсса.

Прежде всего появилась аллювіальная гипотеза [88]), которая происхожденіе лёсса объясняла дѣятельностью проточныхъ водъ. Дѣйствительно, въ низовьяхъ нѣкоторыхъ большихъ рѣкъ Туркестана, Индіи, Германіи и пр. отлагается осадокъ, похожій на озерный лёссъ и даже иногда тождественный съ нимъ, но рѣзко отличающійся отъ типичнаго материковаго лёсса, какъ по составу, сложенію, такъ и по распространенію и залеганію исключительно въ долинахъ и дельтахъ рѣкъ. Многія важнѣйшія изъ вышеописанныхъ свойствъ лёсса и особенно его залеганіе на различныхъ высотахъ, на гребнѣ водораздѣловъ, совершенно необъяснимы аллювіальною гипотезою и потому она почти совершенно оставлена. Еще менѣе состоятельна морская гипотеза [89]), такъ какъ она совершенно недоказательна и стоитъ въ противорѣчіи со всѣми свойствами лёсса. Гораздо большее значеніе имѣетъ, такъ называемая, делювіальная гипотеза или гипотеза „ruissellement“ (т. е. намываніе ручейками или наиловаія) какъ ее называетъ Лаппаранъ [90]), одинъ изъ горячихъ защитниковъ ея. По этой гипотезѣ лёссъ образовался вслѣдствіе постепеннаго намыванія медленными и широкими ручейками тонкаго ила, который сносился съ высокихъ мѣстъ и скоплялся частью по склонамъ, частью внизу, гдѣ онъ смѣшивался съ аллювіальными отложеніями. Съ этой точки зрѣнія типичный лёссъ нѣкоторые русскіе изслѣдователи называютъ „долинным“ напр. В. В. Докучаевъ [91]), который предполагаетъ, что онъ „обязанъ своимъ происхожденіемъ сносу дождевыми и весенними водами на склоны тѣхъ мелкихъ рыхлыхъ продуктовъ разрушенія, какіе всегда образуются на сосѣднихъ водораздѣльныхъ высотахъ“; тоже по словамъ П. Я. Армашевскаго [92]) „лёссъ обязанъ своимъ происхожденіемъ дѣятельности тѣхъ едва замѣтныхъ тихихъ ручейковъ, которые стекая по отлогимъ склонамъ изъ мѣстъ болѣе возвышенныхъ въ низменныя, откладывали минеральныя частицы на своемъ пути“. Хотя вполнѣ допустимо образованіе слоистыхъ лёссовидныхъ осадковъ при посредствѣ намыванія ручейками или, такъ сказать, наиловаія, что довольно часто на-

блюдается, напр. на пологихъ склонахъ предгорій Тянъ-шаня и особенно при выходѣ горныхъ потоковъ на равнину, напр. въ Ферганѣ, но рѣшительно невозможно тѣмъ же способомъ объяснить происхожденіе мощныхъ толщъ лёсса на высокихъ плоскогоріяхъ. Сами защитники деловіальной гипотезы очевидно сознаютъ это затрудненіе и обходятъ его или тѣмъ, что допускаютъ участіе эоловыхъ агентовъ *для лёсса плоскогорій* [93]), *или же еще проще — голословно отрицаютъ фактъ существованія* такихъ толщъ лёсса [94]), которыя противорѣчатъ гипотезѣ и тѣмъ самымъ наглядно доказываютъ несостоятельность ея, даже въ примѣненіи ея только къ европейскому лёссу.

Такимъ же недостатками, какъ аллювіальная и деловіальная гипотезы, отличается такъ называемая эклектическая гипотеза [95]), представляющая какъ бы соединеніе первыхъ двухъ. Она предполагаетъ происхожденіе лёсса изъ ледниковыхъ водъ, образовавшихся при таяніи плейстоценоваго ледниковаго покрова; воды эти, а также воды рѣкъ, протекавшихъ съ юга на сѣверъ, подпираемыя съ сѣвера ледниковымъ покровомъ, собирались въ потоки, большіе и малые бассейны и отлагали ледниковую муть вплоть до значительныхъ высотъ въ видѣ лёсса. Несостоятельность ея доказана даже для Германіи, гдѣ она зародилась на основаніи мѣстныхъ орографическихъ и гидрографическихъ особенностей этой страны; тогда какъ къ Америкѣ и Европейской Россіи она совершенно неприложима уже потому, что тамъ нѣтъ и не было тѣхъ гидрографическихъ условій, которыхъ требуетъ гипотеза.

Всѣ не-эоловыя гипотезы о происхожденіи лёсса не только не объясняютъ нѣкоторыхъ характерныхъ свойствъ лёсса, но даже не приложимы ко многимъ областямъ распространенія его, т. е. имѣютъ, какъ выше сказано, весьма ограниченное значеніе и очевидно возникли на основаніи частныхъ или мѣстныхъ изслѣдованій небольшихъ районовъ. По сравненію съ ними эоловая гипотеза образованія лёсса имѣетъ несомнѣнныя преимущества уже по своему широкому приложенію. По отношенію къ Азіи она является, какъ мы видѣли выше, непремѣннымъ слѣдствіемъ всѣхъ другихъ процессовъ и не возбуждаетъ никакихъ сомнѣній; по отношенію же къ Европѣ и Америкѣ приложеніе ея недавно и довольно удачно сдѣлано Тутковскимъ [96]), который, показавъ несостоятельность всѣхъ другихъ гипотезъ, изложилъ свою, основанную на дѣятельности эоловыхъ агентовъ, но въ примѣненіи къ инымъ климатическимъ условіямъ, чѣмъ азіатскія. Гипотеза эта отличается оригинальностью и представляетъ первую попытку объяснить возможность накопленія лёсса при помощи вѣтра въ концѣ ледниковаго періода въ Европѣ и С. Америкѣ. Само собой разумѣется, что прежде всего Тутковскій, исходя изъ нѣкоторыхъ теоретическихъ соображеній, устанавливаетъ характеръ главныхъ вѣтровъ въ области ледниковаго покрова; по его мнѣнію надъ плейстоценовымъ ледникомъ долженъ былъ находится почти постоянный барометрическій максимумъ, а значитъ обширный и мало подвижный антициклонъ, отъ центра котораго исходили постоянные сухіе вѣтры или, такъ называемые Тутковскимъ, фёны ледниковаго періода, направлявшіеся къ периферіи и уходившіе далеко за предѣлы ледника. Фёны эти производили развѣваніе и отложеніе; однако дѣятельность ихъ была ничтожна во время наступанія и стаціонарнаго состоянія ледника, когда у окраинъ его было много влаги и растительности, но значительно увеличивалась во время отступанія ледника, когда поверхность, освободившаяся изъ подъ льда, представляла совершенную пустыню, состоявшую изъ рыхлыхъ моренныхъ накопленій и предледниковыхъ песковъ, лишенныхъ растительности, за исключеніемъ небольшихъ острововъ тундръ и торфяниковъ. По мѣрѣ отступанія ледника холодная пустыня расширялась и представляла поясъ развѣванія для

сухихъ ледниковыхъ фёновъ, которые съ одной стороны нагромождали барханные пески, а съ другой — уносили атмосферную пыль къ югу, юго-западу и юго-востоку за предѣлы пояса развѣванія, гдѣ изъ нея формировался поясъ навѣванія или отложенія лёсса. Протяженіе этого пояса было гораздо обширнѣе пояса развѣванія, потому что предѣлы его простирались или до встрѣчныхъ горныхъ кряжей: Пиренеи, Альпы, Кавказъ (см. карту. № IV и III), или до большихъ водныхъ бассейновъ: Черное и Азовское море, или же до соленосныхъ пустынь безъ фиксирующей степной растительности, напр. Прикаспійская; тогда какъ поясъ развѣванія ограничивался только площадью открытой поддонной морены. Слѣдовательно при отступаніи ледянаго покрова вообще въ Европѣ, а въ частности въ Россіи происходили процессы, вполнѣ аналогичные процессамъ Ср. Азіи, несмотря на значительныя климатическія различія этихъ странъ. Одинаковые процессы очевидно производили одинаковые результаты, выразившіеся между прочимъ въ отложеніи типичнаго лёсса, который какъ по составу, структурѣ, такъ и по характеру залеганія и условіямъ географическаго распространенія въ Европѣ совершенно одинаковъ съ азіатскимъ и отличается отъ него только меньшею мощностью. Это отличіе объясняется разною продолжительностью періодовъ напряженной эоловой дѣятельности въ Европѣ и Ср. Азіи; въ первой періодъ этотъ былъ гораздо короче, чѣмъ во второй. Въ Европѣ, какъ и въ С. Америкѣ онъ совпадалъ только съ періодомъ отступанія ледниковаго покрова; ни до него, ни во время развитія его, и наконецъ, ни послѣ исчезновенія его не было условій, благопріятныхъ для эоловой дѣятельности. Съ исчезновеніемъ ледниковаго покрова прежде всего прекратились постоянные, сухіе фёны, которые смѣнились различными другими вѣтрами, приносившими на обнаженную моренную поверхность или поясъ развѣванія влагу и способствовавшими постепенному покрытію ея растительностью, что разумѣется мало по малу ослабляло развѣваніе, а значитъ и накопленіе лёсса, пока наконецъ совершенно не прекратило эти процессы, уступившіе мѣсто другимъ, продолжающимся до настоящаго времени, давшимъ новыя отложенія, скрывающія подъ собою окаменѣлыя пустыни. Въ Азіи напротивъ эоловые агенты начали свою работу вѣроятно еще до наступанія ледниковой эпохи, не прекращали въ теченіи ея и энергично продолжаютъ ее до сихъ поръ; слѣдовательно періодъ ихъ дѣятельности въ Ср. Азіи несравненно продолжительнѣе, а значитъ и толщи лёсса должны быть гораздо болѣе мощными, чѣмъ въ Европѣ, что вполнѣ согласно съ дѣйствительностью.

Такова въ общихъ чертахъ гипотеза Тутковскаго, которая объясняетъ происхожденіе европейскаго лёсса проще и естественнѣе, чѣмъ какая либо другая изъ вышеупомянутыхъ. Если только допустить присутствіе постояннаго антициклона надъ обширнымъ ледникомъ, то все остальное представляетъ непремѣнное слѣдствіе этого антициклона, т. е. появленіе сухихъ фёновъ на периферіи ледника, ничтожность ихъ работы во время наступанія и стаціонерности ледника, энергичное проявленіе этой работы во время отступанія, образованіе моренной пустыни, какъ пояса развѣванія, откуда пыль переносилась и отлагалась въ предѣлахъ пояса навѣванія, ограниченнаго съ юга высокими горами или обширными морями.

Гипотеза эта, основанная какъ на личныхъ наблюденіяхъ автора, такъ и почти на всей обширной литературѣ вопроса, не только разъясняетъ происхожденіе лёсса, но и рѣшаетъ цѣлый рядъ другихъ весьма важныхъ вопросовъ, а именно: о связи лёсса съ ледниковыми отложеніями, о географическомъ распространеніи его, объ отсутствіи лёсса въ до-ледниковую эпоху, о согласованіи континентальнаго климата съ увеличенною влажностью при таяніи ледника и пр. Наконецъ, гипотеза эта, выясняя происхожденіе типичнаго лёсса въ обширной области нисколько не отрицаетъ возможности одновременнаго образованія, подъ вліяніемъ частныхъ и мѣстныхъ причинъ, различныхъ видоизмѣненій его, извѣстныхъ подъ именемъ лёссовидныхъ глинъ, которыя даютъ поводъ утверждать, что «лёссы произошли различными способами»; но это собственно должно относиться только къ мѣстнымъ варіаціямъ лёсса, а не къ областному развитію его, которое повсюду обусловлено исключительно дѣятельностью эоловыхъ агентовъ, съ тою только разницею, что въ нѣкоторыхъ областяхъ, какъ въ Азіи, они работаютъ давно и не прекращаютъ свою работу до настоящаго времени, тогда какъ въ другихъ: въ Европѣ и С. Америкѣ дѣятельность ихъ ограничивалась только періодомъ отступанія ледника; отсюда разница въ мощности толщъ лёсса. Въ Азіи лёссъ производятъ каменистыя и песчаныя пустыни; въ Европѣ ледяная пустыня породила моренную, а изъ послѣдней произошли, благодаря работѣ тѣхъ же эоловыхъ агентовъ, плодороднѣйшія лёссовыя степи; «изъ хаоса льдовъ и камней», говоритъ Тутковскій, «возникли цвѣтущія степи и поля, изъ леденящаго царства смерти родилась новая могучая жизнь». Итакъ, гипотеза Тутковскаго, находясь въ полномъ согласіи съ наблюдаемыми фактами, разрѣшая попутно цѣлый рядъ вопросовъ, выясняя дѣятельность эоловыхъ агентовъ при разныхъ условіяхъ, несомнѣнно заслуживаетъ полнаго вниманія и дальнѣйшей разработки.

Фульгуриты. Въ заключеніе описанія геологической дѣятельности атмосферы упомянемъ еще о вліяніи атмосфернаго электричества на породы. Вліяніе это, впрочемъ, не имѣетъ большого геологическаго значенія и объясняетъ только нѣкоторыя частныя явленія. Молнія, попадая на породы, оплавляетъ ихъ и образуетъ угловатыя неправильныя трубочки до 3-сантм. діаметромъ, называемыя фульгуритами (или громовыми стрѣлами). Абихъ [97]) наблюдалъ на одной изъ горъ Малой Азіи породу, которая была частью сплавлена съ поверхности, частью продыравлена, и онъ назвалъ ее фульгуритъ-андезитомъ; тоже наблюдалось въ плотныхъ известнякахъ Малаго Арарата. На выдающихся, отдѣльно стоящихъ вершинахъ иногда находятся небольшія, до 20—30 кв. м., площадки, оплавленныя молніей сплошь или частью. На породахъ легкоплавкихъ (напр. роговообманковыхъ) онѣ встрѣчаются чаще, нежели на тугоплавкихъ породахъ (напр. гнейсы, известняки и пр.). Соссюръ находилъ ихъ на роговообманковыхъ сланцахъ Монблана и трахитовомъ порфирѣ Пюи-де-Домъ; Гумбольдтъ [98]) и Бонпланъ нашли на вершинѣ Толюка оплавленную поверхность въ $^1/_4$ кв. м., на которой были также оплавленныя углубленія и фульгуриты. На вершинѣ Дюссиштока небольшія трубочки-фульгуриты находилъ Геймъ, который удалилъ однажды съ вершины Pizzo Central (въ группѣ С.-Готгарда) всѣ слѣды оплавленія, произведеннаго

молніею, но посѣтивъ чрезъ нѣсколько лѣтъ ту же вершину, онъ снова нашелъ многочисленные слѣды дѣйствія молніи.

Мелко-пористый гиперстеновый базальтъ горы Тильзонъ въ Орегонѣ изобилуетъ фульгуритами, причемъ въ оплавленныхъ частяхъ нѣтъ никакихъ слѣдовъ продуктовъ кристаллизаціи; степень же оплавленія соотвѣтствуетъ плавкости минераловъ: больше всего претерпѣли стекловатыя частицы и магнитный желѣзнякъ, тогда какъ гиперстенъ и полевой шпатъ измѣнились мало, а оливинъ почти совсѣмъ не измѣнился.

Въ рыхлыхъ породахъ молнія, сплавляя отдѣльныя зерна, образуетъ фульгуриты въ видѣ трубочекъ, иногда развѣтвляющихся, но большею частью коническихъ на подобіе стрѣлъ до 1 ф. и болѣе длины; внутренняя сторона ихъ покрыта молочно-бѣлою эмалью (кварцевымъ стекломъ), а внѣшняя состоитъ изъ сцементированныхъ песчинокъ. Особенно часто фульгуриты находятся въ песчаныхъ пустыняхъ, напр. въ Ливійской, въ Кызылъ-кумахъ и пр., гдѣ они состоятъ изъ сплавленныхъ кварцевыхъ зеренъ, иногда съ примѣсью желѣза и марганца [99]); такія фульгуриты, отличаясь темно-бурымъ цвѣтомъ, иногда накопляются въ большомъ количествѣ въ котловинахъ выдуванія; они содержатъ до 29% песка [100]) и достигаютъ до 2 ф. длиною. Такимъ образомъ фульгуриты встрѣчаются на самыхъ разнообразныхъ породахъ, какъ въ равнинахъ такъ и на горахъ. Интересно, что сосѣднія вершины, находящіяся повидимому совершенно въ одинаковыхъ условіяхъ, относятся различно къ вліянію молніи; причина этого до сихъ поръ не выяснена.

Сопоставляя все сказанное о геологической дѣятельности атмосферы, нельзя не признать важнаго значенія ея нетолько въ дѣлѣ преобразованія земной поверхности въ настоящую эпоху, но и въ болѣе древнія времена. Нѣкоторыя формы рельефа, какъ результатъ атмосферной денудаціи съ одной стороны, а съ другой характерныя эоловыя отложенія современной эпохи представляютъ признаки, дающіе возможность уже теперь, когда дѣятельность атмосферы только что обратила на себя вниманіе ученыхъ, опредѣлить аналогичныя явленія въ прошлые геологическіе періоды; дальнѣйшее же изученіе ихъ несомнѣнно раскроетъ еще болѣе интересныя страницы въ исторіи жизни земли.

ГЛАВА III.

Вывѣтриваніе.

Горныя породы, выступающія на дневную поверхность, рѣдко сохраняютъ свою первоначальную свѣжесть или, вообще говоря, нормальное состояніе; онѣ подвергаются разнообразнымъ измѣненіямъ, выражающимся преимущественно въ разрыхленіи ихъ и подготовленіи къ развѣванію и размыванію. Этотъ процессъ измѣненія горныхъ породъ подъ вліяніемъ механическаго и химическаго дѣйствія различныхъ атмосферныхъ агентовъ называется вывѣтриваніемъ. По своему характеру вывѣтриваніе раздѣляется на три типа: физическое, органическое и химическое, которыя такъ тѣсно сливаются между собою, что въ отдѣльности появляются только въ исключительныхъ случаяхъ. Интенсивность процессовъ вывѣтриванія находится въ тѣсной зависимости отъ атмосферной влаги, колебаній температуры и отъ растительности; а такъ какъ распредѣленіе этихъ факторовъ на земной поверхности весьма неравномѣрно и обусловливается климатомъ, то очевидно, что характеръ и сила вывѣтриванія стоитъ въ связи съ климатическими поясами. Такъ, въ сухихъ областяхъ, лишенныхъ растительности, съ большими амплитудами суточныхъ температуръ, преобладаетъ преимущественно физическое вывѣтриваніе, напр. въ Сахарѣ, Аравіи, Средней Азіи и пр. Въ холодныхъ, но влажныхъ областяхъ, напр. у насъ въ Финляндіи, на сѣверѣ Урала, на Алтаѣ и пр. вмѣстѣ съ физическимъ вывѣтриваніемъ обнаруживается вліяніе организмовъ. Въ теплыхъ и влажныхъ странахъ проявляется главнѣйше химическое и органическое вывѣтриваніе. Разнообразіе процессовъ обусловливаетъ разнообразіе формъ рельефа и продуктовъ вывѣтриванія. Въ однихъ мѣстахъ накопляется рыхлый обнаженный щебень, легко поддающійся развѣванію; въ другихъ образуются моря скалъ и мощныя розсыпи, нерѣдко маскирующіяся растительностью; въ третьихъ, накопляются мягкіе остатки отъ выщелачиванія, представляющіе плодороднѣйшую почву для различныхъ растеній. Также разнообразны и формы рельефа: то въ видѣ правильно-зубчатыхъ гребней, то въ видѣ острыхъ вершинъ, то изолированныхъ столбовъ или даже цѣлаго каменнаго лѣса, то особыхъ изъѣденныхъ поверхностей, называемыхъ каррами, то въ видѣ оригинальныхъ террассъ, нависшихъ скалъ или бальмъ, то наконецъ, въ видѣ сглаженныхъ плоско-волнистыхъ равнинъ, которыя представляютъ

такъ сказать конечную цѣль вывѣтриванія, стремящагося сгладить всѣ неровности. Словомъ вывѣтриваніе не только измѣняетъ пластику земной поверхности, но и производитъ разнообразныя отложенія, имѣющія важное теоретическое и практическое значеніе. Разсмотримъ сначала самые процессы вывѣтриванія, а затѣмъ слѣдствія ихъ.

Физическое вывѣтриваніе. Этотъ родъ вывѣтриванія обусловливается главнымъ образомъ рѣзкими перемѣнами температуры воздуха. Извѣстно, что температура наружныхъ слоевъ земли подвержена постояннымъ колебаніямъ, въ зависимости отъ лучеиспусканія теплоты солнцемъ: суточныя колебанія распространяются до глубины отъ 1 до 3 м., а годовыя— отъ 20 до 30 м. Но одно и то же количество теплоты нагрѣваетъ неодинаково различныя породы, что отражается на температурѣ воздуха, растительномъ покровѣ и продолжительности снѣгового покрова. Степень нагрѣванія наружныхъ слоевъ почвы зависитъ отъ теплоемкости породъ даннаго мѣста, цвѣта ихъ, теплопроводности и количества теплоты, превращающейся въ работу. Вообще быстрота и степень нагрѣванія почвы находится въ прямомъ отношеніи къ способности лучеиспусканія ея. Цвѣтъ породъ имѣетъ весьма большое значеніе для нагрѣванія; породы темныхъ цвѣтовъ или черныя нагрѣваются сильнѣе, нежели породы бѣлыя или вообще свѣтлыхъ цвѣтовъ, но зато и охлаждаются черныя породы быстрѣе бѣлыхъ. Гумусъ, черный вулканическій песокъ, базальтъ нагрѣваются сильнѣе, нежели бѣлый песокъ, гранитная дресва, известнякъ; плоды на первыхъ вызрѣваютъ скорѣе, чѣмъ на послѣднихъ; отсутствіе лѣтомъ снѣга на высокихъ вершинахъ Арменіи приписываютъ черному цвѣту породъ, равно какъ быстрое развитіе растительности по удаленіи снѣжнаго зимняго покрова. Этимъ же объясняется высшее залеганіе верхняго предѣла растительности на черныхъ породахъ сравнительно съ бѣлыми. Но эти отношенія измѣняются разною теплоемкостью породъ, сложеніемъ и составомъ. Теплоемкость породъ обыкновенно составляетъ отъ 0,20 до 0,25 теплоемкости воды, принимаемой за единицу; при этомъ породы черныя, но влажныя, будутъ нагрѣваться менѣе, нежели породы бѣлыя, но сухія; хотя первыя поглощаютъ бо́льшее количество теплоты, но онѣ тратятъ ее еще на работу испаренія воды; слѣдовательно влажныя породы обладаютъ низшею температурою сравнительно съ окружающимъ воздухомъ; влажная почва оазисовъ нагрѣвается и охлаждается медленнѣе, нежели сухой песокъ сосѣдней пустыни; такое же вліяніе имѣетъ и растительный покровъ. Кромѣ того сложеніе и характеръ поверхности породъ также измѣняютъ быстроту нагрѣванія; плотныя и однородныя породы съ шероховатою неровною поверхностью нагрѣваются и охлаждаются быстрѣе, нежели крупнозернистыя и неоднородныя породы съ гладкою поверхостью. Въ сланцеватыхъ породахъ нагрѣваніе по плоскостямъ сланцеватости происходитъ вдвое или даже втрое быстрѣе, нежели въ направленіи перпендикулярномъ къ ней, напр. въ гнейсахъ С.-Готарда это отношеніе равно, какъ 1 : 1,5, а въ слюдяныхъ сланцахъ, какъ 1 : 2 или 1 : 3. Наконецъ благодаря разному коэффиціенту линейнаго расширенія и удѣльной теплотѣ минераловъ и горныхъ породъ, объемъ ихъ измѣняется весьма неравномѣрно при колебаніяхъ температуры, что особенно важно для сложныхъ породъ, состоящихъ изъ различныхъ минераловъ.

Коэффиціентъ линейнаго расширенія, т. е. степень измѣненія длины бруска при повышеніи температуры на 1° Ц. по опытамъ Тоттена, Бартлета и Меляръ Рида [1]) равенъ: для кварца = 0,000014′ на одинъ футъ, ортоклаза = 0,0000086, кальцита и мрамора = 0,000006—7, песчаника = 0,000009—0,000013, глинистаго сланца = 0,000017, гранита = 0,000007—0,00001, базальта = 0,00001. По опытамъ Пфаффа брусокъ въ 10 ф. (3,138 м.) длиною при нагрѣваніи до краснаго каленія (1180°) удлиняется: изъ гранита на 2″, изъ порфира на $1^1/_3$″, изъ базальта на $1^1/_4$″.

Что касается удѣльной теплоты, то принимая удѣльную теплоту воды за 1 Либенбергъ нашелъ слѣдующія величины для различныхъ породъ:

Крупный трет. песчаникъ	0,464	Лёссовый мергель	0,400
Мелкій трет. песчаникъ	0,454	Лёссъ съ гумусомъ	0,382
Круп. диллювіальный песокъ . .	0,346	Порфировая почва	0,304
Мелкій » » . . .	0,296	Гранитовая »	0,446
Известковый песокъ	0,222	Базальтовая »	0,380
Диллювіальная глина	0,322	Раков. извест. »	0,450
Диллювіальный мергель	0,360	Луговая земля	0,161
Лёссъ	0,343	Желѣз. болотная почва	0,146

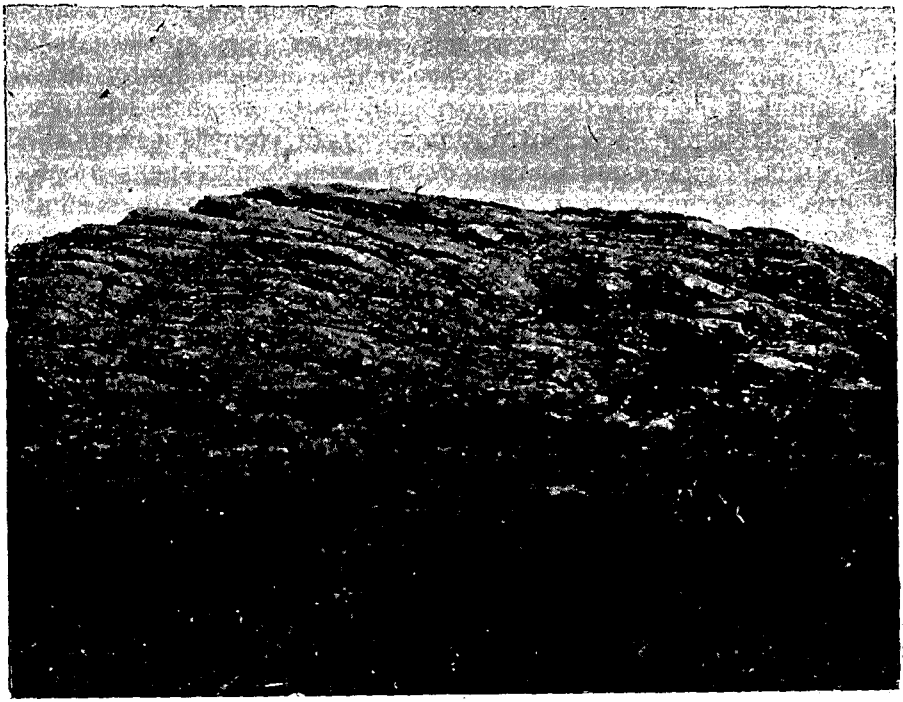
Очевидно, съ повышеніемъ температуры составныя части сложной породы увеличиваются неравномѣрно въ объемѣ и давятъ другъ на друга; съ пониженіемъ температуры происходитъ сжатіе ихъ. Такія частичныя передвиженія внутри породы, не смотря на малый коэффиціентъ расширенія камней и небольшія колебанія температуры воздуха, при частомъ и продолжительномъ повтореніи ихъ могутъ вызвать появленіе многочисленныхъ трещинъ, а, значитъ, ослабить прочность камня или даже разрушить его. По опытамъ Велера даже такой твердый и упругій матеріалъ, какъ сталь, разрушается отъ сравнительно малыхъ напряженій, если только они повторяются продолжительное время. Въ доказательство сильнаго вліянія измѣненій температуры приведемъ слѣдующій примѣръ: въ окрестностяхъ Бостона въ Массачузетѣ, на горѣ Bunker-Hill поставленъ гранитный, пустотѣлый обелискъ, вышиною 221 фут., а въ основаніи 30 фут. въ квадратѣ; въ солнечный день обелискъ этотъ обнаруживаетъ настолько ощутительныя колебанія, что отвѣсъ опущенный изъ средины вершины обелиска, описываетъ неправильный эллипсъ, наибольшій діаметръ котораго равенъ почти $^1/_2$ д. При постройкахъ желѣзныхъ мостовъ на каменныхъ устояхъ всегда оставляется нѣкоторый зазоръ въ разсчетѣ на расширеніе, а, слѣдовательно, и движеніе при рѣзкихъ колебаніяхъ температуры, какія бываютъ, напр., у насъ, особенно на сѣверѣ Россіи. Чѣмъ больше каменный монолитъ, тѣмъ замѣтнѣе на немъ вліяніе измѣненій температуры, напр., монолиты изъ гранита, мрамора и песчаника, въ 5 ф. длиною, нагрѣвающіеся лѣтомъ до 35° Ц., а зимой охлаждающіеся до—25° Ц., при вышеупомянутыхъ коэффиціентахъ расширенія ихъ, измѣняются: гранитъ на 0,75 mm., мраморъ на 1 mm. и песчаникъ на 1,5 mm.; если при этомъ образуются трещины такой же ширины, то онѣ вполнѣ свободно могутъ воспринимать атмосферную воду, которая, расширяясь при замерзаніи, еще болѣе увеличитъ ихъ.

Зная коэффиціентъ линейнаго расширенія и размѣры колебанія температуры, можно опредѣлить по формулѣ $p = 2\alpha t + \alpha^2 t^2$ (гдѣ α = коэффиціентъ расширенія, а t = температура) увеличеніе единицы площади; напр., квадратный метръ песчаника при нагрѣваніи до 70° Ц. увеличится на 1400 mm^2., а гранита—на 1280 mm^2.

Трещиноватость и разрушеніе породъ отъ колебаній температуры

возрастаетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ больше колебанія, чѣмъ неравномѣрнѣе нагрѣваніе, чѣмъ больше различія въ удѣльной теплотѣ и цвѣтѣ породъ, чѣмъ сложнѣе составъ породы. При разной удѣльной теплотѣ происходитъ неравномѣрное расширеніе и сжатіе, равно какъ при различной крупности зерна и разномъ цвѣтѣ. Цвѣтъ породы имѣетъ весьма большое значеніе и при томъ не столько качество, хотя и это имѣетъ вліяніе, сколько однородность цвѣта.

Гомохромовыя или одноцвѣтныя породы, напр. мраморы, мелкозернистые граниты, покрываясь радіальными или периферическими трещинами, распадаются на концентрическія скорлупы или получаютъ мѣст-



Фиг. 90.—Гранитъ, расщепленный вывѣтриваніемъ въ горахъ Караганда къ югу отъ оз. Тенизъ въ Атбасарскомъ уѣздѣ.

ную сланцеватость (фиг. 90) и образуютъ кучи остроугольныхъ обломковъ; такой характеръ разрушенія породъ отъ вывѣтриванія называется десквамаціею (Desquamation).

Полихромовыя или пестроцвѣтныя породы, состоящія изъ недѣлимыхъ разнаго цвѣта и удѣльной теплоты, напр., крупнозернистый гранитъ и порфиръ, распадаются на отдѣльныя составныя части и образуютъ крупный песокъ или дресву (Grus), въ которомъ минералы, слагающіе гранитъ, являются совершенно изолированными; это потому, что минералы подъ вліяніемъ теплоты измѣняются различно вслѣдствіе разнаго цвѣта и теплопроводности.

Исключительное вліяніе инсоляціи особенно рѣзко проявляется въ пустыняхъ, гдѣ сухость воздуха, отсутствіе растительности и большія ко-

лебанія температуры способствуютъ сильнѣйшему дѣйствію ея; такъ, на известковомъ плато къ востоку отъ Нила, наблюдалось обильное образованіе осколковъ, отдѣлявшихся съ трескомъ отъ охлаждавшихся породъ, сильно передъ этимъ нагрѣтыхъ солнцемъ. Ливингстонъ у оз. Ніассы слышалъ по ночамъ особый звукъ, происходившій отъ расщепленія базальтовыхъ породъ, нагрѣтыхъ днемъ [3]). Въ Бразиліи, въ Атакамѣ, Чили и Сахарѣ наблюдались суточныя колебанія температуры до 50° и даже 60° (зимой отъ — 12° до + 37° Ц., лѣтомъ отъ 5° до 55° Ц.), причемъ породы нагрѣваются до 63° и расщепляются на такіе остроугольные обломки, что даже животныя не могутъ ходить по нимъ. Различныя породы въ пустыняхъ: известняки, песчаники, порфиры, гнейсы и пр. всегда покрыты многочисленными трещинами, раздѣляющими ихъ на слои или скорлупы различной толщины: отъ бумажнаго листа до 10 см. (фиг. 90). Въ Персіи, Туркестанѣ, особенно въ Бухарѣ, Гиссарѣ, Ферганѣ и пр. горныя породы, разбиваясь многочисленными трещинами, распадаются на остроугольные осколки разной величины, образующія осыпи. Такія осыпи достигаютъ громадныхъ размѣровъ въ области сланцевыхъ и песчаниковыхъ крутыхъ склоновъ Алайскаго хребта; при чемъ температура породъ доходитъ среди дня до 60° Ц. Въ пустыняхъ остроугольные обломки скоро округляются вслѣдствіе дѣйствія вѣтра.

Расширеніе трещинъ въ нѣкоторыхъ породахъ, напр., въ пустыняхъ Египта, увеличивается вслѣдствіе выкристаллизовыванія солей. Гигроскопическія соли, (напр. хлористый натрій), находящіяся въ породахъ, ночью притягиваютъ изъ воздуха влажность, хотя бы самое ничтожное количество. Соляной растворъ проникаетъ капилярными ходами внутрь породы и когда солнце ее нагрѣетъ, растворъ испаряется, а соль, выкристаллизовываясь, увеличивается въ объемѣ и расширяетъ трещины, подобно замерзающей водѣ. Въ этихъ случаяхъ часто происходятъ пустоты внутри породы, поверхность которой почти свѣжая, такъ что результаты вывѣтриванія какъ бы замаскированы. Этимъ путемъ при пособіи солей, которыя оказываютъ еще и химическое вліяніе, нѣкоторыя породы очень быстро разрушаются, напр. гробницы изъ известняка въ Египтѣ разваливаются черезъ 30 — 40 лѣтъ.

Зная такое вліяніе температуры на разрушеніе пордъ, надо быть особенно осторожнымъ въ употребленіи породъ, какъ строительнаго матеріала, добываемаго съ болѣе или менѣе значительной глубины. Извѣстно, что даже въ нашемъ климатѣ уже на глубинѣ 10—15 м. годовыя колебанія температуры вдвое и втрое меньше, чѣмъ на поверхности, а на глубинѣ 20—30 м. породы почти не испытываютъ колебаній температуры, такъ какъ находятся вблизи или въ слоѣ постоянной температуры, что доказывается непосредственными наблюденіями Браннера надъ гнейсами Бразиліи [3а]); тамъ при суточномъ колебаніи температуры въ 100° Ф. гнейсовыя пластинки въ 300 ф. расширялись на 1,854 дюйма у поверхности, на глубинѣ же 3, 6, 9, 12 и 16 фут. это расширеніе выражалось въ 0,17—0,18—0,126—0,09 и 0,072 д. Вслѣдствіе такихъ термическихъ условій породы эти, будучи извлечены на поверхность и, слѣдовательно, поставлены въ совершенно другія условія температуры и давленія, разрушаются иногда особенно быстро; это наблюдалось, напр., при проведеніи

тоннелей, желѣзнодорожныхъ выемокъ не только въ мергеляхъ, но даже въ мелафирахъ.

Особенно сильное разрушеніе происходитъ тогда, когда въ трещины попадаетъ вода, періодически замерзающая; это явленіе извѣстно подъ именемъ дѣйствія мороза; оно имѣетъ мѣсто преимущественно въ умѣренныхъ и холодныхъ странахъ.

Степень поврежденія камня отъ замерзающей воды зависитъ отъ пористости, трещиноватости, эластичности его и сопротивленія на разрывъ. Но съ другой стороны опытъ показываетъ, что породы съ большими пустотами менѣе повреждаются морозомъ, вѣроятно, потому, что въ широкихъ сообщающихся пустотахъ или порахъ образующійся ледъ имѣетъ возможность свободно расширяться, вслѣдствіе чего производитъ меньшее давленіе на стѣнки поръ, чѣмъ въ узкихъ и замкнутыхъ порахъ.

Мягкіе и вязкіе камни сопротивляются морозу лучше, чѣмъ твердые и хрупкіе. Наибольшее всасываніе влаги трещинами и порами происходитъ при осажденіи росы на поверхности камня, напр., при оттепели послѣ продолжительныхъ морозовъ; роса осаждается на болѣе охлаждающихся частяхъ камня, т. е. на выдающихся, имѣющихъ темный цвѣтъ и крупнозернистое строеніе; поэтому темные, крупнозернистые, шероховатые камни болѣе боятся морозовъ, нежели свѣтлые, мелкозернистые и полированные. Вслѣдствіе дѣйствія мороза происходитъ движеніе рыхлыхъ массъ по склонамъ или такъ наз. земляные ледники Керра, разрушеніе скалъ въ полярныхъ странахъ, разрушеніе скалистыхъ береговъ моря и ложа ледниковъ [4]).

Разрушеніе камня при замерзаніи воды въ его трещинахъ или порахъ можетъ произойти только въ такомъ случаѣ, если сопротивленіе камня на разрывъ менѣе расширительной силы льда, которая равна давленію въ 60 пуд. на 1 кв. дюймъ (работа, которую производитъ 1 граммъ замерзающей воды, равна 35 килогр.-метрамъ). Очевидно, что чѣмъ сильнѣе камень насыщается водой, тѣмъ менѣе сопротивляется дѣйствію мороза, поэтому, при механическомъ испытаніи обыкновенно обращаютъ вниманіе на то, въ какой мѣрѣ ослабѣваетъ сопротивленіе камня раздавливанію въ насыщенномъ водою состояніи.

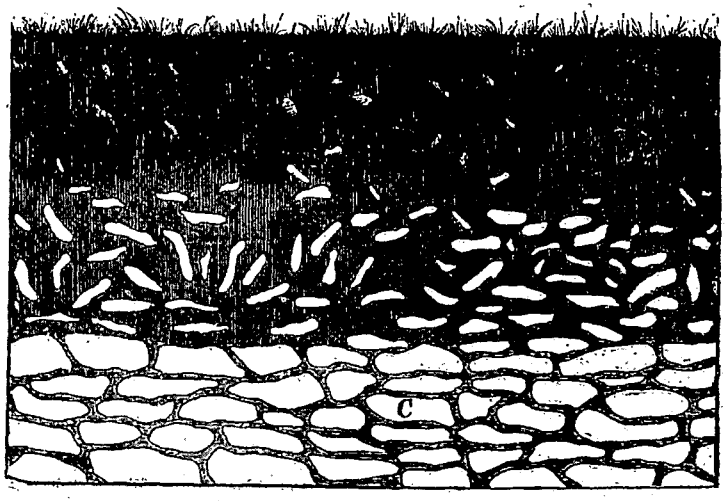
Примѣры механическаго разрушенія камней въ постройкахъ многочисленны; ихъ можно наблюдать и у насъ въ Петербургѣ на различныхъ сооруженіяхъ, особенно построенныхъ изъ финляндскаго крупнозернистаго гранита, напр., въ Александровской колоннѣ, гдѣ уже черезъ 30 лѣтъ послѣ сооруженія ея обнаружилась масса волосныхъ трещинъ, идущихъ по всѣмъ направленіямъ, безъ замѣтнаго химическаго разложенія полевыхъ шпатовъ. Образованіе этихъ трещинъ обязано неравномѣрному расширенію крупнозернистой и отличающейся плохой теплопроводностью породы при рѣзкихъ и быстрыхъ измѣненіяхъ температуры. Въ нѣкоторыхъ трещинахъ замѣтно постепенное расширеніе и углубленіе, объясняемое замерзаніемъ проникающей въ нихъ воды. Весьма вѣроятно, что процессъ разрушенія Александровской колонны шелъ бы еще быстрѣе, еслибы не предприняли искусственныхъ мѣръ для задержанія его, прикрывъ трещины особымъ составомъ изъ одной части портландскаго цемента, 2 ч. песку и сурика. Подобное же разрушеніе наблюдается на

гранитныхъ набережныхъ и пр. Въ Нью-Іоркѣ, благодаря болѣе рѣзкимъ колебаніямъ температуры и влажности, механическое разрушеніе идетъ еще интенсивнѣе; не только обелиски изъ крупнозернистаго гранита, напр., въ Центральномъ паркѣ Нью-Іорка, но даже сфинксы изъ сіенита, которые въ Петербургѣ сохраняются хорошо, тамъ замѣтно разрушаются.

Органическое вывѣтриваніе. Оно обусловливается вліяніемъ растеній и животныхъ на горныя породы. Растенія способствуютъ вывѣтриванію породъ съ одной стороны химически — своими органическими кислотами, выдѣляющимися изъ корней, и углекислотой, образующейся при гніеніи растеній, а съ другой—механически, такъ какъ корни, проникая въ трещины породъ и увеличиваясь въ объемѣ, представляютъ непреодолимую разрушительную силу.

На поверхности породъ, особенно содержащихъ кальцій и щелочи, прежде всего развиваются микроскопическіе лишаи: Lirrariae, Variolariae, Verrucaria, Parmelia, Collema и др.; они покрываютъ породу на подобіе пыли и придаютъ ей разнообразную окраску: бурую, красную, желтую и пр. Лишаи поселяются на самыхъ крѣпкихъ и голыхъ скалахъ; Cladonia на твердыхъ песчаникахъ образуетъ цѣлые покровы; на сланцахъ, кварцитахъ, даже на отполированныхъ кварцевыхъ валунахъ и на оконномъ стеклѣ могутъ жить до 47 видовъ. Sarcogyne privigna проникаетъ въ самый твердый гранитъ, а Stereocaulon vesuvianum появляется уже черезъ 5—6 лѣтъ послѣ изверженія на лавовыхъ потокахъ итальянскихъ вулкановъ; Lecidea caerulea, Sarcogyne pruinosa, Amphoridium Hochstetteri, Aspicilia flavida, Ionaspis Prevostii и др. проникаютъ въ плотные известняки. Эта покрышка измѣняетъ колебанія температуры, но вмѣстѣ съ тѣмъ обусловливаетъ бо́льшую конденсацію водяныхъ паровъ и бо́льшее развитіе углекислоты, что ведетъ за собою увеличеніе эффекта разрушенія породы; напр., часто наблюдаютъ, что гладкія поверхности известняка съ развитіемъ лишаевъ становятся неровными, трещиноватыми, рыхлыми, а въ углубленіяхъ образуется землистый или порошковатый известнякъ. Изъ отжившихъ лишаевъ образуется нѣкоторый слой почвы, на которомъ развиваются сначала мхи, а затѣмъ травы, обладающія бо́льшимъ разрушительнымъ дѣйствіемъ, нежели лишаи; онѣ разбиваютъ породы на куски, а разлагаясь, даютъ: сѣроводородъ, гумусовую и угольную кислоты, которыя еще энергичнѣе разрушаютъ породы. Въ концѣ концовъ, при достаточной теплотѣ и влагѣ, травы, измѣняя породы, образуютъ настолько значительный слой почвы, что на немъ могутъ развиваться кустарники и даже большія деревья. При нѣкоторыхъ климатическихъ условіяхъ, напр., у насъ въ средней полосѣ Россіи, степныя травы, перегнивая, окрашиваютъ гумусомъ верхній слой почвы и такимъ образомъ превращаютъ его въ плодородный черноземъ, что происходитъ не только на глинахъ, лёссѣ, но иногда даже на известнякахъ, напр. въ Симбирской губ. (фиг. 91), гдѣ на мѣстѣ выщелачивающихся частей образуется глинистый остатокъ, окрашенный гумусомъ. Съ появленіемъ деревьевъ разрушеніе идетъ еще сильнѣе: они даютъ большую тѣнь и, слѣдовательно, дольше задерживаютъ влагу на поверхности породъ; доставляемый ими днемъ кислородъ, а ночью углекислота быстро соединяются съ водою и проникаютъ въ массу породы; при гніеніи они образуютъ больше гумуса; сло-

вомъ, они доставляютъ много элементовъ, дѣйствующихъ разрушительно. Но, кромѣ того, корни ихъ, проникая по трещинамъ на значительную глубину, механически раздробляютъ породы. Часто наблюдается, что корни горной сосны въ теченіе немногихъ десятилѣтій массивную породу раздробляютъ на отдѣльныя глыбы. Сланцеватыя породы расщепляются по направленію сланцеватости, а массивныя раздѣляются на куски неправильной формы. По словамъ Гейма, въ Цюрихѣ корни ясеня подняли большой камень и прижали его къ сосѣдней скалѣ съ такою силою, что онъ раздробился. Въ горахъ нерѣдко приходится наблюдать, что длинные и крѣпкіе корни проникаютъ глубоко по трещинамъ породъ и принимаютъ часто сплюснутый, пластинчатый видъ оттого, что стѣнки трещины препятствуютъ ихъ равномѣрному росту. Въ альпійской флорѣ въ этомъ



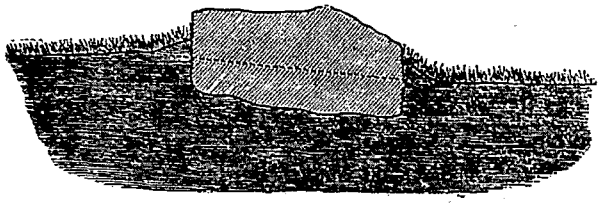
Фиг. 91.—Развѣзъ Симбирскаго мѣла, переходящаго въ черноземъ.

отношеніи видную роль играютъ: Drias octopetala, Silene acaulis, нѣкоторые виды Saxifraga, альпійская роза, сосна и др. Нерѣдко, подъ вліяніемъ растительности, породы получаютъ съ поверхности губчатое строеніе, напр., пѣнистые известняки близъ Іены. Водяныя растенія, напр. прѣсноводныя водоросли и морскія Laminaria также разрыхляютъ породы.

Не менѣе важное значеніе имѣютъ микроскопическіе организмы; различнаго рода бактеріи находятся массами въ верхнихъ слояхъ почвы, до $2^1/_2$ милліоновъ въ одномъ куб. сант.; на глубинѣ же 2 м. количество это уменьшается до 23.000; въ глинистой почвѣ на глубинѣ 2 м. находится 445.000 бактерій, а въ песчаной только 70.000 въ 1 куб. сант. [5]). Очевидно, при такомъ громадномъ развитіи этихъ мелкихъ существъ, вліяніе ихъ на разрушеніе породы должно быть весьма велико, хотя еще мало изучено. Въ Альпахъ, Пиренеяхъ, Вогезахъ, Оверни и пр. не только поверхность скалъ, но даже мельчайшія поры въ нихъ покрыты микроскопическими нитрифицирующими организмами, напр. Фаульгорнъ буквально изъѣденъ ими. Они извлекаютъ изъ воздуха азотъ и углеродъ, а выдѣляютъ CO_2, H_2S и NH_3; одни изъ нихъ окисляютъ аміакъ въ азотную кислоту,

другія выдѣляютъ сѣру. Кромѣ того попутно, при неполномъ окисленіи органическихъ веществъ, получаются разныя кислоты: ключевая, апокреновая, гуминовая и др., которыя способствуютъ растворенію и разложенію породъ, даютъ двойныя соли (азогумусовыя), способны къ реакціямъ двойнаго обмѣна и пр. Словомъ бактеріи обусловливаютъ сложные процессы, значительно содѣйствующіе вывѣтриванію породъ [6]).

Болѣе крупные организмы тоже измѣняютъ породы: камнеточцы просверливаютъ ихъ, баланусы, приростая, разрыхляютъ ихъ, но особенно интересно вліяніе дождевыхъ червей, которые производятъ удивительныя измѣненія породъ; они измельчаютъ ихъ, перепускаютъ черезъ свои желудки и выбрасываютъ окрашенными гумусомъ, такъ что превращаютъ въ такой же превосходный черноземъ, какъ и растенія, образующій иногда цѣлые слои значительнаго протяженія; мощность его зависитъ отъ количества дождевыхъ червей. Въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ Англіи, около Ниццы и пр., по наблюденіямъ Дарвина [7]), черви накопляютъ въ теченіи года по 12 унцій чернозема на площади въ 1 кв. футъ или отъ 14 до 18 тоннъ на акръ. Вынося такое значительное количество измельченной и переработанной земли на поверхность, они способствуютъ нивеллированію ея и такъ сказать закапыванію не только мелкихъ, но и крупныхъ предметовъ, какъ напр., большихъ камней и даже древнихъ построекъ, замѣняя ихъ плодородною почвою. Дарвинъ описываетъ друидическій камень Стонгенжа (фиг. 92), погрузившійся уже на 8 дюймовъ ниже поверхности наростающаго на камень и покрытаго дерномъ края почвы. Но особенно интересно погруженіе развалинъ римскаго городка Сильчестеръ въ Гемпширѣ, гдѣ изъ многочисленныхъ раскопокъ выяснилось, что слой почвы, образованной дождевыми червями, достигаетъ до 10 и даже 20 дюймовъ толщины, прикрывая древнія сооруженія изъ черепицъ, штукатурки и бетона, какъ видно на слѣдующемъ разрѣзѣ (фиг. 93), сдѣланномъ черезъ центръ базилики въ Сильчестерѣ. Производители работъ указываютъ, что во всѣхъ помѣщеніяхъ полъ значительно опустился, особенно около средины и что невозможно было найти такой стѣны, въ которую не проникли бы дождевые черви. Неравномѣрное осѣданіе стѣнъ вслѣдствіе подтачиванія червями, объясняетъ появленіе большихъ трещинъ и наклоненіе древнихъ построекъ.

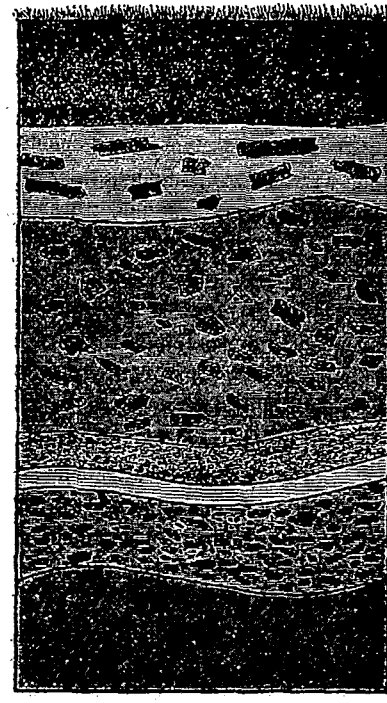


Фиг. 92.—Разрѣзъ черезъ друидическій камень Стонгенжа, погрузившійся въ почву.

Что касается значенія высшихъ животныхъ, напр. млекопитающихъ, то работа ихъ уже выходитъ изъ предѣловъ вывѣтриванія и будетъ разсмотрѣна при изложеніи вообще дѣятельности организмовъ.

Химическое вывѣтриваніе. Химическое вліяніе воды и воздуха имѣетъ первенствующее значеніе при вывѣтриваніи породъ. Вода прежде всего дѣйствуетъ на породы непосредственно прямымъ растворе-ніемъ. При общемъ обзорѣ уже было указано, что только немногіе минералы

сопротивляются растворяющей силѣ воды, а особенно содержащей углекислоту. Нѣкоторые минералы и породы настолько быстро и легко растворяются въ водѣ, что нахожденіе ихъ въ природѣ было бы немыслимо безъ особенныхъ условій, защищающихъ ихъ отъ вліянія ея, напр., желѣзный и мѣдный купоросы, квасцы, каменная соль и пр.; они были бы выщелочены изъ мѣсторожденій, еслибы не были защищены постоянными спутниками — водонепроницаемыми глинами, составляющими необходимое условіе для существованія мѣсторожденій, напр., каменной соли.



Фиг. 93.—Разрѣзъ черезъ центръ базилики въ Сильчестерѣ. a—почвенный слой въ 9 д. толщиною; b—Слабоокрашенная земля съ большими кусками черепицы 7 д. толщ.; c—темный мелкій щебень съ мелкими кусками черепицы, 20 д. толщ.; d — бетонъ 4 д. толщ.; e — штукатурка, 2 д. толщ.; f — слой съ оболомками черепицы 8 д. толщ.; g — мелковернистый слой съ обломками болѣе древнихъ построекъ.

Для примѣра степени растворимости приведемъ нѣкоторыя породы, легко поддающіяся вліянію воды и имѣющія широкое распространеніе въ земной корѣ. На первомъ мѣстѣ въ этомъ отношеніи стоитъ каменная соль, растворимость которой въ 100 ч. воды опредѣляется въ 36 ч. при обыкновенной температурѣ (15° Ц.), а при 100° Ц. доходитъ до 40 ч.; при тѣхъ же условіяхъ растворяется: хлористаго магнія 56 ч., хлористаго стронція — 50 ч., хлористаго калія—32 ч., хлористаго кальція—ок. 67 ч.

Сѣрнокислыя соединенія, за исключеніемъ нѣкоторыхъ купоросовъ, напр., желѣзнаго, мѣднаго и др., растворимость которыхъ неуступаетъ хлористому натрію, вообще гораздо устойчивѣе, напр., самые распространенные въ природѣ: гипсъ и ангидритъ; первый изъ нихъ растворяется въ количествѣ 27 ч., а второй—21 ч., но уже въ 10.000 ч. воды; тогда какъ тяжелый шпатъ и целестинъ только 0,5—1,5 ч.

Углекислыя соединенія, между которыми известняки имѣютъ весьма важное значеніе въ строеніи земной коры, хотя менѣе растворимы, чѣмъ гипсъ, но всетаки легко поддаются вліянію воды. Въ слѣдующей табличкѣ указана степень растворимости различныхъ углекислыхъ соединеній въ 10.000 ч. воды при обыкновенномъ давленіи и температурѣ:

$CaCO_3$	10	$BaCO_3$	17
$MgCO_3$	13	$SrCO_3$	12
$FeCO_3$	7,2	$CaCO_3 + MgCO_3$ (доломитъ)	3,4
$MnCO_3$	5	$FeCO_3 + MgCO_3$ (мезитинъ)	0,75.

Всѣ другія породы хотя поддаются растворяющей силѣ воды, но въ гораздо меньшей степени, да и для приведенныхъ соединеній сила рас-

творенія значительно колеблется въ зависимости отъ разнообразія условій, напр., морская вода, обремененная солями, оказываетъ въ нѣсколько разъ меньшее растворяющее вліяніе, чѣмъ прѣсная, какъ видно изъ слѣдующей таблички проф. Тулэ [8]), выражающей потерю вещества изъ массы въ одинъ куб. дециметръ въ теченіе дня отъ растворенія:

	Пемза.	Рак. изв.	Корал. изв.	Глобигер. изв.
въ морской водѣ . .	0,000105	0,000039	0,000201	0,000137
въ прѣсной водѣ . .	0,000832	0,001843	0,003014	0,003091.

Вслѣдствіе только растворенія, на поверхности известняковъ, гипсовъ и пр. появляются различныя углубленія и выступы, которые тѣмъ больше, чѣмъ менѣе однороденъ составъ породъ; нѣкоторыя оригинальныя формы рельефа, которыя будутъ разсмотрѣны ниже, обязаны исключительно растворенію. Въ теченіи продолжительныхъ періодовъ выщелачиваются цѣлыя толщи породъ, что обусловливаетъ постепенное пониженіе уровня поверхности значительныхъ участковъ. Напр., допустимъ, что на гипсовую гору въ 33 м. высотою ежегодно выпадаетъ одинъ метръ осадковъ, при чемъ вода совершенно насыщается гипсомъ; при такихъ условіяхъ высота горы будетъ ежегодно уменьшаться на 1,1 мм., а слѣдовательно черезъ 30.000 лѣтъ она совершенно исчезнетъ. Золенгофенскій известнякъ понижается на 1 м. въ теченіе 72.000 лѣтъ, а известнякъ долины Ниттани въ 30.000 лѣтъ; въ известнякахъ Карста образуются воронки до 30 м. глубиною и до 1 килм. въ діаметрѣ.

Вода, проникающая внутрь земной коры, растворяетъ еще энергичнѣе, такъ какъ находится при высшемъ давленіи и температурѣ; отсюда понятно образованіе большихъ пустотъ, разрастающихся въ огромныя пещеры, о которыхъ тоже рѣчь будетъ впереди.

Кромѣ прямого растворенія, вода производитъ болѣе сложныя и разнообразныя химическія измѣненія минераловъ и горныхъ породъ при помощи растворовъ и взаимодѣйствія ихъ, что называютъ собственно сложнымъ вывѣтриваніемъ, въ противуположность простому вывѣтриванію, заключающемуся въ непосредственномъ вліяніи воды и воздуха [9]). Однако, сложные процессы химическаго вывѣтриванія можно выразить только нѣсколькими схематическими положеніями [10]).

1) Измѣненіе породъ черезъ поглощеніе или прибавленіе составныхъ частей, если порода А беретъ изъ раствора тѣло В и образуетъ съ нимъ сложное соединеніе, напр., ангидритъ, поглощая воду переходитъ въ гипсъ, тоже углекислый кальцій, принимая углекислый магній переходитъ въ доломитъ или просто въ магнезіальный известнякъ

$$CaSO_4 + 2aq;\ CaCO_3 + MgCO_3.$$

2) Измѣненіе чрезъ потерю составныхъ частей. Порода АВ отдаетъ В, напр., магнезіальный известнякъ, лишаясь части извести, переходитъ въ доломитъ:

$$nCaCO_3 + MgCO_3 - (n - 1)\,CaCO_3 = CaCO_3 + MgCO_3.$$

3) Измѣненіе чрезъ обмѣнъ составныхъ частей. Растворъ съ А, встрѣчающійся съ растворомъ В, отдаетъ А и принимаетъ В, напр.: извест-

някъ, принимая магнезію и выдѣляя известь превращатся въ доломитъ; оливинъ, поглощая воду и выдѣляя магнезію, переходитъ въ змѣевикъ и проч.

$$2CaCO_3 + MgO - CaO = CaCO_3 + MgCO_3.$$

$$2(MgO)_2 SiO_2 \text{ или } Mg_4 SiO_4 - MgO + 2H_2O =$$
$$= (MgO)_3 (SiO_2)_2 2H_2O \text{ или } H_4 Mg_3 Si_2 O_9.$$

4) Измѣненіе чрезъ сложный обмѣнъ составныхъ частей. Если на минералъ или породу AB дѣйствуетъ растворъ CD такъ, что D соединяется съ A и переходитъ въ растворъ, а BC образуетъ трудно растворимое соединеніе и выдѣляется изъ раствора; послѣ того соединеніе BC можетъ встрѣтить растворъ EF и дать новое соединеніе FC, въ которомъ уже совсѣмъ нѣтъ первоначальныхъ составныхъ частей породы AB; напр., при превращеніи силикатовъ въ карбонаты, силикатъ кальція при дѣйствіи углекислаго калія переходитъ въ углекислый кальцій, который при дѣйствіи на свинцовый купоросъ даетъ углекислый свинецъ и сѣрнокислый кальцій. Такимъ путемъ при разложеніи полевыхъ шпатовъ, силикаты щелочей превращаясь въ углесоли—выщелачиваются, а силикатъ глинозема или глина остается окончательнымъ продуктомъ вывѣтриванія.

$$CaSiO_3 + K_2CO_3 = CaCO_3 + K_2SiO_3$$
$$CaCO_3 + PbSO_4 = CaSO_3 + PbCO_3.$$

Первый случай, т. е. измѣненіе чрезъ прибавленіе новыхъ составныхъ частей, наблюдается очень часто въ природѣ; напр., многія породы при вывѣтриваніи поглощаютъ воду, которая соединяется или механически, или химически, съ ними напр., при разложеніи базальта и т. п. породъ. Но гораздо важнѣе, когда ангидриты переходятъ въ гидраты, благодаря поглощенію воды; такъ, ангидритъ ($CaSO_4$), принимая воду, превращается въ гипсъ ($CaSO_4 + 2aq$), или желѣзный блескъ (Fe_2O_3) превращается въ бурый желѣзнякъ ($2Fe_2O_3 + 3aq$). Оба эти примѣра имѣютъ громадное геологическое значеніе; нерѣдко цѣлыя свиты пластовъ измѣняются такимъ образомъ. Превращеніе ангидрита происходитъ особенно быстро; онъ теряетъ свой синевато-сѣрый цвѣтъ, становится хрупкимъ, матовымъ и при этомъ значительно увеличивается въ объемѣ: 1 об. ангидрита = 1,63 об. гипса, удѣльный вѣсъ ангидрита = 2,985 уменьшается у гипса до 2,325; въ Бексѣ въ кантонѣ Валлиса штольни и штреки часто становятся непроходимыми отъ такого увеличенія объема; въ отвалахъ чрезъ 8 дней ангидритъ превращается въ гипсъ. Нерѣдко цѣлые штоки ангидрита въ пермской, тріасовой и третичной формаціяхъ, превращаясь въ гипсъ подъ вліяніемъ атмосферной воды и увеличиваясь въ объемѣ, бываютъ причиною того, что сверху-лежащіе и сосѣдніе пласты претерпѣваютъ значительную дислокацію, являются разнообразно поднятыми, изогнутыми, складчатыми и даже опрокинутыми. Прекрасный примѣръ этого рода представляютъ гипсовыя горы Акъ-чеку, содержащія залежи каменной соли у дер. Самгаръ, Ходжентскаго уѣзда, въ Туркестанѣ. Иногда такое измѣненіе объема обусловливаетъ появленіе довольно значительныхъ неровностей на поверхности, какъ это доказалъ проф. Головкинскій для Волжско-Камскаго бассейна, гдѣ большіе увалы, простирающіеся NO, произошли отъ подобной причины (см. т. I, гл. VI). То же повторяется и на желѣзномъ блескѣ, который, принимая воду, превращается въ бурый желѣзнякъ, напр., на островѣ Эльбѣ, гдѣ такое превращеніе совершилось на значительную глубину въ теченіе немногихъ столѣтій. Иногда вмѣстѣ съ водою воспринимается углекислота, и тогда возможно происхожденіе желѣзнаго шпата; однако это довольно рѣдкое явленіе наблюдается только въ отложеніяхъ минеральныхъ источниковъ. То же можно сказать про пиролюзитъ и браунитъ и пр.

Соединенія закиси могутъ, поглощая кислородъ, переходить въ окиси: напр., желѣзный шпатъ превращается въ бурый желѣзнякъ, магнитный желѣзнякъ—въ красный. При этомъ происходитъ уменьшеніе объема почти на $^1/_3$ противъ первоначальнаго, и потому залежи бураго желѣзняка, происшедшія изъ шпатоватаго,

отличаются пористостью, большими пустотами и пр., напр., въ Каринтіи, у Иберга на Гарцѣ, въ системѣ Бакальскихъ рудниковъ на Уралѣ и проч. Этими процессами легко объясняется измѣненіе темно-зеленаго или почти чернаго цвѣта кристаллическихъ породъ въ красный или бурый. Въ рѣдкихъ случаяхъ известняки, воспринимая магнезію, превращаются въ магнезіальные или доломиты. Кварцъ, поглощая воду, превращается въ аморфный кремнеземъ опаловиднаго свойства. Подобное превращеніе совершается въ кремняхъ и агатахъ; они становятся непрозрачными, бѣловатыми, землистыми и мягкими. По Фриделю, въ данномъ случаѣ происходитъ не одно гидратизпрованіе, но также одновременно раствореніе водою, содержащею углекислый кальцій, который выдѣляется. Растворенный кремнеземъ (гидрозоль) легко выпадаетъ въ видѣ студня (гидрогель), который, теряя воду, затвердѣваетъ и часто образуетъ крѣпкій цементъ, напр., въ кварцевыхъ песчаникахъ.

Измѣненіе черезъ потерю составныхъ частей для тѣхъ же соединеній является рѣдко въ природѣ, напр., переходъ гипса въ ангидритъ. Черезъ потерю углекислаго кальція магнезіальный известнякъ постепенно переходитъ въ доломитъ, причемъ порода, уменьшаясь въ объемѣ, становится пористою, пещеристою. Поры иногда заполняются кристаллическими новообразованіями; а часто порода разсыпается и образуетъ доломитовый пепелъ. Такимъ способомъ въ доломитъ превращаются цѣлыя свиты пластовъ известняка, содержавшихъ только небольшую примѣсь магнезіи. Известняковые мульды каменноугольной системы въ пограничной полосѣ между Бельгіею и Германіею въ окрестностяхъ Аахена, а также известняки, содержащіе залежи галмея въ Альтенбергѣ, превращены въ доломитъ такимъ же способомъ. Верхняя, широкая часть мульды состоитъ изъ глины, проникнутой окисью желѣза; она представляетъ нерастворимый остатокъ прежде бывшаго известняка, который весь унесенъ. Подъ глиною лежитъ доломитъ, а подъ нимъ еще первоначальный, неизмѣненный известнякъ, содержащій небольшое количество углекислаго магнія. Аналитическія изслѣдованія Лазо доказали, что въ известнякѣ находится только 4% $MgCO_3$, тогда какъ въ верхнемъ доломитѣ — 38,89% $MgCO_3$ и 52,64% $CaCO_3$, а между ними всевозможные переходы. Образовавшіяся отъ уменьшенія объема, вслѣдствіе выщелачиванія углекислаго кальція, пустоты заполнились цинковыми рудами, а мѣстами бурымъ желѣзнякомъ. Вѣроятно также произошли и наши галмейныя мѣсторожденія у г. Олькуша, въ Царствѣ Польскомъ

Измѣненіе минераловъ и породъ вслѣдствіе простого или сложнаго обмѣна принадлежитъ къ самымъ распространеннымъ и геологически важнымъ процессамъ. Наиболѣе простой примѣръ — это превращеніе известняка въ доломитъ, совершающееся въ большомъ масштабѣ. Вода, содержащая въ растворѣ карбонатъ магнія, дѣйствуетъ на известнякъ, причемъ часть его переходитъ въ растворъ, а болѣе трудно растворимый карбонатъ магнія осаждается и съ оставшимся известнякомъ образуетъ двойную соль-доломитъ; такой процессъ доказывается частымъ нахожденіемъ псевдоморфозъ доломитоваго шпата по известковому; при этомъ также происходитъ уменьшеніе объема на $^1/_{12}$ часть противъ первоначальнаго.

Итакъ, мы имѣемъ три способа образованія доломита, при посредствѣ химическихъ измѣненій известняка. Иногда затруднительно рѣшить, какимъ способомъ произошелъ тотъ или другой доломитъ. Но, во всякомъ случаѣ, если имѣются перемежающіеся пласты известняка и доломита безъ пористости и прочихъ признаковъ химическаго измѣненія, тогда вѣроятнѣе предположить, что такіе пласты прямо отложились изъ воды.

Подобно доломиту, процессомъ обмѣннаго разложенія можетъ произойти цинковый шпатъ. Вода, содержащая углекислоту и въ растворѣ карбонатъ цинка, дѣйствуетъ на известнякъ или доломитъ, переводитъ ихъ въ растворъ, а на мѣсто ихъ выдѣляетъ карбонатъ цинка; это доказывается псевдоморфозами цинковаго шпата по известковому. У Изерлона характерныя раковины Stringocephalus часто окружены цинковымъ шпатомъ. Иногда цинковый шпатъ заполняетъ трещины, пустоты, напр. у Гладбаха и Паффрата въ Рейнскихъ провинціяхъ, окруженныя глиной, которая есть не что иное, какъ нерастворимый остатокъ отъ известняка. Тоже представляютъ цинковыя залежи испанской провинціи Сантандеръ, гдѣ, впрочемъ, отъ послѣдующихъ измѣненій происходятъ силикатъ и сульфатъ цинка.

Сѣрнистые металлы превращаются въ сѣрнокислые, а послѣдніе, какъ легко растворимые, уносятся водой и даютъ новыя образованія: напр., при дѣйствіи на известнякъ можетъ получиться гипсъ; при дѣйствіи на глиноземные силикаты могутъ образоваться сѣрнокисло-глиноземныя соединенія, которыя, съ металлами, даютъ разнообразные квасцы; составъ ихъ можно выразить общею формулою: R или $R_2SO_4 + Al_2S_3O_{12} + 24H_2O$, гдѣ R, или R_2 можетъ быть K_2, Na_2, $(NH_3)_2$, Mg, Mn, Fe — напр., мендоцитъ, или натровые квасцы, каліевые квасцы, чирмигитъ или аміачные квасцы, пиккерингитъ или магнезіальные кв., апіонитъ или марганцевые кв. и галотрихитъ или желѣзистые квасцы. Этимъ же процессомъ можно объяснить

много второстепенныхъ реакцій, напр. превращеніе цинковой обманки, мѣднаго колчедана въ сѣрнокислыя соединенія, а затѣмъ въ углекислыя и кремнекислыя, пирита—въ бурый желѣзнякъ, и пр.

Но для геологіи особенное значеніе имѣетъ измѣненіе силикатовъ, какъ самыхъ распространенныхъ минераловъ, входящихъ въ составъ горныхъ породъ.

Силикаты, какъ извѣстно представляютъ соли различныхъ кремневыхъ кислотъ. Кромѣ нормальнаго гидрата кремнезема H_4SiO_4 или $Si(OH)_4$ (ортокремневая кислота) существуетъ (т. е. даютъ соли) различные ангидрогидраты: метакислота H_2SiO_3 ($=H_4SiO_4-H_2O$); ортодикислота $H_6Si_2O_7$ ($=2H_4SiO_4-H_2O$); метадикислота $H_2Si_2O_5$ ($=2H_2SiO_3-H_2O$) и поликислоты, напр. трикислота $H_4Si_3O_8$ ($=3H_4SiO_4-4H_2O$). Такъ оливинъ $(Mg,Fe)_2SiO_4$ представляетъ среднюю желѣзисто-магнезіальную соль ортокислоты; авгиты и роговыя обманки (не содержащія глинозема) типа $(Mg\,Fe)SiO_3$ — соли метакислоты и т. д. Также обычны въ природѣ алюмосиликаты, гдѣ съ кремнеземомъ находится глиноземъ, напр. полевые шпаты, гранаты, слюды, нефелинъ, лейцитъ, цеолиты и проч. Разсмотримъ измѣненіе нѣкоторыхъ изъ нихъ, имѣющихъ важное петрографическое значеніе.

Оливинъ $(Mg,Fe)_2SiO_4$ принадлежитъ къ минераламъ, играющимъ большую роль во всѣхъ основныхъ вулканическихъ породахъ, каковы: базальты, мелафиры, пикриты, габбро. Магнезія въ немъ преобладаетъ, но силикатъ желѣза также находится въ томъ или другомъ количествѣ. Прежде всего силикатъ закиси желѣза превращается въ окись и даетъ магнитный желѣзнякъ, желѣзный блескъ, изъ котораго получается бурый желѣзнякъ, часть магнезіи переводится въ карбонатъ и уносится, а вода поглощается и изъ оливина получается змѣевикъ $H_4Mg_3Si_2O_9$. Различныя степени разложенія оливина можно прослѣдить самымъ точнымъ образомъ на микроскопическихъ препаратахъ. Такъ какъ разложеніе идетъ снаружи, то вначалѣ ему подвергаются наружные края оливина, который при этомъ утрачиваетъ свой обычный сѣровато-зеленый цвѣтъ, полную прозрачность, принимаетъ грязно-зеленый оттѣнокъ, распространяющійся по трещинамъ; затѣмъ становится красноватожелтымъ отъ окисловъ желѣза; буроватое вещество представляетъ змѣевикъ. Часто цѣлыя толщи оливиновыхъ породъ такимъ путемъ переходятъ въ змѣевикъ, который мѣстами содержитъ иногда еще прозрачныя, неизмѣненныя зернышки оливина, напр: на Уралѣ въ Тагилѣ, въ Златоустовскомъ округѣ на Miacѣ, и пр. (см. т. I, фиг. 49 на стр. 127).

Авгитъ — $(Mg,Fe)\,CaSi_2O_6$, или глиноземъ. авгитъ $(Fe,Mg)\,Al_2Si_2O_6$ также составляетъ распространенную составную часть горныхъ породъ. Начало измѣненія авгита заключается въ поглощеніи воды, причемъ онъ принимаетъ волокнистое, асбестовидное сложеніе и часто переходитъ въ особую разновидность роговой обманки, называемую уралитомъ, причемъ известь и желѣзо удаляются. Известковые авгиты при дѣйствіи воды теряютъ известь, которая, въ видѣ углекислой, уносится, а остающійся силикатъ магнезіи даетъ змѣевикъ. Глиноземистые авгиты превращаются въ силикаты глинозема и магнезіи, окрашенные въ бурый цвѣтъ солями окиси желѣза, которыя получились изъ силиката закиси желѣза. Это доказываютъ частыя нахожденія псевдоморфозъ жировика и хлорита по авгиту. Образованіе въ базальтахъ болюса, назыв. terra sigillata въ Стригау въ Силезіи, принадлежитъ къ тому же процессу. Очень частый продуктъ измѣненія авгита представляетъ такъ называемая зеленая земля, имѣющая большое агрономическое значеніе; составъ ея непостояненъ, но въ сущности она представляетъ водный желѣзистый силикатъ глинозема и щелочей. При продолжительномъ выщелачиваніи въ авгитовыхъ породахъ, напр. въ діабазахъ, карбонатъ извести настолько увеличивается, что происходятъ псевдоморфозы замѣщенія авгита известковымъ шпатомъ; жилы авгитовыхъ породъ въ нѣкоторыхъ древнихъ кристаллическихъ сланцахъ превратились въ известнякъ или даже въ доломитъ.

Не менѣе часто продуктомъ разложенія авгита является зеленоватое, чешуйчатое, хлоритоподобное вещество, назыв. виридитъ, по составу очень непостоянное; оно представляетъ водный силикатъ глинозема, закиси и окиси желѣза и магнія; то одно, то другое изъ этихъ веществъ преобладаетъ. Подобный же продуктъ разложенія представляетъ делесситъ, часто появляющійся въ пустотахъ мелафира, базальта вмѣстѣ съ кварцемъ, известковымъ шпатомъ и гейландитомъ, такъ напр. въ мелафирахъ р. Караганды, въ горахъ Кетмень-тау въ Кульджѣ. Конечнымъ продуктомъ измѣненія авгитовыхъ породъ являются кремнистые или известковистые бурые желѣзняки. Иногда изъ авгита, преимущественно богатаго желѣзомъ и глиноземомъ, получается эпидотъ.

Роговая обманка—претерпѣваетъ въ общемъ подобные же процессы измѣненія, какъ и авгитъ. Роговыя обманки также раздѣляются на содержащія $(Fe\,Mg)_2Al,Fe)_4SiO_{12}$ и несодержащія глиноземъ $Ca(Fe\,Mg)_3Si_4O_{12}$. Поглощеніемъ воды обусловливается образованіе асбеста, горной кожи и пр. Если одновременно известь замѣщается магнезіею, то образуется талькъ, т. е. водный силикатъ магнезіи; также

происходятъ глиноземъ содержащіе силикаты магнезіи стеатитъ, сапонитъ и т. д. изъ глиноземистыхъ роговыхъ обманокъ. Хлоритъ, магнитный желѣзнякъ, переходящій въ бурый желѣзнякъ, часто являются продуктами измѣненія базальтическихъ роговыхъ обманокъ въ базальтахъ; переходъ роговой обманки въ біотитъ, напр. въ олонецкихъ діоритахъ, г. Иностранцевъ выражаетъ слѣдующею формулою [11]).

$$2\begin{bmatrix}(MgO)^5\\(CaO)^2\ (Al_2O_3)\ (SiO_2)^8\\(FeO)^2\end{bmatrix} + 2\,KHCO_3 + mCO_2 + O + nH_2O =$$

роговая обманка

$$= \begin{bmatrix}(MgO)^7 & (Al_2O_3)^2\\(FeO) & (Fe_2O_3)\ (SiO_2)^9\\(K_2O)\end{bmatrix} + 3\,MgCO_3 + 4\,Ca_2CO_3 + FeCO_3 + 9\,SiO_2 +$$

біотитъ

$$+ (m - 8)\,CO_2 + (n + 1)\,H_2O.$$

Такимъ образомъ при вывѣтриваніи роговой обманки получается не только біотитъ, но также углекислыя соли кальція, магнія и желѣза, накопленія которыхъ часто наблюдаются въ трещинахъ рогово-обманковыхъ породъ. Въ желѣзистыхъ разновидностяхъ получается магнитный желѣзнякъ. Иногда роговыя обманки переходятъ въ хлоритъ, что по Иностранцеву выражается слѣдующею формулою:

$$\begin{bmatrix}(MgO)^5\\(CaO)^2\ (Al_2O_3)\ (SiO_2)^9\\(FeO)^2\end{bmatrix} + mCO_2 + nH_2O = \begin{bmatrix}(H_2O)^4\\(MgO)^5\end{bmatrix}(Al_2O_3)\ (SiO)_2)^3\ ] +$$

роговая обманка хлоритъ

$$+ 2CaCO_3 + 2\,FeCO_3 + 6SiO_2 + (m - 4)\,CO_2 + (n - 4)\,H_2O.$$

Кромѣ того изъ роговой же обманки получаются повидимому талькъ и актинолитъ.

Слюда—особенно магнезіальная, $(KH_2)\,(Mg\ Fe)_2\,(Al\ Fe)_2\,Si_3\,O_{12}$ богатая желѣзомъ, легко измѣняется, выдѣляя окись желѣза или магнитный желѣзнякъ; послѣдній образуетъ нерѣдко псевдоморфозы по слюдѣ. Такимъ же путемъ происходитъ рубеланъ. Слюдяные сланцы превращаются въ желѣзнослюдковые съ залежами магнитнаго и бураго желѣзняка; этимъ объясняется нахожденіе многихъ мѣсторожденій желѣзныхъ рудъ на Уралѣ среди метаморфическихъ сланцевъ, напр. въ Златоустовскомъ округѣ. Кромѣ того, изъ слюды могутъ произойти: известковый шпатъ, кварцъ, жировикъ, змѣевикъ, подобнымъ же образомъ, какъ и изъ предыдущихъ минераловъ. Свѣтлая каліевая слюда гораздо устойчивѣе желѣзистой магнезіальной.

Группа полевыхъ шпатовъ. Изученіе измѣненій полевыхъ шпатовъ представляетъ наибольшую важность для геологіи, потому что минералы эти образуютъ главную составную часть почти всѣхъ сложныхъ кристаллическихъ породъ.

Полевые шпаты по ихъ химическому составу могутъ быть раздѣлены на простые и смѣшанные. Къ первымъ принадлежатъ три вида: 1) каліевый полевой шпатъ (ортоклазъ и микроклинъ—$K_2Al_2Si_6O_{16}$ или $K_2O + Al_2O_3 + 6\,SiO_2$); 2) натровый полевой шпатъ (альбитъ — $Na_2Al_2Si_6O_{16}$ или $Na_2O + Al_2O_3 + 6SiO_2$) и 3) известковый полевой шпатъ (анортитъ — $CaAl_2Si_2O_8$ или $CaO + Al_2O_3 + 2\,SiO_2$). Къ смѣшаннымъ относятся два типа: одинъ, содержащій кали и натръ, напр., санидинъ, составляющій по составу среднее между ортоклазомъ и альбитомъ; къ другому типу принадлежатъ плагіоклазы содержащіе известь и натръ; они занимаютъ средину между альбитомъ и анортитомъ и имѣютъ особенно большое геологическое значеніе. По составу въ нихъ находится m альбита + n анортита, причемъ величины m и n непостоянны: $m \gtrless n$, и потому они приближаются то къ альбиту, то къ анориту, т. е. можетъ быть, напр., Ab + 6An или 6Ab + An и всѣ промежуточныя степени между этими крайними членами.

Натровый полевой шпатъ содержитъ 69% SiO_2, каліевый — 65%, тогда какъ известковый имѣетъ болѣе основной характеръ и содержитъ только 43% SiO_2. Глинозема въ натровомъ—19%, въ каліевомъ—18% и въ известковомъ—37%. Щелочей въ первомъ—12% Na_2O, во второмъ—17% K_2O, и въ третьемъ—20% CaO. Въ смѣшанныхъ полевыхъ шпатахъ содержаніе SiO_2 различно; если смѣсь приближается къ альбиту, напр. олигоклазъ, то 62—65% SiO_2, если же къ анортиту, напр. лабрадоръ, то 50—56% SiO_2. Такая варіація въ составѣ полевыхъ шпатовъ имѣетъ большое значеніе при измѣненіи ихъ отъ вывѣтриванія.

Всѣ полевые шпаты, богатые щелочами: напр. ортоклазъ и олигоклазъ, при выв'ѣтриваніи даютъ водные силикаты глинозема, т. е. каолинъ, или фарфоровую глину, и ей подобныя соединенія. Измѣненія состоятъ въ томъ, что вода, содержащая углекислоту, растворяетъ силикатъ щелочей, причемъ образуются карбонаты щелочей и выдѣляется кремнеземъ. Первые легко растворяются и уносятся; второй уносится только отчасти, а большая часть остается на мѣстѣ и служитъ матеріаломъ для образованія сростковъ опала, халцедона, роговика. Силикатъ глинозема, поглощая два атома воды, образуетъ каолинъ, въ которомъ часто и находятся скопленія выдѣлившагося кремнезема.

$$\begin{array}{l} \text{Ортоклазъ} = Al_2O_3 + K_2O + 6SiO_2 \\ \text{выдѣляется} \ . \ . \ . \ . \ K_2O + 4SiO_2, \text{прибавляется} \ 2H_2O \\ \hline \text{Каолинъ} = Al_2O_3 \qquad + 2SiO_2 \qquad + 2H_2O. \end{array}$$

Нормальный составъ каолина = 46% SiO_2, 40% Al_2O_3 и 14% H_2O. Въ присутствіи извести вмѣстѣ съ каолиномъ получается углекислый кальцій. Главное условіе для происхожденія каолина—это присутствіе силикатовъ щелочей и возможность образованія изъ нихъ карбонатовъ. Гдѣ этого условія нѣтъ, тамъ каолинъ не происходитъ; такъ, при измѣненіи известковыхъ полевыхъ шпатовъ или бѣдныхъ щелочами, какъ анортитъ и лабрадоръ, каолина не получается; выдѣляется карбонатъ кальція, а кремнеземъ и глиноземъ съ продуктами разложенія минераловъ, находящихся съ полевымъ шпатомъ, преимущественно авгита и роговой обманки, образуютъ новыя соединенія; напр. анортитъ, поглощая воду и фтористыя соединенія превращается въ танкитъ. Измѣненіе полевыхъ шпатовъ начинается съ поверхности кристалловъ, причемъ они теряютъ свой блескъ, становятся матовыми, тѣлесный цвѣтъ ихъ переходитъ въ бѣлый, образуется кора, утолщающаяся по мѣрѣ разложенія, при содержаніи желѣза дѣлающаяся кирпичнокрасною, спайность исчезаетъ, твердость уменьшается; въ присутствіи силикатовъ кальція получающіеся карбонаты его обнаруживаются сильнымъ вскипаніемъ при дѣйствіи кислоты.

Изъ другихъ водныхъ силикатовъ глинозема при измѣненіи полевыхъ шпатовъ происходятъ: пинитоидъ, соссюритъ, иногда змѣевикъ, но чаще хлоритъ, мусковитъ и особенно эпидотъ, который требуетъ принесенія извнѣ углекислаго кальція и углекислой закиси желѣза, поэтому вѣроятно присутствіе авгита и роговой обманки благопріятно для образованія эпидота — $H_2Ca_4(AlFe)_6Si_6O_{26}$, съ которымъ часто находится совмѣстно каолинъ — $H_4Al_2Si_2O_9$, какъ продуктъ выв'ѣтриванія напр. олигоклаза $(Ca, Na_2)_2Al_4Si_9O_{26}$.

Эпидотъ и каолинъ дѣйствительно часто встрѣчаются вмѣстѣ, какъ продукты выв'ѣтриванія полевыхъ шпатовъ. Нѣкоторые эпидозиты, состоящіе изъ зернистыхъ или шестоватыхъ аггрегатовъ эпидота, произошли *исключительно отъ измѣненія* полевошпатовыхъ породъ, напр., эпидотовыя жилы въ Нассау, Моголъ-тау у Ходжента, эпидозиты Олонецкой г., Заалайскаго хребта и пр. Мусковитъ происходитъ также изъ полевого шпата.

Цеолиты представляютъ водные алюмосиликаты, съ основаніями изъ K_2O, Na_2O, CaO и рѣже BaO; напр., натролитъ ($Na_2Al_2Si_3O_{10} + 2H_2O$), апальцимъ ($Na_2Al_2Si_4O_{12} + 2H_2O$), десминъ ($Ca, Na_2$) $Al_2Si_6O_{16} + 6H_2O$), шабазитъ ($CaAl_2Si_6O_{16} + 8H_2O$), гармотомъ $BaAl_2Si_6O_{16} + 6H_2O$; всѣ они легко разлагаются соляной кислотой съ выдѣленіемъ студенистаго кремнезема и способны обмѣниваться основаніями съ притекающими къ нимъ растворами солей. Они всегда находятся въ почвахъ въ видѣ тончайшихъ частицъ, представляющихъ продуктъ выв'ѣтриванія и называются цеолитными веществами почвъ; они происходятъ изъ фельдшпатидовъ и полевыхъ шпатовъ. Цеолиты соединяютъ въ себѣ свойства относительной прочности и вмѣстѣ съ тѣмъ подвижности. Обмѣнивая, воспринимая и закрѣпляя въ себѣ основанія изъ растворовъ, цеолитныя вещества разнообразятъ и пополняютъ химическій составъ почвы.

Гранаты $R_3(Al_2, Fe_2, Cr_2)Si_3O_{12}$, гдѣ R = Ca, Mg, Fe, Mn; при выв'ѣтриваніи ихъ получаются продукты, сходные съ змѣевикомъ, хлоритомъ, а также бурый и красный желѣзнякъ и углекислый кальцій.

Глауконитъ — зеленый алюмосиликатъ, заключающій въ себѣ воду, закись и окись желѣза, кали (до 2%), известь и магнезію. При выв'ѣтриваніи: кали, часть желѣза и известь выносятся и окончательнымъ продуктомъ получается желѣзистая глина.

Разсмотрѣнные нами минералы имѣютъ наибольшее геологическое значеніе, а потому и характеръ измѣненія ихъ отъ выв'ѣтриванія представляетъ для насъ наибольшій интересъ. Всѣ другіе минералы имѣютъ только мѣстное, ограниченное значеніе.

Не останавливаясь на подробностяхъ превращеній и измѣненій, перечислимъ вкратцѣ главнѣйшія и наиболѣе часто встрѣчающіяся въ природѣ реакціи [12]).

1) Углекислыя щелочи разлагаютъ силикатъ кальція, образуютъ карбонатъ его и кремнекислыя щелочи. Силикатъ магнія не поддается этому вліянію и потому часто, поглощая воду, составляетъ конечный продуктъ процесса вывѣтриванія.

2) Углекислыя щелочи разлагаютъ фтористый кальцій, причемъ получаются легко растворимыя фтористыя щелочи и карбонатъ кальція, что подтверждается псевдоморфозами известковаго шпата по плавику.

3) Кремнекислыя щелочи разлагаютъ бикарбонатъ магнія; при чемъ происходитъ кремнекислый магній и углекислыя щелочи; это бываетъ, напр., при образованіи серпентина и хлорита изъ полевого шпата.

4) Кремнекислыя щелочи разлагаютъ углекислую закись желѣза, причемъ происходитъ кремнекислая закись желѣза, а углекислыя щелочи переходятъ въ растворъ. На этомъ основано происхожденіе зеленой земли и хлорофеиту подобныхъ силикатовъ въ зеленокаменныхъ породахъ.

5) Если растворъ кремнекислаго натра встрѣчаетъ бикарбонатъ кальція, то образуются углекислый натръ и кальцій, а свободный кремнеземъ выдѣляется, — отсюда ясно образованіе псевдоморфозъ кварца или роговика по известковому шпату.

6) Кремнекислый глиноземъ разлагается сѣрнокислымъ или хлористымъ магніемъ и даетъ сѣрнокислый глиноземъ или хлористый алюминій. Этимъ путемъ объясняется измѣненіе полевыхъ шпатовъ, авгитовъ, роговыхъ обманокъ и пр. въ змѣевикъ, жировикъ, талькъ и пр. Легко растворимый сѣрнокислый или хлористый глиноземъ уносится, а силикатъ магнія остается.

7) Гидратъ окиси желѣза дѣйствуетъ разлагающе на кремнекислый глиноземъ. Воды, содержащія углекислую закись желѣза, встрѣчая минералы съ силикатомъ глинозема, отдаютъ имъ часть воды и переводятъ соль закиси въ окись, которая, дѣйствуя на силикатъ глинозема, выдѣляетъ часть кремнезема и образуетъ силикатъ окиси желѣза. При этомъ образуются двойные силикаты окиси желѣза и глинозема, т. е. делесситъ, стриговитъ и т. п. матеріалы.

8) Сѣрнокислыя щелочи и щелочныя земли гніющими органическими веществами превращаются въ сѣрнистыя соединенія, т. е., напр., гипсъ болотными водами превращается въ сѣрнистый кальцій. Эти соединенія въ свою очередь разлагаются углекислою закисью желѣза, также какъ гидратомъ окиси желѣза, и даютъ пиритъ.

9) Бикарбонатъ кальція, выдѣляющійся при разложеніи известковыхъ полевыхъ шпатовъ, при встрѣчѣ съ сѣрнистыми соединеніями металловъ: свинца, желѣза, мѣди, цинка, образуетъ гипсъ и карбонатъ металловъ. Такъ происходятъ: малахитъ, мѣдная лазурь, бѣлая свинцовая руда, цинковый шпатъ и пр., являющіеся какъ продуктъ измѣненія мѣднаго колчедана, цинковой обманки, свинцоваго блеска и пр.

10) Кремнекислыя соединенія тѣхъ же металловъ, при дѣйствіи сѣроводорода, снова переходятъ въ сѣрнистыя, а кремнеземъ выдѣляется. Этотъ процессъ имѣетъ большое значеніе при образованіи рудныхъ жилъ.

Всѣ эти сами по себѣ простыя реакціи часто обусловливаютъ весьма сложные и запутанные процессы, которые невсегда возможно выяснить съ надлежащею точностью даже для сравнительно простыхъ горныхъ породъ. Сложность ихъ зависитъ отъ разнообразія тѣхъ условій, которыя вообще измѣняютъ характеръ, силу и продукты вывѣтриванія однѣхъ и тѣхъ же породъ, но въ разныхъ мѣсторожденіяхъ, и заключаются главнымъ образомъ въ непостоянствѣ или варіаціи состава и сложенія породъ, въ формѣ залеганія, взаимномъ отношеніи сосѣднихъ породъ и наконецъ въ характерѣ растительности и климатическихъ особенностяхъ даннаго мѣста [13]).

A. Прежде всего процессъ вывѣтриванія при другихъ одинаковыхъ условіяхъ зависитъ отъ состава, т. е. отъ ассоціаціи минераловъ, слагающихъ породу.

1) Породы полевошпатовыя вывѣтриваются скорѣе, чѣмъ не содержащія полевыхъ шпатовъ, за исключеніемъ легко растворимыхъ простыхъ породъ, каковы: известнякъ, гипсъ и пр.

a—Между полевошпатовыми породами легче вывѣтриваются тѣ, которыя содержатъ полевые шпаты бѣдные кремнеземомъ. Содержаніе извести вліяетъ въ обратномъ отношеніи. Въ силу этого олигоклазъ содержащіе граниты, гнейсы, сіениты и порфиры вывѣтриваются быстрѣе, нежели содержащіе только ортоклазъ, лабрадоровыя породы—быстрѣе олигоклазовыхъ.

b—Породы съ полевымъ шпатомъ, кварцемъ и слюдою вывѣтриваются быстрѣе, чѣмъ тѣ же породы, но безъ слюды, такъ какъ послѣднія лучше сопротивляются быстрымъ перемѣнамъ температуры. Изъ слюдистыхъ породъ вывѣтриваются легче тѣ, которыя содержатъ черную магнезіальную слюду, нежели содержащія бѣлую каліевую слюду.

c—Породы съ лабрадоромъ или анортитомъ и известковою роговою обманкою вывѣтриваются быстрѣе, чѣмъ породы съ олигоклазомъ и магнезіальною роговою обманкою, бѣдною известью.

d—Породы съ известковистымъ авгитомъ вывѣтриваются быстрѣе породъ съ известковистою роговою обманкою, діаллогономъ или гиперстеномъ. Отсюда ясно, что между плагіоклазовыми или такъ называемыми зеленокаменными породами лучше всего сопротивляются вывѣтриванію діоритъ, затѣмъ гиперстенитъ, габбро, діабазъ и хуже всѣхъ—долеритъ.

2) Между породами, не содержащими полевого шпата, скорѣе всѣхъ вывѣтриваются породы слюдистыя, а между ними скорѣе тѣ, которыя содержатъ біотитъ, а не мусковитъ. За слюдистыми по быстротѣ вывѣтриванія слѣдуютъ хлоритовыя, затѣмъ тальковыя, а лучше всего сопротивляются змѣевики.

B. Сложеніе породъ также вліяетъ на ходъ вывѣтриванія, при одинаковыхъ другихъ условіяхъ.

1. Зернистое сложеніе способствуетъ быстротѣ вывѣтриванія, и тѣмъ больше, чѣмъ крупнозернистѣе, потому что оно помогаетъ проникновенію воды, образованію трещинъ и развитію лишаевъ.

2. Сланцеватое сложеніе, напротивъ, замедляетъ вывѣтриваніе, и тѣмъ больше, чѣмъ плоскости сланцеватости ровнѣе, глаже и прямѣе.

3. Порфировое и миндалекаменное сложеніе дѣйствуетъ различно: то ускоряетъ больше, чѣмъ зернистое, то замедляетъ вывѣтриваніе, смотря по сложенію основной массы и величинѣ порфировидно выдѣляющихся кристалловъ.

a—Порфиры съ мелкозернистою основною массою вывѣтриваются легче плотныхъ порфировъ.

b—Порфиры съ мелкими выступающими кристаллами вывѣтриваются труднѣе порфировъ съ крупными выступающими кристаллами.

c—То же можно сказать про миндалекаменныя породы.

4—Плотное сложеніе больше всѣхъ другихъ родовъ сложенія замедляетъ вывѣтриваніе.

C. Условія залеганія породъ, характеръ отдѣльности породъ и сосѣдство ихъ съ другими оказываютъ вліяніе на ходъ вывѣтриванія.

1. Чѣмъ трещины отдѣльности въ породѣ менѣе развиты, тѣмъ труднѣе она вывѣтривается.

2. Система взаимноперпендикулярныхъ трещинъ способствуетъ вывѣтриванію и обусловливаетъ разрушеніе породъ изнутри къ краямъ, благодаря чему нерѣдко порода съ поверхности является совершенно свѣжею, тогда какъ внутри разложившеюся и превратившеюся въ землистую массу.

3. Сосѣдство тѣхъ или другихъ породъ оказываетъ большое вліяніе на вывѣтриваніе, потому что отъ этого зависитъ образованіе тѣхъ или другихъ растворовъ, вліяющихъ разрушительно на породы и такимъ образомъ способствующихъ разложенію даже весьма устойчивыхъ образованій. Напр., кристаллическія породы: мелафиръ и гиперстенитъ, залегающія въ Тюрингенскомъ Лѣсу жилами въ углистыхъ сланцахъ, вывѣтриваются весьма быстро, вѣроятно, вслѣдствіе обильнаго выдѣленія углекислоты изъ сланцевъ.

Породы, выдѣляющія сѣрнокислыя соединенія, дѣйствуютъ весьма сильно на породы, содержащія силикатъ калія; этимъ объясняется происхожденіе гипса и квасцовъ въ породахъ, содержащихъ олигоклазъ или лабрадоръ. Также породы, выдѣляющія углекислыя щелочи при соприкосновеніи съ породами, содержащими известь, превращаютъ роговую обманку въ слюду и выдѣляютъ углекислый кальцій.

D. Кромѣ всѣхъ этихъ, такъ сказать, внутреннихъ условій, на процессъ вывѣтриванія дѣйствуютъ еще внѣшнія условія климата и растительности. Въ пустыняхъ, гдѣ очень мало или совсѣмъ не выпадаетъ дождя, породы почти не подвергаются химическому вывѣтриванію или только въ слабой степени на сѣверныхъ склонахъ горъ, защищенныхъ отъ прямого вліянія солнца; на южныхъ же склонахъ выпадающая влага быстро испаряется. Вслѣдствіе этого разные склоны однихъ и тѣхъ же горъ вывѣтриваются неодинаково и получаютъ различный характеръ, какъ напр. на границахъ пустыни Гоби, гдѣ на сѣверныхъ склонахъ горъ, покрытыхъ растительностью, наблюдается химическое вывѣтриваніе, а на южныхъ только развѣваніе; тоже замѣчается на многихъ хребтахъ системы Тянь-шаня и въ Сахарѣ [14]). Въ странахъ съ обильными осадками, какъ напр. въ Маранхао (Бразиліи), съ годовымъ количествомъ около 7.110 мм. осадковъ, на южномъ склонѣ Гималаевъ, гдѣ мѣстами количество осад-

ковъ достигаетъ до 14.200 мм. (см. выше стр. 55 и карту № II) и др., химическое вывѣтриваніе получаетъ наибольшее развитіе, особенно при богатой растительности, которая задерживаетъ и сохраняетъ влагу. Однако, обиліе влаги только тогда вызываетъ интенсивное химическое вывѣтриваніе, когда сопровождается высокою температурою; а потому въ странахъ холодныхъ, хотя бы и влажныхъ, оно проявляется сравнительно слабо, напр. въ С. Уралѣ, Финляндіи, гдѣ напротивъ преобладаетъ физическое вывѣтриваніе.

Продукты вывѣтриванія. Элювіальныя образованія.

Хотя вывѣтриваніе горныхъ породъ отличается большимъ разнообразіемъ въ зависимости отъ всѣхъ вышеприведенныхъ условій, но въ большинствѣ случаевъ въ немъ можно различить покрайней мѣрѣ три періода; изъ нихъ первый, т. е. начало вывѣтриванія характеризуется появленіемъ мельчайшихъ трещинъ и тончайшей пленки, измѣняющей цвѣтъ породы съ поверхности; второй періодъ состоитъ въ расширеніи трещинъ до зіяющихъ разсѣлинъ, въ появленіи низшихъ формъ растеній и въ химическомъ измѣненіи хотя бы только отдѣльныхъ составныхъ частей породы; наконецъ третій характеризуется полнымъ измѣненіемъ и разрушеніемъ породы, что, въ зависимости отъ условій, можетъ происходить двоякимъ образомъ. Въ одномъ случаѣ порода сначала распадается на отдѣльные куски, образующіе крупный или мелкій щебень, называемый дресвой (Grus); при этомъ въ зависимости отъ свойства породы дресва состоитъ или изъ обломковъ самой породы или же изъ отдѣльныхъ минераловъ, слагающихъ породу. Дресва претерпѣваетъ дальнѣйшія химическія измѣненія или же образуетъ неразлагающійся песокъ, что зависитъ отъ состава и климатическихъ условій. Въ другомъ случаѣ порода не образуетъ дресвы, а вывѣтривается постепенно, путемъ химическаго измѣненія, отъ поверхности внутрь. Само собой разумѣется, что равномѣрность этого измѣненія находится въ зависимости отъ степени однородности состава и сложенія породы.

Въ томъ и другомъ случаѣ при окончательномъ разрушеніи породы получаются разнообразные продукты, которые можно раздѣлить на двѣ категоріи. Одни изъ нихъ легко растворимые въ водѣ, напр., соли щелочей, щелочныхъ земель и пр., уносятся или выщелачиваются водой, а потому называются продуктами выщелачиванія; другіе же болѣе устойчивые, нерастворимые въ водѣ, какъ напр., глина, бурый желѣзнякъ и пр. остаются на мѣстѣ первоначальнаго залеганія породы и называются остатками отъ выщелачиванія или конечными продуктами вывѣтриванія. Первые продукты, уносясь водой, встрѣчаютъ различныя породы и производятъ въ нихъ сложные гидрохимическіе процессы на различной глубинѣ; вторые же, оставаясь на мѣстѣ, образуютъ такъ называемую кору вывѣтриванія (Verwitterungsrinde), верхняя часть которой, измѣненная растительностью и болѣе или менѣе окрашенная гумусомъ, называется почвою (Ackerboden). Иногда почва, какъ обрабатываемый культурный слой, такъ тѣсно сливается съ корою вывѣтриванія, что различить ихъ невозможно.

Продукты выщелачиванія получаются гораздо разнообразнѣе при вывѣтриваніи сложныхъ породъ, нежели простыхъ, но разнообразіе коры вывѣтриванія зависитъ гораздо больше отъ климата и растительности, нежели отъ состава породъ. Въ справедливости этого убѣждаютъ насъ непосредственныя наблюденія надъ вывѣтриваніемъ различныхъ породъ въ разныхъ климатическихъ поясахъ. Разсмотримъ результаты вывѣтриванія нѣкоторыхъ наиболѣе распространенныхъ породъ.

Гранитъ вывѣтривается тѣмъ легче, чѣмъ онъ крупнозернистѣе и чѣмъ больше содержитъ олигоклаза и біотита. Вывѣтриваніе его начинается обыкновенно въ мѣстахъ соприкосновенія слюды съ полевымъ шпатомъ, потому что эти два минерала рѣзко различаются своимъ отношеніемъ къ теплотѣ; тогда какъ кварцъ и полевой шпатъ измѣняются почти одинаково при перемѣнахъ температуры. Этимъ объясняется то обстоятельство, что въ гранитной дресвѣ отдѣльные кусочки состоятъ изъ сросшихся зеренъ кварца и полевого шпата, а листочки біотита всегда лежатъ изолированно; при этомъ полевой шпатъ обнаруживаетъ слѣды каолинизаціи, что наблюдается даже повидимому въ совершенно свѣжихъ гранитахъ; кромѣ того, нерѣдко въ немъ появляются зерна эпидота, листочки мусковита, а слюда выдѣляетъ окись желѣза. Смотря по относительному количеству составныхъ частей, гранитъ вывѣтривается съ образованіемъ дресвы или безъ нея, а именно: 1) гранитъ преимущественно ортоклазовый и съ небольшимъ количествомъ каліевой слюды вывѣтривается постепенно по всей массѣ и не распадается въ дресву; 2) гранитъ же, состоящій изъ равнаго количества ортоклаза, олигоклаза и слюды съ кварцемъ обыкновенно передъ разложеніемъ образуетъ дресву; 3) наконецъ гранитъ съ олигоклазомъ и большимъ количествомъ біотита при началѣ вывѣтриванія распадается на отдѣльныя скорлупы, т. е. подвергается десквамаціи (см. выше фиг. 90). Продукты выщелачиванія также получаются различные въ зависимости отъ состава, какъ видно изъ слѣдующей таблички, въ которой на лѣвой сторонѣ приведены продукты выщелачиванія изъ мусковито-ортоклазоваго гранита, а на правой—продукты выщелачиванія изъ олигоклазо-біотитоваго гранита.

Пр. выщ. ортокл.-муск. гранита.		Пр. выщ. олиг.-біот. гранита.	
20—25% кали 1— 4% натра 1— 2% окиси кальція	Связанные съ угольною или кремневою кислотою.	8—10% натра 5— 6% кали 4— 5% окиси кальція	Соединенные съ угольною или кремневою кислотою.
Немного фтористаго кальція.		10—15% окиси магнія	

При такой, довольно существенной, разницѣ въ продуктахъ выщелачиванія разныхъ видовъ гранита, въ остаткѣ отъ выщелачиванія получается изъ обѣихъ разновидностей почти одна и та же желѣзистая глина, смѣшанная съ зернами кварца и листочками слюды; глина эта различается только цвѣтомъ въ зависимости отъ содержанія желѣза; она окрашена то въ буро-красный цвѣтъ, то въ охристо-желтый, то наконецъ, хотя очень рѣдко, въ бѣлый цвѣтъ при отсутствіи желѣзистой окраски.

Одну изъ стадій вывѣтриванія гранита представляетъ южно-русскій пеликанитовый гранитъ, состоящій изъ кварца, ортоклаза, хлорита, слюды, опала и пеликанита, сходнаго съ каолинитомъ.

Всѣ другія разновидности гранита, точно также породы, близкія къ нему по составу, какъ напр. гнейсы, кварцевые порфиры, сіениты и друг. даютъ разнообразные продукты выщелачиванія и довольно однообразный глинистый остатокъ отъ выщелачиванія. Само собой разумѣется, что при вывѣтриваніи ортоклазовыхъ безкварцевыхъ породъ, какъ сіениты, ортофиры, міаскиты и пр., глинистый остатокъ не заключаетъ зеренъ кварца и часто окрашенъ въ зеленоватые цвѣта отъ примѣси хлорита и другихъ минераловъ, происходящихъ отъ вывѣтриванія роговыхъ обманокъ и авгита. При вывѣтриваніи піолита и трахита чаще получается свѣтлая глина въ смѣси съ кремневой мукой и зернами кварца.

Основныя плагіоклазовыя породы вывѣтриваются вообще легче ортоклазово-кварцевыхъ, какъ уже указано выше; онѣ даютъ разнообразные продукты, которые легко изучить при началѣ вывѣтриванія породы, особенно миндалекаменнаго сложенія, какъ напр., мелафира, базальта и пр., гдѣ въ пустотахъ отлагаются многочисленные минералы, свидѣтельствующіе о сложности продуктовъ выщелачиванія; такъ напр., пустоты мелафира обыкновенно выполнены: селадонитомъ, халцедономъ, кварцемъ, аметистомъ, цеолитами, пренитомъ и известковымъ шпатомъ.

Изученіе порядка ихъ выдѣленія указываетъ на послѣдовательность вывѣтриванія разныхъ составныхъ частей, а именно: первое появленіе селадонита свидѣтельствуетъ о томъ, что разложеніе авгита предшествовало вывѣтриванію плагіоклаза; затѣмъ слѣдовало разложеніе плагіоклазовъ, содержащихъ кремнекислый кальцій, который превращается въ карбонатъ кальція. Этотъ карбонатъ или остается въ горной породѣ, или извлекается соотвѣтствующимъ количествомъ воды, содержащей углекислоту, и приносится въ пустоты, гдѣ отлагается въ видѣ известковаго шпата, нерѣдко совершенно заполняющаго ихъ. Но если при новомъ притокѣ воды углекислота ея поглощается разлагающимися силикатами, въ такомъ случаѣ вода будетъ растворять освобождающійся кремнеземъ и доставлять его въ пустоты. При испареніи воды въ этихъ пустотахъ выдѣляется кремнеземъ и образуетъ концентрическіе слои халцедона различныхъ цвѣтовъ (см. т. I фиг. 45). Если затѣмъ постоянно возобновляющійся растворъ кремнезема будетъ притекать быстрѣе и наполнитъ всю полость, покрытую халцедономъ, то испареніе воды затруднится и кремневая кислота будетъ осаждаться медленнѣе. Такимъ образомъ, представляется возможность образованія совершенныхъ кристалловъ кварца или аметиста (см. т. I фиг. 45а), которые часто наполняютъ собою середину друзъ халцедона. На слоѣ кремнистыхъ веществъ обыкновенно осаждаются цеолиты, какъ-то: натролитъ, сколецитъ, десминъ, стильбитъ, анальцимъ, шабазитъ. Они обязаны своимъ происхожденіемъ силикатамъ кальція, натрія, калія и глинозема, которые при разложеніи горныхъ породъ водой, содержащей недостаточно углекислоты для полнаго превращенія ихъ въ карбонаты, частью уносятся въ видѣ силикатовъ. Послѣдніе состоятъ обыкновенно изъ соединеній, сходныхъ по составу съ полевыми шпатами и отличаются отъ нихъ только содержаніемъ воды; поэтому цеолиты находятся въ пустотахъ только тѣхъ горныхъ породъ, которыя содержатъ легко вывѣтривающіеся полевые шпаты и не встрѣчаются въ ортоклазовыхъ породахъ.

Въ базальтахъ еще разнообразнѣе продукты вывѣтриванія, отлагающіеся въ пустотахъ, а именно: халцедонъ, опалъ, піолитъ, кварцъ, аметистъ, известковый шпатъ, арагонитъ, сферосидеритъ, доломитовый шпатъ, селадонитъ, десминъ, стильбитъ, натролитъ, анальцимъ, шабазитъ, аппофиллитъ, гармотомъ, лаумонтитъ, пренитъ и др. Иногда въ такихъ пустотахъ вмѣстѣ съ перечисленными минералами появляются рудные минералы и притомъ въ количествѣ, годномъ для эксплуатаціи, напр. мѣдныя руды въ мелафирахъ Техаса, въ Тянь-шанѣ и у Верхняго озера въ С. Америкѣ. Такими же гидрохимическими процессами объясняется происхожденіе многочисленныхъ разностей и подразностей изъ какой-либо одной основной породы. Въ этомъ

отношеніи весьма любопытны изслѣдованія діоритовъ Олонецкой губ. А. А. Иностранцева [15]). При нормальномъ составѣ діоритовъ изъ олигоклаза и роговой обманки, они образуютъ много разновидностей вслѣдствіе различнаго измѣненія основныхъ минераловъ, рядомъ съ которыми находятся пять вторичныхъ, а именно: эпидотъ, хлоритъ, біотитъ, талькъ, актинолитъ. Комбинація этихъ минераловъ съ остальными даетъ уже пять главныхъ разновидностей, а если представить всевозможную комбинацію всѣхъ семи минераловъ, то получится нѣсколько десятковъ подразновидностей одной и той же древней породы діорита. На этомъ основаніи г. Иностранцевъ могъ составить даже генетическую таблицу видоизмѣненій діорита, въ которой не только приведены найденныя имъ разновидности, но и указаны возможныя въ природѣ, но еще не найденныя. Рядомъ съ разнообразными измѣненіями породы, въ ней выдѣляются также и рудныя частицы, напр., желѣзныхъ и мѣдныхъ рудъ, концентрація которыхъ въ пустотахъ приводитъ къ образованію цѣлыхъ мѣсторожденій, имѣющихъ практическое значеніе. Само собой разумѣется, что растворы, образующіеся при вывѣтриваніи сложныхъ породъ, проникаютъ въ сосѣднія простыя породы и усложняютъ ихъ составъ; такъ происходятъ, напр., тальковые доломиты, хлоритовые кварциты и пр.

Сопоставляя главнѣйшіе продукты выщелачиванія, получающіеся при вывѣтриваніи основныхъ сложныхъ породъ, Зенфтъ приводитъ слѣдующую таблицу ихъ изъ разныхъ породъ:

Въ продуктахъ выщелачиванія.	%	При участіи въ составѣ породы минераловъ.
Бикарбонатъ . .	25—30 кальція	Лабрадора, анортита, діаллагона или авгита (напр. въ діабазахъ, габбро, базальтахъ, долеритахъ).
»	10—20 кальція	Лабрадора, анортита, энстатита, гиперстенита (въ энстатито-гиперстенитовыхъ породахъ).
Бикарбонатъ или силикатъ . .	12—35 магнія	Энстатита, діаллагона, гиперстена или авгита (габбро и базальтъ).
Бикарбонатъ . .	10—25 закиси желѣза	Гиперстена, діаллагона или авгита.—Карбонатъ желѣза образуется только при недостаткѣ кислорода.
Бикарбонатъ . .	4—8 натрія	Лабрадора или олигоклаза (въ базальтахъ, діабазахъ, габбро и гиперитахъ).
Бикарбонатъ . .	1—4 калія	Олигоклаза и лабрадора.

Изъ этой таблицы видно, что въ противоположность съ кварцево-ортоклазовыми породами, въ основныхъ породахъ между продуктами выщелачиванія соли калія или отсутствуютъ, или же находятся только въ ничтожномъ количествѣ; а соли натрія не превышаютъ 8%. Главными же продуктами являются углекислый кальцій (известковый шпатъ), углекислый кальцій и магній (доломитовый шпатъ), углекислая закись желѣза (желѣзный шпатъ) или вмѣсто него — бурый, красный и магнитный желѣзняки, силикатъ магнія (жировикъ, змѣевикъ, хлоритъ).

Въ остаткѣ отъ выщелачиванія породы эти только при особенно большомъ развитіи олигоклаза даютъ иногда каолинъ, но большею частью изъ нихъ получается: обыкновенная глина (Thon) или глина съ свободнымъ кремнеземомъ (Lehmthon), или глина съ кремнеземомъ и углекислымъ кальціемъ (Lehmmergel), или глина съ кремневой кислотой и окисью же-

лѣза (желѣзистая глина, Bol, Letten), или глина съ зеленой землей (Walkthon). Кромѣ того, часто находится силикатъ магнія въ видѣ жировика, хлорита, а также доломитъ и окись желѣза, которая появляется иногда не только въ видѣ мелко разсѣянныхъ зеренъ, но образуетъ самостоятельныя отложенія въ формѣ штоковъ и гнѣздъ.

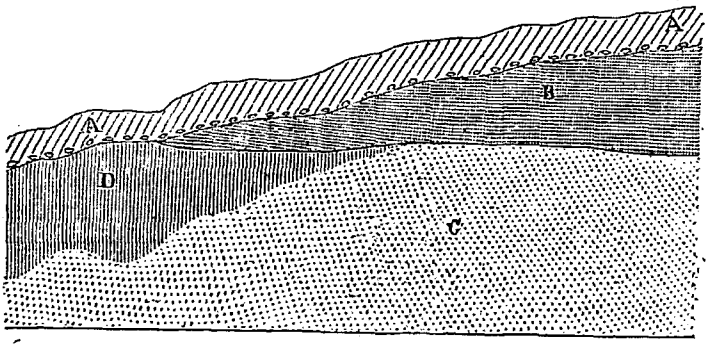
Такимъ образомъ при большомъ разнообразіи продуктовъ выщелачиванія, въ остаткѣ отъ выщелачиванія получаются болѣе или менѣе однообразныя глины съ различными примѣсями: кварца, окиси желѣза, слюды, хлорита и пр. Глины эти происходятъ какъ отъ вывѣтриванія кислыхъ ортоклазовыхъ, такъ и основныхъ плагіоклазовыхъ породъ. Чистый каолинъ получается только въ очень рѣдкихъ случаяхъ, потому что полевые шпаты, образующіе его, рѣдко находятся въ большихъ массахъ совершенно изолированными, а всегда въ смѣси съ другими минералами; поэтому нѣкоторые изслѣдователи не безъ основанія полагаютъ, что большинство залежей каолина не находятся на мѣстѣ первоначальнаго образованія, а представляютъ вторичныя отложенія, снесенныя водою и очищенныя отъ примѣсей. У насъ залежи каолина находятся въ области распространенія гранита въ Кіевской, Черниговской, Екатеринославской, Подольской и др. губерніяхъ.

При вывѣтриваніи осадочныхъ и особенно простыхъ породъ получаются простые и однообразные не только конечные, но и продукты выщелачиванія. Нѣкоторыя легко растворимыя породы выщелачивались бы безъ остатка, еслибы онѣ находились въ природѣ совершенно чистыми, какъ напр. гипсы, известняки и пр., но такъ какъ онѣ всегда содержатъ примѣси желѣза, глины, песку и пр., то конечные продукты вывѣтриванія ихъ аналогичны таковымъ же продуктамъ сложныхъ породъ, т. е. большею частью состоятъ изъ различныхъ глинъ, желѣзистыхъ песчаниковъ, красныхъ и бурыхъ желѣзняковъ; при этомъ окаменѣлости въ нихъ сохраняются только въ рѣдкихъ случаяхъ, а большею частью совершенно уничтожаются. Глинисто-песчаные продукты вывѣтриванія имѣютъ широкое распространеніе во всѣхъ равнинныхъ странахъ, сложенныхъ изъ доломитовъ, известняковъ, мергелей и пр., напр. у насъ въ Россіи они часто образуютъ покрышку известняковъ различнаго возраста: девонскихъ въ Тамбовской губ., каменноугольныхъ въ Тульской, мѣловыхъ въ Симбирской, третичныхъ въ Крыму и пр.; они обыкновенно неравномѣрной толщины, лишены не только окаменѣлостей, но и слоистости, отличаются особою полосчатостью, многочисленными стяженіями и неправильною иззубренностью нижней границы. Къ этимъ же образованіямъ относятъ, между прочимъ, красноватыя глины Каринтіи, называемыя terra rossa, къ которой причисляли также красную глину, развитую у коралловыхъ острововъ и рифовъ, но послѣдняя, повидимому, представляетъ продуктъ измѣненія вулканическаго пепла подъ вліяніемъ морской воды [17]). Толща глинисто-песчаныхъ продуктовъ вывѣтриванія известняковъ мѣстами достигаетъ значительной мощности, напр. въ Висконсинѣ въ С. Америкѣ до 30 ф., а въ Озарка на Миссури толщина ихъ колеблется отъ 20 до 120 ф. Для образованія такой толщи, при содержаніи нерастворимаго остатка въ известнякахъ отъ 2% до 9%, очевидно была выщелочена громадная толща известняковъ—отъ 400 до 2.400 ф. мощностью;

слѣдовательно, вывѣтриваніе въ состояніи производить значительное пониженіе поверхности суши.

Конгломераты и песчаники обыкновенно лишаются известковыхъ частицъ и превращаются въ рыхлыя разности. Въ случаѣ же содержанія въ нихъ соединеній закиси желѣза, она переходитъ въ окись, которая цементируетъ песчаники и конгломераты, измѣняя ихъ первоначальный цвѣтъ; въ глауконитовыхъ песчаникахъ, содержащихъ до $9^0/_0 K_2O$, нерѣдко образуются гнѣзда бураго желѣзняка. Иногда впрочемъ происходитъ обратное явленіе при участіи органическихъ веществъ, т. е. возстановленіе окиси въ закись, напр. вблизи соприкосновенія песчаниковъ съ торфомъ; такое возстановленіе при посредствѣ свѣтильнаго газа наблюдалось даже на улицахъ Брюсселя (В.-д.-Брёкъ).

Мергели, глинистые сланцы и глины лишаются известковыхъ и другихъ легко растворимыхъ частицъ, измѣняютъ сложеніе, окраску и превращаются въ желѣзистыя глины различныхъ цвѣтовъ, напр., вывѣтрѣлый лёссъ до такой степени рѣзко отличается отъ нормальнаго по буромуцвѣту и отсутствію характерной нормальной структуры, что его легко принять за особую породу. Валунная глина, представляющая сложный составъ, при вывѣтриваніи разрыхляется, обогащается карбонатами, силикатными продуктами и пр., такъ что по составу приближается къ лёссу и лишается валуновъ. Смываясь на склоны, она даетъ лёссовидный делювій. Чистая глина представляетъ самую устойчивую породу; она не только почти не поддается вывѣтриванію, но даже предохраняетъ отъ измѣненія нижележащія породы. Защита эта тѣмъ дѣйствительнѣе, чѣмъ мощность глины больше, чѣмъ она чище, чѣмъ больше площадь ея и чѣмъ круче ея уклонъ, по которому воды быстро скатываются, не проникая внутрь; въ этихъ случаяхъ вывѣтриваніе нижележащихъ породъ происходитъ только на границѣ выклиниванія глинистаго слоя, какъ видно на слѣдующемъ разрѣзѣ Ванъ-дэнъ-Брёка [18]), объясняющемъ предохранительную роль глины (фиг. 94).



Фиг. 94.

A—растительная почва. C—неизмѣненный известковый песокъ.
B—плотная глина. D—измѣненный песокъ.

Вывѣтриваніе осадочныхъ породъ происходитъ на столько быстро, что оно становится замѣтнымъ уже черезъ нѣсколько лѣтъ на свѣжихъ каменныхъ матеріалахъ, употребляемыхъ въ постройкахъ или обнаженныхъ въ каменоломняхъ; такъ, напр., многія известняковыя гробницы въ Англіи вывѣтривались на одинъ миллиметръ въ теченіе 10—12 лѣтъ. Песчаники нѣкоторыхъ готическихъ церквей въ Нидерландахъ утратили острые углы и ребра въ теченіе 3—4 столѣтій; квадеры песчаника римскихъ построекъ еще больше измѣнились. Въ Египтѣ древнія скульптурныя украшенія изъ известняка и песчаника совершенно разрушились; на могильникахъ Австріи вывѣтриваніе замѣчалось даже на гранитахъ. Въ каменоломняхъ близъ Лют-

тиха, заложенныхъ неболѣе семи столѣтій тому назадъ, на поверхности глинистаго сланца образовался слой глины въ 40 см. толщиною. Въ этомъ отношеніи интересны систематическія наблюденія гг. Шюце [19]) и Фидлера [20]) надъ песчаниками близъ Эрлангена (I), песчаниками Гетцляса (II), морскими известняками оттуда же (III) и слюдяными сланцами изъ Мунцига у Мейссена (IV) за періодъ времени отъ 1 іюня 1875 г. до марта 1890 г.; они приводятъ анализъ какъ первоначальной породы, такъ и тонкоземлистаго осадка (Schlammehl), происшедшаго отъ выѣтриванія съ 1875 по 1884 и 1890 гг., указанные въ слѣдующихъ таблицахъ:

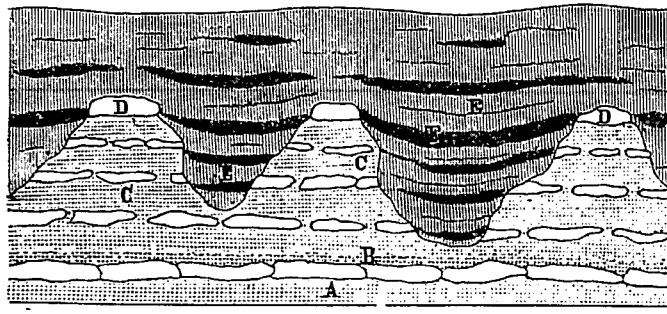
Сост. части.	Песчаникъ I.			Песчаникъ II.		
	Первонач. сост. 1875.	Schlamm-mehl 1884.	Sch. 1890.	Первонач. сост. 1875.	Schlamm-mehl 1884.	Sch. 1890.
SiO_2	93,06	52,06	52,46	92,15	42,83	44,27
Fe_2O_3 . . .	0,12	2,68	3,26	2,18	23,92	25,94
Al_2O_3 . . .	3,90	27,05	27,87	1,00	13,94	13,17
CaO	0,61	1,13	0,68	0,18	0,69	0,47
K_2O	0,27	3,38	2,68	1,61	1,74	2,35
Na_2O . . .	0,41	3,06	2,92	0,57	1,07	1,27
SO_3	0,40	—	0,07	0,54	—	—
P_2O_5 . . .	0,18	0,03	—	0,45	0,45	—
H_2O съ орг. вещ. . . .	0,50	10,27	9,70	1,12	11,28	13,46
	99,45	94,66	99,64	99,80	100,77	100,90

Сост. части.	Юрскій известнякъ III.			Слюдяный сланецъ IV.		
	Первонач. сост. 1875.	Schlamm-mehl 1884.	Sch. 1890.	Первонач. сост. 1875.	Schlamm-mehl 1884.	Sch. 1890.
SiO_2 . . .	2,51	2,35	2,40	66,21	48,65	47,45
FeO	—	—	—	5,34	7,28	6,31
Fe_2O_3 . . .	0,34	0,67	0,70	—	—	2,16
Al_2O_3 . . .	0,25	0,59	1,62	18,60	27,18	29,70
CaO	0,52	0,57	0,90	0,44	1,03	1,57
$CaCO_3$ . . .	90,63	90,96	89,09	—	—	—
MgO . . .	—	—	—	1,24	0,87	0,78
$MgCO_3$ . .	2,95	2,24	1,93	—	—	—
K_2O	0,30	0,43	0,21	3,84	3,91	3,34
Na_2O . . .	0,56	0,41	0,25	2,16	2,16	2,06
SO_3	0,94	1,31	0,98	0,71	—	—
P_2O_5 . . .	0,40	0,20	—	0,01	0,02	—
H_2O съ орг. вещ. . . .	1,08	1,04	1,21	2,04	7,21	7,61
	100,48	100,77	99,29	100,64	99,01	100,98

Вслѣдствіе химическаго, органическаго и физическаго выѣтриванія породы такъ быстро разрушаются въ постройкахъ, что является необходимость предохранять ихъ искусственными мѣрами, а именно покрытіемъ ихъ, напр., растворимымъ стекломъ

или пропитываніемъ смѣсью парафина съ креозотомъ и пр.; но къ сожалѣнію всѣ способы предохраненія каменныхъ построекъ отъ вліянія вывѣтриванія далеко несовершенны, стоятъ дорого и примѣняются только по необходимости, напр., у насъ такимъ путемъ сохраняется Александровская колонна, въ которой трещины вывѣтриванія, какъ выше сказано, заполняются растворомъ изъ 1 ч. портландскаго цемента и $1^1/_2$—2 ч. песку съ прибавкою сурика, какъ красящаго вещества. Для наведенія политуры и заполненія мельчайшихъ углубленій и трещинъ употребляли мастику, состоящую изъ шеллака, сѣры и сажи, разведенныхъ на спирту съ добавленіемъ мелкаго отмученнаго песка; по высыханіи мастики колонну полировали [21]).

Конечные продукты вывѣтриванія или остаются на мѣстѣ своего первоначальнаго образованія или же переносятся различными агентами на большее или меньшее разстояніе. Въ первомъ случаѣ, т. е. если они остаются на мѣстѣ своего первоначальнаго происхожденія, они называются элювіемъ или элювіальными образованіями; во второмъ же случаѣ, если они перемѣщаются вслѣдствіе тяжести или дождевыми и снѣговыми водами съ вершины на склоны той же вывѣтривающейся возвышенности, т. е. такъ сказать смываются сверху внизъ, то называются делювіемъ или делювіальными образованіями [22]); если же они переносятся постоянными потоками на большія разстоянія, то называются

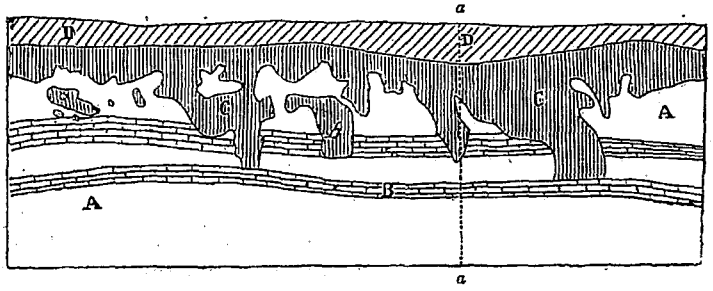


Фиг. 95. — A—Брюссельскій известковый песокъ. C—лекеньенскій изв. песокъ. B—лекеньенскій основной гравій. D—лекеньенскій изв. песчаникъ. E—измѣненный песокъ. F—полосы охристаго песчаника въ видѣ гирляндъ, прикрѣпленныхъ къ неизмѣненному песчанику.

аллювіемъ или аллювіальными образованіями; при чемъ отличаютъ древній аллювій или дилювій. Элювіальныя образованія, имѣющія широкое развитіе въ равнинныхъ или плосковолнистыхъ странахъ, какъ напр., въ Бельгіи, С. Германіи, Евр. Россіи и пр., отличаются нетолько вышеуказанными петрографическими свойствами, но и нѣкоторыми стратиграфическими особенностями, а также зависимостью ихъ отъ климата и растительности. Изученіе ихъ имѣетъ одинаково важное значеніе какъ въ теоретическомъ, такъ и въ практическомъ отношеніяхъ, потому что въ составъ ихъ входятъ всѣ культурныя почвы и нѣкоторыя рудныя мѣсторожденія.

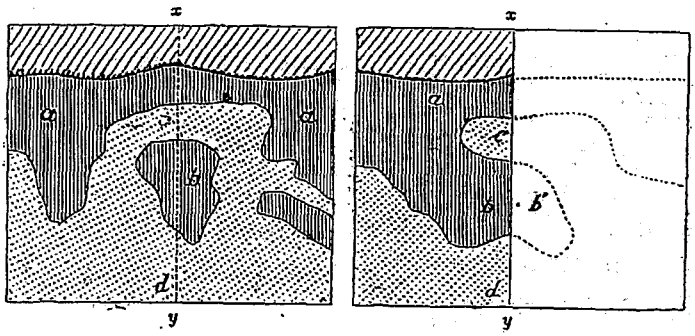
Стратиграфическія особенности ихъ зависятъ главнымъ образомъ отъ однородности состава и сложенія вывѣтривающихся породъ. Въ породахъ однородныхъ вывѣтриваніе, проникая равномѣрно въ глубину, образуетъ совершенно правильный элювіальный слой, верхняя и нижняя граница котораго болѣе или менѣе прямолинейны и параллельны между собою, напр. это бываетъ при измѣненіи замѣчательно однород-

наго лёсса. Но въ громадномъ большинствѣ случаевъ вывѣтриваніе проникаетъ въ глубину весьма неравномѣрно; однѣ части породы подвергаются болѣе быстрому измѣненію сравнительно съ другими, вслѣдствіе или неравномѣрнаго состава и сложенія породы или неровной глинистой покрышки или же наконецъ вслѣдствіе разнообразія рельефа. Въ такихъ случаяхъ нижняя граница элювіальнаго слоя представляетъ весьма неправильныя очертанія и даже пріобрѣтаетъ иногда бахромчатый видъ;



Фиг. 96.—A—средній грубый известнякъ Париж. бас. C, b, c—остатокъ отъ выщелачиванія грубаго известняка. B—банки твердаго известняка. D—наносъ;

вывѣтрившаяся порода вклинивается въ свѣжую въ видѣ воронокъ, колодцевъ, языковъ и пр., которые Ванъ-денъ-Брёкъ [23]), много занимавшійся вывѣтриваніемъ, особенно эоценовыхъ отложеній Бельгіи, называетъ карманами (les poches) и колодцами (les puits). Карманы представляютъ вообще углубленія болѣе или менѣе округленныхъ очертаній, утоняющіеся книзу (фиг. 95); иногда, впрочемъ, они принимаютъ весьма



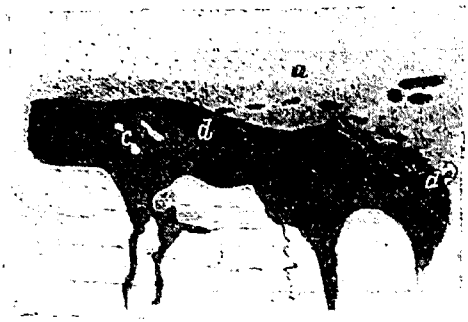
Фиг. 97.—a—измѣненный поясъ породъ c, d; bb'—кажущіеся островки.

неправильныя и вѣтвистыя очертанія (фиг. 96), такъ что сравниваютъ эти причудливыя формы съ рисунками, происходящими на стѣнахъ зданій отъ сырости, чтó, впрочемъ, и понятно, такъ какъ причина тѣхъ и другихъ почти одинакова.

Въ томъ и другомъ случаѣ измѣненныя части породы неразрывно связаны съ верхними частями и никогда не находятся совершенно изолированными. Хотя въ разрѣзахъ такіе изолированные островки (*b*, *c* фиг. 96) измѣненной породы, залегающіе среди неизмѣненной, и наблюдаются (фиг. 97), но это, разумѣется, зависитъ отъ направленія разрѣза и есть явленіе только кажущееся. Если сдѣлаемъ разрѣзъ по линіи *aa* фиг. 96,

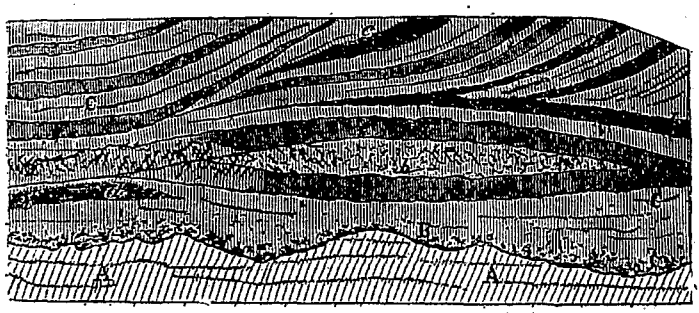
то получимъ слѣдующій видъ, изображенный въ профилѣ на фиг. 97 и вполнѣ объясняющій появленіе въ обнаженіяхъ изолированныхъ островковъ измѣненной породы среди неизмѣненной.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, именно въ известнякахъ, залегающихъ горизонтально и съ вертикальными трещинами, вывѣтриваніе быстрѣе проникаетъ по трещинамъ и вмѣсто кармановъ образуетъ узкіе и глубокіе колодцы, заполненные конечными продуктами, какъ это напр. наблюдается у насъ на девонскихъ известнякахъ въ окрестностяхъ г. Липецка (Тамбовской губ.), гдѣ на разъѣденной неровной поверхности известняковъ (*b* фиг. 98) залегаетъ охристая глина (*d*) съ гнѣздами и желваками бураго желѣзняка и бѣлыми выдѣленіями кремнекислоты (сало) (*c*), которая проникаетъ глубоко по трещинамъ въ известнякъ въ видѣ колодцевъ почти съ вертикальными стѣнками. Сверху залегаютъ желѣзистые пески (*a*).



Фиг. 98.— Элювіальные карманы и колодцы съ рудою у г. Липецка. a—Пески мѣловаго возраста; d—охристая глина съ гнѣздами и желваками бураго желѣзняка; c—выдѣленіе бѣлой кремнекислоты; b—разъѣденный девонскій известнякъ.

Общее расположеніе и форма кармановъ даютъ уже ясныя указанія на характеръ процессовъ, производящихъ ихъ; причудливыя и неправильныя очертанія ихъ невозможно смѣшать со спокойною волнистою поверхностью размыва въ рыхлыхъ породахъ. Странные контуры кармановъ,

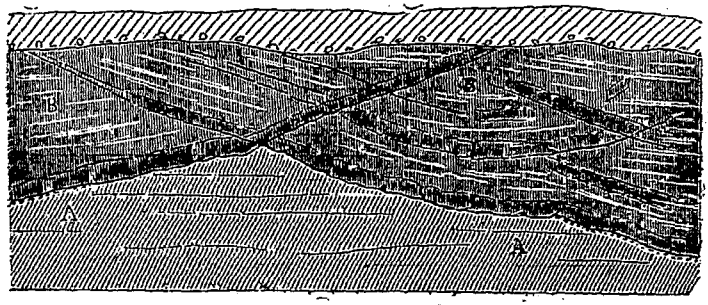


Фиг. 99.—A—кварцевый песокъ (олигоценъ—bolderien Дюмона). B—гальки въ основаніи глауконитовыхъ отложеній diestien. a, b, c — измѣненный зелен. глаук. песокъ; желѣз. песчаникъ и песокъ съ конкреціями.

заключающихъ иногда остатки неизмѣненной породы, крутизна или даже совершенная вертикальность стѣнокъ—все говоритъ противъ явленій механическаго переноса и размыва. Непрерывность же полосъ, кремнистыя ядра, банки, гальки, а также песчаниковыя охристыя гирлянды (фиг. 99), находящіяся въ связи съ неизмѣненными песчаниковыми банками, еще краснорѣчивѣе свидѣтельствуютъ объ образованіи кармановъ путемъ химическаго измѣненія на мѣстѣ, безъ всякаго переноса.

Кромѣ кармановъ и колодцевъ элювіальныя образованія отличаются еще отсутствіемъ нормальной слоистости, замѣняющейся иногда совершенно оригинальною полосчатостью (фиг. 99 и 100), которая обусловливается или скрещиваніемъ кармановъ или же выдѣленіемъ и концентраціею какихъ-либо соединеній, получающихся при вывѣтриваніи, какъ это часто бываетъ, напр. въ рудоносныхъ элювіальныхъ образованіяхъ Центральной Россіи, гдѣ элювіальныя руды вообще имѣютъ широкое распространѣніе и мѣстами получаютъ даже практическое значеніе.

Элювіальныя образованія проявляются у насъ во многихъ мѣстахъ, напр. въ Ветлужскомъ краѣ [24]), гдѣ отъ устья р. Ветлуги до Симбирска они происходятъ изъ пестрыхъ мергелей, юрскихъ глинъ, нижне-мѣловыхъ глинъ и мергелей и состоятъ изъ бурыхъ песчанистыхъ глинъ, глинистыхъ или чистыхъ песковъ, сцементированныхъ иногда, особенно въ нижнихъ горизонтахъ, окислами желѣза, которые мѣстами образуютъ рудныя скопленія. Тоже въ Нижегородской [25]) губ. юрскіе мергели даютъ



Фиг. 100.—А—кварцевый олигоценовый песокъ (bolderiën Дюмона) В—измѣненный поясъ (diestien), обнаружив. *ложную слоистость, обусловленную* скрещиваніями кармановъ.

элювіальныя буроватыя или красновато-бурыя глины. Въ Тамбовской, Орловской. Рязанской и др. губерніяхъ элювій происходитъ изъ девонскихъ, каменноугольныхъ и другихъ осадковъ; въ Московской губ. бурые элювіальные пески образуются изъ глауконитоваго юрскаго песка; въ Сызранскомъ уѣздѣ элювій происходитъ изъ ауцелловаго мергеля и состоитъ изъ рыхлыхъ массъ фосфоритовъ, белемнитовъ, ауцеллъ и т. п.; но особенно часто элювій встрѣчается у насъ на валунныхъ образованіяхъ.

Изъ всѣхъ нашихъ элювіальныхъ образованій особый интересъ представляютъ рудныя скопленія бураго желѣзняка, концентрацію котораго [26]) объясняютъ слѣдующимъ образомъ: атмосферная вода, въ соединеніи съ углекислотой, проходя черезъ почву и верхнія породы, всегда содержащія частицы желѣза и органическія вещества, запасается различными продуктами выщелачиванія, между которыми находится углекислая закись желѣза, получающаяся изъ мелкоразсѣянныхъ частицъ окисловъ желѣза возстановленіемъ ихъ при помощи органическихъ веществъ. Такіе желѣзосодержащіе растворы, встрѣчая на своемъ пути известняки, постепенно выщелачиваютъ ихъ и при томъ весьма неравномѣрно въ зависимости отъ состава известняковъ, ихъ сложенія, трещиноватости, обилія притекающихъ водъ и пр. При выщелачиваніи

известняковъ, углекислый кальцій переходитъ въ растворъ, а углекислая закись желѣза, какъ соль менѣе растворимая, выдѣляется и образуетъ скопленія сферосидеритовъ въ сопровожденіи конечныхъ продуктовъ вывѣтриванія известняковъ, т. е. глины, песка, кремней и пр. Чѣмъ энергичнѣе происходитъ вывѣтриваніе, тѣмъ больше получается этихъ продуктовъ; при этомъ нѣкоторые изъ нихъ, какъ напр. кремни увеличиваются нетолько путемъ скопленія раньше заключавшихся въ известнякѣ, но и вновь образующимися изъ кремнекислоты, приносившейся въ растворѣ и отлагавшейся при выщелачиваніи или въ видѣ кремневыхъ стяженій или же въ видѣ туфовъ, облекающихъ куски известняка и происшедшихъ путемъ замѣщенія углекислаго кальція кремнекислотою. Отложившіяся скопленія сферосидерита въ видѣ неправильныхъ гнѣздъ, слоевъ и прослойковъ, рѣдко сохраняются при дальнѣйшемъ вывѣтриваніи, а какъ соединеніе неустойчивое, переходитъ въ бурый желѣзнякъ, изъ котораго главнымъ образомъ и состоятъ элювіальныя мѣсторожденія Евр. Россіи, хотя вмѣстѣ съ нимъ иногда встрѣчаются и другія разновидности: гетитъ, тургитъ, лимнитъ и пр., но очень мало. Такъ какъ процессъ выщелачиванія происходитъ неравномѣрно и сопровождается значительнымъ уменьшеніемъ объема, а значитъ осѣданіемъ и провалами отдѣльныхъ участковъ, переломами, разрывами и пр., то очевидно, всѣ эти образованія, какъ конечныя продукты вывѣтриванія, отличаются отсутствіемъ слоистости, сортировки матеріала, непостоянствомъ мощности и протяженія, полосчатостью, причудливою изогнутостью и отсутствіемъ или весьма рѣдкимъ нахожденіемъ окаменѣлостей.

Всѣ эти особенности часто наблюдаются въ многочисленныхъ разработкахъ бураго желѣзняка Центральной Россіи, всегда залегающихъ въ области вывѣтривающихся известняковъ различнаго возраста. Слѣдующій разрѣзъ Злобинскаго рудника (фиг. 101) (по р. Унжѣ, Меленковскаго у. Владимірской губ.) даетъ представленіе какъ о неправильности залежей бураго желѣзняка, такъ вообще о причудливой полосчатости элювіальныхъ образованій. Залежи эти обыкновенно ничтожныхъ размѣровъ, иногда представляются только мелкими гнѣздами (см. фиг. 98) и потому съ давнихъ поръ разрабатываются такъ называемыми дудками, т. е. небольшими поверхностными ямами. Иногда, впрочемъ, бурые желѣзняки въ нашихъ элювіальныхъ образованіяхъ происходятъ изъ глауконитоваго песчаника и сѣрнаго колчедана; но первыя большею частью даютъ только желѣзистые песчаники, а вторые плотные желваки бураго желѣзняка, незаслуживающіе разработки.

При содержаніи золота, платины и др. металловъ въ породѣ, могутъ образоваться элювіальныя золотоносныя розсыпи, называемыя обыкновенно увальными, которыя извѣстны въ юж. Уралѣ, въ Енисейскомъ округѣ, на Ляодунскомъ полуостровѣ и др. мѣстахъ.

Такимъ образомъ, бахромчатый видъ нижней поверхности элювіальнаго слоя, карманы, колодцы и оригинальная полосчатость его, замѣняющая слоистость, отсутствіе растворимыхъ солей и окаменѣлостей — все это составляетъ прекрасные признаки для опредѣленія элювія. Но если бы ихъ было недостаточно или если бы они были замаскированы, или неясно проявлялись бы вслѣдствіи недостатка обнаженій, то практи-

куютъ слѣдующій способъ для распознаванія элювія: на границѣ соприкосновенія измѣненной породы со свѣжею и при томъ на одномъ уровнѣ берутъ пробы той и другой породы и подвергаютъ ихъ дѣйствію разведенной соляной кислоты; при этомъ элювіальная порода почти неизмѣнится, а свѣжая потеряетъ всѣ растворимыя части и сдѣлается подобною первой. Обработанные образчики изслѣдуютъ подъ микроскопомъ при небольшомъ увеличеніи въ 40—60 разъ; если зерна той и другой породы имѣютъ одинаковую величину и форму, то, очевидно, измѣненная порода представляетъ элювій, такъ какъ этого не могло бы быть, еслибы одна порода произошла отъ размыва другой.

Такимъ образомъ петрографическія и стратиграфическія особенности элювіальныхъ образованій вообще отличаются однообразіемъ, какъ при вывѣтриваніи простыхъ, такъ и сложныхъ породъ. Въ петрографическомъ отношеніи между ними преобладаютъ наиболѣе устойчивыя вещества, которыя очень мало или совсѣмъ не измѣняются отъ химическаго вліянія воды и воздуха, а именно силикаты: глинозема, мигнія, кремнеземъ и окислы желѣза. Еще Бишофъ [27]), подробно изучавшій процессы вывѣтриванія, пришелъ къ тому заключенію, что верхняя часть коры земной состоитъ преимущественно изъ смѣси труднорастворимыхъ соединеній или устойчивыхъ въ химическомъ отношеніи, а Вальтеръ [28]) по этому поводу замѣчаетъ, что въ этомъ, обнаруживается какъ бы тотъ же законъ естественнаго отбора въ неорганической природѣ, который установилъ Дарвинъ для органическаго міра; какъ устойчивые и сильные въ борьбѣ за существованіе или дѣятельные во взаимопомощи животныя и растенія имѣютъ наибольшее распространеніе, такъ и въ верхней части земной коры или, лучше сказать въ корѣ вывѣтриванія наиболѣе развиты тѣ минеральныя вещества, которыя представляютъ наибольшую устойчивость противъ разрушительнаго вліянія воздуха и воды. Вмѣстѣ съ тѣмъ законъ этого отбора проявляется въ постепенномъ раздѣленіи и изолированіи отдѣльныхъ элементовъ, связанныхъ въ сложныхъ породахъ или все равно въ стремленіи всѣ сложныя составныя части земной коры превратить въ простѣйшія, точно такъ же, какъ разнообразныя стратиграфическія свойства привести къ одному типу, т. е. какъ правильно напластованныя, такъ и массивныя породы измѣнить въ неслоистыя съ оригинальною полосчатостью и бахромчатостью. Такое стремленіе къ простотѣ и однообразію съ особою ясностью наблюдается въ странахъ съ одинаковымъ климатомъ, такъ какъ характеръ вывѣтриванія измѣняется въ разныхъ климатическихъ поясахъ, какъ уже замѣчено выше.

Фиг. 101. — Разрѣзъ Злобинскаго рудника; a—сѣровато-слюдисто-песчаная глина; b—разноцвѣтная глина съ кремнями; c—неправильныя гнѣзда бураго желѣзняка; d—подрудная глина съ синеватыми и зеленоватыми прожилками; e—верхній каменноугольный известнякъ сильно вывѣтрелый.

Климатъ и растительность на столько измѣняютъ характеръ вы-

вѣтриванія и продукты его, что какъ бы отражаютъ на нихъ свою зональность; это вліяніе ихъ сказывается съ особою ясностью на самомъ верхнемъ слоѣ коры вывѣтриванія или на такъ называемыхъ «почвахъ», но оно проявляется и въ нижнихъ горизонтахъ, хотя зональность этихъ послѣднихъ изучена гораздо меньше, чѣмъ собственно «почвъ» и подмѣчена только въ самыхъ общихъ чертахъ. Дѣйствительно, на крайнемъ сѣверѣ, при низкой температурѣ, какъ уже выше замѣчено, кора вывѣтриванія состоитъ изъ продуктовъ механическаго разрушенія или дресвы, которая претерпѣваетъ только сравнительно ничтожное химическое измѣненіе, равно какъ и въ пустыняхъ, гдѣ преобладаніе механическаго разрушенія обусловливается недостаткомъ влаги, а образующіеся продукты вывѣтриванія быстро развѣваются вѣтромъ. Въ умѣренномъ климатѣ она состоитъ преимущественно изъ глинисто-песчаныхъ массъ, мощность которыхъ хотя и неравномѣрна, но въ общемъ возрастаетъ по направленію съ сѣвера на югъ; да и характеръ ея нѣсколько измѣняется, какъ показали изслѣдованія элювіальныхъ образованій въ С. Америкѣ [29]). На югѣ, въ области тропическаго климата при высокой температурѣ, обильныхъ осадкахъ, сильныхъ грозахъ и богатой растительности, кора вывѣтриванія достигаетъ громадной мощности, до 400 ф. и состоитъ изъ особой желѣзисто-глинистой породы, называемой латеритомъ, вслѣдствіе ея кирпично-краснаго цвѣта (later—кирпичъ). Латеритъ представляетъ самый распространенный и интересный продуктъ вывѣтриванія тропическихъ странъ. Въ свѣжемъ состояніи онъ представляетъ плотную, легко раздѣляющуюся, кирпично-красную, бурую песчаную или глинистую массу съ 25—36% желѣзной окиси. При высыханіи онъ разбивается трещинами, а при смачиваніи становится губчатымъ, вслѣдствіе чего нѣкоторые приписывали ему вулканическое происхожденіе; но теперь доказано (Гохштеттеръ, Рихтгофенъ) [30]), что латеритъ представляетъ продуктъ вывѣтриванія различныхъ преимущественно сложныхъ породъ подъ вліяніемъ тропическаго климата, гдѣ происходитъ быстрое окисленіе и накопленіе желѣза, можетъ быть при участіи азотной кислоты, происходящей вслѣдствіе частыхъ и сильныхъ грозъ.

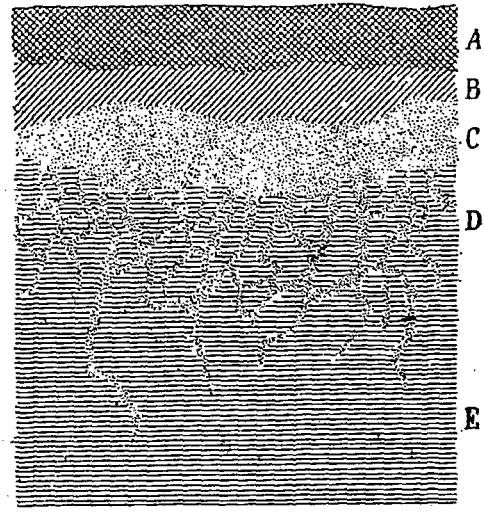
Различаютъ латеритъ первичный, находящійся на мѣстѣ залеганія вывѣтривающихся породъ, и вторичный, перенесенный и отложенный вѣтрами или рѣками. Въ первичномъ отличаютъ латеритъ глубинный, сохраняющій еще структуру первоначальной породы, изъ которой онъ произошелъ и латеритъ поверхностный, пористой или губчатой структуры и значительно обогащенный кварцемъ и желѣзомъ. Во вторичномъ латеритѣ отличаютъ: рѣчной, эоловый и даже морской [31]). Онъ встрѣчается только въ тропическихъ странахъ, напр. въ Деканѣ и Конканѣ онъ образуется изъ миндалекаменныхъ породъ и достигаетъ значительной мощности отъ 50 до 200 ф., также въ Сіамѣ, на Суматрѣ, Цейлонѣ, гдѣ онъ происходитъ изъ гнейсовъ [32]), на Борнео—изъ гранитовъ и сланцевъ; въ южной Африкѣ—изъ песчаниковъ и сланцевъ [33]); въ Бразиліи латеритъ достигаетъ до 400 ф. мощности на гранитахъ и гнейсахъ [34]), у насъ онъ извѣстенъ на Кавказѣ въ Батумской области на андезитахъ [35]). Повидимому латеритъ изъ разныхъ мѣстностей имѣетъ далеко неодинаковый составъ, не смотря на сходство внѣшнихъ признаковъ; хотя къ сожалѣнію мы имѣемъ очень мало анализовъ его, но послѣднія изслѣдованія Макса Бауэра [36]) указываютъ на это разнообразіе.

Слѣдующіе анализы гранитоваго и діоритоваго латеритовъ съ Сейшельскихъ о-въ показываютъ поразительное сходство его съ гидраргиллитомъ, а именно:

Гран. латеритъ.	Діорит. латеритъ.	Гидраргиллитъ.
Al_2O_3 — 60,68—68,31	51,98—68,82	65,52
Fe_2O_3 — 9,56— —	20,95— —	—
H_2O — 29,76—31,69	27,07—31,18	34,48

Изъ этихъ анализовъ видно, что латеритъ не имѣетъ никакого сходства съ глиной, а представляетъ гидратъ глинозема въ смѣси съ окисью желѣза и аналогиченъ бокситу, образовавшемуся когда то на базальтахъ Фогельсберга, Ирландіи и др. мѣстъ. Такая аналогія до нѣкоторой степени указываетъ на существованіе тропическаго климата въ Европѣ въ періоды образованія бокситa. Само собой разумѣется, что приведенный составъ не можетъ распространяться на латериты изъ другихъ мѣстностей, но указываетъ только на большія варіаціи въ составѣ латеритовъ [37]), которыя еще мало изучены.

Нѣкоторая разница въ продуктахъ вывѣтриванія наблюдается не только въ крупныхъ климатическихъ поясахъ, но даже въ несравненно болѣе тѣсныхъ предѣлахъ, напр. у насъ въ Европейской Россіи замѣчено, что степная полоса въ этомъ отношеніи нѣсколько отличается отъ лѣсной области. Въ степной полосѣ при значительномъ испареніи и небольшомъ количествѣ атмосферной влаги, которая обыкновенно проникаетъ въ глубь не по всей поверхности, а только мѣстами [38]), выщелачиваніе происходитъ настолько слабо, что нѣкоторыя растворимыя соли скопляются на небольшой глубинѣ, такъ что даже самые верхніе слои элювія не промываются и не освобождаются отъ нихъ. Между ними первое мѣсто занимаютъ карбонаты [39]); менѣе растворимые изъ нихъ, какъ напр. карбонаты кальція, должны скопляться въ болѣе верхнихъ горизонтахъ степнаго грунта, а карбонаты калія и натрія проникаютъ глубже и обусловливаютъ иногда солоноватость грунтовыхъ водъ, появленіе солоноватыхъ лужъ, солонцовъ и пр.; въ сухихъ степяхъ эти соли даже смѣшиваются. Обогащеніе карбонатами лучше всего наблюдается въ такихъ вывѣтривающихся породахъ, которыя въ свѣжемъ видѣ не содержатъ ихъ, напр. нѣкоторыя моренныя глины въ среднихъ губ (Тульской, Рязанской, Тамбовской, Воронежской, Пензенской и др.); съ поверхности онѣ, вслѣдствіе вывѣтриванія при участіи степной растительности, превращены въ черноземъ, а ниже, на толщину 1 — 2 м., пропитаны карбонатами такъ сильно, что получили бѣловатую окраску; этотъ слой называется карбонатнымъ горизонтомъ. Верхняя граница его болѣе или менѣе опредѣленная, но нижняя постепенно переходитъ въ карбонатную сѣть, происшедшую вслѣдствіе заполненія карбонатами сѣти трещинъ въ глинѣ и постепенно выклинивающуюся книзу; мощность карбонатной сѣти около 1,5 м., но отдѣльныя вѣтви ея проходятъ глубже. Характеръ этихъ образованій схематически представленъ на слѣдующемъ разрѣзѣ Богословскаго [40]) (фиг. 102). Такое же образованіе карбонатнаго гори-

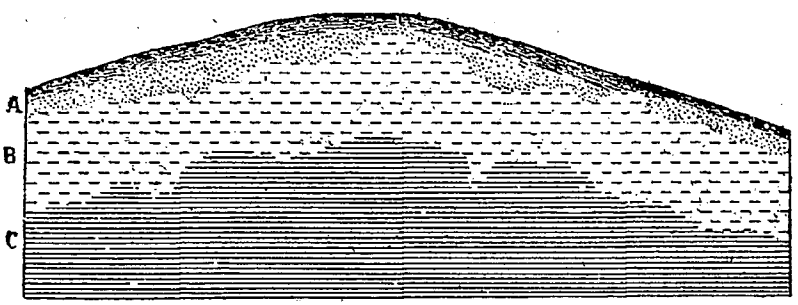


Фиг. 102.—Разрѣзъ въ 4 вер. къ югу отъ г. Михайлова Рязанской губ.

A — черноземъ — 0,5 м., B — красно-бурая подпочва, вскипающая съ кислотой—0,3—0,5 м., C—карбонатный горизонтъ—0,2—0,7 м., D—карбонатная сѣть въ валунной глинѣ—1—1,3 м., E—красно-бурая, свѣжая валунная глина.

зонта и сѣти наблюдалось при вывѣтриваніи различныхъ породъ, напр. на третичныхъ кремнистыхъ глинахъ и песчаникахъ Симбирской, Саратовской и др. губ., на лёссѣ Орловской губ. и пр.

Совершенно другой характеръ представляетъ кора вывѣтриванія въ лѣсной полосѣ русской равнины, гдѣ вмѣсто чернозема верхній слой обогащается подзоломъ, т. е. тончайшимъ кремнистымъ мелкоземомъ, состоящимъ изъ 85% чистой кремневой кислоты, немногихъ болѣе крупныхъ зеренъ кварца, не большого и не постояннаго количества глинозема, извести и цеолитовъ, но съ содержаніемъ желѣза и креновой или ключевой кислоты. Подзолъ представляетъ остаточный продуктъ разложенія и выщелачиванія породъ при энергическомъ воздѣйствіи органическихъ кислотъ, образующихся въ нашихъ лѣсахъ на счетъ отмершихъ частей древесной растительности. Органическія кислоты, просачиваясь въ



Фиг. 103. — Разрѣзъ въ свѣжей желѣзнодорожной выемкѣ въ 28 пер. къ сѣверу отъ Москвы. А—Подзолистый слой, окрашенный сверху гумусомъ. В—Красновато-желтобурый валунный суглинокъ съ подтеками по трещинамъ гуминовоминеральныхъ веществъ коричневаго и кофейнаго цвѣта и съ бѣловатымъ подзолистымъ налетомъ 2 мет. тол. С—Неизмѣненная красно-бурая валунная глина съ выступами, между которыми внѣдрены «карманы» вехняго слоя В.

породы, соединяются съ содержащимися въ нихъ различными основаніями и даютъ продукты, частью выносимые, частью остающіеся въ самой породѣ и скопляющіеся въ ней на разной глубинѣ, напр. гнѣзда ортштейна, тѣсно связаннаго съ подзоломъ (Kraulis въ В. Пруссіи, Fuchserde — З. Пруссіи, Eisenerde, Branderde, Ur, Orterde, Knik и пр.), представляющаго песокъ, сцементированный желѣзисто-органическимъ веществомъ и часто залегающаго въ видѣ кармановъ; словомъ, органическія кислоты въ лѣсной почвѣ преобладаютъ надъ угольной и вслѣдствіе этого, а также благодаря обилію влаги, вмѣсто карбонатовъ подъ лѣсомъ находится на нѣкоторой глубинѣ подзолъ и коричнево-бурые подтеки, образовавшіеся на счетъ выпаденія изъ растворовъ гуминово-минеральныхъ веществъ подъ вліяніемъ испаренія и окисляющаго дѣйствія воздуха. Слѣдующій схематическій разрѣзъ поясняетъ распредѣленіе элювіальныхъ слоевъ въ лѣсной почвѣ (фиг. 103) на той же коренной породѣ, т. е. на валунной или моренной глинѣ (*C*), на которой въ предыдущемъ (фиг. 102) разрѣзѣ показаны элювіальные слои степной почвы. Надъ ней залегаетъ красновато-желто-бурый валунный суглинокъ (*B*) съ подтеками гуминово-минеральныхъ веществъ коричневаго или кофейнаго цвѣта и

бѣловатымъ подзолистымъ налетомъ. Слой этотъ оканчивается карманами и имѣетъ до 2 м. толщины. Онъ прикрывается бѣлымъ подзоломъ (*A*), который въ верхней части окрашенъ гумусомъ въ свѣтло-сѣрый цвѣтъ. Такимъ образомъ по отношенію къ вывѣтриванію степная область можетъ быть названа карбонатною, а лѣсная—подзолистою.

Если вліяніе климата и растительности проявляется въ нижнихъ горизонтахъ коры вывѣтриванія, то въ поверхностномъ слоѣ или собственно въ почвахъ, это вліяніе выражается несравненно больше, какъ доказываютъ работы почвовѣдовъ въ разныхъ странахъ: въ С. Америкѣ [41]), въ Германіи [42]) и особенно въ Россіи [43]). Эта зависимость «почвы» отъ климата и растительности настолько велика, что послужила основаніемъ для генетической классификаціи почвъ, по которой онѣ раздѣляются на три главныхъ класса: 1) Почвы зональныя, полныя (латеритъ, лёссъ, черноземъ, подзолъ, тундра и др.); 2) Почвы интразональныя (солонцы, болотныя и др.) и 3) Почвы азональныя или неполныя (грубыя и скелетныя-каменистыя).

Болѣе подробное раздѣленіе почвъ, какъ поверхностныхъ продуктовъ вывѣтриванія, а также развитіе ихъ вообще, но въ особенности въ предѣлахъ Россіи, заимствуемъ изъ прекрасной статьи Н. М. Сибирцева [44]) съ приложеніемъ его же почвенной карты Европейской Россіи (карта № III), но въ сокращенномъ видѣ. Исходя изъ того опредѣленія, что подъ именемъ „почвы" слѣдуетъ разумѣть поверхностные горизонты горныхъ породъ, болѣе или менѣе измѣненные совмѣстнымъ вліяніемъ воды, воздуха и различнаго рода организмовъ—живыхъ и мертвыхъ, Сибирцевъ даетъ слѣдующую характеристику почвообразователей и распредѣленія почвъ: какъ поверхностное, материковое, геологическое образованіе, почва отличается отъ произведшей ея материнской горной породы и составомъ, и сложностью динамическихъ процессовъ, и внѣшними морфологическими особенностями. Разнообразіе природныхъ почвъ зависитъ: а) отъ петрографическаго типа материнской породы; б) отъ различнаго направленія и силы процессовъ вывѣтриванія, въ связи съ мѣстными климатическими и топографическими условіями; в) отъ количества и качества тѣхъ организмовъ, которые участвуютъ въ образованіи почвы и пріобщаютъ къ ея массѣ свои остатки; г) отъ характера тѣхъ измѣненій, какимъ подвергаются эти остатки въ почвѣ, также въ связи съ мѣстными климатическими условіями и физико-химическими свойствами почвенной среды; д) отъ механическаго перемѣщенія частицъ почвы, если только эти перемѣщенія не уничтожаютъ основныхъ свойствъ почвы, ея біологическаго характера, и не отрываютъ „почвы" отъ материнской породы; е) отъ продолжительности процессовъ почвообразованія. Всѣ вышеуказанныя условія могутъ быть названы генетическими моментами или условіями формированія почвы. Наличный типъ естественной почвы всегда отвѣчаетъ опредѣленной комбинаціи ея образователей. Материнскія породы, организмы (съ ихъ дальнѣйшими превращеніями) и физико-географическія условія страны, между которыми на первое мѣсто слѣдуетъ поставить климатъ (влагу, температуру), а затѣмъ новѣйшую геофизическую исторію данной мѣстности и ея рельефъ — вотъ главные агенты почвообразованія. Соотношеніе между этими агентами можетъ принимать различныя формы, причемъ между всѣми ими или только между нѣкоторыми изъ нихъ замѣчается обыкновенно извѣстная связь или параллелизмъ. Такъ, напр., составъ и распредѣленіе древнеосадочныхъ и кристаллическихъ породъ, конечно, не зависитъ само по себѣ отъ тѣхъ—хотя бы климатическихъ—условій страны, при которыхъ образуются современныя почвы. Но вывѣтриваніе этихъ породъ и всѣ вообще физико-химическіе процессы, происходящіе въ почвенной массѣ, связаны съ воздѣйствіями климата. Жаркій и влажный климатъ даетъ латериты, какъ элювіальную горную породу; и тотъ же жаркій и влажный климатъ управляетъ біологическими процессами образованія латеритныхъ почвъ. Атмосферный лёссъ и подобныя ему пылевыя породы свойственны континентальнымъ областямъ съ сухимъ климатомъ; но и почвы, происходящія изъ этихъ породъ, также подчинены вліянію сухого климата и также образуются при участіи пылевыхъ отложеній. Съ этой точки зрѣнія натура даннаго почвеннаго типа представляетъ, до извѣстной степени, функцію климата отъ геологическихъ предпосылокъ. Комплексы организмовъ— не говоря уже о продуктахъ

разложенія ихъ отмершихъ частей — также связаны въ своемъ составѣ и распредѣленіи съ общими физико-географическими и грунтовыми условіями той или иной почвенной территоріи; сами почвы, какъ тѣла, вліяютъ, въ концѣ концовъ, на развитіе, жизнедѣятельность и посмертное разложеніе организмовъ. А съ другой стороны, характеръ, напримѣръ, растительнаго покрова (лѣсъ, прерія и пр.) играетъ въ образованіи почвъ не только прямую, но и посредствующую роль, какъ факторъ физико-географическій, какъ элементъ физико-географическаго типа страны. Значеніе рельефа опредѣляется главнымъ образомъ тѣмъ, что пластика поверхности, такъ сказать, подводитъ материнскія породы и почвы подъ различную, но опредѣленную сумму эктодинамическихъ воздѣйствій, усиливая одни, ослабляя другія (оттокъ влаги съ бугровъ, накопленіе ея въ котловинахъ и низинахъ, различная нагрѣваемость склоновъ и т. под.). И наконецъ, относительная продолжительность почвообразовательныхъ процессовъ — напр. со времени освобожденія данной территоріи отъ ледниковаго покрова или воднаго бассейна, — преемственныя измѣненія въ климатѣ, надвиганіе лѣса на прерію, заболачиваніе, обсыханіе и проч.—должны, въ свою очередь, отражаться на прошломъ и современномъ характерѣ почвъ. Зная законы и нормы этихъ отраженій, можно изъ изученія почвъ извлекать матеріалъ для обратныхъ выводовъ, для возстановленія недавняго прошлаго страны, для обрисовки ея новѣйшей геофизической исторіи.

Естественная классификація почвъ можетъ быть выработана, исходя изъ генетическаго принципа. При установкѣ главныхъ почвенныхъ группъ должны быть уловлены существующія въ природѣ типы образованія или формированія почвъ, должны быть формулированы однородныя или сходныя сочетанія почвообразователей, какъ-то: климатъ, материнскія породы, комплексы организмовъ, рельефъ страны и т. под. Какъ извѣстно, уже простое вывѣтриваніе горныхъ породъ, разъ оно происходитъ въ сходныхъ физико-географическихъ условіяхъ, можетъ въ значительной степени сглаживать разницу между ними, можетъ давать элювіальные мелкоземистые продукты, болѣе близкіе между собою, чѣмъ первоначальныя породы; тѣмъ болѣе должно обнаруживаться подобное сходство, если и біологическіе агенты дѣйствуютъ въ одномъ направленіи, по одинаковымъ нормамъ. Мы можемъ, слѣдовательно, установить такой комплексъ естественныхъ условій, въ результатѣ котораго будутъ получаться почвы, положимъ, черноземной группы. Характерная черта этихъ почвъ заключается въ особомъ — съ количественной и качественной стороны — накопленіи въ нихъ перегноя, подъ равнинными травянными степями или преріями, въ умѣренномъ климатѣ. Вездѣ, гдѣ существуютъ аналогичныя условія, ими вызывается образованіе почвъ черноземнаго типа. Точно также намъ извѣстны особыя климатическія условія для явленій атмосферно-эоловаго вывѣтриванія, для распыленія мягкихъ горныхъ породъ, и тамъ, гдѣ эти условія имѣются въ наличности, получаются эоловыя, пылевыя почвы. Процессы оподзоливанія, въ свою очередь, связаны съ опредѣленными гидрологическими условіями почвенныхъ средъ и также подчинены вліянію климата. Почвы подобныхъ группъ отвѣчаютъ главными чертами своей натуры физико-географическому типу данной материковой области или зоны. Въ зонахъ: жаркой и влажной,— сухой континентальной,— умѣренной степной,—лѣсной и т. д., должны развиваться различныя почвы, но внутри каждой изъ нихъ сходныя между собою постольку, поскольку ихъ мелкоземистая и перегнойная часть (наиболѣе измѣняемая) отражаетъ въ себѣ сходныя воздѣйствія опредѣленной и постоянной комбинаціи геофизическихъ факторовъ почвообразованія.

Такимъ образомъ опредѣляется I классъ зональныхъ почвъ. Въ процессахъ образованія ихъ общія эктодинамическія и спеціальныя біологическія явленія устанавливаются согласно, по физико-географическимъ типамъ материковыхъ зонъ. Таковы болѣе извѣстные типы почвъ:

1. Латеритныя. Это почвы тропическихъ и субтропическихъ странъ съ жаркимъ и влажнымъ климатомъ (см. выше стр. 180).

2. Атмосферно-пылевыя. Образуются изъ пылевыхъ породъ въ центральныхъ или замкнутыхъ областяхъ материковъ съ рѣзко-сухимъ климатомъ (см. выше стр. 133 и слѣд.).

3. Почвы сухихъ (полынныхъ, кактусовыхъ и т. п.) степей или степей-пустынь. Образуясь изъ суглинистыхъ и супесчаныхъ материнскихъ породъ, окрашиваются въ каштаново-сѣрые и буроватые цвѣта, почему и называются каштановыми и бурыми почвами, съ содержаніемъ перегноя 3% — 5%; онѣ залегаютъ между атмосферно-пылевыми и черноземными почвами въ Европейской Россіи и съ которыми иногда сливаются; онѣ занимаютъ широкое пространство между р. Ураломъ и нижней Волгой, а также между нижней Волгой и Манычемъ, простираясь въ степную часть Крыма и на прибрежья Чернаго моря; вся эта область отличается лѣтними жарами съ жгучими вѣтрами, холодными и малоснѣжными зимами и годовымъ количествомъ осадковъ отъ 30 до 40 сант.

4. Черноземныя почвы пріурочиваются къ травянымъ степямъ или преріямъ умѣренныхъ и тепло-умѣренныхъ странъ съ континентальнымъ климатомъ, но менѣе рѣзко выраженнымъ, чѣмъ въ предыдущей области, съ годовымъ количествомъ осадковъ отъ 40 до 50 сант. Различные черноземы образуются преимущественно изъ мергелисто-суглинистыхъ породъ, чаще всего изъ лёсса и содержатъ отъ 4% до 10% перегноя. Черноземная полоса въ Европейской Россіи (см. карту № III) исчисляется приблизительно отъ 80 до 100 милліоновъ десятинъ и тянется съ WSW къ ONO—отъ юго-западной границы Россіи, черезъ бассейны Днѣпра, Дона и соотвѣтственнаго участка Волги, къ южной половинѣ Урала; ширина этой полосы отъ 700 до 800 верстъ, словомъ, отъ 44° с. ш. до 57° с. ш.; кромѣ того черноземъ развитъ также на Кавказѣ и въ Сибири.

5. Почвы лѣсостепныхъ полосъ и лиственныхъ лѣсовъ (сѣрыя почвы) съ 3% до 6% перегноя. Примыкаютъ къ черноземнымъ, но отличаются отъ нихъ по условіямъ генезиса, по морфологическимъ и другимъ свойствамъ (карта № III).

6. Почвы дерновыя и подзолистыя. Свойственны умѣренно-холодному поясу. Типично развиты подъ смѣшанными лѣсами, верещатниками и т. под. Сопровождаются ортштейномъ (alios) (карта № III).

7. Почвы тундровыя. Образуются изъ глинъ и глинистыхъ песковъ тундры, въ климатѣ холодномъ, съ весьма продолжительнымъ зимнимъ періодомъ. Имъ принадлежитъ, въ большей или меньшей степени, свойство вѣчной мерзлоты (подпочвенныя воды въ твердомъ состояніи) (карта № III).

Названныя группы почвъ представляютъ, въ идеальной схемѣ, зональное или полосчатое распредѣленіе по поверхности материковъ.

Экваторіальное положеніе занимаютъ латеритныя почвы, соотвѣтствующія периферической и прерывистой, изрѣзанной морями полосѣ тропическихъ и субтропическихъ материковыхъ областей. За ними къ сѣверу и къ югу слѣдуютъ области другихъ почвенныхъ типовъ, въ порядкѣ, указанномъ ихъ нумераціей. Въ полосѣ континентальныхъ плоскорій и замкнутыхъ или полузамкнутыхъ равнинъ сѣвернаго полушарія—во внутренней и юго-западной Азіи (Китай, Персія, Аравія, Туркестанъ), въ Прикаспійской области, въ сѣверной Африкѣ, въ западныхъ и юго-западныхъ штатахъ Сѣверной Америки — располагаются атмосферно-пылевыя почвы и почвы степей-пустынь. Въ южномъ полушаріи соотвѣтственную зону отмѣчаютъ почвы внутренней Австраліи, замкнутыхъ частей южной Африки (страна готтентотовъ, мѣстность къ югу отъ истоковъ р. Замбези) и средней Аргентины. Но открытымъ травянымъ равнинамъ, какъ венгерскія, русскія и сибирскія степи или американскія преріи въ сѣверномъ полушаріи, и восточныя провинціи Аргентины (Entrerios, Corrientes, Buenos-Ayres) — въ южномъ, распространяются почвы черноземной группы. Въ Азіи, Европѣ и Сѣв. Америкѣ между черноземными и тундровыми почвами располагаются почвы 5-й и 6-й группъ. Въ южномъ полушаріи такой полноты нѣтъ, что обусловливается иной конфигураціей южныхъ материковъ Повторяемъ еще разъ, что зональность вышеуказанныхъ типовъ почвъ есть только схема, только общая картина почвеннаго „лика земли“, относящаяся по преимуществу къ равниннымъ и полуравниннымъ территоріямъ. Въ дѣйствительности, ни одинъ зональный типъ почвъ не облекаетъ материковой поверхности въ видѣ сплошнаго пояса. Всѣ они залегаютъ прерывистыми лентами и пятнами, то расплываясь на огромную ширину, то съуживаясь, то перемежаясь между собою въ пограничныхъ областяхъ, то, наконецъ, забрасываясь островками въ стороны отъ главныхъ зонъ. Полнота и строгая географическая послѣдовательность этихъ послѣднихъ часто нарушается вмѣшательствомъ различныхъ мѣстныхъ орографическихъ, геологическихъ и климатическихъ особенностей, препятствующихъ развитію извѣстныхъ почвъ или отодвигающихъ и перемѣщающихъ ихъ территоріальныя площади. Такъ, напр., почвы степей-пустынь распространяются въ Россіи къ югу и юго-востоку отъ чернозема, а въ Сѣверной Америкѣ—къ западу и юго-западу (соотвѣтственно возрастанію сухости климата). Здѣсь кстати слѣдуетъ прибавить, что помимо горизонтальныхъ зонъ, можно наблюдать и вертикальныя—на широкихъ подъемахъ и плоскогоріяхъ, являющіяся до извѣстной степени мѣстнымъ повтореніемъ горизонтальныхъ зонъ въ аналогичномъ порядкѣ. Черноземъ Уфимской губерніи смѣняется къ Уралу „лѣсными“, а затѣмъ и подзолистыми суглинками; за почвами сухихъ степей Маныча, по направленію къ Кавказу, снова тянется черноземная полоса, — и т. под.

Типами съ зональнымъ или полосчатымъ распредѣленіемъ далеко, однако, не исчерпывается разнообразіе природныхъ почвъ. Какъ уже было замѣчено выше, среди образователей почвъ есть такіе, которые могутъ обособляться отъ согласнаго комплекса остальныхъ факторовъ. Такъ напр. особый составъ материнской породы можетъ удержать свое вліяніе на почву и сообщить ей спеціальныя черты, не свойственныя господствующему зональному типу; подобное же зна-

ченіе имѣетъ мѣстное пересыщеніе почвъ влагою, обусловленное, положимъ, пластикой поверхности, т. е. низинным или котловинным залеганіемъ почвы. Перегнойныя почвы этого II-го класса могутъ быть названы интразональными или полузональными. Онѣ разбросаны островами и крапинами среди главныхъ зонъ, причемъ хотя и пріурочиваются по преимуществу къ нѣкоторымъ изъ этихъ зонъ, но далеко не исключительно. Опредѣленные типы ихъ чаще встрѣчаются въ тѣхъ зонахъ, общія условія которыхъ благопріятствуютъ или наименѣе препятствуютъ сохраненію самостоятельнаго значенія за тѣмъ или инымъ изъ отдѣльныхъ образователей почвъ.

Интразональныхъ типовъ существуетъ, безъ сомнѣнія, весьма много. Для примѣра мы назовемъ здѣсь слѣдующіе:

1. Солонцы. Образуются при соленосности материнской породы въ условіяхъ слабаго дренированія послѣдней. Такъ какъ соленосность породы можетъ зависѣть отъ причинъ чисто геологическихъ, не имѣющихъ прямой связи съ другими факторами образованія почвы, то въ залеганіи солонцовъ не наблюдается, вообще говоря, правильной зональности. Но они всего чаще сопровождаютъ сухія области Европы, Азіи, Америки, Африки и Австраліи, т. е. 2-ю, 3-ю и отчасти 4-ю зону. (Карта № III).

2. Перегнойно-карбонатныя почвы. Образуются изъ карбонатныхъ породъ и могутъ накоплять много перегноя, вслѣдствіе задержки разложенія органическихъ остатковъ слабою щелочностью среды и вслѣдствіе легкаго выщелачиванія $CaCo_3$ и $MgCo_3$.

3. Болотныя почвы. Здѣсь разумѣются почвы, образующіяся въ условіяхъ застаиванія влаги (пересыщенія почвъ влагою) при травянистомъ или смѣшанномъ составѣ покрова. Разсѣянныя по материковой поверхности, въ зависимости отъ ея рельефа и гидрогеологическихъ причинъ, онѣ свойственны по преимуществу умѣренному и холодному поясамъ, но находятся и въ жаркомъ. Образуются: а) то въ прѣсноводной средѣ (кислые луга, низменныя болота), то б) въ полосахъ затопляемыхъ или затоплявшихся морскими и устьевыми водами (морскія болота, морскіе и дельтовые маршн и т. под.). Разная степень заболачиванія, различный составъ организмовъ, характеръ водной среды, послѣдовавшее по тѣмъ или инымъ причинамъ обсыханіе болотной котловины—придаютъ почвамъ данной группы значительное разнообразіе.

Наконецъ, намъ извѣстно много природныхъ почвъ, въ которыхъ мелкоземисто-перегнойная часть можетъ быть подавлена неизмѣненною материнскою породою, или которыя образуются смѣшаннымъ процессомъ: а) механическимъ отложеніемъ частицъ, какъ минеральныхъ, такъ и органическихъ (аллювій) и б) періодическимъ воздѣйствіемъ на отложившійся наносъ спеціальныхъ образователей перегнойной почвы. Относящіяся сюда почвы стоятъ, такъ сказать, на рубежѣ между почвами въ тѣсномъ смыслѣ слова и горными породами, то сливаясь съ первыми, то приближаясь ко вторымъ. Онѣ составляютъ III-ій классъ неполныхъ или азональныхъ почвъ, встрѣчающихся повсемѣстно. Образующіяся внѣ аллювіальныхъ ложбинъ и котловинъ (in situ) распадаются на двѣ большія группы: А) почвы грубыя, и В) почвы скелетныя. Грубыми почвами (Rohbodenarten) мы называемъ такія, въ которыхъ находится значительное количество глинообразныхъ или илистыхъ частицъ (глины, суглинки, супеси), но слабо и неясно выраженъ перегнойно-растительный горизонтъ. Каждая мелкоземисто-перегнойная почва переходитъ книзу въ „грубую“; но здѣсь таковою является вся или почти вся почва. Названіе скелетныхъ почвъ придается такимъ, въ которыхъ безусловно преобладаютъ зернисто-песчаные, гравельные, хрящеватые, вообще, скелетные механическіе элементы, вытѣсняющіе минеральный и перегнойный мелкоземъ.

Условіями возникновенія грубыхъ и скелетныхъ почвъ могутъ быть:

1) Неизмѣняемость или трудная измѣняемость материнской горной породы или находящихся въ ней каменистыхъ включеній (пески, галечники, валунные щебни, плотныя осадочныя породы и т. под).

2) Смываніе мелкоземисто-перегнойнаго горизонта снѣговыми и дождевыми водами (грубыя почвы на буграхъ и скатахъ).

3) Малая продолжительность процессовъ образованія почвы (неразвитыя почвы на относительно недавнихъ обнаженіяхъ или наплывахъ породъ).

4) Стѣсненіе этихъ процессовъ неблагопріятными климатическими вліяніями (хаммады пустынь, грубыя почвы полярныхъ странъ и проч.).

Основная черта аллювіальныхъ почвъ заключается въ томъ, что онѣ образуются при посредствѣ механическаго передвиженія и отложенія частицъ перемежающимися водными бассейнами и потоками. Таковы, напр., почвы рѣчныхъ долинъ. Не слѣдуетъ смѣшивать аллювіальнаго наноса и аллювіальной почвы: аллювіальный наносъ есть чисто механическій намывъ, весьма различной мощности, — образова-

ніе геологическое; аллювіальная почва есть горизонтъ этого намыва, подвергшійся поздѣйствію общихъ динамическихъ агентовъ вывѣтриванія и переработкѣ комплексами организмовъ.

Резюмируя все вышесказанное, мы можетъ раздѣлить природныя почвы на слѣдующіе генетическіе классы и типы:

Классъ I. *Почвы зональныя*, полныя.
Типы:
1. Латеритныя.
2. Атмосферно-пылевыя.
3. Почвы степей-пустынь или сухихъ степей.
4. Черноземы.
5. Лѣсостепныя и сѣрыя лѣсныя почвы.
6. Дерновыя и подзолистыя почвы.
7. Тундровыя почвы.

Классъ II. *Почвы интразональныя.*
Типы:
1. Солонцы.
2. Перегнойно-карбонатныя почвы.
3. Болотныя почвы—и проч.

Классъ III. *Почвы неполныя или азональныя.*
Подклассъ: Образующіяся in situ:
А) Грубыя
Б) Скелетныя
} разныхъ группъ.
Подклассъ: Аллювіальныя (разныхъ группъ).

Въ природѣ между почвами различныхъ генетическихъ типовъ существуютъ переходныя звенья, какъ онѣ существуютъ и въ системахъ другихъ тѣлъ или явленій. Переходы между типами устанавливаются, во 1-хъ, тѣмъ, что образователи почвъ (какъ напр. условія климата) измѣняются не рѣзко, а съ извѣстною постепенностью, причемъ могутъ давать промежуточные или средніе результаты. Во вторыхъ, существованіе переходныхъ типовъ обусловлено измѣняемостью самихъ почвъ въ теченіи ихъ образованія и жизни. Почвы могутъ проходить различныя фазы и формы развитія, соотвѣтственно дѣйствующимъ на нихъ внѣшнимъ вліяніямъ. Такъ, напр., нѣкоторые солонцы, теряя понемному соли чрезъ выщелачиваніе, обращаются въ почвы сухихъ степей и даже въ черноземы; аллювіальныя почвы, вышедшія изъ сферы рѣчныхъ разливовъ, приближаются къ мѣстнымъ зональнымъ типамъ; если мѣстность почему-либо теряетъ дренажъ, почвы могутъ заболачиваться и, наоборотъ, заболоченныя почвы, при обсыханіи и дренированіи, теряютъ свои характерныя особенности и также сближаются съ другими мѣстными типами; если, при образованіи чернозема, на степь или прерію надвигаются лѣса, они измѣняютъ структуру и составъ почвы въ сторону лѣсостепныхъ и лѣсныхъ земель,—и т. д

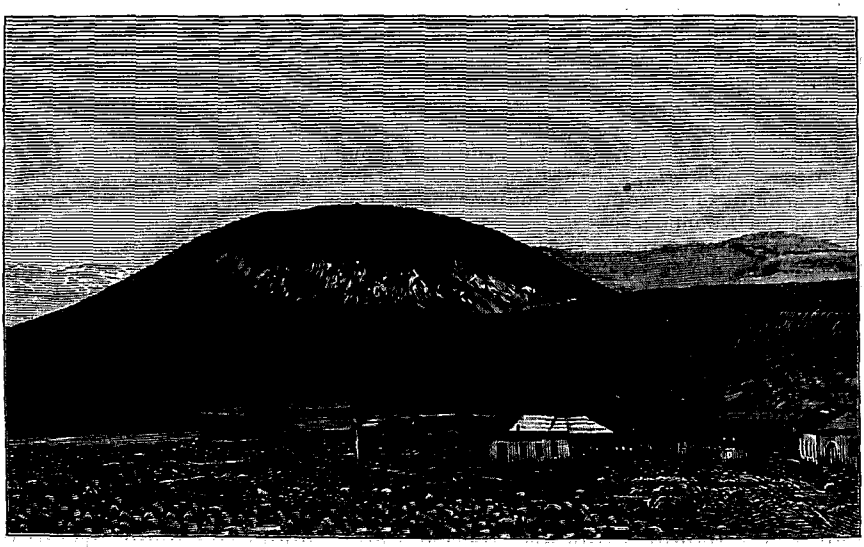
Генетическіе типы почвъ суть большія категоріи, внутри которыхъ существуетъ много подтиповъ, группъ и подгруппъ, цѣлые генетическіе ряды почвъ, подробное разсмотрѣніе которыхъ уже выходитъ изъ предѣловъ нашего курса; для ознакомленія съ ними рекомендуемъ интересную таблицу Сибирцева [43]).

Разсмотрѣніе элювіальныхъ образованій или вообще продуктовъ вывѣтриванія съ одной стороны разъясняетъ происхожденіе нѣкоторыхъ мѣсторожденій полезныхъ ископаемыхъ, напр. бурыхъ желѣзняковъ, золотоносныхъ розсыпей и пр., даетъ основаніе для классификаціи почвъ, а съ другой—разрѣшаетъ нѣкоторые теоретическіе вопросы. Такъ, работы Ванъ-денъ-Брёка о вывѣтриваніи третичныхъ породъ Бельгіи устранили много спорныхъ вопросовъ и увеличили точность геологической карты этой страны. Но кромѣ того, изслѣдованіе элювіальныхъ образованій разрѣшаетъ иногда и болѣе важныя геологическія задачи, напр. о колебаніяхъ поверхности нѣкоторыхъ участковъ суши. Если въ свитѣ пластовъ разнаго возраста, но морского происхожденія, находятся хотя бы прослойки элювіальныхъ образованій, то они указываютъ на перерывы въ морскихъ отложеніяхъ и временную смѣну ихъ континентальными; слѣдовательно по числу элювіальныхъ слоевъ на разныхъ горизонтахъ возможно опредѣлить число континентальныхъ періодовъ или все равно число колебаній для данной страны, которая, то покрывалась моремъ, отлагавшимъ морскіе осадки, то освобождалась отъ него и покрывалась слоемъ элювіальныхъ образованій. Наконецъ, кромѣ всѣхъ вышеуказанныхъ измѣненій, производимыхъ вывѣтриваніемъ на поверхности

суши, тотъ же процессъ обусловливаетъ появленіе особыхъ формъ рельефа, имѣющихъ также важное геологическое значеніе. Само собой разумѣется, что оригинальныя формы рельефа, производимыя вывѣтриваніемъ свойственны преимущественно горнымъ странамъ, но не лишены ихъ и равнины.

Вліяніе вывѣтриванія на рельефъ. Делювіальныя образованія.

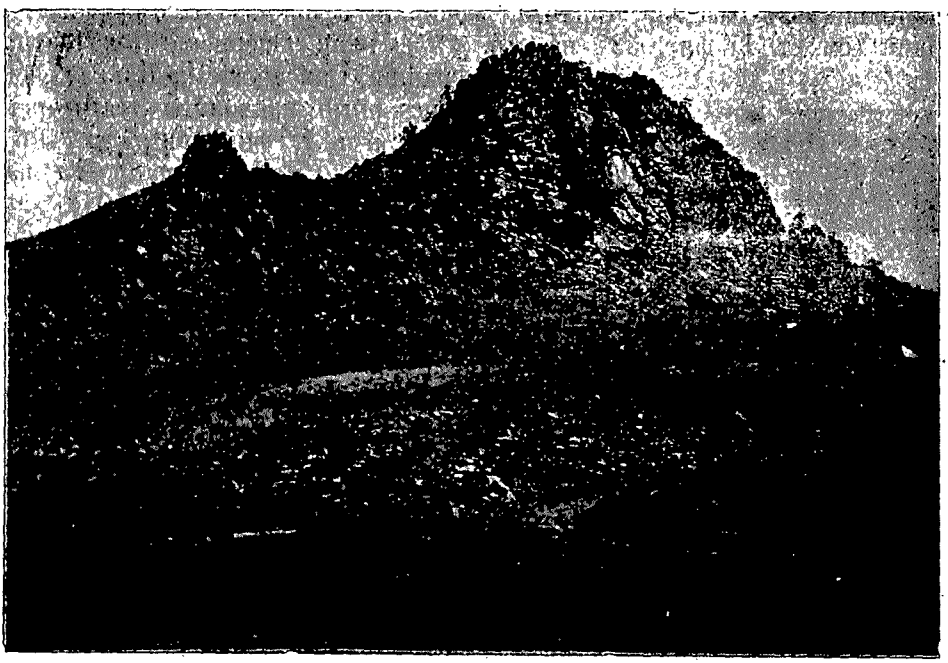
Вывѣтриваніе, разрыхляя и выщелачивая горныя породы, очевидно должно оказывать значительное вліяніе на рельефъ земной поверхности; дѣйствительно оно нетолько производитъ частныя формы рельефа, но и болѣе общія измѣненія какъ въ горныхъ, такъ и въ равнинныхъ областяхъ. Мы уже видѣли, что въ однихъ случаяхъ оно превращаетъ равнину въ холмистую страну и способствуетъ общему повышенію поверх-



Фиг. 104.—Трахитовый куполъ Таушанъ-тока у г. Ахалкалаки.

ности, напр. при переходѣ большихъ массъ ангидрита въ гипсъ (см. выше стр. 159); въ другихъ случаяхъ, наоборотъ, оно понижаетъ поверхность на сотни и даже тысячи футовъ, напр. при выщелачиваніи значительныхъ толщъ известняка (см. выше стр. 171); неравномѣрность этихъ процессовъ обусловливаетъ появленіе различной формы и величины котловинъ, которыя иногда превращаются въ озера. Всѣ эти измѣненія въ свою очередь вліяютъ на дальнѣйшій ходъ вывѣтриванія, такъ какъ прониканіе его въ глубину зависитъ отъ рельефа поверхности, отъ однородности породъ и взаимнаго сочетанія ихъ. На равнинахъ вывѣтриваніе обыкновенно проникаетъ только на небольшую глубину, потому что элювіальный покровъ очень часто задерживаетъ его и предохраняетъ нижележащія породы отъ дальнѣйшихъ измѣненій. Въ горахъ или вообще на крутыхъ склонахъ наоборотъ, продукты вывѣтриванія не остаются на мѣстѣ, а перемѣщаясь вслѣдствіе своей собственной тяжести, скатываются внизъ и постепенно, обнажая нижележащія породы, предоста-

вляютъ ихъ дѣйствію вывѣтриванія, которое слѣдовательно можетъ проникать на значительную глубину. При такихъ условіяхъ, во первыхъ, происходятъ разнообразныя измѣненія первоначальныхъ и возникновеніе новыхъ формъ рельефа, и во вторыхъ, образуются своеобразныя накопленія продуктовъ вывѣтриванія, которыя отличаются отъ элювія перемѣщеніемъ и потому называются делювіемъ. Нельзя отрицать, что въ томъ и другомъ случаѣ, т. е. какъ при формированіи горъ, такъ и при накопленіи делювія, нѣкоторое участіе принимаютъ мелкіе дождевые по-



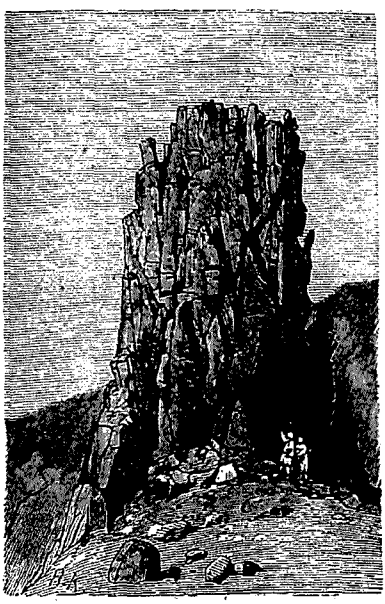
Фиг. 105.—Гранитныя сопки на р. Селенгѣ въ 40 вер. выше г. Верхнеудинска въ Забайкальской области.

токи; но работу ихъ выдѣлить трудно, тѣмъ болѣе, что она проявляется не всегда.

Несмотря на большое разнообразіе формъ рельефа, происходящихъ отъ вывѣтриванія, ихъ можно группировать въ нѣсколько главныхъ типовъ, въ зависимости отъ свойства породъ и характера залеганія ихъ. Проф. Геймъ [46]) различаетъ только три типа: 1—формы горъ, состоящихъ изъ вулканическихъ породъ; 2 — изъ метаморфическихъ сланцевъ и 3—изъ осадочныхъ породъ; но на самомъ дѣлѣ ихъ гораздо больше, такъ какъ въ первомъ типѣ горы, состоящія изъ массивовъ, отличаются отъ состоящихъ изъ разнородныхъ жилъ или покрововъ, во второмъ—гнейсовыя горы отличаются отъ сланцевыхъ, въ третьемъ—нарушенныя твердыя породы даютъ другія формы, нежели горизонтально-напластованныя; наконецъ въ природѣ часто встрѣчаются горы смѣшаннаго состава, которыя образуютъ самыя причудливыя формы подъ вліяніемъ вывѣтриванія. Не останавливаясь на подробномъ описаніи всѣхъ этихъ типовъ и переходныхъ между ними, мы разсмотримъ только наиболѣе

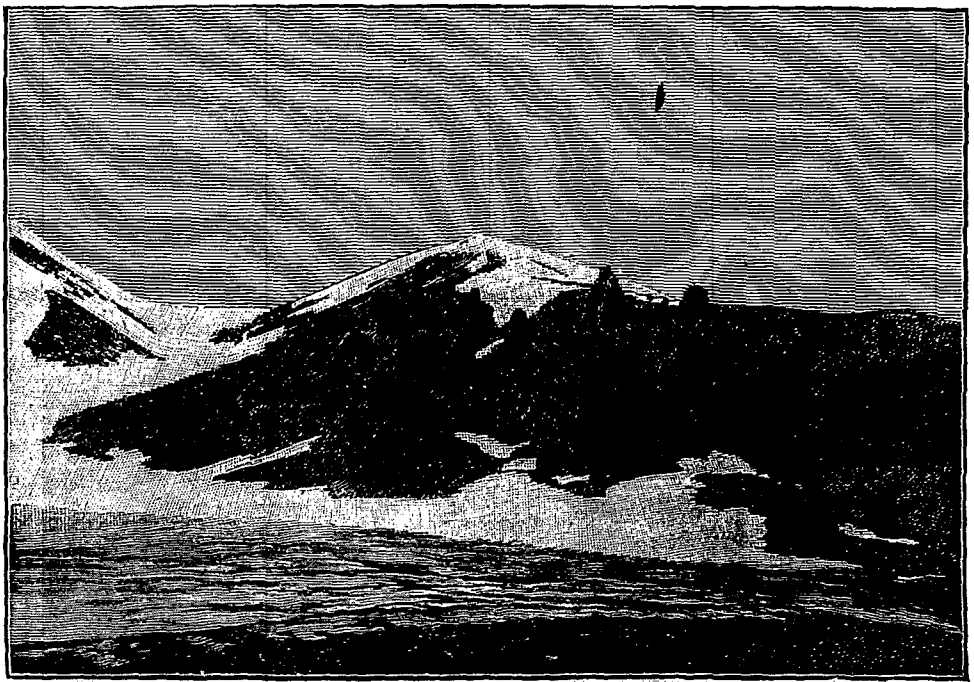
характерныя и оригинальныя формы вершинъ и склоновъ, которыя позволяютъ разобраться во всѣхъ остальныхъ, а въ концѣ познакомимся съ характеромъ деловіальныхъ накопленій.

Горы, состоящія изъ массивно-кристаллическихъ породъ при однородности состава обыкновенно вывѣтриваются одинаково по всѣмъ направленіямъ, а потому вершины и склоны ихъ рѣдко имѣютъ причудливыя формы, а большею частью правильно-коническую или куполообразную безъ выдающихся шпицовъ, иголъ или вообще острыхъ выступовъ на вершинѣ; сюда принадлежатъ напр. всѣ однородные вулканы, состоящіе изъ базальта, тархита, фонолита и пр., а также вулканы типа Пюи (см. т. I, фиг. 535 на стр. 477), напр. Овернскіе въ Центральной Франціи, Самсарскіе на Кавказѣ; далѣе многочисленные лакколиты Пятигорскаго округа (см. т. I, фиг. 560, стр. 496) и Ахалкалакскаго нагорья, напр. Таушанъ-топа у г. Ахалкалаки (фиг. 104), лакколиты у озера Топороване; также — діоритовые купола Нормандіи, гранитовые купола или такъ называемыя сопки въ Киргизской степи, на Уралѣ, въ Забайкальѣ и пр. (фиг. 105). Если порода обнаруживаетъ хотя бы нѣкоторую неоднородность въ составѣ или сложеніи, то формы вывѣтриванія утрачиваютъ свою правильность и сглаженность; вершины ихъ расчленяются, а на шероховатыхъ склонахъ появляются выступы и углубленія, которые достигаютъ иногда значительныхъ размѣровъ, особенно при развитіи трещинъ отдѣльности. Вывѣтриваніе проникаетъ по этимъ трещинамъ, постепенно расширяетъ и увеличиваетъ ихъ на столько, что массивная порода раздѣляется на отдѣльные слои или глыбы, смотря по характеру трещинъ; при правильной вертикальной трещиноватости получаются оригинальныя плитообразныя скалы съ гребенчатыми склонами и вершинами, напр. въ фонолитовыхъ выступахъ Рёта (см. т. I, фиг. 124 на стр. 177). Въ твердыхъ кварцевыхъ порфирахъ неоднороднаго сложенія и съ вертикальною трещиноватостью образуются или изолированные столбы на склонахъ, напр. въ горахъ Косъ-мулла у Ташкента (фиг. 106) или же цѣлая группа ихъ у вершины, напр. порфировые столбы до 20 м. высотою на перевалѣ Кой-су (13.500 ф.) въ Кунгей Алатау (Тянь-шань) (фиг. 107) [47]). При столбчатой и шаровой отдѣльности, когда края и углы глыбъ закругляются отъ вывѣтриванія, получаются оригинальныя такъ называемые «сырные» склоны и гроты (см. т. I, фиг. 126, 128, 129 на стр. 178). При горизонтальной трещиноватости или параллелопепидальной отдѣльности порода разбивается на горизонтальные слои, которые, при закругленіи краевъ и угловъ, уподобляются матрацамъ, наложеннымъ другъ



Фиг. 106.—Порфировый столбъ въ горахъ Косъ-мулла близъ дер. Сайлыкъ въ 60 вер. къ NO отъ Ташкента.

на друга и образующимъ такъ называемую матрацевую отдѣльность, которая характерна для многихъ вывѣтривающихся гранитныхъ вершинъ, напр. такъ называемыя «гранитныя палатки» близъ ст. Степной въ

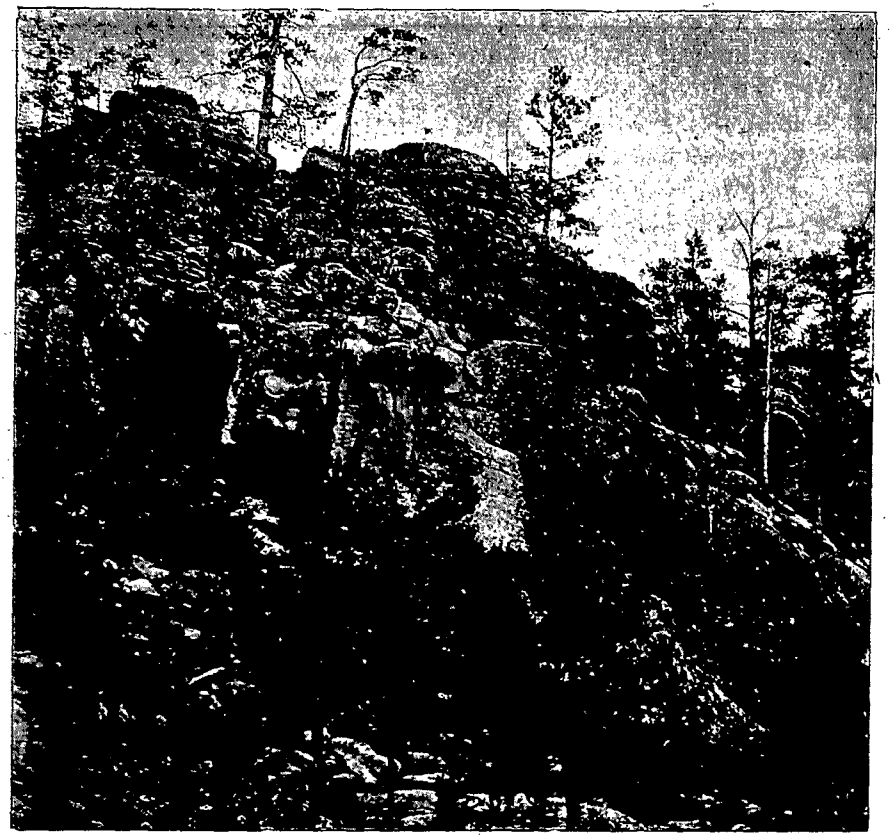


Фиг. 107.—Порфировые столбы выв*ѣ*триванія у перевала южнаго Кой-су въ Кунгей-Алатау въ Тянь-шанѣ.

Ю. Уралѣ [48]) (фиг. 108), Шарташскія палатки или «Чертово городище» близъ Екатеринбурга [49]), тоже матрацовыя вершины въ гранитахъ Цаганъ-дабана въ Забайкальѣ [50]) (109), въ Исполиновыхъ горахъ (см. т. 1, фиг. 133 на стр. 181) и пр. Иногда въ этихъ случаяхъ массивный гранитъ получаетъ плитняковую отдѣльность, которая придаетъ ему сланцеватое сложеніе (см. выше фиг. 90); иногда же, особенно при неправильной или ромбоидальной отдѣльности гранитные склоны и вершины раздробляются выв*ѣ*триваніемъ на груды глыбъ, залегающихъ безъ всякаго порядка (фиг. 110) и находящихся въ крайне неустойчивомъ равновѣсіи, такъ что при малѣйшемъ сотрясеніи, напр. при землетрясеніяхъ они разсыпаются и обваливаются; особенно часто это происходитъ на крутыхъ

Фиг. 108.—Гранитная палатка близъ ст. Степной въ Южномъ Уралѣ.

вывѣтривающихся склонахъ, гдѣ раздробленію на глыбы помогаютъ часто корни растеній, какъ напр. на крутыхъ гранитныхъ склонахъ долины



Фиг. 109.—Матрацевая отдѣльность въ гранитѣ близь южнаго склона хр. Цаганъ-Дабана.

р. Иркута (фиг. 111) [51]). Такимъ же образомъ происходятъ такъ называемые качающіеся камни. Само собой разумѣется, что при сочетаніи

Фиг. 110.—Гранитная вершина, развалившаяся отъ выѣтриванія.

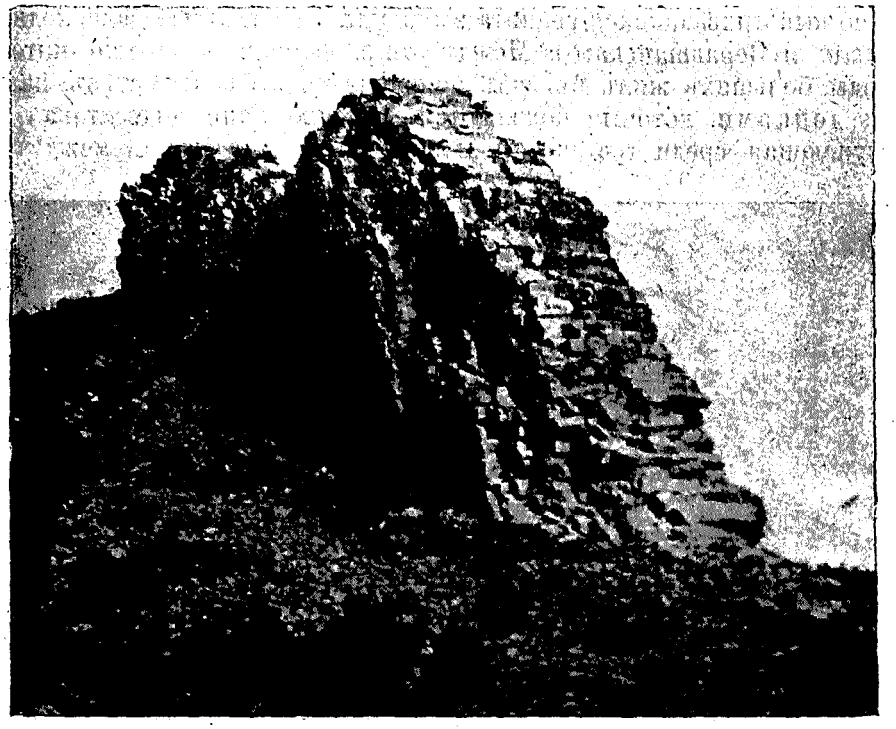
различныхъ породъ, слагающихъ горы, особенно при совмѣстномъ залеганіи твердыхъ вулканическихъ и слабыхъ осадочныхъ, получаются болѣе разнообразныя и сложныя формы выѣтриванія, представляющія иногда

сильно расчлененныя вершины въ видѣ острыхъ иголъ, зубьевъ и пр., какъ напр. въ верховьяхъ Зеравшана (Алайскій хр.), гдѣ многочисленныя жилы габбро, діабаза и др. породъ выступаютъ причудливыми скалами среди сильно вывѣтривающихся гранита и міаскита (см. гл. VIII, фиг. ледниковъ Зардаля и Зеравшанскаго). Между этими формами особенно интересны выходы большихъ жилъ въ видѣ неправильно зубчатыхъ стѣнъ, называемыхъ дейками, которыя появляются одиночно, напр. андезитовая дейка, выступающая среди третичныхъ и ледниковыхъ отложеній между Ахал-

Фиг. 111.—Развалившійся гранитный склонъ долины Иркута.

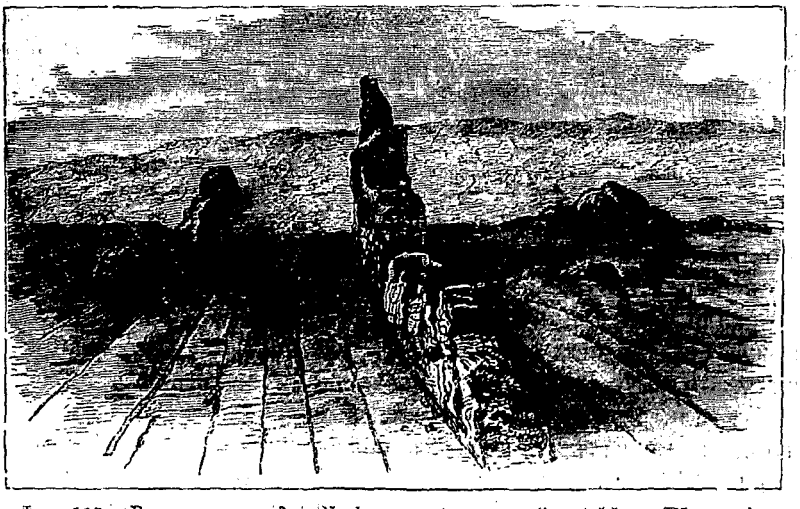
цихомъ и Абасъ-Туманомъ на Кавказѣ [52]) (фиг. 112); хотя она уже значительно разрушена, но мѣстами еще сохранилась въ видѣ скалистаго гребня съ характерною отдѣльностью; тоже представляетъ, такъ наз., Чертова скала при Ошицѣ въ Богеміи (см. т. I. фиг. 130, стр. 179). Иногда же онѣ залегаютъ по парно или по нѣсколько, напр. базальтовыя дейки, наз. Neck [53]) (шея), въ вулканическомъ туфѣ въ Шотландіи (фиг. 113) или трахитовыя дейки, выступающія острыми вершинами среди горизонтальныхъ третичныхъ песчаниковъ (*n*, *m*) Колорадо (Novaj Creck) (фиг. 114), съ которыми имѣютъ большое сходство дейки Бештау и особенно Кумъ-горы или Кинжала въ Пятигорскомъ округѣ. Онѣ часто встрѣчаются въ древнихъ потухшихъ вулканическихъ областяхъ (см. т. I, фиг. 486 на стр. 426, фиг. 539 на стр. 480 и др.).

Горы, состоящія изъ метаморфическихъ сланцевъ, отличаются болѣе однообразными вершинами и склонами сравнительно какъ съ преды-



Фиг. 112.—Андезитовая дейка у Бенара между Ахалцихомъ и Абасъ-Туманомъ на Кавказѣ.

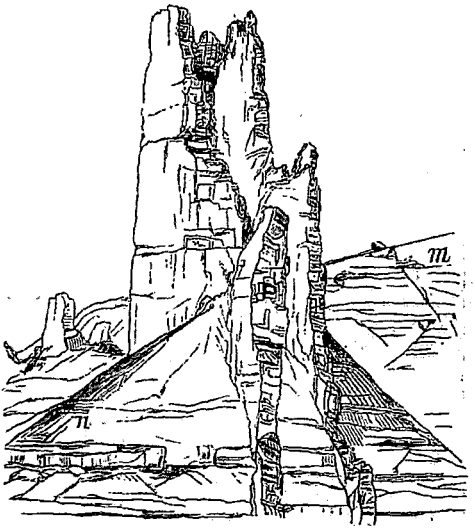
дущими, такъ и съ послѣдующими горами, сложенными изъ осадочныхъ породъ. Сланцевыя горы получаютъ замѣчательно однородные склоны,



Фиг. 113.—Базальтовыя дейки Neck въ вулканическомъ туфѣ въ Шотландіи.

непревышающіе 32 — 36°, напр. склоны Бристеншитока, нѣкоторыя части Алайскаго хребта, но особенно Сусамыръ-тау, гдѣ склоны въ 32°

тянутся безъ малѣйшаго измѣненія на десятки верстъ. Что касается гребней и вершинъ, то обыкновенно первые отличаются мелкою, острою и равномѣрною зубчатостью, по которой уже издали всегда можно отличить сланцевыя горы, напр. въ Курфюрстахъ (Альпы) (фиг. 115), Александровскомъ хребтѣ въ Тянъ-шанѣ и пр., а вторыя, т. е. отдѣльныя вершины всегда имѣютъ болѣе или менѣе пирамидальную форму, иногда очень острую, какъ напр. въ долинѣ Ягнобъ притокѣ Зеравшана (фиг. 116) у дер. Анзобъ (недавно снискавшей себѣ печальную извѣстность, какъ очагъ чумы), вершина Бель-ала-кая въ верховьяхъ Теберды на Кавказѣ [55]) и др. Иногда зубцы такъ мелки и остры, что гребень издали кажется совершенно ровнымъ, тогда какъ вблизи оказывается правильно зазубреннымъ или пилообразнымъ. При малѣйшей неоднородности твердыхъ, тонкослоистыхъ и нарушенныхъ породъ зубцы становятся менѣе равномѣрными, но за то вершины—изящнѣе и острѣе, напр. въ Аклеттаградѣ (фиг. 117), въ испанской Сіерра-Невада, въ западной части Александровскаго хребта и пр. Только среди гнейсовыхъ вершинъ попадаются болѣе при-



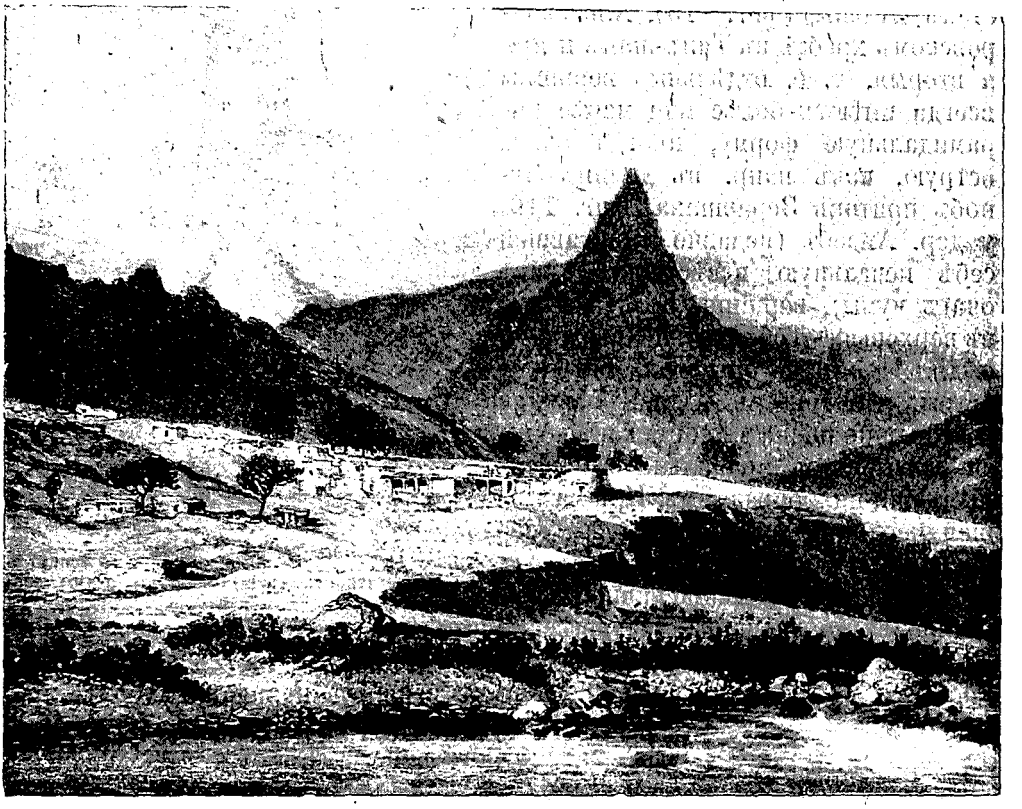
Фиг. 114. — Трахитовыя дейки въ горизонтальныхъ песчаникахъ (n, m) Колорадо (Novajo Creek).

Фиг. 115.—Курфюрсты.

чудливыя формы и то незначительной величины, какъ напр. въ верховьяхъ Теберды на Кавказѣ, на Патомскомъ нагорьѣ Олекминско-Витимской горной страны (фиг. 118) и пр.

Горы, состоящія изъ осадочныхъ породъ, имѣютъ различныя формы вывѣтриванія въ зависимости отъ твердости и характера дислокаціи ихъ. Твердыя, тонкослоистыя, крутопадающія породы даютъ неравномѣрно-зубчатый гребень (см. фиг. 117); толстослоистыя, твердыя породы, особенно при крутомъ или вертикальномъ положеніи пластовъ, вывѣтриваясь неравномѣрно, образуютъ весьма расчлененные гребни и склоны съ вершинами самой разнообразной и часто причудливой формы

въ видѣ столбовъ, башень, зубьевъ и пр., напр. въ твердыхъ известнякахъ на р. Чусовой (фиг. 119), въ кварцитахъ Уй-таша, Таганая (фиг. 120) и др. въ юж. Уралѣ. При развитіи въ осадочныхъ породахъ кваdерной



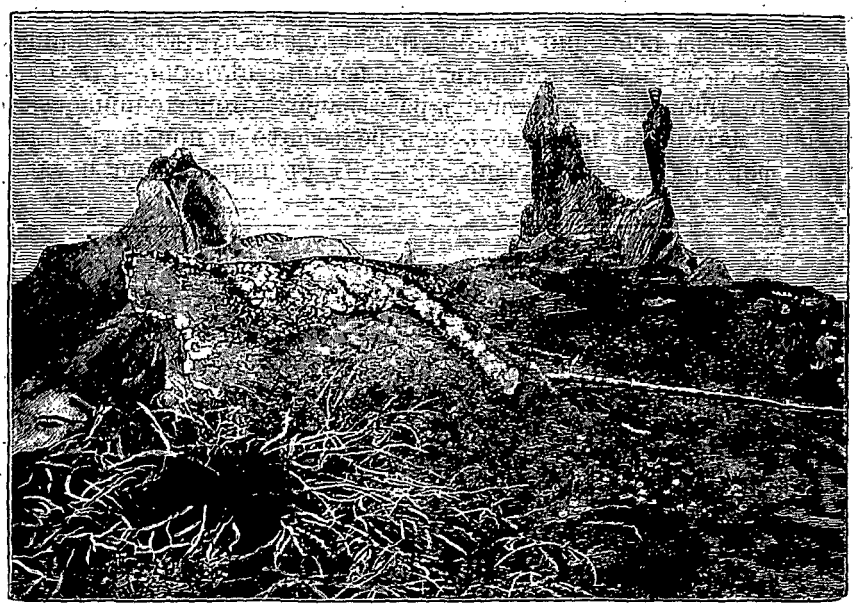
Фиг. 116.—Сланцевый пикъ у дер. Анзобъ на р. Ягнобъ въ Гиссарскомъ хр. (Туркестанъ).

отдѣльности (см. т. I, фиг. 134 на стр. 182), сходной по своей правильности съ ромбоидальною отдѣльностью массивныхъ породъ, столбы образуются въ слабо наклонныхъ или даже въ совершенно горизонталь-

Фиг. 117.—Аклеттаградъ.

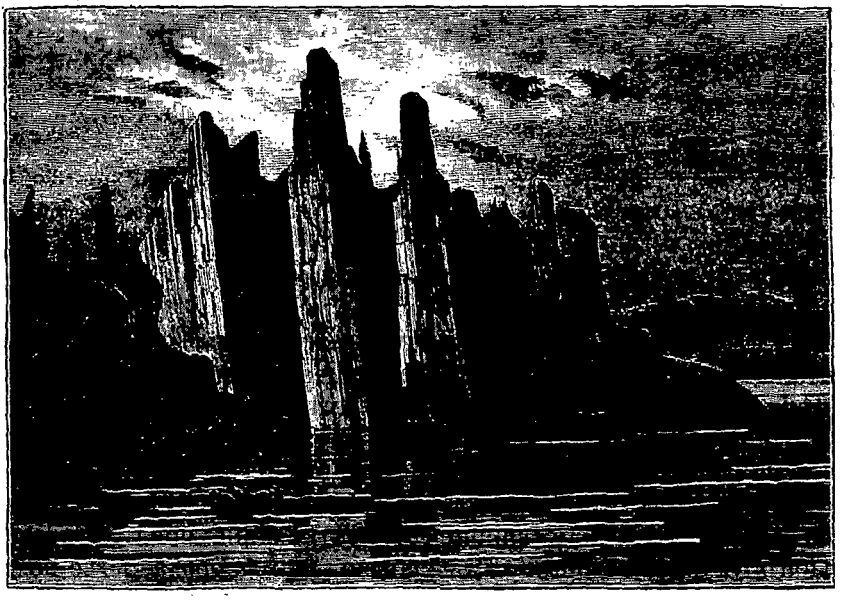
ныхъ пластахъ, при чемъ они появляются или одиночными, напр. въ известнякахъ Демерджи въ Крыму (фиг. 121), въ песчаникахъ Турфана, или попарно, напр. замѣчательные столбы въ песчаникахъ Колорадо, извѣстные подъ именемъ «сіамскихъ близнецовъ» (фиг. 122) или же

наконецъ цѣлыми группами, образуя такъ называемый «каменный лѣсъ», напр. у Адерсбаха (фиг. 123), въ квадерныхъ песчаникахъ Саксонской



Фиг. 118.—Гнейсовыя вершины вывѣтриванія по дорогѣ съ пріисковъ Ленскаго Товарищества на рѣчку Кевакту.

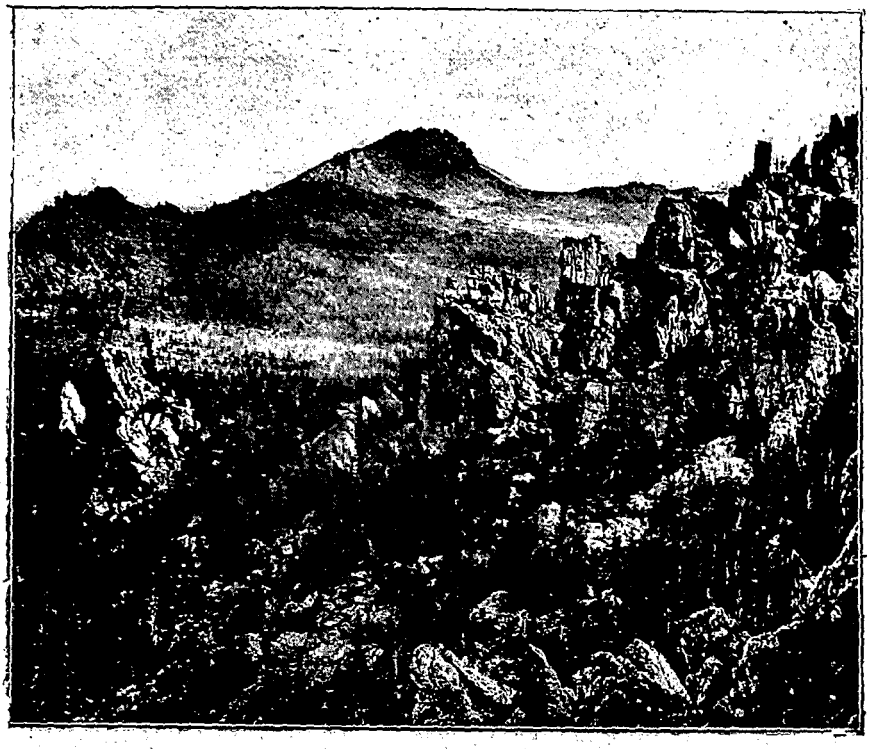
Швейцаріи (см. т. I, фиг. 134 на стр. 182) и пр. Столбы эти рѣдко достигаютъ такой правильности, какъ въ массивныхъ породахъ (см. фиг.



Фиг. 119.—«Четыре брата» на р. Чусовой.

106—107), а большею частью имѣютъ на бокахъ различные выступы (фиг. 121), пережимы и закругленія (фиг. 122), что обусловливается

неоднородною твердостью вывѣтривающихся пластовъ. Группы этихъ столбовъ называютъ въ Альпахъ «бальными залами», «каменными городами», а въ Азіи — кыркъ-кызъ, что значитъ сорокъ дѣвъ [56]). Столбчатыя формы особенно часто встрѣчаются въ пустыняхъ или вообще въ областяхъ съ сухимъ климатомъ и сильными вѣтрами, гдѣ одновременно съ вывѣтриваніемъ дѣйствуетъ развѣваніе, которое очищаетъ столбы отъ рыхлаго матеріала, выдѣляетъ ихъ рельефнѣе и придаетъ имъ оригинальныя формы (см. гл. II, фиг. 48—53) съ пережимами и закругле-

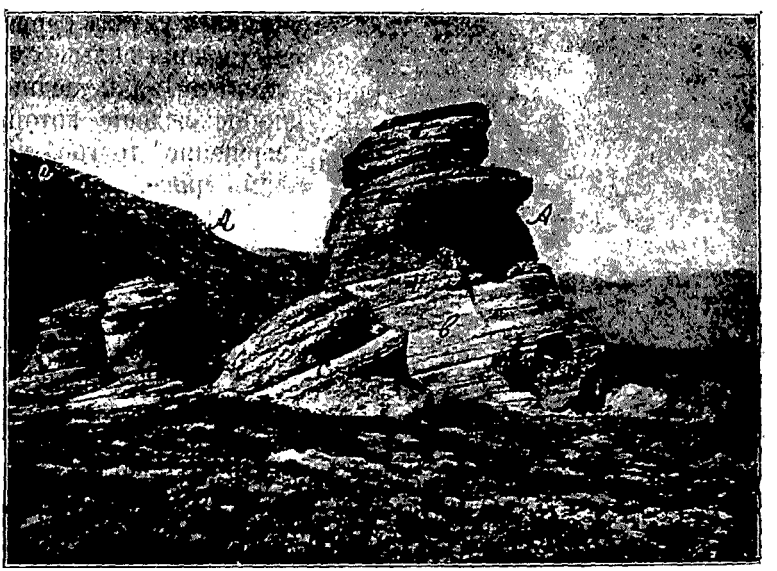


Фиг. 120.—Зубчатыя вершины Б. Таганая и столбчатыя скалы на востокъ отъ первой сопки. Ю. Уралъ, окрестности Златоуста.

ніями (фиг. 122); въ этихъ случаяхъ отдѣлить вліяніе вывѣтриванія отъ развѣванія весьма затруднительно.

Формы склоновъ, состоящихъ изъ осадочныхъ породъ, особенно горизонтально напластованныхъ, также отличаются большимъ разнообразіемъ. Дѣло въ томъ, что каждая порода имѣетъ свой предѣлъ крутизны или устойчиваго уклона образуемыхъ ею склоновъ въ зависимости отъ твердости породы и характера вывѣтриванія; если временно крутизна склона превосходитъ этотъ предѣлъ, то склонъ становится неустойчивымъ, начинаетъ осыпаться подъ вліяніемъ вывѣтриванія, пока не достигнетъ предѣльнаго уклона, который тѣмъ меньше, чѣмъ порода легче поддается вывѣтриванію. Всякій даже незначительный обвалъ у подошвы крутого, неустойчиваго склона, постепенно передается вверхъ, пока не дойдетъ до вершины. Ущелья съ вертикальными склонами, называемыя въ Сибири щеками, въ Тянь-шанѣ—бомами или буамами, въ Альпахъ—клюзами

и пр., существуютъ только временно и постоянно стремятся достигнуть устойчиваго предѣла, различнаго для разныхъ породъ. При сочетаніи пластовъ различной твердости и степени вывѣтриваемости на склонахъ могутъ получаться не только вышеописанные столбы и дейки, но нависшія скалы и террассы. Если въ свитѣ горизонтальныхъ или слабонаклонныхъ пластовъ нижележащіе вывѣтриваются быстрѣе, чѣмъ вышележащіе, то эти послѣдніе образуютъ нависшія скалы, называемыя просто навѣсами или какъ въ Швейцаріи—бальмами [57]) (фиг. 124); нерѣдко они производятъ обвалы безъ содѣйствія проточной воды. При обратномъ положеніи пластовъ вмѣсто бальмъ происходятъ террассы вывѣтри-



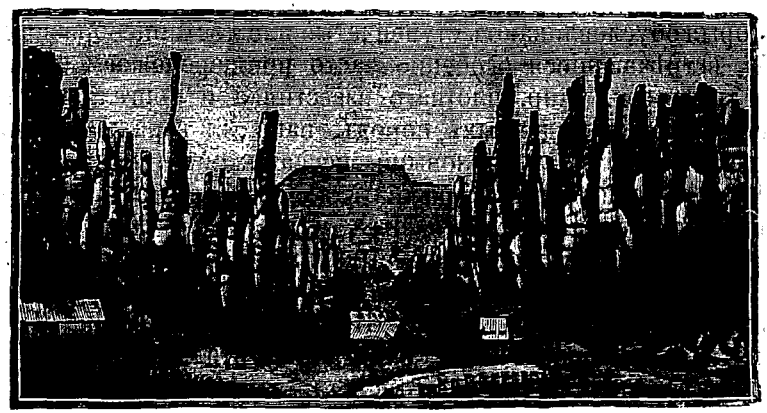
Фиг. 121.—Столбы Демерджи у Чатыръ-дага въ Крыму. Соотвѣтствующія буквы обозначаютъ части однихъ и тѣхъ же пластовъ.

ванія, которыя обусловливаютъ ступенчатые или лѣстницеобразные склоны (фиг. 125), встрѣчающіеся особенно часто при перемежаемости пластовъ различной твердости, напр. плотнаго известняка и мергеля или вулканическихъ покрововъ и осадочныхъ породъ, напр. въ горахъ Гесперусъ, гдѣ трахиты перемежаются съ мѣловыми песчаниками (см. т. I, фиг. 557 на стр. 495). При небольшой разницѣ въ твердости пластовъ одной и той же породы, террассы получаются мелкія и отчасти маскируются углубленіями, происходящими отъ вываливанія болѣе слабыхъ частей, какъ это видно напр. въ обрывахъ древняго (кембрійскаго) песчаника по р. Иркуту, въ такъ называемой Шаманской горѣ (фиг. 126). Террассы вывѣтриванія покрываются иногда растительностью и тогда онѣ обозначаются рѣзко, образуя пестрые и чрезвычайно красивые склоны, состоящіе изъ перемежающихся полосъ густой растительности и голыхъ скалъ, напр. въ ущельѣ Гундаленъ на Баксанѣ (С. Кавказъ), въ передней грядѣ у Владикавказа и пр. Иногда же, особенно въ высокихъ горахъ, террассы вывѣтриванія покрываются снѣгомъ, который не можетъ держаться на обрывистыхъ промежуткахъ между террассами и также при-

даетъ склонамъ пестрый или пёгій видъ, откуда очевидно и происходитъ часто встрѣчаемое въ Азіи названіе Ала-тау, что значитъ пестрыя или пёгія горы. Такія снѣжныя террассы нерѣдко, подъ вліяніемъ нагрѣва солнцемъ, испускаютъ множество мелкихъ водопадовъ, оживляющихъ горы днемъ, а ночью совершенно замирающихъ, какъ напр. въ долинѣ Кокъ-су въ восточномъ Алаѣ (фиг. 127). Во всякомъ случаѣ террассы вывѣтриванія нельзя смѣшивать съ рѣчными и ледниковыми, происхожденіе которыхъ совершенно другое, какъ увидимъ ниже.

Фиг. 122.—«Сіаҳскіе близнецы» въ Колорадо.

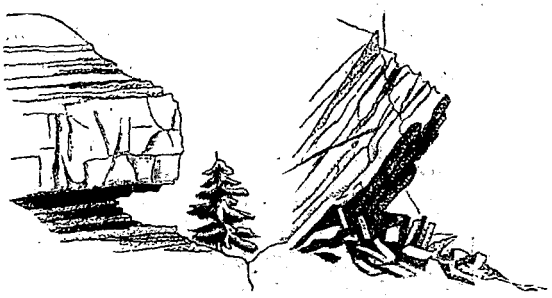
Если породы горъ болѣе или менѣе однороднаго сложенія и состава, то часто на склонахъ такихъ горъ, вслѣдствіе химическаго вывѣтриванія, образуются совершенно оригинальныя формы рельефа, называемыя въ Швейцаріи: карры или шратты. Онѣ почти исключительно образуются на известнякахъ и гипсахъ. Какъ бы ни была однородна порода, однако однѣ части ея растворяются водою легче сравнительно съ другими, вслѣдствіе этого по-



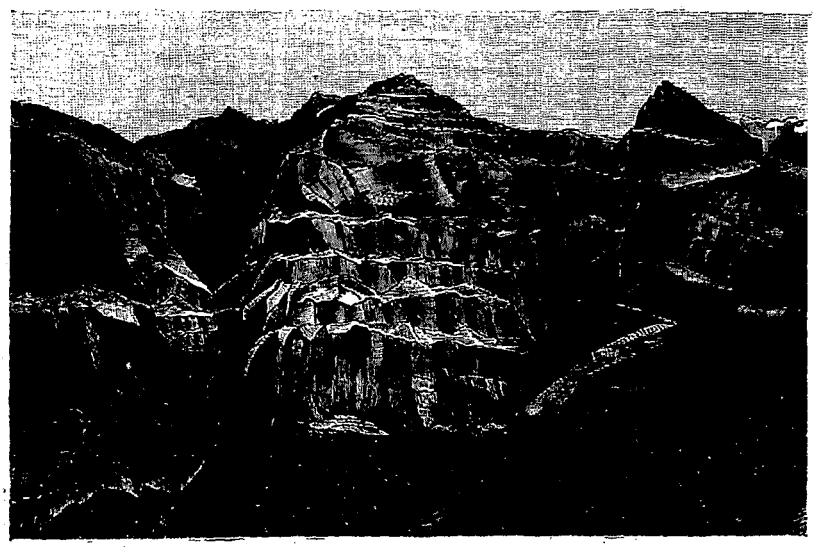
Фиг. 123.—«Каменный лѣсъ» Адерсбаха.

верхность повидимому даже однороднаго известняка отъ вывѣтриванія становится неровною. Вода скопляется въ углубленіяхъ и еще болѣе увеличиваетъ ихъ; возвышающіяся части постепенно утоняются, ста-

новятся уже и острѣе; такимъ образомъ неровности все болѣе и болѣе увеличиваются и образуются голыя, дикія поверхности, называемыя карами (фиг. 128). Въ общемъ поля карръ представляютъ волнистую, мало расчлененную поверхность; въ частностяхъ же они расчленены до безконечности. Поверхность карръ изборождена рытвинами до 1—2 м. глубиною, а иногда даже до 10 м., которыя имѣютъ видъ то узкихъ или широкихъ щелей, то круглыхъ дыръ, то совершенно неправильныхъ углубленій, открытыхъ съ одной стороны или совершенно замкнутыхъ; нерѣдко ключи, пропадающіе въ одной, выходятъ изъ сосѣдней дыры. Гребни и ребра между рытвинами имѣютъ неровную поверхность, а иногда напоминаютъ остріе ножа. Болѣе широкіе изъ нихъ часто бываютъ изборождены второстепенными углубленіями. Однако изборожденная и размытая съ поверхности порода сохраняетъ прочную связь, такъ что обломки ея попа-



Фиг. 124.—Бадьмы.



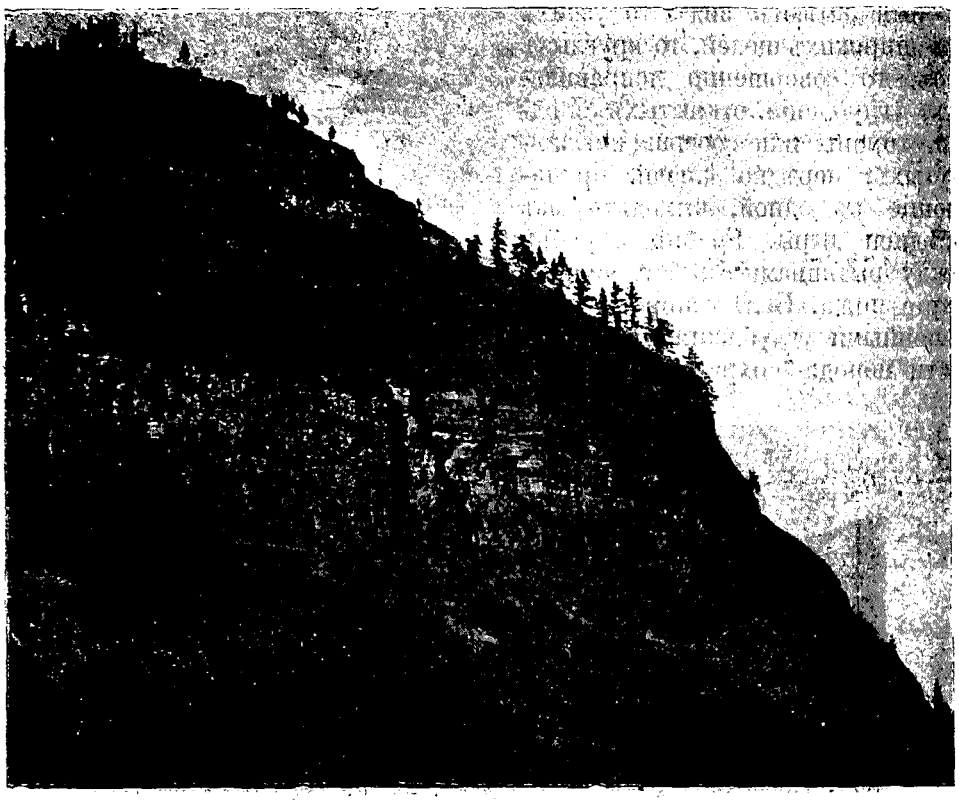
Фиг. 125.—Террасы вывѣтриванія въ Глерискихъ горахъ.

даются очень рѣдко. Тонкіе гребни издаютъ при ударѣ чистый звукъ, а вѣтеръ, проходя надъ полями карръ, производитъ глухой ревъ.

Различаютъ два главныхъ типа карръ, смотря по тому—наклонна или горизонтальна поверхность известняка. Въ первомъ случаѣ преобладаютъ многочисленныя параллельныя рытвины, идущія по уклону склона или пластовъ (фиг. 129); во второмъ — совершенно неправильныя глубокія дыры и короткія рытвины.

Уже неправильность и неровность карръ указываютъ на то, что онѣ

не могли произойти путемъ, напримѣръ, оползней или механическихъ истираній, а слѣдовательно, причиною образованія ихъ является химическое раствореніе. Главными условіями для образованія карръ являются, во-первыхъ, обиліе влаги, а во-вторыхъ однородная, легко растворимая водою порода. Наблюденія въ горахъ показали, что карры образуются, главнымъ образомъ, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ долго лежитъ снѣгъ и гдѣ, слѣдовательно, въ продолженіе большей части года имѣется вода, про-



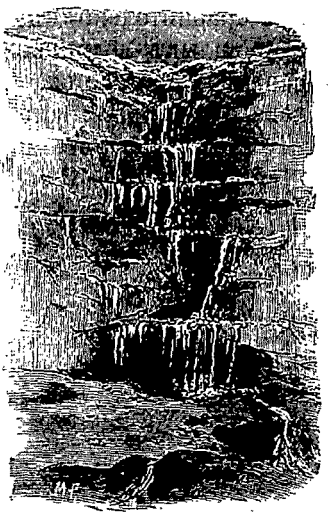
Фиг. 126.—Шаманская гора на р. Иркутѣ.

исходящая отъ таянія снѣга. Поэтому вблизи линіи постояннаго снѣга чаще всего появляются вполнѣ свѣжія и обнаженныя карры, находящіяся еще въ періодѣ образованія. Такъ, въ Альпахъ высокія террасы, пологіе склоны и плоскія вершины на высотѣ отъ 1.900 до 2.600 м. обыкновенно бываютъ покрыты свѣжими каррами; тогда какъ въ Тянь-шанѣ онѣ встрѣчаются гораздо выше, въ предѣлахъ отъ 3.000 до 4.500 м., въ зависимости отъ большей высоты снѣговой линіи.

Что касается второго, упомянутаго выше, условія образованія карръ, то замѣтимъ, что онѣ происходятъ только въ сравнительно чистыхъ известнякахъ, не содержащихъ постороннихъ примѣсей и растворяющихся въ водѣ, хотя и неравномѣрно, но болѣе или менѣе совершенно.

Если известняки содержатъ много примѣси глины и кремнезема, тогда они, какъ труднѣе растворимые, выдаются надъ поверхностью и разру-

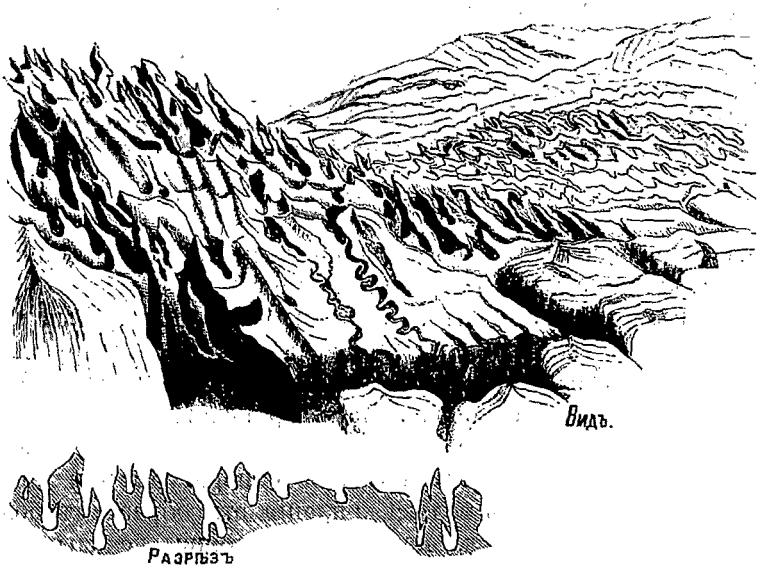
шаясь механически, производятъ много обломковъ, но не чистый типъ карръ. Чѣмъ чище известнякъ и чѣмъ менѣе на него дѣйствовало механическое вывѣтриваніе, а только химическое, тѣмъ карры типичнѣе. Карры образуются также и на гипсовыхъ горахъ, но вслѣдствіе легкой растворимости этой породы онѣ скоро сглаживаются, исчезаютъ.



Фиг. 127.—Террасы вывѣтриванія съ водопадами въ долинѣ Кокъ-су въ Восточномъ Алаѣ.

Такимъ образомъ карры образуются не ледниками, какъ думаютъ нѣкоторые, а исключительно химическимъ вывѣтриваніемъ и отчасти размываніемъ, какъ показываютъ изслѣдованія карръ на Юрѣ [57]). Ледники, напротивъ, сглаживаютъ, уничтожаютъ поля карръ, равно какъ карры уничтожаютъ ледниковую политуру.

Растительность точно также скрываетъ поля карръ. Вѣтеръ заноситъ сѣмена и землистыя частицы въ дыры и рытвины, гдѣ и появляются растенія, которыя, разростаясь постепенно, образуютъ сплошной покровъ, заволакивающій поле карръ. Закрытыя поля карръ могутъ существовать неопредѣленно долгое время; иногда находятъ карры подъ слоемъ растительной земли, въ низкихъ мѣстахъ, гдѣ въ настоящее время онѣ не могутъ образовы-



Фиг. 128.—Карры или шратты.

ваться. При знаніи условій, необходимыхъ для образованія карръ, нахожденіе ихъ на низкихъ горизонтахъ, въ областяхъ неблагопріятныхъ для ихъ развитія, прямо свидѣтельствуетъ о значительномъ измѣненіи климатическихъ условій данной мѣстности, т. е. если карры, замаски-

рованныя растительностью, находятся на горизонтахъ болѣе низкихъ, нежели современные, то, значитъ, въ періодъ образованія этихъ низкихъ карръ снѣговая линія и граница растительности лежали гораздо ниже, сравнительно съ современными,—напр., это могло быть въ одинъ изъ прошлыхъ ледниковыхъ періодовъ. При сравненіи карръ съ древними моренами оказывается, что мѣстами карры древнѣе моренъ бывшаго ледниковаго періода, мѣстами же, наоборотъ, новѣе.

Такимъ образомъ, изученіе карръ, какъ формъ вывѣтриванія, приво-

Фиг. 129.—Карры въ известнякахъ Ай-Петри въ Крыму.

дитъ къ весьма интереснымъ и плодотворнымъ результатамъ относительно исторіи физическихъ измѣненій данной мѣстности.

Делювіальныя образованія, розсыпи и осыпи. Вывѣтриваніе, разрушая вершины и склоны горъ, придавая имъ тѣ или другія формы, вмѣстѣ съ тѣмъ производитъ накопленіе рыхлаго матеріала, который не остается на мѣстѣ своего первоначальнаго происхожденія, а постепенно скатывается и передвигается по склонамъ сверху внизъ или вслѣдствіе собственной тяжести или рѣзкихъ перемѣнъ температуры или же при помощи дождевыхъ и снѣговыхъ водъ. Скопленія эти образуютъ болѣе или менѣе мощные покровы на склонахъ и у подошвы всякаго рода возвышенностей, имѣютъ широкое распространеніе и отличаются такими особенностями, которыя вполнѣ оправдываютъ выдѣленіе ихъ въ особый типъ материковыхъ отложеній, названныхъ проф. А. П. Павловымъ делювіемъ или делювіальными образованіями [58]). Деловій представляетъ продуктъ механическаго разрушенія, происшедшій подъ вліяніемъ преимущественно физическаго вывѣтриванія и перемѣщенный на

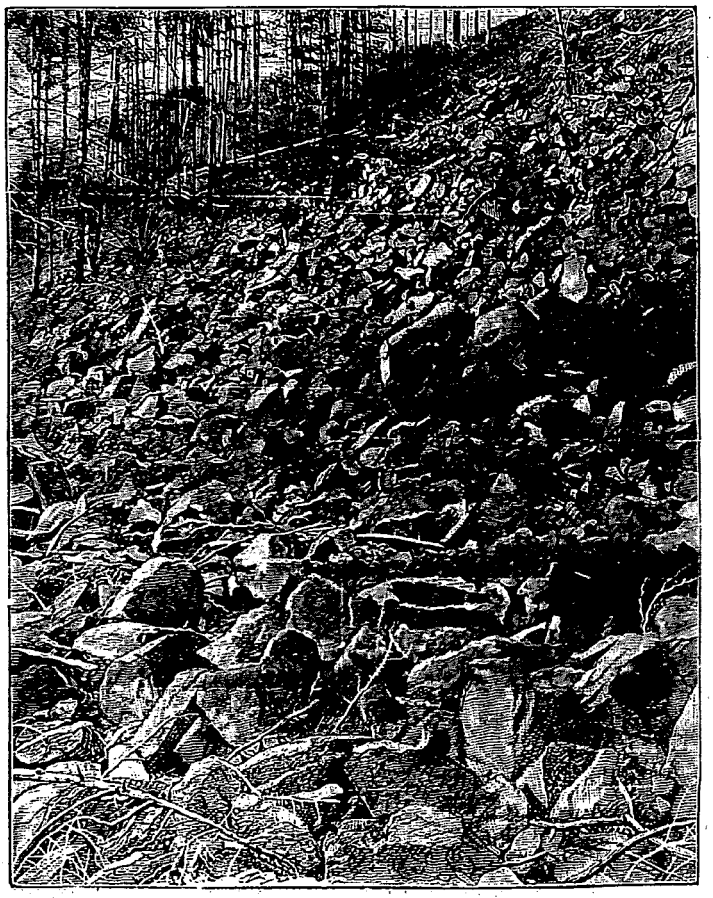
нѣкоторое небольшое разстояніе. Этою особенностью, а также своимъ залеганіемъ на склонахъ и у подошвы горъ, онъ рѣзко отличается отъ вышеописаннаго элювія, представляющаго продуктъ выщелачиванія, оставшійся на мѣстѣ своего залеганія и произведенный химическимъ вывѣтриваніемъ. Кромѣ того делювій, въ противуположность петрографически однообразному элювію, характеризуется большимъ разнообразіемъ петрографическаго состава, что обусловливается разнообразіемъ разрушающихся породъ, характеромъ вывѣтриванія и передвиженіемъ, которое въ свою очередь объясняетъ частое несоотвѣтствіе состава делювія съ составомъ под-

Фиг. 130.—Осыпи въ долинѣ Алматинки у г. Вѣрнаго.

стилающихъ его коренныхъ породъ. Такимъ образомъ делювій отличается отъ элювія какъ по характеру вывѣтриванія, по залеганію, такъ и по составу, а потому ни въ какомъ случаѣ нельзя смѣшивать эти два типа материковыхъ образованій. Наконецъ, отсутствіемъ сколько-нибудь правильной слоистости и сортировки матеріала делювій рѣзко отличается отъ осадочныхъ образованій, а значитъ—отъ элювія. Что касается окаменѣлостей, то делювій ими также бѣденъ, какъ и элювій; въ немъ могутъ попадаться окаменѣлости только перемѣщенныя изъ коренныхъ породъ или же материковыя формы, современныя эпохѣ образованія даннаго делювія (раковины наземныхъ моллюсокъ, кости млекопитающихъ и пр.).

Характеръ делювія хотя нѣсколько зависитъ отъ климата, но главнымъ образомъ отъ рельефа, свойства породъ и способа передвиженія. Климатическое вліяніе обнаруживается въ томъ, что повидимому накопленіе делювія увеличивается тамъ, гдѣ преобладаетъ физическое вывѣтриваніе, т. е. въ странахъ умѣренныхъ и холодныхъ, съ достаточнымъ количествомъ атмосферныхъ осадковъ и рѣзкими перемѣнами температуры.

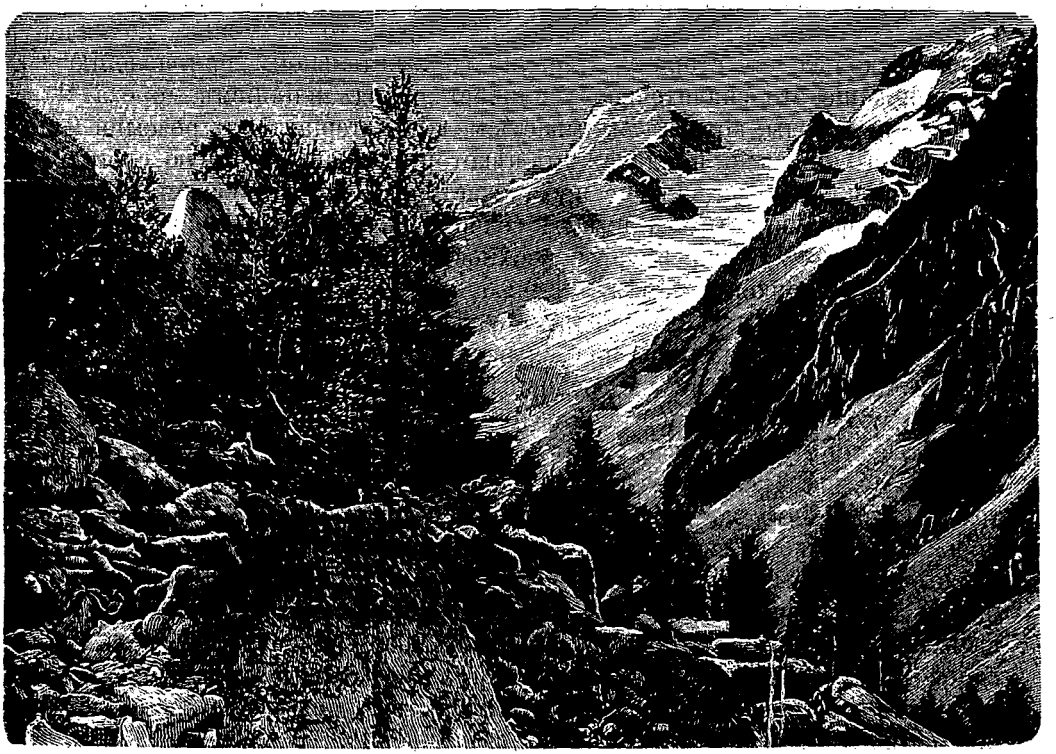
Въ странахъ жаркихъ, бѣдныхъ или лишенныхъ осадковъ, делювій хотя и образуется, но рѣдко сохраняется и еще рѣже представляетъ сколько-нибудь мощныя скопленія, напр., въ пустыняхъ онъ большею частью развѣвается настолько быстро, что склоны и подошвы вывѣтривающихся высотъ постоянно обнажаются отъ него (см. гл. II, фиг. 49—58 и др.), какъ и отъ элювія; точно также делювій не проявляется на вертикальныхъ склонахъ, омываемыхъ моремъ или текучею водою, которая разноситъ его. Въ горахъ, сложенныхъ изъ твердыхъ породъ, онъ состоитъ изъ накопленія разнородныхъ, болѣе или менѣе крупныхъ обломковъ, безъ всякихъ признаковъ слоистости и сортировки; на склонахъ же возвышенностей, сложенныхъ изъ мягкихъ осадочныхъ породъ, онъ состоитъ преимущественно изъ рыхлаго землистаго матеріала, уже нѣсколько переработаннаго атмосферными водами и потому мѣстами обнаруживающаго нѣкоторую сортировку и слоистость.



Фиг. 131.—Гранитная розсыпь въ Хамаръ-дабанѣ на лѣвомъ склонѣ долины Хосурта по Кяхтинскому тракту.

Выше мы видѣли уже, что при вывѣриваніи горъ, вершины и склоны ихъ постепенно разваливаются на отдѣльныя обломки (см. выше фиг. 110) или неустойчивыя глыбы (см. выше фиг. 111), которыя сваливаются внизъ до тѣхъ поръ, пока острыя вершины не превратятся въ плоскія, а крутые склоны—въ пологіе. На отвѣсныхъ или крутыхъ склонахъ всѣ продукты механическаго разрушенія скатываются внизъ до самаго подножія склона и образуютъ коническія накопленія, называемыя осыпями (фиг. 130); но по мѣрѣ того, какъ склонъ сглаживается, становится положе, обломки задерживаются и образуютъ на немъ или широкія полосы или сплошные покровы, доходящіе иногда до вершины и называемые розсыпями (фиг. 131). Слѣдовательно, розсыпи и осыпи, хотя обусловливаются однимъ и тѣмъ же процессомъ вывѣриванія, но представляютъ двѣ раз-

новидности деловія, отличающіяся тѣмъ, что розсыпи послѣ окончательнаго сформированія образуютъ сплошной или прерывистый покровъ на склонахъ и вершинахъ горъ, а осыпи только окаймляютъ подножіе склоновъ въ видѣ сплошного или прерывистаго вала. Тѣ и другія связаны взаимными переходами и часто встрѣчаются совмѣстно на разныхъ склонахъ одной и той же долины, особенно въ подснѣжныхъ областяхъ новыхъ горныхъ кряжей, напр., у насъ на Кавказѣ въ верховьяхъ Теберды, Индрикоя (фиг. 132), Чхалты и пр.; при этомъ розсыпи всегда соотвѣтствуютъ болѣе пологому и устойчивому склону, часто покрытому



Фиг. 132.—Розсыпи и осыпи въ верховьяхъ р. Индрикоя на Кавказѣ.

растительностью (передній видъ фиг. 132), тогда какъ осыпи напротивъ находятся на крутомъ, обнаженномъ и неустойчивомъ склонѣ (задній видъ фиг. 132). Въ періодъ образованія тѣхъ и другихъ наблюдается весьма замѣтное движеніе или отдѣльныхъ камней или цѣлыхъ массъ ихъ, сползающихъ внизъ; мѣстами оно такъ сильно, что даже въ тихую погоду постоянно слышится шумъ отъ скатывающихся камней, а во время вѣтра и дождя сваливаются большія глыбы, увлекающія за собой цѣлые потоки камней. Въ осыпяхъ движеніе гораздо сильнѣе, чѣмъ въ розсыпяхъ; нѣкоторыя осыпи на крутыхъ сланцевыхъ склонахъ ползутъ постоянно и съ такимъ напоромъ, что разрушаютъ даже искусственныя загражденія. Во многихъ долинахъ Тянь-шаня движеніе сланцевыхъ, мелко-щебневатыхъ осыпей обозначается струйками пыли, взвивающимися надъ поверхностью осыпей и замѣтными особенно въ тихую погоду. Въ осыпяхъ

преобладаетъ массовое движеніе, а въ розсыпяхъ—перекатываніе отдѣльныхъ камней; разумѣется движеніе это тѣмъ сильнѣе, чѣмъ круче склоны. Иногда отдѣльныя глыбы задерживаются временно и образуютъ оригинальные, такъ называемые, качающіеся камни, особенно часто встрѣчающіеся на склонахъ горъ въ пустыняхъ, гдѣ подъ вліяніемъ развѣванія они изолируются и получаютъ иногда оригинальныя формы; но движеніе не останавливается и на пологихъ склонахъ, когда особенно замѣтно сказывается вліяніе температуры и дождевыхъ водъ на передвиженіе продуктовъ вывѣтриванія. При частыхъ и рѣзкихъ перемѣнахъ температуры обломки, неравномѣрно расширяясь и сжимаясь, постепенно перемѣщаются и, какъ показываютъ наблюденія [59]), не только внизъ по склону, но и нѣсколько въ сторону, т. е. по горизонтальному направленію [60]). Передвиженіе это значительно усиливается подъ вліяніемъ мороза [61]) и атмосферной воды, которая вымываетъ мелкій матеріалъ изъ розсыпи и намываетъ его на осыпи, придавая имъ нѣкоторую, правда мѣстную, слоистость и сортировку. Пока движеніе продолжается, розсыпи и осыпи находятся въ періодѣ формированія и имѣютъ совершенно обнаженную поверхность.

Розсыпи съ обнаженною поверхностью и состоящія изъ крупныхъ каменныхъ обломковъ иногда называютъ морями скалъ (Felsenmeere); но собственно моря скалъ могутъ образоватся не только отъ вывѣтриванія, но и отъ вымыванія или смыванія отложеній происшедшихъ другимъ путемъ, напр. если изъ основныхъ или конечныхъ моренъ вымываются атмосферною водою всѣ мелкія глинисто-песчаныя частицы, то на мѣстѣ останутся только крупные валуны, которые образуютъ «море скалъ», по внѣшнему виду весьма похожее на розсыпь, но отличающееся только залеганіемъ на днѣ долинъ. Хеліусъ [62]) описываетъ четыре типа морей скалъ изъ Оденвальда, изъ которыхъ два представляютъ продукты механическаго вывѣтриванія: перенесенные или оставшіеся на мѣстѣ первоначальнаго залеганія; другіе же два типа морей скалъ произошли отъ вымыванія мелкаго матеріала изъ основной и конечной моренъ; само собой разумѣется, что эти послѣднія розсыпи нужно отличать отъ настоящихъ розсыпей вывѣтриванія, подвижность которыхъ постепенно уменьшается по мѣрѣ сглаживанія склоновъ, и наконецъ, совершенно исчезаетъ; тогда розсыпи становятся устойчивыми и образуютъ покровъ не только на склонахъ, но и на вершинахъ горъ; при этомъ часть ихъ, залегающая на вершинахъ, не испытывала перемѣщенія, а находится на мѣстѣ своего происхожденія, напр. многія, весьма мощныя розсыпи на Уралѣ, Алтаѣ и особенно въ Восточной Сибири, гдѣ, по словамъ изслѣдователей, всѣ выступающія вершины или такъ называемые гольцы сплошь покрыты розсыпями. На Уралѣ обширныя розсыпи, напр. по склонамъ Таганая (см. выше фиг. 120), Иремеля, Зигалги и др., покрываясь растительностью, особенно мхомъ и лѣсомъ (фиг. 133), дѣлаютъ вершину почти недоступною [62a]).

Осыпи въ періодъ формированія также отличаются обнаженною поверхностью, но состоятъ изъ болѣе разнообразнаго матеріала, т. е. изъ обломковъ самой различной величины, которые обыкновенно въ началѣ образуютъ конусъ, прислоненный къ склону своею вершиною. Если порода вывѣтривается только мѣстами, то происходятъ отдѣльные, разобщенные коническія осыпи (см. выше фиг. 130); въ противномъ случаѣ

получается цѣлый рядъ конусовъ (см. фиг. 130), которые сливаются своими основаніями, а при возрастаніи превращаются въ одинъ сплошной валъ, окаймляющій подножіе вывѣтривающагося склона. Что касается крутизны склоновъ коническихъ осыпей, то она зависитъ отъ состава и величины обломковъ; вообще наибольшій уклонъ осыпей меньше предѣльнаго уклона той породы, отъ вывѣтриванія которой она происходитъ. Но чѣмъ крупнѣе обломки, тѣмъ уклонъ больше, при этомъ наиболѣе крупные обломки скопляются у основанія, а мелкіе у вершины конуса. Хотя Гагенъ [63]) полагаетъ, что предѣльный уклонъ въ осыпяхъ можетъ дости-

Фиг. 133.—Розсыпь на сѣв.-восточномъ склонѣ Иремеля въ Южн. Уралѣ.

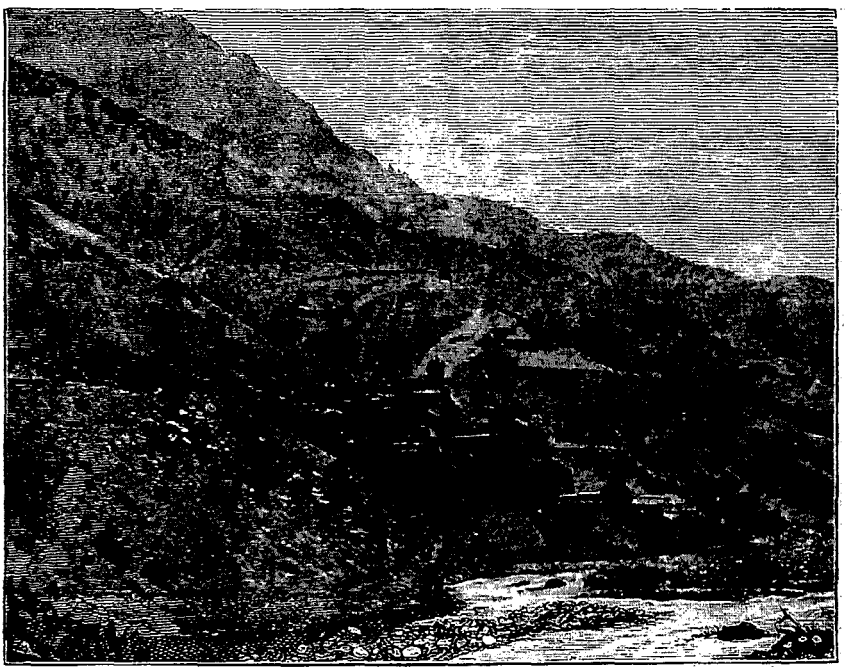
гать 54°, но на самомъ дѣлѣ онъ рѣдко превосходитъ 40°, а большею частью варьируетъ отъ 15° до 40°. Тулэ [64]) на основаніи своихъ опытовъ считаетъ, что уклонъ осыпей долженъ быть тѣмъ больше, тѣмъ больше разница между плотностями матеріала осыпи и среды, въ которой она образуется; слѣдовательно осыпи материковыя или, такъ сказать, подвоздушныя должны имѣть болѣе крутые склоны, чѣмъ осыпи подводныя. Осыпи, въ образованіи которыхъ принимала участіе проточная вода, отличаются меньшимъ уклономъ, рѣдко превышающимъ 30°, но за то онѣ гораздо устойчивѣе.

Развитіе осыпей въ горахъ не только измѣняетъ характеръ склоновъ и придаетъ имъ болѣе мягкіе контуры (фиг. 134), но и имѣетъ важное экономическое значеніе, такъ какъ осыпи, закрѣпляясь и покрываясь продуктами смыва и растительностью, представляютъ единственныя площади, годныя для культуры; на нихъ главнымъ образомъ располагаются горныя селенія, напр. на Кавказѣ, Тянь-шанѣ (фиг. 134), Альпахъ и пр.

Розсыпи и осыпи представляютъ разновидность деловія, свойственную преимущественно горамъ съ крутыми склонами и твердыми породами,

а потому ихъ можно было бы назвать горнымъ делювіемъ, отъ котораго отличается делювій равнинъ.

Въ области равнинъ делювій имѣетъ также широкое развитіе; онъ находится по всѣмъ склонамъ рѣчныхъ долинъ и овраговъ, но вслѣдствіе незначительной высоты склоновъ и мягкости породъ, онъ проявляется иначе и образуется главнымъ образомъ подъ вліяніемъ смыва дождевыми и снѣговыми водами продуктовъ вывѣтриванія, почему онъ и получилъ свое названіе (deluo-смываю). На поверхности Русской равнины такое смываніе наблюдается повсюду на склонахъ плоскихъ водо-



Фиг. 134.—Дер. Хакими на осыпяхъ въ долинѣ Каратага въ Гиссарѣ (по Лишкому).

раздѣловъ, долинъ и овраговъ, состоящихъ изъ рыхлыхъ или мягкихъ породъ. Многочисленныя струйки воды, образующіяся во время дождя, сбѣгая по склону, захватываютъ съ собою минеральныя частицы, подготовленныя вывѣтриваніемъ и переносятъ ихъ внизъ. Въ верхней, болѣе крутой части склона струйки бѣгутъ быстро и переносятъ болѣе крупныя частицы, внизу же теченіе ихъ замедляется или даже останавливается на ровной поверхности дна долины и они отлагаютъ весь принесенный грузъ у подошвы склона, образуя полосу рыхлаго дождевого наноса или делювія, который растетъ съ каждымъ дождемъ. Если на склонѣ имѣются водопроницаемые слои, всасывающіе дождевую воду, то струйки исчезаютъ раньше и оставляютъ наносъ на склонахъ, но и безъ этого делювій постепенно поднимается по склону, вслѣдствіе того, что ранѣе образовавшіеся накопленія впитываютъ воду струекъ.

Образованіе делювія особенно отчетливо наблюдается на мѣловыхъ склонахъ, гдѣ путь дождевыхъ струй ясно обозначается, благодаря бѣ-

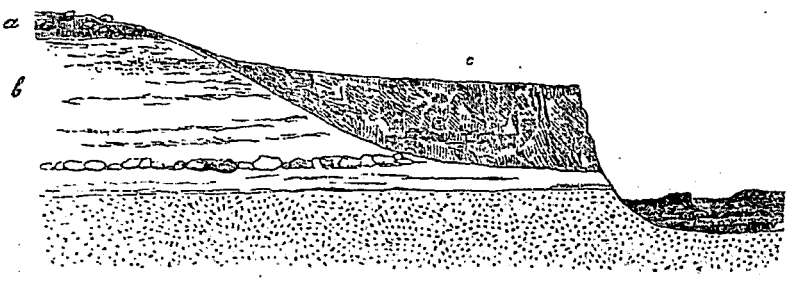
лому цвѣту мѣловыхъ обломковъ, несущихся внизъ и рѣзко выдѣляющихся среди зеленоватаго дерна (фиг. 135). Въ зависимости отъ характера породъ вывѣтривающихся склоновъ, составъ делювія неодинаковъ въ различныхъ мѣстахъ: то онъ глинистый, то лёссовидный, то песчаный, то смѣшанный съ обломками болѣе твердыхъ породъ или окаменѣлостей и т. д., слѣдовательно, составъ его варьируетъ въ широкихъ предѣлахъ: отъ тонкаго лёссовиднаго суглинка до грубой брекчіевидной породы, содержащей иногда даже ледниковые валуны, если делювій образуется въ области моренныхъ отложеній; мѣстами онъ достигаетъ 20 м. мощности, напр. въ окрестностяхъ г. Саратова, брекчіевидный делювій у Баннаго на Волгѣ, во многихъ мѣстахъ по р. Сурѣ, Нижегородской, Пензенской губ. и пр.

Фиг. 135.—Смывъ на мѣловомъ склонѣ.

Изученіе условій залеганія делювія, напр. на Волгѣ, показываетъ, что онъ заполнилъ большія впадины и превратилъ расчлененную мѣстность въ ровную степь, которая снова теперь прорѣзывается оврагами, раскрывающими составъ и строеніе делювія. По характеру залеганія делювій рѣзко отличается отъ коренныхъ породъ отсутствіемъ слоистости или неправильнымъ и мѣстнымъ проявленіемъ ея; на слѣдующемъ разрѣзѣ видны, какъ отношеніе делювія (*c*) къ древней моренѣ (*a*) и кореннымъ породамъ (*b*), такъ и характеръ залеганія его (фиг. 136); между прочимъ включенія мелкихъ валуновъ въ делювій можетъ подать поводъ принять его за морену, подобно тому, какъ присутствіе перемытыхъ окаменѣлостей приводило иногда къ смѣшенію делювія съ коренными породами. Такимъ образомъ дождевыя и снѣговыя воды, говоритъ проф. Павловъ [65]), «производятъ сортировку обломочнаго матеріала, подготовленнаго вывѣтриваніемъ, перемѣщаютъ его по склонамъ и создаютъ изъ него мощныя делювіальныя отложенія, которыя играютъ не менѣе, а даже болѣе важную роль, чѣмъ другіе типы континентальныхъ отложеній. Нетрудно убѣдиться, что процессъ образованія делювіальныхъ отложеній есть въ сущ-

ности процессъ отмучиванія, совершающійся и совершавшійся въ природѣ въ грандіозномъ масштабѣ и что этотъ процессъ преобразовывалъ и продолжаетъ преобразовывать и рельефъ страны и распредѣленіе поверхностныхъ минеральныхъ массъ, образующихъ почву и подпочву».

Сопоставляя все, что сказано нами о вывѣтриваніи, мы видимъ, что оно имѣетъ весьма важное значеніе въ природѣ; оно не только разнообразно измѣняетъ горныя породы, превращаетъ ихъ въ болѣе устойчивыя соединенія, но и производитъ совершенно новыя и оригинальныя элювіальныя и делювіальныя образованія, имѣющія существенное значеніе для выясненія происхожденія культурнаго слоя или «почвъ». Кромѣ того, оно, съ одной стороны, разрушаетъ горные хребты, разнообразно расчленяетъ ихъ, а съ другой—постепенно понижаетъ ихъ и разрушеннымъ матеріаломъ заполняетъ долины, т. е. углубленія, воспроизведенныя про-



Фиг. 136. c—делювій, образовавшійся на счетъ коренной породы—b и морены—a.

точной водой. Вывѣтриваніе, разнообразя контуры горъ, вмѣстѣ съ тѣмъ, какъ бы стремится понизить и сравнять ихъ. Можно прослѣдить постепенное измѣненіе формы горъ, при чемъ крутизна склоновъ уменьшается отъ предѣльнаго наибольшаго уклона свѣжей породы до уклоновъ осыпей, а вмѣстѣ съ этимъ возрастаетъ устойчивость формъ рельефа, покрывающихся растительностью. Твердое ядро горъ постоянно уменьшается, а нагроможденія обломковъ увеличиваются, пока, наконецъ, гора не скроется подъ покровомъ розсыпей и осыпей. Вывѣтриваніе такимъ образомъ можетъ превратить горную страну въ холмистую, но докончить работу вывѣтриванія, т. е. совершенно сравнять горы, можетъ только проточная вода въ видѣ рѣкъ или ручьевъ.

Вывѣтриваніе, вѣрно понятое и истолкованное, даетъ возможность прочитать чрезвычайно интересныя страницы въ исторіи жизни земли. На поверхности оно будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока породы не распадутся на такія соединенія, которыя, при большей устойчивости, не будутъ поддаваться измѣненію отъ дѣйствія атмосферныхъ агентовъ. Но такое время едвали когда-нибудь наступитъ, потому что, благодаря постоянному обнаженію свѣжихъ породъ отъ размыва и отложенію новыхъ, а также многимъ тектоническимъ процессамъ, вывѣтриваніе всегда найдетъ себѣ пищу, и потому можно только сказать, что чѣмъ ближе земля будетъ къ устойчивому составу, тѣмъ интенсивность вывѣтриванія будетъ меньше.

II.

Геологическая дѣятельность воды.

ГЛАВА IV.

Подземныя воды. Источники.

Атмосферные осадки, попадая на земную поверхность, распредѣляются обыкновенно на три неравныя части; одна часть ихъ стекаетъ прямо по поверхности и образуетъ ручьи, рѣки и озера; другая—испаряется, возвращается снова въ атмосферу и отчасти расходуется организмами; наконецъ, третья часть ихъ поглощается почвою, проникаетъ въ глубину земной коры и служитъ для питанія подземныхъ водъ. Величина этихъ частей весьма неравномѣрна для различныхъ мѣстностей и колеблется въ широкихъ предѣлахъ въ зависимости отъ климата, растительности и почвы. Подъ вліяніемъ климата въ однихъ мѣстахъ, какъ мы уже видѣли (см. стр. 7), на испареніе расходуется до 75% — 80% годового количества атмосферныхъ осадковъ, а въ другихъ напротивъ почти столько же поглощается и стекаетъ [1]). Но при однихъ и тѣхъ же или приблизительно одинаковыхъ климатическихъ условіяхъ, напр. въ Средней Европѣ поглощеніе варьируетъ отъ 8% до 35% на разныхъ почвахъ, а стокъ отъ 13% до 45% [2]) при разныхъ уклонахъ и растительности.

На различныхъ склонахъ однихъ и тѣхъ же горъ или на сосѣднихъ горахъ одного и того же хребта поглощеніе и стокъ рѣзко отличаются, напр. на Чатырдагѣ въ Крыму источники даютъ только 24,2% (въ сутки расходъ ихъ 2.785 куб. саж.) и на сосѣднемъ Бабуганѣ 42% (7.432 куб. саж. въ сутки). На сѣверномъ склонѣ Бабугана вытекаетъ 38,5%, а на южномъ—61,5% или $^3/_5$ всего количества атмосферныхъ осадковъ [2a]).

Наконецъ даже въ одномъ и томъ же бассейнѣ отношенія эти измѣняются съ временами года, напр. р. Москва въ 25 дней половодья спускаетъ 72% воды, выпадающей съ ноября по апрѣль на площадь ея бассейна, такъ что на испареніе и поглощеніе остается только 28%; между тѣмъ въ лѣтнее полугодіе, обильное дождями, главный расходъ (до 80%) осадковъ идетъ на испареніе и питаніе растеній, стекаетъ же по рѣкѣ только 20% и почти ничего не поглощается почвою.

Такое непостоянство отношеній между стокомъ, испареніемъ и поглощеніемъ показываетъ, что прежнее предположеніе, по которому изъ вы-

падающихъ осадковъ: $^1/_3$ стекаетъ, $^1/_3$ испаряется и $^1/_3$ поглощается, неимѣетъ никакого значенія. Отношенія эти измѣняются во времени и пространствѣ и для опредѣленія ихъ въ каждомъ данномъ мѣстѣ требуются спеціальныя и систематическія наблюденія въ теченіи по крайней мѣрѣ цѣлаго года, а иногда и болѣе, но никакъ не менѣе. Необходимость этого вызывается, какъ мы сейчасъ увидимъ, сложностью и разнообразіемъ факторовъ, вліяющихъ на величину испаренія, стока и поглощенія.

Испареніе свободной поверхности воды, какъ уже выше указано (стр. 52), измѣняется въ зависимости отъ температуры, вѣтра и давленія; оно увеличивается при высокой температурѣ, при сильныхъ и сухихъ вѣтрахъ и маломъ давленіи, а при обратныхъ условіяхъ — уменьшается; поэтому сила испаренія или испаряемость (опредѣляемая эвапарометромъ) обнаруживаетъ значительныя колебанія даже въ предѣлахъ одной и той же области, напр. въ Европейской Россіи, гдѣ она рѣзко измѣняется по направленію съ СЗ на ЮВ. На сѣверо-западѣ, напр. въ Петербургѣ, Вышнемъ-Волочкѣ, Пинскѣ, годовая испаряемость поверхности воды гораздо меньше годового количества осадковъ, выпадающихъ въ тѣхъ же мѣстностяхъ, составляя иногда только половину или чаще $^3/_5$ ихъ; тогда какъ на юго-востокѣ въ Самарскихъ и Астраханскихъ степяхъ испаряемость достигаетъ огромныхъ размѣровъ, превышая нерѣдко въ пять разъ годовое количество осадковъ, а еще далѣе къ ЮВ, напр. въ Нукусѣ на Аму-Дарьѣ, она въ десятки разъ превышаетъ осадки [3]). Само собой разумѣется, что въ связи съ ходомъ испаренія измѣняется количество надземныхъ и подземныхъ водъ, которыя на крайнемъ юго-востокѣ достигаютъ такого minimum'a, что поверхность превращается въ пустыню. Хотя испаряемость вообще опредѣляется климатическими условіями, но въ каждомъ данномъ мѣстѣ она представляетъ довольно сложное явленіе, особенно испареніе почвенной влаги, которое зависитъ еще отъ различныхъ частныхъ факторовъ. «При разсмотрѣніи вопросовъ, связанныхъ съ испареніемъ, необходимо», какъ справедливо замѣчаетъ С. Н. Никитинъ [4]), «различать: а) поверхностное испареніе выпавшихъ осадковъ и внѣшнихъ водъ, b) испареніе внутреннихъ запасовъ почвенной влаги и грунтовыхъ водъ черезъ почву и наконецъ с) испареніе почвенной влаги растеніями».

Что касается *поверхностнаго испаренія* выпавшихъ осадковъ, то, кромѣ климатическихъ условій, оно зависитъ отъ величины испаряющейся поверхности и отъ степени доступности ея сводобному вліянію вѣтровъ, вслѣдствіе чего, напр., густой лѣсъ испаряетъ менѣе выпавшей на него влаги, чѣмъ вспаханное поле одинаковой площади, потому что большая часть поверхности древесной листвы отъ вѣтра защищена, хотя она и больше поверхности пахатнаго поля.

Испареніе запасовъ почвенной и подпочвенной влаги представляетъ еще болѣе сложное явленіе и зависитъ отъ весьма разнообразныхъ условій. Опыты показали, что изъ почвы испаряется тѣмъ большее количество влажности, чѣмъ больше она содержитъ въ себѣ воды и что всѣ испытанные образцы почвъ, съ довольно различнымъ содержаніемъ влажности, теряли всю свою воду въ одинаковое время. Испареніе воды изъ почвы уменьшается по мѣрѣ того, какъ испаряемый слой понижается вслѣдствіе высыханія верхнихъ частей почвы. При шероховатой поверхности почва испаряетъ больше, нежели при гладкой, но только до извѣстной глубины, при которой происходитъ обратное явленіе. Дѣло въ томъ, что при испареніи изъ болѣе глубокихъ слоевъ почвы имѣетъ большое значеніе капилярность; если она нарушена, напр. вспахиваніемъ, то испареніе нижележащихъ слоевъ значительно уменьшается; поэтому паровое поле невспаханное и уплотненное скотомъ, испаряетъ въ нѣсколько разъ больше почвенной влаги и высыхаетъ гораздо скорѣе въ засуху, нежели вспаханное поле, въ которомъ, несмотря на значительное увеличеніе поверх-

ности и быстроту испаренія въ верхнихъ слояхъ, вслѣдствіе разрушенія ея капилярной системы, испареніе въ нижнихъ слояхъ значительно ослабѣваетъ. Если почва содержитъ на нѣкоторой глубинѣ грунтовую воду, то испареніе будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше разстояніе между горизонтомъ грунтовыхъ водъ и поверхностью почвы; разница становится тѣмъ замѣтнѣе, чѣмъ труднѣе вода можетъ проходить по капилярнымъ ходамъ и тѣмъ меньше, чѣмъ свободнѣе вода подымается по почвѣ силой волосности. Окраска почвы имѣетъ различное вліяніе: при значительной влажности наибольшее испареніе происходитъ съ темныхъ почвъ, а при небольшой влажности—наоборотъ. Почвы съ болѣе плотною структурою испаряютъ сильнѣе, нежели рыхлыя, особенно съ содержаніемъ песка, но примѣсь органическихъ веществъ увеличиваетъ испареніе; глинистыя почвы занимаютъ среднее мѣсто по испаряемости. Почва, покрытая живою или свѣжею растительностью, испаряетъ наибольшее количество воды, за ней слѣдуетъ обнаженная почва, а меньше всего испаряетъ почва, покрытая отжившею растительностью, напр. такъ называемою лѣсною подстилкою, состоящею изъ опавшей и полусгнившей листвы и другихъ растительныхъ остатковъ. Эта подстилка, нарушая капилярное сообщеніе почвы съ лѣснымъ воздухомъ, почти совершенно прекращаетъ испареніе почвенной влаги. Такое же вліяніе имѣютъ на испареніе молодые лѣса съ густымъ кустарнымъ подлѣскомъ и нѣкоторые старые лѣса, состоящіе изъ тѣнелюбивыхъ породъ: ели, липы, осины и др.; въ нихъ обыкновенно при значительной относительной влажности воздуха температура часто опускается ниже точки росы, когда вмѣсто испаренія начинается влагопоглощеніе, поэтому такія лѣса считаются охранителями почвенной влаги; но, тѣмъ не менѣе, и они понижаютъ грунтовыя воды, а дубовыя и сосновыя лѣса безъ подлѣска и подстилки совсѣмъ слабо защищаютъ почву какъ отъ вѣтровъ, такъ и отъ лучей солнца, а потому не уменьшаютъ испаренія. Дѣвственная, не тронутая плугомъ, степь также обладаетъ благопріятными свойствами лѣсной подстилки, но къ сожалѣнію въ Россіи она уже совершенно исчезла.

Совершенно обратную картину представляетъ *испареніе самого растительнаго покрова*. Для питанія растеній постоянно требуется вода, которая впитывается корнями изъ почвы и подпочвы, оставляетъ въ растеніи растворенныя въ ней вещества и снова испаряется листвою; поэтому очевидно, что почва, покрытая растительностью, всегда испаряетъ больше, нежели обнаженная. Многочисленные опыты показываютъ, что наиболѣе сильнымъ испареніемъ отличаются луговыя травы, а затѣмъ хлѣбные злаки; вдвое слабѣе ихъ дубовый лѣсъ и менѣе всего испаряетъ хвойный лѣсъ, но все же болѣе, чѣмъ обнаженная почва. Разумѣется расходъ этотъ относится къ періоду полнаго развитія растительной жизни; въ молодомъ состояніи они расходуютъ мало, но по мѣрѣ развитія растенія расходъ этотъ увеличивается и достигаетъ maximum'а при полномъ развитіи органовъ растенія; затѣмъ онъ уменьшается и наконецъ прекращается при созрѣваніи зерна, напр. у хлѣбныхъ злаковъ, а въ лѣсахъ—по заготовленіи на зиму почекъ и пожелтѣніи листвы. Интенсивность испаренія у различныхъ растеній неодинакова и maximum приходится у однихъ на іюнь, у другихъ на іюль. Озимыя растенія извлекаютъ меньше воды изъ почвы, нежели лѣтнія или яровыя. Чтобы дать понятіе о количествахъ воды, извлекаемой изъ почвы различными растеніями, приведемъ данныя Рислера [5]) о ежедневномъ расходѣ воды, выраженномъ въ миллиметрахъ высоты дождя и отнесенныя къ площадямъ, покрытымъ слѣдующими растеніями:

Луга и клеверныя поля расходуютъ	3,4—7 милл.
Овесъ	3 —5 „
Маисъ	3 —4 „
Зерновые хлѣба	2,8—4 „
Виноградная лоза	0,9—1,3 „
Еловый лѣсъ	0,5—1,1 „
Дубовый лѣсъ	0,5—0,8 „

Предполагая, напр., что зерновые хлѣба ежедневно извлекаютъ изъ почвы 2,8 милл. воды, получаемъ, что за время съ 1-го апрѣля по 1-ое августа они извлекутъ $120 \times 2{,}8 = 336$ милл., между тѣмъ какъ за этотъ періодъ времени, напр., у насъ въ средней полосѣ, выпадаетъ дождя отъ 300 до 400 милл., а на югѣ (Астраханская губ.) только 150 милл. (см. выше стр. 59); слѣдовательно, для произрастанія должны извлекаться запасы воды изъ почвы или грунтовыя воды, при отсутствіи которыхъ и при недостаткѣ дождей растенія погибаютъ. Этою же громадною испаряемостью растительнаго покрова объясняется тотъ фактъ, что лѣтніе дожди, несмотря на ихъ преобладаніе въ русской равнинѣ, почти вовсе не питаютъ подземныхъ водъ. Въ этомъ отношеніи составляетъ исключеніе только моховая растительность, которая поглощаетъ атмосферную влагу и представляетъ лучшій сберегатель ея въ почвѣ.

Коэффиціентъ испаренія данной мѣстности обыкновенно опредѣляютъ не прямо, а по остатку послѣ вычисленія стока и водопоглощенія.

Стокъ дождевыхъ и снѣговыхъ водъ по поверхности земли зависитъ также отъ разнообразныхъ условій; прежде всего отъ характера рельефа и паденія мѣстныхъ рѣкъ, отъ водопроницаемости почвы и подпочвы; затѣмъ отъ характера поверхности и строенія почвы, отъ количества и характера овраговъ, состава растительнаго покрова, условій выпаданія осадковъ и таянія снѣговъ, отъ промерзанія и оттаиванія почвы, отъ водопроницаемости обнажающихся коренныхъ породъ. Зависимость отъ первыхъ условій сама собой очевидна: стекаетъ все то, что неуспѣваетъ просочиться въ почву и испариться. Просачиваніе въ почву, вслѣдствіе капилярности ея, происходитъ тѣмъ медленнѣе, чѣмъ водопроницаемость почвы меньше и чѣмъ склоны круче; поэтому на крутыхъ склонахъ больше стечетъ, чѣмъ просочится; точно также на глинистыхъ склонахъ стокъ больше, чѣмъ на песчаныхъ. Чѣмъ меньше паденіе рѣчекъ и ручьевъ, чѣмъ медленнѣе ихъ теченіе, тѣмъ меньше они донесутъ воды къ своимъ устьямъ въ единицу времени сравнительно съ быстро текущими потоками. Овраги оказываютъ на стокъ различное и часто противоположное вліяніе. Если оврагъ прорѣзываетъ только породы плохой водопроводимости, то онъ значительно увеличиваетъ стокъ въ ущербъ поглощенію; если же онъ углубился въ водопроницаемые пески, прикрытые дурно проницаемыми породами, но не прорѣзалъ еще грунтовыхъ водъ, то онъ больше способствуетъ поглощенію и меньше стоку; хотя вообще система развитыхъ овраговъ увеличиваетъ безполезный стокъ и быстроту схода весеннихъ водъ, какъ увидимъ ниже. Характеръ поверхности и строенія почвы, равно какъ составъ растительнаго покрова, имѣютъ большое вліяніе на стокъ и поглощеніе атмосферныхъ осадковъ. Съ полей вода при равныхъ условіяхъ стекаетъ больше, чѣмъ съ луговъ и степей; а съ этихъ послѣднихъ болѣе, чѣмъ съ лѣсныхъ площадей, особенно богатыхъ лѣсною подстилкою; менѣе всего стекаетъ съ болота.

Изслѣдованія показываютъ, что кратковременные дожди, выпадающіе надъ лѣсомъ, весьма мало попадаютъ непосредственно въ почву, а большая часть воды ихъ задерживается листьями, а съ открытыхъ мѣстностей вода ихъ быстро стекаетъ, такъ что ливни почти безполезны для питанія подземныхъ водъ, тогда какъ продолжительные или затяжные дожди напротивъ преимущественно впитываются почвою и служатъ главнымъ питаніемъ подземныхъ водъ.

Величина стока подвержена значительному колебанію по временамъ года; лѣтомъ она доходитъ до *minimum*'а, но зато весной при мерзлой почвѣ она достигаетъ *maximum*'а, какъ показываетъ вышеприведенный примѣръ р. Москвы, по которой весной скатывается до 72%, а лѣтомъ только 20% осадковъ.

Опредѣленіе величины стока съ площади какого-либо бассейна производится при помощи дождемѣрныхъ и водомѣрныхъ станцій. Зная меженній расходъ воды въ данной рѣкѣ, мы можемъ опредѣлить увеличеніе его послѣ каждаго сильнаго или продолжительнаго дождя; а зная количество выпавшихъ осадковъ—можемъ вычислить величину стока ихъ съ площади даннаго бассейна. Повтореніе такихъ опредѣленій въ разное время и при разныхъ условіяхъ дали возможность изучить не только величину стока, но и колебанія его въ разное время [6]). Такія изслѣдованія, къ сожалѣнію, еще весьма мало распространенныя у насъ въ Россіи, въ связи съ наблюденіями надъ испареніемъ и поглощеніемъ показываютъ, что лѣтомъ наши осадки расходуются преимущественно на испареніе, поглощеніе растительностью и частью скатываются; весной преимущественно стекаютъ по поверхности, производя большія половодья и разливы въ рѣкахъ; слѣдовательно, питаніе подземныхъ водъ происходитъ только осенью и частью зимой; отсюда большое значеніе у насъ снѣгового покрова, „ставящаго, говоритъ С. Н. Никитинъ, наши рѣки, и наши подземныя

воды, и почвенную влагу, и общую водоносность страны совершенно въ иныя условія, чѣмъ на западѣ Европы; тамъ снѣгъ временное явленіе, много разъ въ теченіи зимы обращается въ воду; тамъ не знаютъ нашихъ половодій... тамъ кажется совсѣмъ невѣроятнымъ весенній подъемъ нашихъ рѣкъ до 5 саж. надъ меженью, т. е. лѣтнимъ ихъ стояніемъ, но не знаютъ зато и того полнаго оскудѣнія этихъ рѣкъ водою во второй половинѣ лѣта, особенно когда весеннія условія... не благопріятствовали поглощенію снѣговыхъ водъ".

Поглощеніе осадковъ почвою обусловливается почти тѣми же факторами, которые перечислены для стока, но только дѣйствіе и вліяніе ихъ прямо противоположны, такъ какъ водопоглощеніе представляетъ процессъ обратный и дополнительный къ стоку.

Земная поверхность поглощаетъ непосредственно дождевую и снѣговую воду при таяніи, а также росу, туманъ и вообще водяной паръ, особенно болотами. Воды эти, задержанныя почвою и подпочвою, раздѣляются въ нѣдрахъ земли на двѣ части, совершенно различныя по своему значенію. Одна поглощается почвою и подстилающими ея породами, обусловливая ихъ естественную влажность; другая же постепенно просачивается въ болѣе глубокіе слои до тѣхъ поръ, пока не встрѣтитъ относительно непроницаемую породу, на поверхности которой образуетъ водоносный горизонтъ болѣе или менѣе значительной мощности. Вода эта называется грунтовою (Grundwasser) или какъ прежде неправильно называли ее почвенною, тогда какъ на самомъ дѣлѣ собственно въ почвѣ грунтовыя воды бываютъ только въ болотахъ. Грунтовая вода, распространяясь по поверхности водонепроницаемой породы, выполняя всѣ котловины и углубленія ея и достигнувъ предѣльной мощности, медленно стекаетъ по склонамъ ея; при благопріятныхъ стратиграфическихъ условіяхъ, когда водонепроницаемая порода обнажается, грунтовая вода выходитъ на дневную поверхность и даетъ начало источникамъ, ключамъ или родникамъ.

Способность горныхъ породъ свободно пропускать книзу или профильтровывать воду сквозь свои поры сама по себѣ весьма мала и различна для разныхъ породъ; однѣ изъ нихъ, напр. глины, стекловатыя породы, почти не пропускаютъ воды при небольшой высотѣ напора и проницаются только при большомъ давленіи; другія же напротивъ, напр. пески, трещиноватые известняки, очень быстро пропускаютъ воду. Эта способность болѣе или менѣе быстро проникаться влагою, называется водопроницаемостью почвъ и породъ, по отношенію къ которой породы раздѣляются на водопроницаемыя и водонепроницаемыя или водоупорныя. Но кромѣ того нужно отличать еще водоемкость или влагоемкость породъ, т. е. свойство почвы или породы принимать и задерживать, вслѣдствіе ея капилярности и гигроскопичности, извѣстное количество воды. Различаютъ влагоемкость наименьшую или абсолютную, представляющую количество влаги, удерживаемое породою при свободномъ стокѣ и наибольшую или полную влажность, т. е. количество влаги, насыщающей породу до совершеннаго заполненія всѣхъ пустотъ ея при отсутствіи стока; слѣдовательно, полная влагоемкость равна объему поръ или вообще пустотъ породы; если g — обозначаетъ вѣсъ одного кубическаго метра почвы или породы въ киллограммахъ, а γ — удѣльный вѣсъ элемента почвы, то наибольшая влагоемкость K, выра-

женная въ процентахъ объема, будетъ:

$$K = 100\left(1 - \frac{g}{\gamma}\right).$$

По большей части объ влагоемкости взаимно противоположны, напр. трещиноватыя и землистыя породы обладаютъ малою абсолютною влагоемкостью и наоборотъ. По отношенію къ водопроницаемости абсолютная влагоемкость представляетъ также явленіе обратное, но не всегда, т. е. существуютъ породы проницаемыя, но не влагоемкія, и наоборотъ.

Разнообразіе влагоемкости породъ видно изъ слѣдующей таблицы, представляющей извлеченіе изъ огромнаго числа опытовъ, произведенныхъ различными учеными. Въ этой таблицѣ влагоемкость приведена въ литрахъ воды на одинъ кубическій метръ породы.

НАЗВАНІЕ ПОРОДЪ.	Литровъ воды въ 1 куб. метрѣ.
1) Различные граниты	отъ 0,5 до 8,6
мелкозернистые	„ 0,5 „ 5,0
крупнозернистые	„ — „ 8,6
2) Сіениты	„ 5,0 „ 13,8
3) Габбро	„ 6,0 „ 7,0
4) Фонолиты	„ 20 „ 45,0
5) Базальты	„ 6,3 „ 9,5
6) Базальтовыя лавы	„ 44,5 „ 56,0
7) Мраморы	„ 1,1 „ 2,2
8) Глинистые и кремнистые сланцы	„ 6 „ 28
9) Плотные палеозойскіе песчаники	„ 18 „ 32
10) Различные песчаники	„ 49 „ 398
11) Доломиты	„ 15 „ 221
12) Известняки	„ 15 „ 177
13) Известковые туфы	„ 202 „ 322
14) Мѣлъ различныхъ мѣстъ	„ 279 „ 439
15) Различный гравій	„ 360 „ 370
16) Крупный песокъ съ діаметромъ зеренъ около 2 мм.	„ 360
17) Песокъ съ діаметромъ зеренъ отъ $^1/_3$ до $^1/_4$ мм.	„ 420
18) Глинистая почва	„ 464
19) Мергель	„ 475
20) Глина съ содержаніемъ хряща	„ 525
21) Тощій черноземъ съ содержаніемъ глинистыхъ веществъ	„ 481
22) Тощій черноземъ съ содержаніемъ песчано-глинистыхъ веществъ	„ 553

Просачиваніе воды въ нѣдра земли, происходящее вслѣдствіе силы тяжести и капиллярности, весьма медленно, сравнительно напр. со скоростью стока по поверхности и тѣмъ медленнѣе, чѣмъ водопроницаемость породъ меньше.

По отношенію къ способности пропускать и поглощать воду всѣ породы, слагающія извѣстную намъ часть земной коры, можно раздѣлить на шесть группъ [6a]), удобныхъ для практическихъ цѣлей, а именно: 1) водопроницаемыя, 2) полупроницаемыя, 3) непроницаемыя, но каждую изъ нихъ еще—на двѣ: влагоемкія и невлагоемкія.

1) Водопроницаемыя и невлагоемкія породы, впитывающія въ себя всѣ падающія на нихъ атмосферныя воды до полнаго насыщенія ими всей толщи. Невлагоемкость этихъ породъ конечно не абсолютная, а условная, не превышающая 25—30% по вѣсу. Только въ случаѣ совершенно замкнутаго, котловинообразнаго залеганія такихъ породъ, онѣ насыщаются водой, избытки которой стоятъ на поверхности до ихъ испаренія. При малѣйшемъ же наклонѣ ложа ихъ и возможности внутренняго стока, за удовлетвореніемъ наименьшей влагоемкости ихъ, избытокъ влаги легко стекаетъ и ихъ способность впитывать воду неистощима. На поверх-

ности выхода ихъ кратковременныя лужи образуются только при сильныхъ ливняхъ и весною при таяніи снѣговъ, когда нѣкоторые слои ихъ еще промерзшіе. Почва и овраги въ толщахъ такихъ породъ отличаются сухостью. Если атмосферныхъ осадковъ недостаточно для насыщенія всей толщи, то воды легко скопляются въ ихъ нижнихъ слояхъ, сопредѣльныхъ съ водонепроницаемою породою, образуя болѣе или менѣе мощный водоносный горизонтъ, тогда какъ верхніе слои этой толщи остаются почти совершенно сухими. Это лучшіе регуляторы стока; рѣки и источники, берущіе исключительно въ нихъ начало, отличаются равномѣрностью расхода воды и слабымъ подъемомъ весеннихъ и лѣтнихъ наводковъ. Источники ихъ пересыхаютъ только отъ очень продолжительныхъ засухъ. Породы этой группы раздѣляются на зернистыя, примѣромъ которыхъ могутъ служить различные, болѣе или менѣе чистые пески и трещиноватыя, каковы большинство известняковъ, образующихъ большую часть каменистаго ложа, на которомъ покоятся рыхлыя поверхностныя песчано-глинистыя отложенія средней Россіи.

2) Водопроницаемыя и влагоемкія породы, къ которымъ относятся преимущественно торфъ и торфяниковыя почвы. Влагоемкость торфа какъ абсолютная, такъ и полная чрезвычайно высока и одинакова, колеблясь для различныхъ торфовъ въ предѣлахъ между 100 и 1500% по вѣсу. Торфяники жадно впитываютъ въ себя влагу всею толщею, проникаясь ею какъ сверху, такъ и снизу; свойство это они теряютъ только при полномъ и усиленномъ высыханіи. Торфы рѣзко отличаются отъ вышеуказанныхъ водопроницаемыхъ породъ: зернистыхъ и трещиноватыхъ, крайнею медленностью фильтраціи и пропусканія черезъ себя избытка воды выше предѣла абсолютной влагоемкости. Это послѣднее свойство и всѣ зависящія отъ него особенности торфовъ находятся въ связи съ высокой влагоемкостью ихъ и дѣлаютъ изъ торфяниковъ превосходные запасные резервуары влаги, прекрасные регуляторы грунтовыхъ водъ и ихъ истеченія; они не только поддерживаютъ, но и поднимаютъ уровень грунтовыхъ водъ. Извѣстно, что крупные торфяники въ силу этой особенности разрастаются до такой степени, что поднимаются вверхъ по склонамъ и ихъ поверхность получаетъ значительную выпуклость. Вслѣдствіе той же особенности, торфяники очень плохо дренируются водоотводными канавами и только на самое незначительное разстояніе отъ канавы. Всѣ эти свойства особенно рѣзко выражены въ сфагновыхъ моховыхъ торфяникахъ, но меньше въ травяныхъ и лѣсныхъ. Влагоемкость первыхъ достигаетъ 1.000—1.500%, а для травяныхъ и лѣсныхъ—300—700%, понижаясь даже до 100% въ нечистыхъ иловатыхъ разностяхъ. Разумѣется, по сравненію съ такою влагоемкостью, влагоемкость чернозема до 45% или песка 16—25% является ничтожною.

3) Водонепроницаемыя и невлагоемкія породы, имѣющія минимальную способность впитывать въ себя выпадающіе осадки, напр. плотные песчаники, кварциты, нѣкоторые известняки и вообще лишенныя трещинъ кристаллическія породы.

4) Водонепроницаемыя и влагоемкія породы, къ которымъ относятся преимущественно глины. Породы эти обладаютъ высокою капилярною пористостью, образующею какъ бы тончайшую сѣть, которая жадно впитываетъ воду, но только при условіи, пока такая капилярная пористость не нарушается. При значительномъ напорѣ и давленіи воды сверху или снизу, поверхностные слои глины превращаются въ тонкую, липкую грязь; частицы глины перемѣщаются, капилярная сѣть разрушается и глина перестаетъ проводить влагу въ свои болѣе глубокія толщи, остающіяся почти абсолютно сухими. На ровной или котловинообразной поверхности во всякомъ малѣйшемъ углубленіи такихъ породъ и соотвѣтственныхъ имъ почвъ, выпадающіе осадки, насытивъ ничтожный по толщинѣ верхній слой, образуютъ либо поверхностныя вмѣстилища стоячихъ водъ, медленно убывающія черезъ испареніе, либо болота и мочежины въ разной степени заболачиванія, сопровождающіяся закисаніемъ почвы и большею или меньшею сыростью полевыхъ, степныхъ и лѣсныхъ площадей, вызывая на нихъ солончаковыя и подзолистыя образованія. Склоны, сложенные изъ такихъ породъ, наоборотъ, отличаются сухостью, лишены какихъ-либо источниковъ и ключей; при слабомъ наклонѣ — залужены, при большомъ — изрыты промоинами потоковъ, быстро сбѣгающихъ весеннихъ и дождевыхъ водъ. Водоносность рѣкъ, протекающихъ по такимъ породамъ, лишенныхъ ключей, зависитъ исключительно отъ рельефа. При пересѣченномъ рельефѣ съ волнистою поверхностью рѣки быстро наполняются водою въ весенніе и лѣтніе наводки, но быстро высыхаютъ въ сухое время года. При рельефѣ съ плоскими котловинами и равнинами, на такихъ породахъ развиваются болота, которыя служатъ прочными и надежными источниками и регуляторами питанія рѣкъ. Въ нѣдрахъ земли породы эти служатъ надежнымъ ложемъ для водоносныхъ горизонтовъ и запасовъ грунтовыхъ водъ.

5) Полупроницаемыя или средней проницаемости породы: влагоемкія и 6) такія же породы, невлагоемкія. Полупроницаемыя породы впитываютъ въ себя и медленно пропускаютъ черезъ свою толщу болѣе или менѣе значитель-

ное количество падающихъ на нихъ атмосферныхъ осадковъ; онѣ медленно насыщаются, но и медленно теряютъ влагу. Постепенно обогащаясь водою сверху внизъ, онѣ на границѣ съ водопепроницаемымъ ложемъ даютъ водоносный горизонтъ, изъ котораго, при выходѣ его наружу, вода едва просачивается или получаются слабые ключи съ весьма ограниченнымъ дебитомъ. Колодезная вода въ такомъ водоносномъ горизонтѣ легко выбирается и медленно наполняется до прежняго уровня. Нерѣдко слабые водоносные горизонты образуются внутри самой толщи такихъ породъ. Такъ какъ составъ ихъ отличается непостоянствомъ, то иногда влага въ нихъ возрастаетъ только до извѣстнаго горизонта, ниже котораго убываетъ, а затѣмъ снова возрастаетъ. Рѣки, ручьи и источники, находящіеся въ области этихъ породъ и питаемые исключительно ими, характеризуются неравномѣрностью водоносности весною и лѣтомъ, въ дождливое и сухое время, но не пересыхаютъ окончательно даже при сильныхъ засухахъ. Весенніе и лѣтніе паводки несутъ массу стекающей воды, которая не успѣваетъ впитываться и, въ зависимости отъ рельефа, образуетъ временныя водовмѣстилища или же производитъ сильныя разрушенія поверхностныхъ отложеній; это область наибольшей эрозіи, образованія овраговъ и размоинъ. Типичными представителями этой группы породъ являются: лёссовыя образованія и цѣлый рядъ песчано-глинистыхъ и мергелистыхъ отложеній различнаго возраста и происхожденія.

Такъ какъ абсолютно проницаемыхъ или непроницаемыхъ породъ не существуетъ, то само собой разумѣется, что приведенное дѣленіе породъ по ихъ водопроницаемости имѣетъ чисто условный характеръ; между различными группами существуютъ разнообразные переходы; особенно растяжима средняя (т. е. 5—6) группа. Измельченіе зеренъ песка и большая примѣсь глины обусловливаютъ переходъ породы въ водонепроницаемую; измѣненіе въ обратномъ направленіи превращаетъ породу въ водопроницаемую. Чѣмъ больше въ почвѣ содержится неволосныхъ скважинъ, тѣмъ легче атмосферная вода проникаетъ и наоборотъ. Вообще же прониканіе или просачиваніе воды подчиняется общему закону всѣхъ движеній грунтовыхъ водъ, а именно: количество воды, просачивающейся въ данное время при данной поверхности инфильтраціи, уменьшается съ уменьшеніемъ величины частицъ или зеренъ почвы; кромѣ того на скорость прониканія вліяетъ также количество каллоидальныхъ веществъ, содержащихся въ почвѣ; поэтому дождевая вода легче просачивается въ песокъ, нежели въ почву, богатую глинистыми или смолистыми частицами.

Кромѣ состава и структуры почвы на величину поглощенія оказываютъ большое вліяніе промерзаніе почвы и характеръ растительнаго покрова. Прониканіе воды въ почву происходитъ только при температурахъ выше 0°, но когда почва замерзаетъ, то она становится водонепроницаемой. Глубина промерзанія различна, но у насъ напр. рѣдко доходитъ до 1,5 метра, при чемъ наибольшее промерзаніе приходится на февраль и даже мартъ, особенно на почвѣ обнаженной отъ снѣга и растительности. Снѣговой и растительный покровы защищаютъ почву отъ промерзанія. Подъ глубокимъ снѣговымъ покровомъ, выпавшимъ на талую землю, промерзаніе или ничтожно или вовсе не происходитъ, особенно гдѣ снѣгъ лежитъ ровнымъ толстымъ слоемъ всю зиму и не сходитъ отъ оттепелей и не сносится вѣтромъ. Растительный покровъ также защищаетъ почву отъ промерзанія; лѣсъ сильнѣе, чѣмъ трава, но особенно хорошо защищаетъ лѣсная подстилка и подстилка дѣвственной степи; поэтому-то распашка степи и истребленіе лѣсовъ, увеличивая промерзаніе, ведетъ къ тому, что весеннія воды сходятъ раньше оттаиванія почвы, которая не впитываетъ и не передаетъ ихъ грунтовымъ водамъ, какъ это прослѣжено, напр., въ области истоковъ нѣкоторыхъ русскихъ рѣкъ: Сейма и Оки, гдѣ при таяніи на мерзломъ грунтѣ, верхніе, самые питательные

слои чернозема превращаются въ жидкую грязь и сносятся, что уменьшаетъ плодородіе этой почвы.

Но вліяніе растительнаго покрова на поглощеніе сказывается еще и непосредственно. Выше было указано, что растенія въ періодъ роста препятствуютъ поглощенію, потому что сами расходуютъ много влаги, но засохшія растенія увеличиваютъ количество влаги въ почвѣ. Вообще можно сказать, что всѣ условія, понижающія испареніе изъ почвы, при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, увеличиваютъ поглощеніе и обратно. Поэтому въ среднемъ климатѣ, напр. у насъ въ Европейской Россіи, наибольшее количество воды просачивается въ подпочву зимой, когда еще почва не замерзла, затѣмъ весной и осенью; а лѣтомъ, когда развивается растительность, несмотря на обиліе осадковъ, почва высыхаетъ и даже на весьма значительную глубину. Лѣсная почва даетъ наибольшія количества воды въ глубже лежащіе слои не зимой, а весной, что объясняется медленнымъ таяніемъ снѣговъ и малымъ промерзаніемъ. Поглощеніе лѣсною почвою зависитъ отъ подстилки: больше всего впитываетъ моховая подстилка, затѣмъ лиственная и меньше всего—хвойная.

Разсматривая въ совокупности всѣ вышеприведенные факторы, обусловливающіе поглощеніе или величину почвенной инфильтраціи, мы видимъ, что они настолько разнообразны и измѣнчивы, что численное выраженіе каждаго изъ нихъ, даже приблизительное, совершенно невозможно. Величину общаго поглощенія на площади даннаго бассейна въ нѣкоторыхъ благопріятныхъ случаяхъ опредѣляютъ такъ же, какъ и стокъ, т. е. наблюденіями надъ среднимъ расходомъ меженней воды, произведенными въ бездождное время; наблюденія эти опредѣляютъ питаніе рѣки ключевою водою. Если разсматриваемый бассейнъ совершенно замкнутъ, т. е. не получаетъ воды со стороны и не отдаетъ, то годовой расходъ рѣчной воды въ концѣ бассейна, изъ котораго вычтенъ весь поверхностный стокъ дождевыхъ и весеннихъ паводковъ, даетъ прямо годовое количество атмосферныхъ осадковъ, поглощаемыхъ даннымъ бассейномъ. Точно также, если измѣрять производительность какого-либо ключа, имѣющаго совершенно замкнутую область питанія, то можно получить высоту слоя инфильтраціонной воды или, какъ говорятъ, инфильтраціонное число; умножая это число на площадь области питанія ключа, получимъ полную годовую производительность источника. Раздѣляя это произведеніе на 365, для опредѣленія средней суточной производительности ключа, мы увидимъ, что она никогда не согласуется съ дѣйствительностью; въ зависимости отъ характера мѣстности и величины подземнаго резервуара суточная производительность зимой бываетъ больше, а лѣтомъ меньше полученной средней или наоборотъ, напр., на высокихъ горахъ лѣтомъ больше, чѣмъ зимой, а на плоскихъ равнинахъ — обратно. Наблюденія за каждый годъ даютъ различные общіе результаты, но никакой законности для болѣе или менѣе длиннаго періода времени не замѣчается.

Впрочемъ для опредѣленныхъ мѣстностей съ значительнымъ подпочвеннымъ резервуаромъ нѣкоторая законность выражается въ соотвѣтственныхъ колебаніяхъ инфильтраціи и осадковъ. На этомъ основаніи существуетъ попытка составить простую формулу, по которой можно было бы опредѣлить количество образующейся грунтовой воды Q (въ куб. метр.)

по высотѣ дождя h, площади питанія f и коэффиціента поглощенія K, т. е. $Q = Khf$, гдѣ K опредѣляется путемъ опыта, напр. если допустить, согласно съ Геймомъ, что въ Средней Европѣ приблизительно $^1/_3$ атмосферныхъ осадковъ поглощается и служитъ для питанія ключей, то въ 1 сек. времени для площади въ 1 кв. километръ:

$$K = \frac{1}{3}\,\frac{100000}{365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{1}{3} \cdot 0{,}03171 = 0{,}01057.$$

При поглощеніи $^1/_{12}$ осадковъ, какъ полагаетъ Парамель, $K = 0{,}00264$, по Лаутенбургу — $K = 0{,}00700$. Такимъ способомъ были вычислены для нѣкоторыхъ болѣе или менѣе значительныхъ рѣчныхъ областей Европы наименьшія нормальныя количества грунтовой или ключевой воды, получающейся съ одного квадратнаго километра въ секунду и выражаемыя въ литрахъ.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены эти количества, также и величины K, получаемыя отъ дѣленія этихъ количествъ на высоту дождя.

Названіе рѣчной области.	Ср. высота дождя въ милл.	Площадь въ кв. килом.	Q.	K.
Область Луары выше Тура	750	42600	6,34	0,00845
„ Роны выше устья Саоны .	1400	21000	8,24	0,00749
„ Рейна до Баденскаго оз. .	1142	6620	7,57	0,00663
„ Эльбы до Альтенцаунъ . .	600	157400	3,81	0,00635
„ Одера до устья Варты . .	550	99273	3,30	0,00600
„ Сены до Манта	683	61200	4,06	0,00594
„ Дуная до Вѣны	830	97920	4,57	0,00550
„ Вислы до устья	630	181708	3,42	0,00593
„ Везера до Бремена	710	40000	3,81	0,00537
„ Гароны до Тулузы	1200	10500	6,34	0,00528
„ Мемеля до Тильзита . . .	620	100000	3,17	0,00511

Люгеръ [7]) приведя эту таблицу, какъ и другія числовыя данныя, говоритъ, что „всѣ эти и имъ подобныя числа даютъ только приблизительныя значенія количества остающейся въ почвѣ жидкой инфильтраціи, такъ какъ условія для прониканія воды въ почву различны для каждаго даннаго случая и при одинаковой площади просачиванія они измѣняются въ зависимости отъ растительной культуры“; „Примѣненіе этихъ чиселъ въ положительномъ смыслѣ должно быть производимо съ весьма большой осторожностью для избѣжанія горькихъ разочарованій; инфильтраціонное число можетъ быть примѣнено лишь въ томъ случаѣ, когда всѣ условія совершенно тождественны съ тѣми, при которыхъ оно получено путемъ наблюденій. Кромѣ того, въ виду чрезвычайнаго удобства и заманчивости этого способа рѣшенія подобныхъ задачъ ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ полагаться на результаты приведенныхъ вычисленій, не входя въ дальнѣйшую оцѣнку другихъ обстоятельствъ“; особенно величины резервуара грунтовой воды и вообще влагоемкости породъ.

Зная же количество атмосферныхъ осадковъ, а также величину стока и поглощенія, по разности легко опредѣлить и величину испаренія съ данной площади въ опредѣленное время.

Такимъ образомъ уже краткій обзоръ условій испаренія, стока и поглощенія показываетъ такую сложность и разнообразіе ихъ, что безъ подробнаго и продолжительнаго (не менѣе года) изученія невозможно

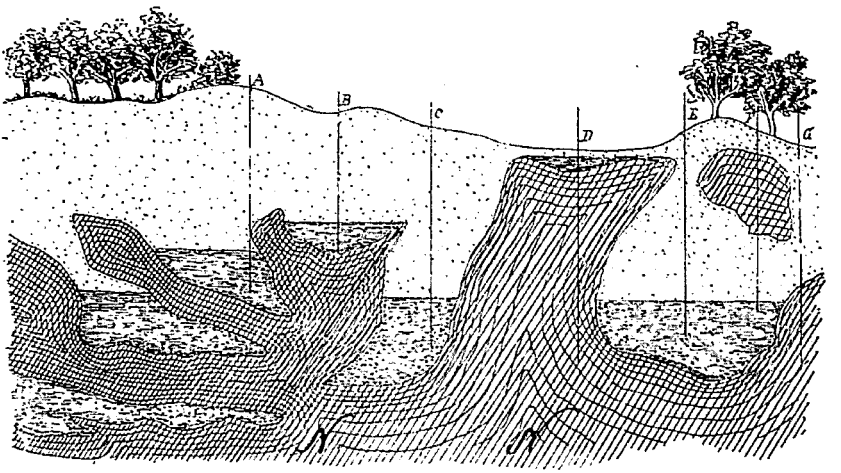
выяснить какъ общее раздѣленіе атмосферныхъ осадковъ въ данной области, такъ и, въ частности, количество ихъ, служащее для питанія грунтовыхъ водъ, къ разсмотрѣнію которыхъ мы теперь перейдемъ.

Грунтовыя воды.

Грунтовою водою (Grundwasser, grundwater, water level, waterplain, nappe d'infiltration, nappe d'eau des puits, l'eau phréatiques, couche aquifère libre, Welwater, aequa die livello и пр.) называется вода, поглощенная почвою и образующая первый отъ поверхности водоносный горизонтъ, расположенный въ подпочвѣ или въ болѣе глубокихъ коренныхъ породахъ, но на первомъ отъ поверхности водонепроницаемомъ слоѣ; она представляетъ вмѣстѣ съ тѣмъ свободный остатокъ за удовлетвореніемъ наименьшей влагаемкости водоносной породы. Глубина залеганія ея зависитъ отъ водопроницаемости почвы и подпочвы; въ случаѣ водонепроницаемости ихъ она сливается съ наружными водами; въ противномъ же случаѣ она проникаетъ глубоко до 10 и болѣе саженей, отдѣляясь отъ почвы цѣлымъ рядомъ напластованій то влажныхъ, то сухихъ, но не образующихъ обособленныхъ водоносныхъ горизонтовъ. Грунтовая вода обыкновенно отличается очень слабымъ напоромъ или отсутствіемъ его, такъ что при достиженіи ея колодцемъ или буровой скважиной, она не поднимается кверху, довольно быстро понижается при откачкѣ, и очень медленно возстановляетъ свой уровень. Переполняя водоносную породу до извѣстной высоты, зависящей отъ сопротивленія породы свободному движенію воды, отъ крупности ея зерна, но, главнымъ образомъ, отъ уклона водонепроницаемаго слоя, грунтовая вода, при благопріятныхъ условіяхъ, напр., при обнаженіи водоноснаго слоя на склонахъ овраговъ или долинъ, просачиваются наружу и даетъ начало источникамъ. Въ противномъ случаѣ образуются подземные потоки, которые текутъ только по извѣстнымъ направленіямъ въ крупнозернистой толщѣ, гдѣ преимущественно и наблюдаются выходы ключей. Скорость передвиженія грунтовыхъ водъ въ горизонтальномъ направленіи весьма различна, но во всякомъ случаѣ она гораздо меньше, нежели въ поверхностныхъ потокахъ. Замедленіе вызывается сопротивленіемъ движенію самою водоносною породою, и зависитъ отъ ея водопроницаемости, величины зерна, глубины залеганія, трещиноватости и пр. Наблюденія надъ уровнемъ воды въ послѣдовательномъ рядѣ буровыхъ скважинъ, равно какъ надъ измѣненіемъ дебета ключей показываютъ, что грунтовыя воды, также какъ и вообще подземныя воды, иногда требуютъ недѣль и даже мѣсяцевъ для прохожденія подземнымъ путемъ всего нѣсколькихъ сотъ саженъ разстоянія. Этимъ замедленіемъ объясняется то явленіе, что засушливый годъ иногда отражается на уменьшеніи дебета ключей только въ слѣдующемъ году.

При неровной поверхности водонепроницаемаго ложа въ углубленіяхъ его образуются подземные бассейны, которые при избыткѣ воды соединяются между собою и питаютъ общій потокъ, а при убыли совершенно разобщаются и даютъ отдѣльные мелкіе потоки или же становятся замкнутыми. Прекрасный примѣръ такого рода залеганія грунтовыхъ водъ

представляетъ восточная часть Шлезвигъ-Голштиніи, гдѣ ложемъ ея служитъ непроницаемый валунный мергель (*N*, *N* фиг. 137) имѣющій мѣстами чрезвычайно неровную и даже причудливую поверхность, происшедшую въ ледниковый періодъ вслѣдствіе давленія надвигавшагося материковаго льда. Поверхность эта, прикрытая водопроницаемыми песками, обусловливаетъ цѣлый рядъ различныхъ бассейновъ грунтовой воды, залегающихъ на разной высотѣ, какъ видно на слѣдующемъ схематическомъ разрѣзѣ (фиг. 137), гдѣ указаны также колодцы *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, находящіеся при различныхъ условіяхъ питанія въ зависимости отъ положенія ихъ по отношенію къ водонепроницаемому ложу; нѣкоторые изъ нихъ, какъ, напр., *D*, оказались совсѣмъ неудачными, другіе же, какъ, напр., *G*, получаютъ иногда питаніе, когда уровень грун-



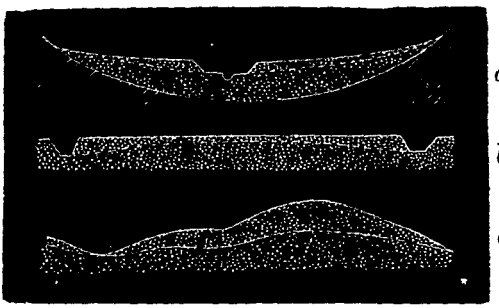
Фиг. 137.— Схематическій разрѣзъ неровной поверхности водонепроницаемаго пласта NN на востокѣ Шлезвигъ-Голштейна.

товыхъ водъ значительно поднимается и когда отдѣльные бассейны соединяются между собою [8]).

Но кромѣ очертанія водонепроницаемаго ложа и мощности водоносныхъ толщъ, на уровень грунтовыхъ водъ и направленіе ихъ теченія имѣетъ вліяніе всякое мѣстное измѣненіе въ величинѣ зерна, пористости и трещиноватости водоносной породы, появленіе въ ней глинистыхъ прослойковъ, и пр., словомъ всякое измѣненіе въ структурѣ и составѣ какъ водонепроницаемаго ложа, такъ и водоноснаго слоя; чѣмъ и объясняется цѣлый рядъ аномальныхъ явленій, напр., обиліе ключей въ одномъ оврагѣ и почти полное отсутствіе въ другомъ сосѣднемъ, большая или меньшая удача колодцевъ и буровыхъ скважинъ при условіяхъ, повидимому, одинаковаго рельефа, измѣненіе притока воды въ колодцахъ и пр.

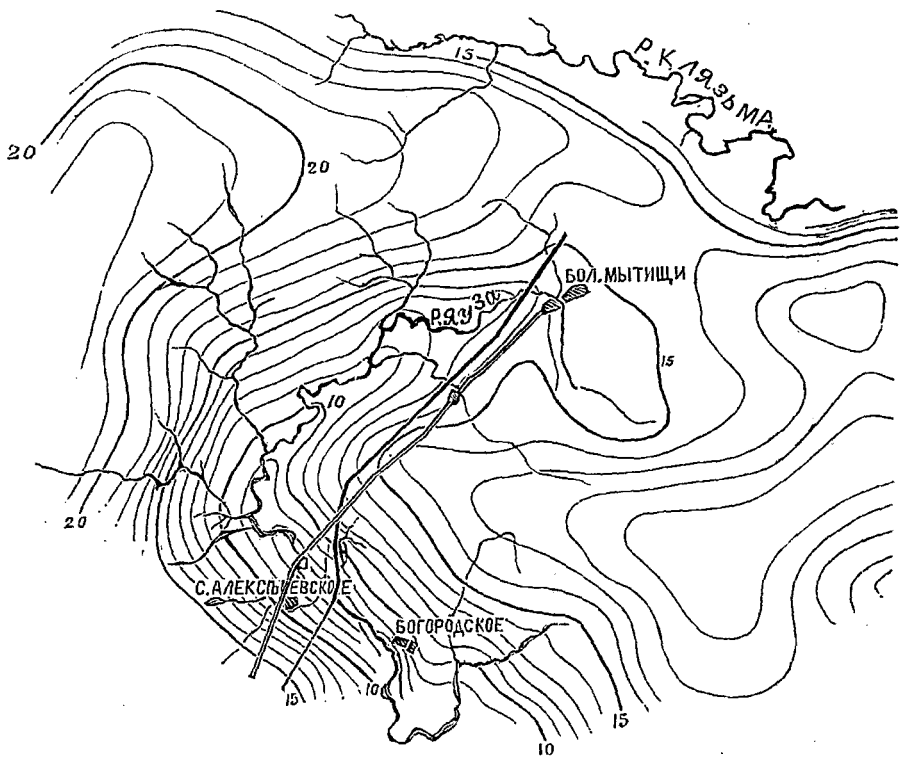
Наконецъ, внѣшній рельефъ оказываетъ не меньшее вліяніе на высоту стоянія грунтовыхъ водъ, такъ какъ давленіе атмосферы на нихъ такое же, какъ и на поверхности. Въ котловинахъ они по краямъ стоятъ выше, чѣмъ въ срединѣ (фиг. 138 *a*), напр., въ долинѣ Невы на Пескахъ — въ самой высокой части Петербурга грунтовая вода находится на глубинѣ 5 ф., и слѣдовательно надъ уровнемъ Невы возвышается на 25 ф. Въ

мѣстности съ совершенно горизонтальною поверхностью и такимъ же водонепроницаемымъ ложемъ, но прорѣзанной долиной или оврагомъ, грунтовыя воды образуютъ плоскій подземный водораздѣлъ и понижаются въ сторону долины (фиг. 138 *b*). Еще лучше эти отношенія видны на прилагаемой карточкѣ бассейна р. Яузы съ графическимъ изображеніемъ горизонталей давленія грунтовыхъ водъ и притока ихъ къ р. Яузѣ (фиг. 139) и Клязьмѣ, подробно изученной по поводу водоснабженія г. Москвы [9]).



Фиг. 138.—Схемы залеганія почвенной воды.

При неровной поверхности и глубокой рѣчной долинѣ пониженіе уровня грунтовой воды съ приближеніемъ къ рѣкѣ выражается еще рѣзче; она скатывается по крутому уклону (фиг. 140). При высокомъ стояніи грунтовой воды и при нахожденіи на поверхности глубокихъ замкнутыхъ котловинъ, она образуетъ озера или болота, какъ,

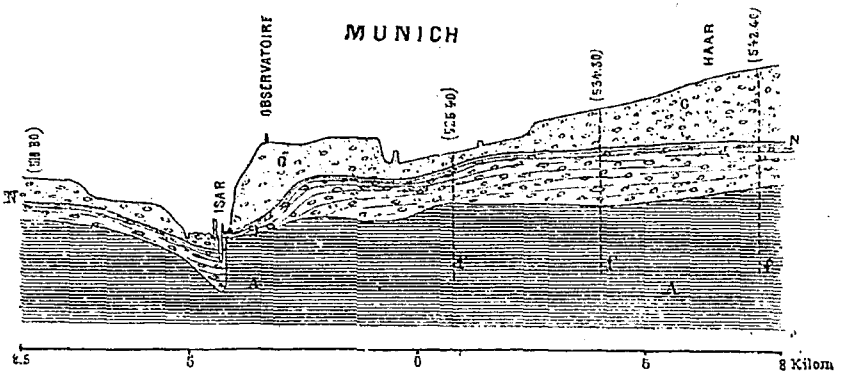


Фиг. 139.—Карта бассейна р. Яузы съ горизонталями давленія грунтовыхъ водъ.

напр., въ окрестностяхъ Риги (фиг. 141). Но особенно отчетливо вліяніе внѣшняго рельефа сказывается въ области дюнъ, гдѣ поверхность грунтовыхъ водъ имѣетъ такой же волнистый характеръ, какъ и поверхность дюнъ, но только водяныя волны соотвѣтственно положе, чѣмъ дюнныя (фиг. 138 *c* и фиг. 142). Возвышаясь надъ самою высокою дюною на 15—20 метр.

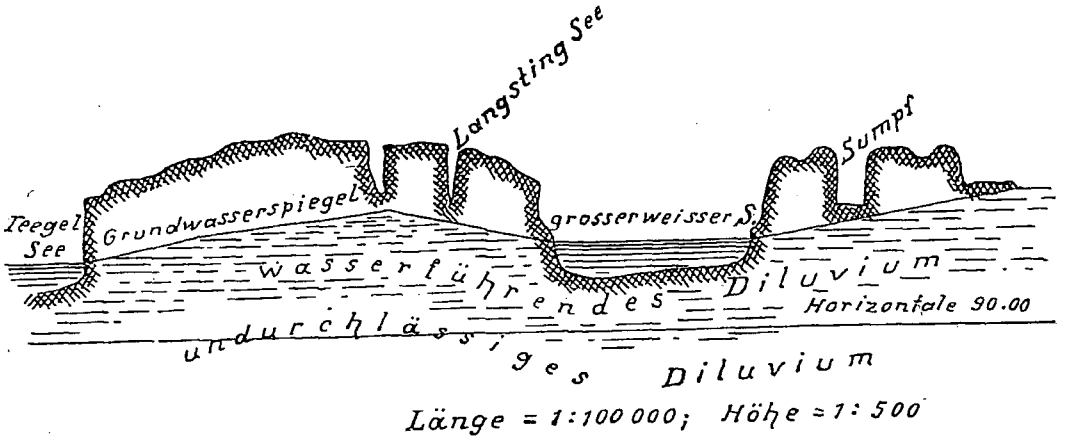
надъ уровнемъ моря, грунтовая вода направляется съ одной стороны къ морю, а съ другой къ дюнному озеру. Этимъ объясняется нахожденіе прѣсныхъ колодцевъ на берегу моря, напр., у насъ въ дюнахъ Сесторѣцка, Куокала и пр., а въ Аркашонѣ—даже на самомъ плажѣ.

Уровень грунтовыхъ водъ подверженъ значительнымъ и разнообраз-



Фиг. 140.—Профиль черезъ долину Изаръ у Мюнхена. A—водонепроницаемая третичная глина (Флинцъ). G—диловіальный гравій съ грунтовой водой, поверхность которой NN.

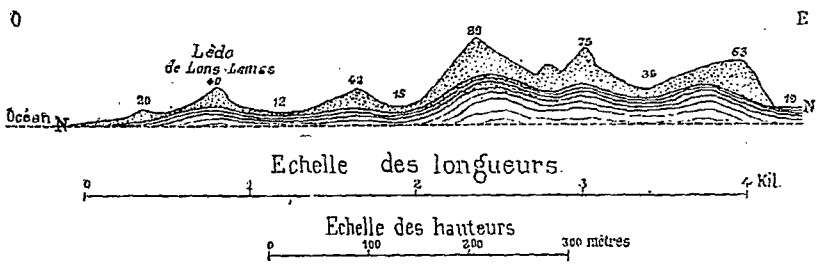
нымъ колебаніямъ, которыя зависятъ отъ неравномѣрности выпаденія атмосферныхъ осадковъ, отъ вліянія растительности, особенно лѣсной, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ отъ подпора внѣшними водами при колебаніяхъ уровня въ рѣкахъ, озерахъ и моряхъ Наблюденія показываютъ, что одни изъ этихъ колебаній подчиняются строгой законности и происходятъ пра-



Фиг. 141.—Разрѣзъ, показывающій положеніе воды и отношеніе ея къ озерамъ у г. Риги (по Тиму).

вильно періодически, другія же появляются неправильно. Величина годового колебанія разнообразна, зависитъ отъ количества атмосферныхъ осадковъ и бываетъ весьма значительна; такъ въ Лѣсномъ Институтѣ въ Петербургѣ уровень грунтовыхъ водъ колеблется въ предѣлахъ около 1 метра, а въ нѣкоторыхъ песчаныхъ площадяхъ верховьевъ Волги колебанія достигаютъ до 3 метровъ. Тамъ, гдѣ зима ровная, безъ полныхъ оттепелей, наблюдается замѣчательная правильность въ подъемѣ и паденіи

уровня грунтовыхъ водъ, напр., у насъ въ средней и сѣверной Россіи, при чемъ наиболѣе глубокое стояніе приходится на мартъ, за которымъ слѣдуютъ два сильныхъ весеннихъ подъема: одинъ отъ таянія мѣстныхъ снѣговъ, другой, болѣе или менѣе запаздывающій, отъ общаго весенняго половодья въ данной области. Въ лѣтніе мѣсяцы происходитъ постепенное пониженіе уровня грунтовыхъ водъ, но недостигающее мартовскаго minimum'a. Сильные лѣтніе дожди почти не вліяютъ на подъемъ водъ; только дожди обложные, продолжающіеся недѣлями, производятъ небольшой подъемъ, да и то сильно запаздывающій вслѣдствіе медленности прониканія и теченія подземныхъ водъ. Осеннее повышеніе начинается въ различное время въ зависимости отъ наступленія дождей и окончанія развитія растительной жизни; на озимыхъ поляхъ ранѣе, чѣмъ въ лѣсахъ; оно достигаетъ maximum'a передъ замерзаніемъ почвы и наступленіемъ зимы. Осеннее повышеніе хотя иногда достигаетъ размѣровъ весенняго, но въ большинствѣ случаевъ гораздо меньше. Зимнее пониженіе идетъ



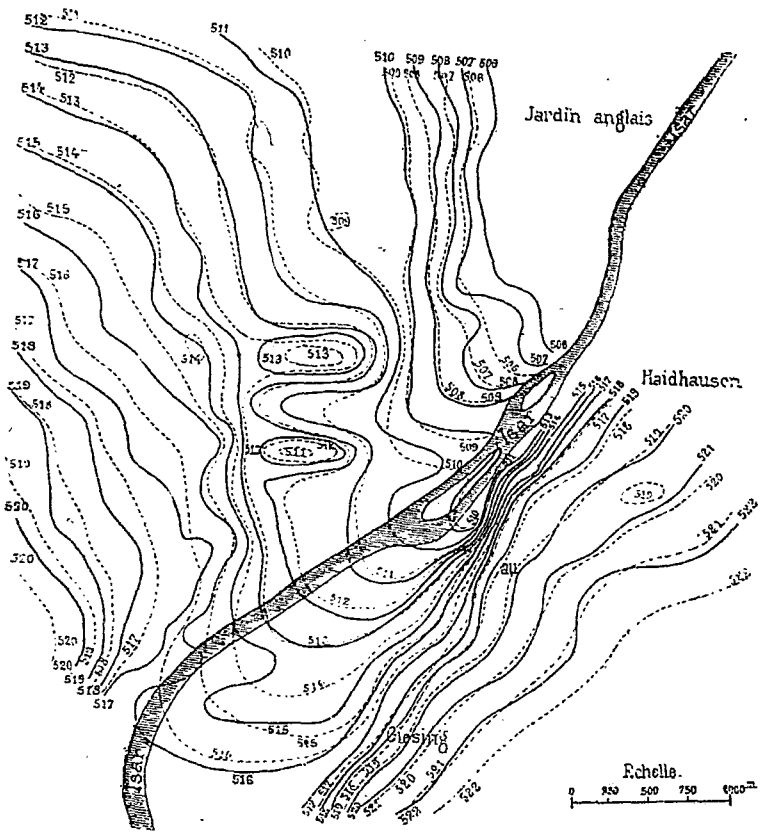
Фиг. 142.—Разрѣзъ цѣпи дюнъ у Казо къ югу отъ Аркашона съ указаніемъ горизонта грунтовой воды, измѣняющагося въ разное время года.

равномѣрно до мартовскаго minimum'a. Само собой разумѣется, что въ странахъ съ другими климатическими свойствами, съ другимъ распредѣленіемъ осадковъ, періоды и величина колебанія грунтовыхъ водъ будутъ иныя. Такъ, въ западной и южной Россіи, гдѣ неровныя и малоснѣжныя зимы часто сопровождаются полными оттепелями, колебанія уровня грунтовыхъ водъ происходитъ неправильно.

Внѣшія воды также оказываютъ вліяніе на колебанія грунтовыхъ водъ, хотя не всегда и далеко не такое періодически правильное, какъ атмосферные осадки. Выше упоминалось, что грунтовыя воды, выходя на поверхность въ видѣ источниковъ по склонамъ долинъ, увеличиваютъ питаніе рѣкъ и даже служатъ регуляторами его, особенно въ періодъ межени. Большинство рѣкъ имѣютъ обширные подземные бассейны, которые даютъ рѣкѣ до 6—8 куб. метровъ воды въ секунду (какъ видно изъ вышеприведенной таблицы стр. 222) и спасаютъ ихъ отъ полнаго высыханія даже при сильныхъ засухахъ, какъ, напр., это было въ сѣверной Европѣ въ 1893 г. и 1901 г., когда, можно сказать, рѣки жили исключительно на счетъ запасовъ грунтовыхъ водъ. Но пользуясь ими, рѣки съ своей стороны не остаются въ долгу у грунтовыхъ водъ, хотя далеко не всѣ и не въ одинаковой степени, что зависитъ отъ общаго характера и особенно отъ геологическаго строенія рѣчныхъ долинъ. Въ этомъ отношеніи рѣки можно раздѣлить на два главныхъ типа, изъ которыхъ одинъ

характеризуется водонепроницаемымъ, другой водопроницаемымъ ложемъ; первый почти не оказываетъ никакого вліянія на колебаніе уровня грунтовыхъ водъ, а второй напротивъ—очень большое.

Допустимъ, что рѣка прорѣзываетъ водонепроницаемыя породы и уровень ея никогда не достигаетъ горизонта грунтовыхъ водъ, то очевидно, что такая рѣка будетъ только питаться грунтовыми водами, но не будетъ имѣть вліянія на колебанія уровня ихъ. Прекрасный примѣръ этого типа рѣкъ представляетъ р. Изаръ у Мюнхена (см. фиг. 140), протекающая въ непроницаемыхъ третичныхъ глинахъ (Flinz), которыя прикрыты постпліоценовыми песками и гравіемъ, пропитанными грунтовою водою. Подробныя изслѣдованія почвы Мюнхена выяснили не только характеръ залеганія грунтовыхъ водъ, ихъ отношеніе къ рѣкѣ, но и предѣлы колебанія уровня ихъ, зависящіе исключительно отъ атмосферныхъ осадковъ; на слѣдующей карточкѣ показаны эти предѣлы до канализаціи (фиг. 143).



Фиг. 143.—Планъ Мюнхена съ горизонталями, показывающими: сплошныя—высокую воду, а пунктирныя—низкую, по Гюмбелю.

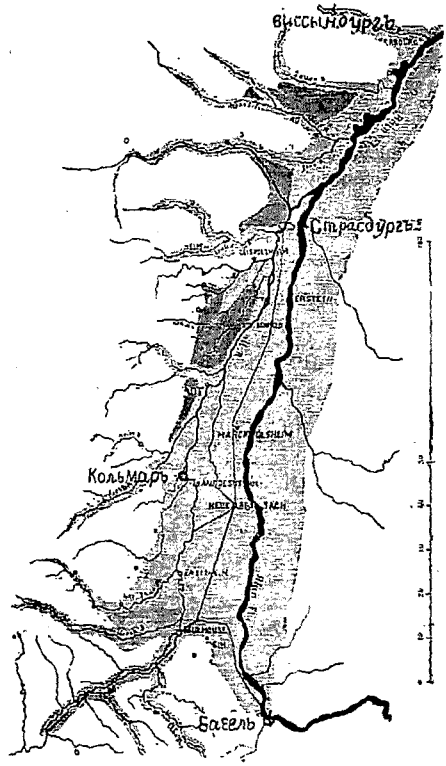
Совершенно другія отношенія получаются въ томъ случаѣ, если рѣка прорѣзываетъ водопроницаемыя породы; тогда всякое колебаніи въ уровнѣ ея отражается въ большей или меньшей степени на измѣненіи уровня грунтовыхъ водъ, напр., на Рейнѣ между Базелемъ и Виссембургомъ (фиг. 144), гдѣ водоносный гравій достигаетъ мѣстами 20 кил. ширины только на лѣвой сторонѣ рѣки; глубина его неопредѣлена точно, но не менѣе 10 метровъ, а поперечное сѣченіе въ 320 разъ болѣе средняго поперечнаго сѣченія Рейна ниже Ишля. Несмотря на такую массу грунтовой воды, всякое измѣненіе въ уровнѣ Рейна производитъ повышеніе или пониженіе грунтовыхъ водъ, причемъ повышеніе ихъ слѣдуетъ очень быстро за поднятіемъ уровня въ рѣкѣ, тогда какъ обратное пониженіе значительно отстаетъ отъ пониженія уровня рѣки на нѣсколько дней и даже на недѣли, смотря по условіямъ теченія.

На Невѣ подъемъ грунтовыхъ водъ вблизи рѣки происходитъ весьма неправильно, напр. при наводненіяхъ, бывающихъ въ устьяхъ Невы, особенно осенью, вслѣдствіе подпора водою Финскаго залива, нагоняемою обыкновенно юго-западными и западными вѣтрами. Такія колебанія бываютъ часты и рѣзко отличаются отъ вышеуказанныхъ правильныхъ колебаній, тѣмъ болѣе, что въ нѣкоторомъ разстояніи отъ рѣки они даже не замѣчаются, если происходятъ быстро. Эта зависимость грунтовыхъ водъ отъ рѣчныхъ наблюдается съ особою отчетливостью въ рѣкахъ пустынь и степей, гдѣ испареніе превышаетъ атмосферные осадки, напр въ среднемъ теченіи Аму-Дарьи, Нила и др., изъ которыхъ вода просачивается на 11 миль въ стороны отъ рѣки и служитъ главнымъ питаніемъ грунтовыхъ водъ. Въ этихъ случаяхъ всякое малѣйшее измѣненіе въ уровнѣ воды въ рѣкѣ отражается на горизонтѣ грунтовыхъ водъ.

Поднятіе уровня грунтовыхъ водъ вблизи рѣки обыкновенно происходитъ одновременно съ повышеніемъ воды, но съ удаленіемъ оно будетъ постепенно отставать или продолжаться съ замедленіемъ. При этомъ можетъ случиться, что на нѣкоторомъ разстояніи отъ рѣки грунтовыя воды еще повышаются, а вблизи рѣки, уровень которой быстро понизился, они уже понизились, какъ бываетъ при быстрыхъ колебаніяхъ уровня Невы; также и въ обратномъ случаѣ; это объясняется тѣмъ, что при весьма медленномъ движеніи грунтовыхъ водъ, новое положеніе равновѣсія можетъ наступить лишь по истеченіи продолжительнаго времени. Во всякомъ случаѣ наблюденія и вычисленія показываютъ, что поднятіе происходитъ гораздо быстрѣе, нежели опусканіе. При неоднородности состава водоноснаго слоя или при нахожденіи въ немъ какихъ либо старыхъ засыпанныхъ руселъ, поднятіе уровня воды образуетъ совершенно своеобразные подземные потоки, иногда направляющіеся вдоль рѣки.

Между описанными крайними типами рѣкъ находятся еще различные переходные, напр. Волга у г. Вольска, хотя прорѣзываетъ на протяженіи семи верстъ водонепроницаемыя мѣловыя глины, но во время половодья, когда уровень Волги поднимается до 10 м., вода ея возвышается надъ глинами и просачивается въ почву; когда же уровень рѣки понизится, то вода эта по глинамъ скатывается обратно въ Волгу въ видѣ обильныхъ, но кратковременныхъ ключей. Разстояніе, на которое проникаютъ волжскія воды (около 1—$1^1/_2$ версты) обозначается оползнями, происходящими отъ обратныхъ токовъ просочившейся воды.

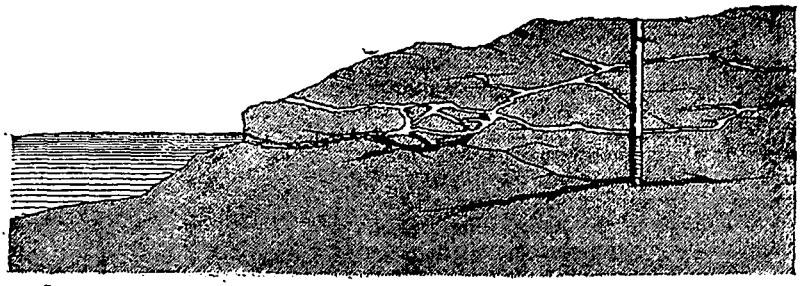
Такимъ образомъ, рѣки протекающія среди водопроницаемыхъ породъ своими колебаніями какъ бы уравниваютъ горизонтъ грунтовыхъ водъ, сохраняя ихъ при подъемѣ и пользуясь только при опусканіи своего уровня. Грунтовыя воды тѣмъ лучше сохраняются и тѣмъ больше скопляются, чѣмъ ровнѣе горизонтъ ихъ, чѣмъ дальше онъ вдается въ материкъ и чѣмъ продолжительнѣе періодъ высокой воды въ сосѣдней рѣкѣ. Такъ какъ медленное теченіе половодья происходитъ только въ проницаемыхъ породахъ, то поэтому широкія долины, покрытыя мощными рыхлыми аллювіальными отложеніями, служатъ какъ бы запасами грунтовыхъ водъ, которыя въ сухое время года питаютъ рѣку; такъ что свойство проницаемыхъ породъ: быстро впитывать въ себя воду и наоборотъ, весьма медленно выдѣлять ее — имѣетъ выдающееся значеніе для жизни рѣкъ. Съ другой стороны вновь образующіеся или разростающіеся овраги, въ зависимости отъ водопроницаемости породъ, могутъ понизить уровень грунтовыхъ водъ или же напротивъ способствовать ихъ регулированію; слѣдовательно овраги не всегда вредятъ грунтовымъ водамъ.



Фиг. 144. — Долина Рейна отъ Базеля до Виссембурга съ указаніемъ грунтовой воды въ рѣчныхъ дюнахъ Рейна (свѣтлая штриховка) и приносимой съ Вогезовъ (болѣе темная штриховка).

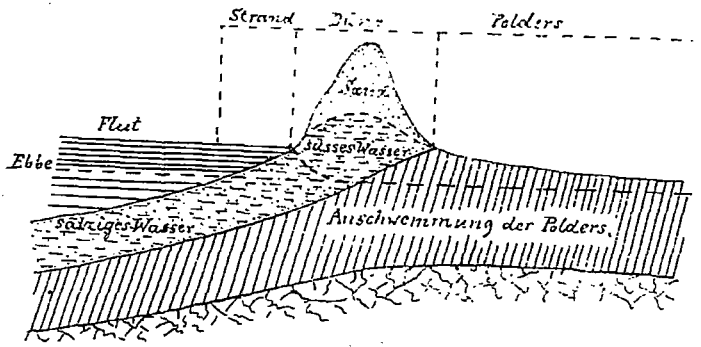
Озера и моря имѣютъ подобныя же отношенія къ грунтовымъ водамъ какъ и рѣки, т. е. вліяніе ихъ обнаруживается только на водопроницаемыхъ берегахъ, особенно въ области дюнъ. Изслѣдованія показали [10]), что уровень грунтовыхъ водъ на дюнныхъ берегахъ колеблется не только въ зависимости отъ приливовъ и отливовъ, но и при сильныхъ вѣтрахъ, причемъ морская вода, какъ болѣе тяжелая, поднираетъ грунтовую снизу (фиг. 146). Въ Остендэ обыкновенно колебанія бываютъ до 4 — 5 метровъ; но при совмѣстномъ дѣйствіи прилива и вѣтра поднятіе грунтовыхъ водъ происходитъ сильнѣе и быстрѣе, напр. на берегахъ острововъ Сильта и Фора при юго-западныхъ буряхъ въ колодцахъ, глубиною 25—

30 м., вода поднимается такъ сильно и быстро, что напоромъ воздуха срываетъ даже тяжелыя крышки колодцевъ; при восточныхъ и сѣверныхъ вѣтрахъ напротивъ тяга воздуха въ колодцахъ происходитъ сверху внизъ и вода въ нихъ падаетъ до уровня моря. Всѣ береговые колодцы, въ которыхъ горизонтъ воды измѣняется отъ приливовъ или вѣтровъ,



Фиг. 145. — Приливный колодезь.

называются приливными (puits à mareyge) [11]; они встрѣчаются во многихъ мѣстахъ [12]), и даже въ значительномъ разстояніи отъ моря, напр. въ $8^1/_2$ г. м. у г. Лилля. Прониканіе морской воды въ берега наблюдается не только въ дюнахъ, но и среди твердыхъ породъ, если онѣ обладаютъ достаточной трещиноватостью, напр., при сильномъ напорѣ на берега, состоящія изъ трещиноватыхъ известняковъ, морская вода выле-



Фиг. 146. — Развѣзъ дюнъ Остенде съ указаніемъ колебаній уровня грунтовой воды въ зависимости отъ колебаній уровня моря.

таетъ изъ трещинъ въ видѣ фонтановъ, извѣстныхъ у моряковъ подъ именемъ дельфиновъ (фиг. 145) [13]).

Кромѣ всѣхъ вышеприведенныхъ факторовъ, уровень грунтовыхъ водъ зависитъ еще отъ характера растительности и даже отъ искусственныхъ сооруженій, напр. каналовъ и водопроводовъ.

Лѣса больше привлекаютъ атмосферныхъ осадковъ, чѣмъ поля, а лѣсная почва больше поглощаетъ ихъ и меньше испаряетъ вслѣдствіе защиты отъ вѣтровъ и болѣе низкой температуры, а потому можно было бы думать, что подъ лѣсомъ грунтовыя воды, при другихъ равныхъ условіяхъ, должны стоять выше, чѣмъ подъ полемъ или лугомъ и запасы ихъ должны быть больше, а значитъ и ключи обильнѣе. Однако нѣкоторые изслѣдователи [14]) полагаютъ, что лѣсъ, по крайней мѣрѣ въ приложеніи къ равнинныхъ мѣстностямъ не только не способствуетъ образованію запасовъ грунто-

выхъ водъ и поднятію ихъ уровня, по напротивъ иссушаетъ почву, понижаетъ уровень грунтовыхъ водъ и уменьшаетъ питаніе источниковъ. Заключеніе это основывается на томъ, что хотя лѣса привлекаютъ атмосферные осадки, но вмѣстѣ съ тѣмъ задерживаютъ значительную часть ихъ на своихъ кронахъ: до 20%—30% въ среднихъ и до 45% въ густыхъ лѣсахъ; слѣдовательно, въ лѣсную почву попадаетъ только отъ $^1/_2$ до $^2/_3$ выпадающихъ осадковъ; кромѣ того изъ осадковъ, достигающихъ лѣсной почвы, часть задерживается влагоемкою лѣсною подстилкою (около 30%). При меньшемъ полученіи влаги лѣсная почва расходуетъ ее гораздо больше, чѣмъ почва подъ другими растеніями, потому что деревья требуютъ наибольшаго количества влаги для своего питанія; такъ что при годовомъ количествѣ осадковъ менѣе 400 милл. существованіе лѣса уже необезпечено. Дѣйствительно, наблюденія, хотя еще и малочисленныя, подтверждаютъ, что лѣтомъ грунтовыя воды подъ лѣсомъ стоятъ ниже, чѣмъ въ сосѣднемъ полѣ, но это обстоятельство ни сколько не уменьшаетъ важнаго значенія лѣсовъ для воднаго хозяйства нѣкоторыхъ странъ, подобныхъ русской равнинѣ, гдѣ главное питаніе какъ грунтовыхъ водъ, источниковъ, такъ и рѣкъ — происходитъ весной на счетъ тающаго снѣга и отчасти осенью. Запасы эти лѣтомъ хотя только расходуются, но тѣмъ не менѣе ихъ достаточно остается, какъ полагаютъ нѣкоторые изслѣдователи [15]), на долю грунтовыхъ водъ, источниковъ и рѣкъ, потому что большая часть воды, при равномѣрномъ и постепенномъ таяніи въ лѣсахъ, успѣваетъ, до потребленія ея пробуждающеюся растительностью, проникнуть такъ глубоко въ подпочву, что становится недоступною для корней древесныхъ породъ. Такимъ образомъ, лѣса оказываютъ весьма сильное вліяніе на грунтовыя воды, полное разъясненіе котораго требуетъ еще многочисленныхъ и продолжительныхъ наблюденій.

Наконецъ искусственными мѣрами также можно измѣнять уровень грунтовыхъ водъ; такъ, напр., у насъ въ Россіи мѣропріятія, способствующія разростанію овраговъ (уничтоженіе лѣса, неправильная распашка склоновъ) нерѣдко вызываютъ пониженіе уровня грунтовыхъ водъ; съ другой стороны закрѣпленіе овраговъ, образованіе въ нихъ прудовъ напротивъ возвышаетъ грунтовыя воды. Проведеніе большого Сѣверо-восточнаго канала вызвало такое пониженіе грунтовыхъ водъ, что вода въ колодцахъ, напр. у Кіля, Рендсбурга, и др. мѣстахъ опустилась на нѣсколько метровъ [16]). Тоже самое происходитъ съ грунтовой водой въ окрестностяхъ рудниковъ и копей, напр. въ окрестностяхъ Мансфельда уровень ея понизился на значительной площади. Усиленная откачка не только понижаетъ уровень, но нарушая равновѣсіе въ приходѣ и расходѣ, уменьшаетъ или истощаетъ вѣковые запасы подземныхъ водъ даже сравнительно глубокихъ горизонтовъ; въ этомъ отношеніи поучительный примѣръ представляютъ копи у Анзена въ сѣверной Франціи, гдѣ въ свитѣ пластовъ (наз. Morts-terrains и принадлежащихъ мѣловой и третичной системѣ), прикрывающихъ каменноугольные слои, находится изолированный подземный бассейнъ, извѣстный подъ именемъ „torrent d'Anzin“; площадь его въ 26,5 кв. кил. представляетъ эллипсъ, вытянутый въ сѣверо-восточномъ направленіи; длина его 7.750 метр., а ширина 4.375 метр. Онъ даетъ сильные источники, которые прорывались иногда въ каменноугольныя выработки и производили въ нихъ гибельныя наводненія. Въ 1856 г. его начали откачивать сильными насосами и уже въ 1867 г. площадь этого подземнаго бассейна сократилась до 18,3 кв. кил., а къ 1880 г. до 13.2 кв. кил., т. е. уменьшилась вдвое. Въ настоящее время ежегодно изъ него извлекаютъ 206.000 куб. м., но въ нѣкоторые года, напр. въ 1861 г. до 1.800.000 куб. м.; всего за первыя 13 лѣтъ откачено изъ него 10.229.000 куб. метр. Такъ какъ подземное движеніе воды очень медленное, то для возстановленія прежнихъ размѣровъ torrent d'Anzin, потребуется много лѣтъ послѣ прекращенія откачки [16a]).

Водопроводы, въ нѣкоторыхъ городахъ, основанные на грунтовой водѣ на столько быстро понижаютъ уровень и истощаютъ запасы ея, что уже черезъ нѣсколько лѣтъ становятся недостаточными и требуютъ или полной перестройки или дополнительнаго водоснабженія, какъ это, напр., испыталъ Севастополь, гдѣ водопроводъ сначала давалъ до 80.000 ведеръ въ сутки, а черезъ нѣсколько лѣтъ только около 12.000 ведеръ [17]). Даже сравнительно небольшія работы понижаютъ грунтовую воду на значительной площади, какъ, напр., постройка зданія Большой Оперы въ Парижѣ, гдѣ для образованія достаточнаго пространства подъ сценой, глубиною 14 метр, нѣсколько машинъ откачивали воду въ теченіи 7 мѣсяцевъ и понизили уровень грунтовой воды на площади въ нѣсколько километровъ кругомъ [18]).

При всякихъ колебаніяхъ уровня грунтовой воды образуется нѣкоторый слой почвы или подпочвы, періодически смачивающійся и осушающійся; толщина этого слоя зависитъ отъ размѣровъ колебанія. Если грунтовая вода залегаетъ близко къ поверхности, какъ напр. въ аллювіаль-

ныхъ долинахъ рѣкъ, то слой періодически осушающійся содержитъ много растительныхъ остатковъ и пропитанъ органическими веществами, особенно въ густо населенныхъ мѣстностяхъ, напр., въ большихъ городахъ, гдѣ скопляется много нечистотъ, проникающихъ въ почву съ атмосферною водою. При перемѣнномъ смачиваніи и осушеніи въ этомъ слоѣ развивается сильное гніеніе, разнообразныя міазмы, выдѣленіе которыхъ заражаетъ какъ воду, такъ и воздухъ при испареніи на поверхность и нерѣдко производитъ эпидемическія болѣзни (холера, тифъ и др.), что впервые указано знаменитымъ Петтенкоферомъ [19]). Вслѣдствіе этого во многихъ благоустроенныхъ городахъ устраиваютъ спеціальную канализацію, которая, регулируя колебанія грунтовыхъ водъ, уменьшаетъ или даже уничтожаетъ вредоносный слой, даетъ свободный стокъ нечистотамъ и вообще имѣетъ громадное гигіеническое значеніе.

Что касается состава грунтовыхъ водъ, то кромѣ мѣстныхъ загрязненій, она получаетъ различныя примѣси растворимыхъ солей въ зависимости отъ состава почвы и подпочвы, въ которыхъ она просачивается и залегаетъ; при этомъ составъ водонепроницаемаго ложа большею частью имѣетъ только слабое вліяніе, напр. въ восточной Россіи нерѣдко встрѣчаются совершенно прѣсныя воды на толщахъ соленосныхъ глинъ. Но кромѣ водоносной породы количество солей въ грунтовой водѣ зависитъ еще отъ быстроты движенія ея; при застоѣ она насыщается больше; поэтому въ источникахъ питающихся грунтовою водою, она болѣе прѣсная, чѣмъ въ колодцахъ, заложенныхъ на томъ же горизонтѣ. Грунтовыя воды залегающія въ пескахъ отличаются наибольшей чистотою и свободны отъ солей; глубокія воды, особенно въ известковой почвѣ, имѣютъ большую жесткость, т. е. содержатъ больше извести, чѣмъ поверхностныя, но зато послѣднія заключаютъ больше органическихъ веществъ. Въ болотистыхъ мѣстностяхъ въ грунтовой водѣ находятся очень часто соли желѣза, а въ новѣйшихъ морскихъ отложеніяхъ, напр., въ Каспійскихъ осадкахъ такъ много хлористыхъ и сѣрнокислыхъ щелочей, что они служатъ питаніемъ самосадочныхъ озеръ. Болѣе подробно о составѣ подземныхъ водъ будетъ изложено ниже.

Грунтовыя воды образуютъ только верхній горизонтъ подземныхъ водъ, ниже котораго, при благопріятныхъ геологическихъ условіяхъ, могутъ образоваться еще нѣсколько болѣе глубокихъ горизонтовъ; слѣдовательно, атмосферные осадки проникаютъ на значительную глубину, предѣлы которой опредѣляются глубиною залеганія геотермы кипѣнія воды, гдѣ вслѣдствіе высокой температуры вода не можетъ быть въ жидкомъ состояніи; какъ выше указано, она достигаетъ 18.500 метровъ (см. выше стр. 8).

Проникая на значительную глубину, вода распредѣляется тамъ различно въ зависимости отъ состава и способа залеганія горныхъ породъ. Въ породахъ слоистыхъ, водопроницаемыхъ, залегающихъ среди водонепроницаемыхъ, она подобно грунтовой водѣ образуетъ водяные слои; въ породахъ непроницаемыхъ, но трещиноватыхъ, она направляется по трещинамъ и образуетъ водяныя жилы; наконецъ въ породахъ плотныхъ и однородныхъ она проявляется только въ видѣ горной влажности, заполняя поры породъ; въ какомъ бы видѣ вода не находилась внутри земной коры, она производитъ тамъ разнообразную и постоянную

работу. Въ однихъ мѣстахъ она разрушаетъ породы, выщелачиваетъ ихъ и образуетъ внутри земли различныя пустоты: отъ самыхъ мелкихъ до громадныхъ пещеръ, производитъ подземные обвалы, провалы и оползни, измѣняющіе стратиграфическія условія породъ. Въ другихъ мѣстахъ, наоборотъ, подземная вода, насыщенная разнообразными минеральными веществами, встрѣчая готовыя пустоты, производитъ въ нихъ новыя отложенія. При благопріятныхъ стратиграфическихъ условіяхъ вода эта снова выходитъ на дневную поверхность въ видѣ разнообразныхъ источниковъ или ключей, которые продолжаютъ работу подземной воды, но уже болѣе доступную для непосредственныхъ наблюденій, а потому мы сначала познакомимся съ происхожденіемъ и характеромъ источниковъ, а затѣмъ уже разсмотримъ главнѣйшіе результаты дѣятельности подземной воды.

Происхожденіе источниковъ.

Источникомъ (ключъ, родникъ, булакъ, Quelle, fons, source, spring, fountain) называется большей или меньшей величины потокъ подземной воды, выходящій на земную поверхность при естественныхъ условіяхъ, безъ участія человѣка. Искусственно открытые источники называютъ колодцами.

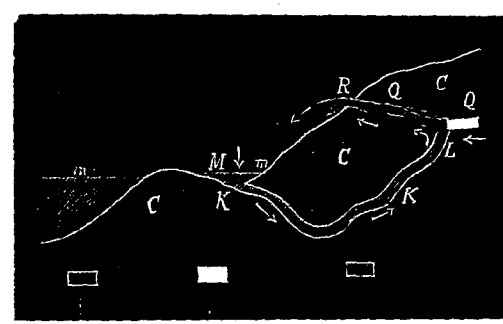
Источники, имѣя громадное значеніе для жизни, съ незапамятныхъ временъ возбуждали интересъ къ себѣ. Одни изъ нихъ служатъ для питанія, другіе для работы, третьи для врачеванія болѣзней, четвертые почитаются какъ священные предметы и пр.; поэтому вопросъ о происхожденіи ихъ возникъ уже въ самой глубокой древности, хотя надлежащее рѣшеніе онъ получилъ только въ позапрошломъ столѣтіи. Аристотель первый указалъ на зависимость источниковъ отъ атмосферныхъ осадковъ; онъ полагалъ, что осадки притягиваются горами, скопляются въ пещерахъ и вытекаютъ оттуда на поверхность въ видѣ источниковъ. Сенека также допускалъ подземные резервуары, но главное питаніе ихъ приписывалъ морю, такъ какъ былъ убѣжденъ, что дождевая вода не можетъ проникать глубоко въ землю. Начиная съ Плинія и во всѣ средніе вѣка признавали, что кромѣ атмосфернаго или атмосферно-теллурическаго кругооборота воды, существуетъ еще подземный или исключительно теллурическій, т. е. вода моря проникаетъ прямо внутрь суши и питаетъ источники; иначе по ихъ мнѣнію море выходило бы изъ береговъ. Такіе водовороты, какъ Мальстрёмъ у Лафоденскихъ о-въ, Сцилла и Харибда у Сициліи и др. ошибочно считались за мѣста, гдѣ вода стремится въ глубину материковъ; поднятіе же ея на большія высоты объясняли, то дистилляціею вслѣдствіи внутренняго жара, то притяженіемъ звѣздъ, то особенною таинственною силою и пр. Неостанавливаясь на различныхъ старыхъ гипотезахъ, имѣющихъ только историческое значеніе [20]), укажу только, что правильное воззрѣніе на происхожденіе источниковъ стало высказываться уже съ 1300 г. [21]), но болѣе обоснованное только въ концѣ XVI ст., извѣстнымъ Бернгардомъ Палисси [22]); въ XVII ст. оно поддерживалось [23]), но общее распространеніе получило въ XVIII ст. послѣ работъ Маріотта [24]), наконецъ въ XIX ст. идея о происхожденіи источниковъ изъ атмосферныхъ осадковъ была провѣрена систематическими

наблюденіями и получила общее признаніе. Въ настоящее время если и появляются изрѣдка попытки объяснить происхожденіе источниковъ какимъ-либо другимъ способомъ, то всѣ онѣ основываются на какихъ-либо частныхъ фактахъ, не могутъ имѣть общаго значенія и не возбуждаютъ никакого сомнѣнія въ справедливости основного положенія о зависимости источниковъ отъ атмосферныхъ осадковъ. Такъ, напр., нельзя отрицать возможности образованія нѣкоторыхъ источниковъ изъ водяныхъ паровъ, проникающихъ въ нѣдра земли снаружи или съ горизонта грунтовыхъ водъ. Но съ другой стороны нельзя признать справедливымъ заключеніе Фольгера [25]), что вся вода, содержащаяся въ почвѣ и служащая для питанія источниковъ, произошла только отъ сгущенія паровъ. Точно также нельзя придавать универсальное значеніе водянымъ парамъ, поднимающимся снизу изъ вулканическихъ очаговъ, напр., на склонахъ Стромболи, Этны и особенно на Тенерифскомъ пикѣ, гдѣ отверстія, выводящія паръ, называются ноздрями пика. Дѣло въ томъ, что наружная или надземная атмосфера значительно превосходитъ подземную, которая простирается только до горизонта грунтовой воды, но не глубже, потому что почва и пустоты, заполненныя водой, недоступны для воздуха. При глубинѣ залеганія грунтовой воды въ 4—5 м., какъ это наблюдается во всѣхъ низменныхъ частяхъ Германіи, Россіи и пр. и при объемѣ поръ, равномъ $^1/_5$ объема почвы, подпочвенная атмосфера будетъ равна слою наружнаго воздуха въ одинъ метръ толщиною, т. е. будетъ составлять ничтожную величину по сравненію съ наружною атмосферою, имѣющую нѣсколько тысячъ метровъ высоты. Очевидно въ наружной атмосферѣ, при значительныхъ пониженіяхъ температуры, сгущеніе паровъ въ капельно-жидкую воду происходитъ въ такомъ количествѣ, въ сравненіи съ которымъ подземная конденсація не имѣетъ никакого значенія или исчезающе малое.

Тоже самое можно сказать про участіе моря въ дѣлѣ питанія источниковъ, которому и до сихъ поръ иногда придаютъ [26]) гораздо большее значеніе, чѣмъ оно имѣетъ въ дѣйствительности. Извѣстны единичные факты, свидѣтельствующіе о прониканіи морской воды по трещинамъ въ берега материковъ; какъ, напр., выше указанные приливные колодцы (стр. 230 фиг. 146) и дельфины, а также оригинальные источники на о-вѣ Кефалоніи въ Іоническомъ архипелагѣ, происхожденіе которыхъ долго составляло загадку, пока Вибель [27]) не объяснилъ его при помощи своего остроумнаго прибора; у берега полуо-ва Аргостоли на днѣ моря находится такъ называемая морская мельница, т. е. большая трещина, въ которую ежедневно изливается до 58.000 куб. м. морской воды—и въ то же время на ближайшемъ склонѣ берега выступаетъ большое количество солоноватыхъ источниковъ. Такое феноменальное явленіе объясняется слѣдующимъ образомъ: морская вода устремляется въ трещину K (фиг. 147), которая на нѣкоторой высотѣ пересѣкается второю трещиною Q съ прѣсною водою; второй потокъ обусловливаетъ поднятіе воды въ K выше уровня моря, которая соединяется съ прѣсною водою Q и изливается въ видѣ солоноватыхъ источниковъ въ R. Насосъ Вибеля и инъекторъ Жиффара представляютъ явленія, аналогичныя тому, что дѣлается въ подземныхъ каналахъ на берегу о-ва Кефалоніи. Разумѣется, такія исключительныя явленія встрѣчаются рѣдко и не могутъ служить основаніемъ

какой-бы то ни было гипотезы о происхожденіи источниковъ изъ морской воды. Но еще менѣе убѣдительны предположенія, основанныя на гадательныхъ данныхъ; напр., г. Новакъ допускаетъ постоянное прониканіе воды Каспія и Мертваго моря черезъ трещины потому, что прибыль въ нихъ больше испаренія: въ Каспіѣ на 60 см., а въ Мертвомъ морѣ на 400 см., при чемъ уровень ихъ неизмѣняется или даже понижается. Такое смѣлое предположеніе является совершенно произвольнымъ, такъ какъ приходъ и расходъ воды въ этихъ бассейнахъ неопредѣленъ даже съ приблизительною точностью.

Такимъ образомъ, если и существуютъ весьма рѣдкіе источники, находящіеся въ исключительныхъ условіяхъ, то во всякомъ случаѣ вся масса ихъ питается только атмосферными осадками, хотя бы даже послѣдніе проявлялись въ видѣ тумана и росы, какъ, напр., на о-вѣ Св. Ѳомы, гдѣ при отсутствіи дождей, источники питаются водою, происходящею отъ сгущенія пара на холодной поверхности или горъ или мховъ. Полная зависимость источниковъ и вообще подземныхъ водъ отъ атмосферныхъ осадковъ неопровержимо доказывается тѣмъ равновѣсіемъ, которое, какъ выше изложено, существуетъ между приходомъ воды изъ атмосферы въ теченіи года на данную площадь и расходомъ ея за то же время на испареніе, стокъ и поглощеніе. Это основное положеніе было выяснено еще Маріотомъ и Дальтономъ, подтверждено многочичленными послѣдующими изслѣдованіями и въ настоящее время представляетъ научную аксіому.



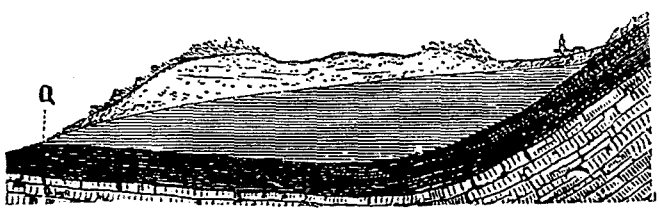
Морская вода. Прѣсная вода. Солоноватая вода.

Фиг. 147. — Морская мельница Аргостоли.

На этомъ основаніи, а также согласно съ вышеизложеннымъ нужно допустить à priori, что въ каждой данной мѣстности источники будутъ тѣмъ обильнѣе, чѣмъ больше выпадаетъ атмосферной влаги и чѣмъ лучше условія поглощенія; дѣйствительно, страны бѣдныя осадками имѣютъ только рѣдкіе и небольшіе источники; въ пустыняхъ источники проявляются только въ исключительныхъ случаяхъ; въ странахъ съ періодическими дождями источники подвержены значительнымъ колебаніямъ; дождливыя страны отличаются обиліемъ постоянныхъ и многоводныхъ источниковъ. У насъ въ южной Россіи, напр. на Ергеняхъ, каждая засуха быстро отражается на числѣ и силѣ источниковъ; такъ, въ засушливый 1885 г. лѣтомъ многіе источники изсякли, а другіе уменьшились на половину сравнительно съ влажнымъ 1884 годомъ. Даже подъ Петербургомъ, напр., извѣстные Таицкіе источники измѣняютъ свой дебитъ въ 4—5 разъ въ зависимости отъ сухихъ и влажныхъ годовъ. Майскіе или голодные колодцы въ С. Германіи получаютъ воду только во время таянія снѣговъ на горахъ. Быстрое таяніе снѣговъ всегда сопровождается сухимъ неурожайнымъ лѣтомъ и обиліемъ воды въ этихъ колодцахъ, которые поэтому и называются голодными. Въ Ср. Европѣ рас-

ходъ воды въ источникахъ съ площади въ одинъ гектаръ (10,000 кв. м.) колеблется въ зависимости отъ осадковъ: въ сухое время — отъ 1 до 6 куб. метр. въ секунду, въ обыкновенное отъ 3 до 8 куб. м. и въ дождливое отъ 10 до 20 куб. м. Болѣе подробно колебанія количества воды въ источникахъ будутъ разсмотрѣны ниже.

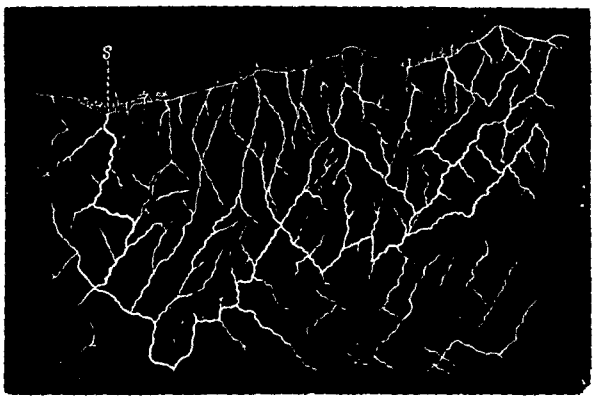
На дневную поверхность источники большею частью выходятъ на различной высотѣ по склонамъ горъ, долинъ или овраговъ, но иногда изливаются въ равнинахъ, озерахъ, болотахъ и даже на днѣ морей, напр. у южныхъ береговъ Кубы, у Сандвичевыхъ острововъ, у Флориды, гдѣ временами появляется такое количество прѣсной воды, что рыбаки могутъ пить морскую воду. Въ Средиземномъ морѣ, между Ниццою и Генуею, источники доставляютъ около 19 куб. метр. воды въ секунду; въ З. Аргонѣ въ $^1/_4$ мили отъ берега находятся нѣсколько источниковъ и между ними славится источникъ Анаволо. Что же касается предѣльной высоты появленія источниковъ на поверхность, то для Альпъ она опредѣлена въ 3.300 метр. [28]) въ зависимости отъ породъ и пониженія температуры; въ Тянь-шанѣ же, при другихъ климатическихъ условіяхъ, источники встрѣчаются на высотѣ 4.500 м., т. е. на тысячу слишкомъ метровъ выше; слѣдовательно устья источниковъ или мѣста выхода ихъ на дневную поверхность залегаютъ на самой разнообразной высотѣ: отъ морскаго дна ниже уровня моря до 4.500 метр. Впрочемъ высоколежащія устья часто опускаются или медленно вслѣдствіе размыва или быстро отъ землестрясеній, обваловъ, проваловъ и всякаго рода движеній въ породахъ.



Фиг. 148.

Атмосферныя воды, какъ уже выше замѣчено (стр. 211), проникая внутрь земной коры, распредѣляются тамъ различно въ зависимости отъ геологическаго строенія мѣстности, которое опредѣляетъ какъ характеръ циркуляціи подземныхъ водъ, такъ и условія выхода ключа на поверхность. Въ этомъ отношеніи источники отличаются безконечнымъ разнообразіемъ; они настолько индивидуальны, что каждый изъ нихъ требуетъ спеціальнаго изученія, тѣмъ болѣе, что каждая мѣстность имѣетъ свои особые типы источниковъ. Но несмотря на это разнообразіе, источники собственно по характеру выхода ихъ на поверхность раздѣляются на двѣ группы: нисходящіе (absteigende Quellen) и восходящіе (aufsteigende Qu.). Первые представляютъ простой выходъ подземныхъ водъ въ мѣстахъ обнаженія водоносныхъ слоевъ (*Q* фиг. 148); они вытекаютъ спокойно по уклону водонепроницаемаго ложа, не обладаютъ напоромъ, залегаютъ преимущественно среди пластовыхъ породъ и отличаются весьма широкимъ распространеніемъ. Искусственно открытые нисходящіе источники называются простыми колодцами. Вторые, т. е. восходящіе источники встрѣчаются сравнительно рѣже, образуются только при участіи значительнаго напора и въ естественномъ видѣ свойственны пре-

имущественно массивнымъ, но трещиноватымъ породамъ, напр. гранитамъ, порфирамъ и др., гдѣ вода проникая по многочисленнымъ трещинамъ сообщается въ одной главной (фиг. 149); если устье ея *s* лежитъ ниже верховьевъ, то, по закону сообщающихся трубокъ, изъ него будетъ выходить на поверхность бьющій или восходящій источникъ или естественный фонтанъ. Въ пластовыхъ породахъ естественные фонтаны встрѣчаются рѣдко, но зато искусственные получаются чаще, чѣмъ изъ массивныхъ породъ; для этаго необходимо, чтобы во 1-хъ пластовыя породы имѣли мульдообразное изогнутіе (фиг. 150) и во 2-хъ чтобы водоносный слой (*b* фиг. 150) залегалъ между водонепроницаемыми пластами (*a*, *a* фиг. 150); при такихъ условіяхъ всякая буровая скважина, проведенная въ срединѣ мульды до водоноснаго горизонта, откроетъ фонтанъ (фиг. 150), называемый артезіанскимъ колодцемъ. Слѣдовательно двумъ типамъ естественныхъ источниковъ соотвѣтствуетъ два типа колодцевъ: простые колодцы — нисходящимъ, а артезіанскіе — восходящимъ источникамъ.

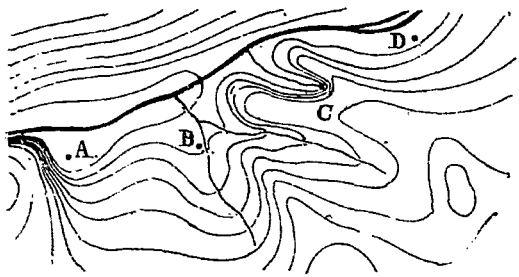


Фиг. 149.

Нисходящіе источники.—Простѣйшая форма нисходящаго источника является при выходѣ грунтовой воды на поверхность или въ такъ называемыхъ грунтовыхъ источникахъ; они встрѣчаются очень часто и преимущественно, особенно на равнинахъ въ родѣ русской, по склонамъ долинъ и враговъ, и сравнительно рѣдко на пологихъ склонахъ какихъ-либо возвышенностей внѣ рѣчныхъ долинъ; въ послѣднемъ случаѣ выходы эти обозначаются нѣкоторымъ заболачиваніемъ и особою растительностью съ преобладаніемъ осокъ, которая рѣзко выдѣляется среди выжженной поверхности во второй половинѣ лѣта и служитъ надежнымъ признакомъ для отысканія грунтовыхъ источниковъ, какъ это давно извѣстно практикамъ. Многіе ключи этого рода представляютъ сливные стоки протекающаго подъ ними грунтоваго потока. Причина ихъ появленія въ подобномъ случаѣ кроется въ характерѣ поверхности и въ измѣненіи состава водоноснаго слоя; въ проницаемой и даже въ мало проницаемой почвѣ такіе ключи появляются въ пунктахъ *A*, *B*, *C*, *D* (фиг. 151), потому что грунтовыя воды даютъ здѣсь противоположные токи и не имѣя свободнаго выхода,

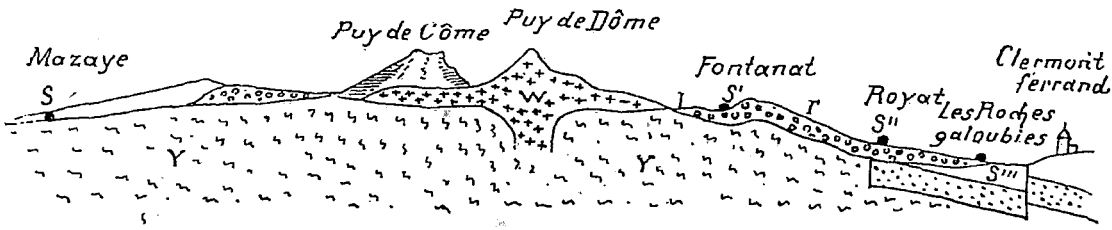
Фиг. 150. — a—непроницаемыя, b—проницаемыя породы.

задерживаются и дают деривaты, выступающіе на поверхность. Такое явленіе часто наблюдается; еще Парамель [29]) указывалъ, что всякій знакомый съ теченіемъ поверхностныхъ потоковъ, легко можетъ опредѣлить закрытыя водяныя жилы, такъ какъ оба рода потоковъ слѣдуютъ однимъ и тѣмъ же законамъ. Каждая ложбина, долина, логъ и пр. имѣетъ явный или скрытый ключъ, направляющійся подъ землею всегда по линіи поверхностнаго потока [30]). Примѣровъ подобнаго явленія много, но одинъ изъ нагляднѣйшихъ представляетъ источникъ ручья Фимъ-Дагницъ при Гашендорфѣ (у Вѣны), подъ которымъ грунтовый потокъ питаетъ ручей на столько обильно, что черезъ нѣсколько километровъ ниже истока у Загерсдорфа, ручей даетъ до 2 куб. м. въ секунду.



Фиг. 151.

На высокихъ плоскогоріяхъ, сложенныхъ изъ горизонтальныхъ пластовъ безъ мощныхъ слоевъ наноса, нисходящихъ источниковъ совсѣмъ нѣтъ или очень мало. Но вблизи горныхъ вершинъ они встрѣчаются иногда на значительной высотѣ, напр. на склонахъ многихъ вулкановъ, гдѣ они выходятъ изъ рыхлыхъ вулканическихъ продуктовъ или же изъ пористыхъ лавъ (фиг. 152); таковъ знаменитый источникъ вѣдьмъ (Hexenbrunnen) на Брокенѣ, происхожденіе котораго возбуждало много сомнѣній. Защитники морскаго происхожденія источниковъ приводили его въ доказательство противъ атмосферной теоріи. Однако точныя изслѣдованія показали, что источникъ

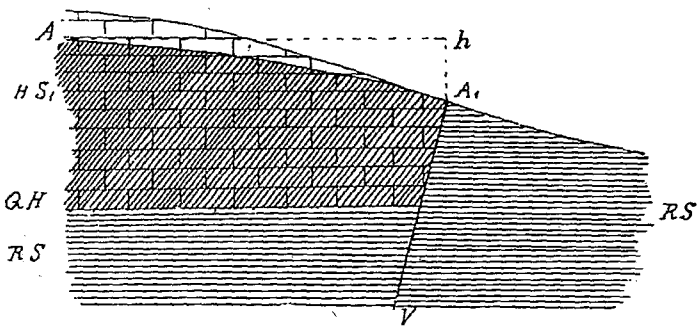


Фиг. 152. — Источники S, выходящіе изъ рыхлыхъ вулканическихъ породъ Пюи-де-Домъ.

вѣдьмъ, залегающій на 6 метр. ниже вершины, получаетъ въ день до 273 куб. метр. атмосферныхъ осадковъ, а расходуетъ только 49 куб. метр., слѣдовательно имѣетъ достаточное питаніе; въ сухіе года 1786, 1882 и др. онъ изсякалъ.

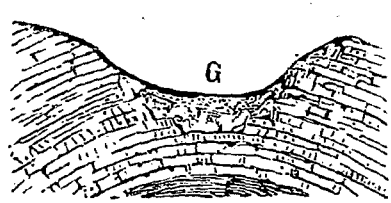
Въ большинствѣ случаевъ нисходящіе источники представляютъ цѣлый рядъ мелкихъ струекъ (Bodenquellen), соотвѣтствующихъ простиранію обнаженія водоноснаго слоя, напр. во многихъ поперечныхъ долинахъ Ергеней, гдѣ они выходятъ надъ синею третичною глиною; также наблюдается надъ глинистыми прослойками среди силурійскихъ известняковъ въ окрестностяхъ Петербурга и во многихъ другихъ мѣстахъ. Но

нерѣдко при неравномѣрности состава водоносныхъ породъ или при неровности водонепроницаемаго ложа, они выступаютъ въ видѣ сильныхъ обособленныхъ струй, представляющихъ настоящіе ключи (Sprudelquellen), напр., въ обрывахъ морскаго берега у г. Одессы, гдѣ они концентрируются въ ложбинкахъ мелко волнистой поверхности водонепроницаемой (дозиніевой) третичной глины и производятъ извѣстные оползни на Одесскомъ побережьѣ. Такая концентрація источниковъ особенно часто наблюдается въ томъ случаѣ, когда водоносные слои залегаютъ на неровной поверхности какихъ-либо плотныхъ массивныхъ породъ, напр., въ Шварцвальдѣ водоносные пестрые песчаники налегаютъ на гранитъ и даютъ такіе сильные источники, что ими пользуются какъ рабочей силой.



Фиг. 153.—Сбросовые источники Таарда. RS—непроницаемые слои, QR — водоносный горизонтъ.

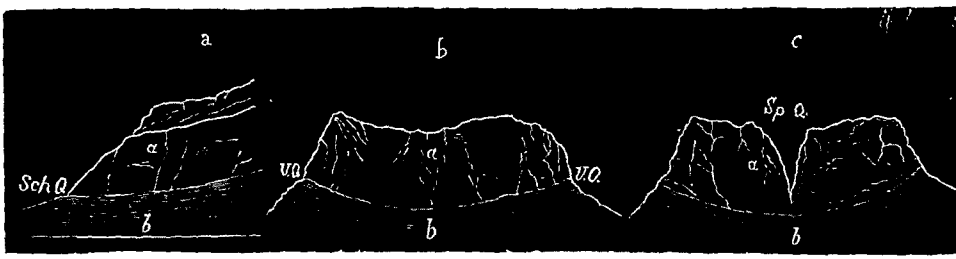
При горизонтальномъ залеганіи водоноснаго горизонта, источники вытекаютъ одинаково по обоимъ склонамъ долины и вода ихъ скопляется на днѣ ея, образуя небольшіе пруды и водостоки. При наклонномъ залеганіи пластовъ въ изоклинальной долинѣ источники выступаютъ только на одномъ склонѣ, соотвѣтствующемъ паденію пластовъ; вода ихъ тоже скопляется въ тальвегѣ, если только онъ не приходится на зіяющемъ сбросѣ; въ противномъ случаѣ вода ихъ уходитъ по трещинѣ внизъ; если же сбросъ закрытый и водоносный горизонтъ ($HS, -QH$ фиг. 149) упирается въ водонепроницаемую толщу (RS фиг. 153), то источники выходятъ по линіи сброса даже на ровномъ склонѣ и съ нѣкоторымъ напоромъ A_1h (фиг. 153). Такіе источники, встрѣчающіеся напр. въ Пфальцкихъ горахъ [31]) (Гаардтъ), составляютъ уже переходъ къ восходящимъ, гдѣ сбросы играютъ большую роль, какъ увидимъ ниже. Въ антиклинальныхъ долинахъ нисходящіе источники никогда не выступаютъ, что понятно изъ разрѣза (фиг. 154). Если источники выходятъ ниже почвы долины, но выше или на уровнѣ рѣчныхъ водъ, то они проявляются періодически въ зависимости отъ колебанія уровня въ рѣкѣ; иногда при пониженіи его, а иногда, если грунтовыя воды, просачивающіяся изъ рѣки, подпираютъ водоносный горизонтъ, то при повышеніи его, когда источники поднимаются выше аллювіальныхъ наносовъ [31]).



Фиг. 154.

Всѣ эти источники называются пластовыми (Schichtquelle фиг. 155 *a*, см. фиг. 148), но если водонепроницаемое ложе изогнуто въ видѣ мульды или котловины, при которой источники выходятъ, но заполненія ея, по

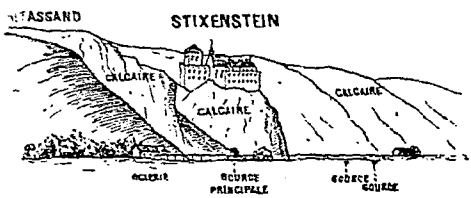
окраинамъ и называются котловинными (фиг. 155 *b*) (мульдовыми) или переливающимися (Ueberfallquelle). Если же они выходятъ по щели



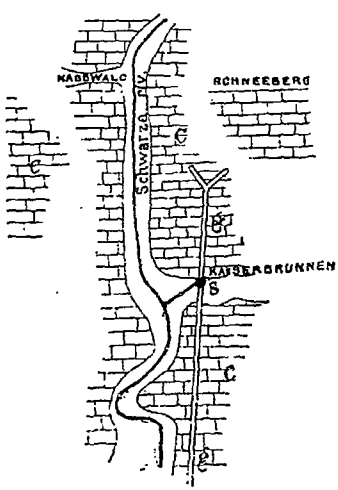
Пластовый источникъ. Котловинный источникъ. Трещинный источникъ.

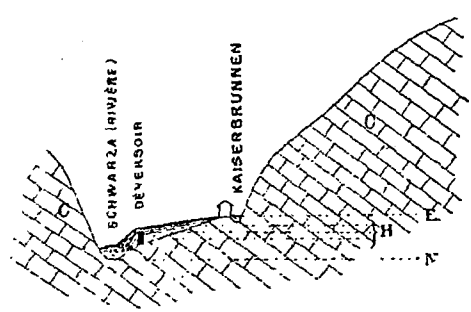
Фиг. 155. — Схемы нисходящихъ источниковъ.

или трещинѣ, разсѣкающей водоносныя породы, то называются трещинными или щелевыми источниками (Spaltquelle фиг. 155 *c*). Всѣ три разновидности нисходящихъ источниковъ встрѣчаются иногда совмѣстно, питаясь однимъ и тѣмъ же горизонтомъ, какъ показали подробныя изслѣдованія въ окрестностяхъ Вѣны [32]), гдѣ водонепроницаемое ложе составляетъ верфенскіе (тріасовые) сланцы (*b* фиг. 155), а водоносный горизонтъ залегаетъ въ трещиноватыхъ тріасовыхъ известнякахъ (*a* фиг. 155). Между ними особенно славится трещинный источникъ Стиксенштейнъ (фиг. 156), доставляющій вмѣстѣ съ сосѣдними ежедневно отъ 38,000 до 43.000 куб. метр. прекрасной воды для питанія Вѣны. Не менѣе интересенъ сосѣдній источникъ Кайзербрун-



Фиг. 156.—Источникъ Стиксенштейнъ.



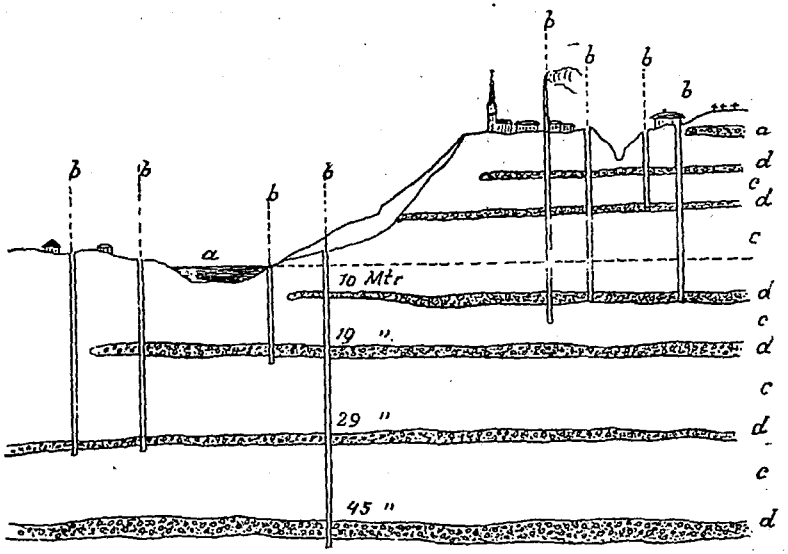


Фиг. 157. — Планъ и развѣзъ источника Кайзербруннена.

ненъ, также служащій для водоснабженія Вѣны (фиг. 157). Аналогичный характеръ представляютъ громадные ключи Дюи, служащіе для водоснабженія Парижа; они вытекаютъ изъ трещиноватыхъ средне-третичныхъ породъ надъ зелеными третичными мергелями.

Если мѣста выходовъ источниковъ прикрыты наносами, то они часто разбиваются на мелкія струйки и называются источниками осыпей (Schuttquelle) (см. фиг. 150 *a*).

Нѣкоторые нисходящіе источники питаются также и надземными бассейнами вслѣдствіе сокрытія рѣкъ и ручьевъ въ подземныхъ пустотахъ или просачиванія воды изъ высоколежащихъ озеръ, каковы, напр., Даубенское въ Альпахъ (7.000 ф. выс.), Сайрамъ въ Кульджѣ (7.200 ф. выс.) и другія горныя озера. Вода этихъ озеръ просачивается по трещинамъ высокихъ горныхъ береговъ и выступаетъ на противоположныхъ склонахъ горъ въ видѣ многочисленныхъ источниковъ, устье которыхъ всегда залегаетъ ниже не только уровня, но даже дна озеръ. Изъ оз. Сайрамъ



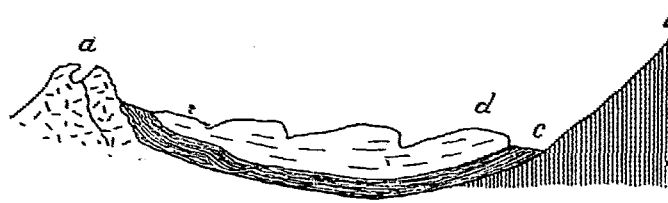
Фиг. 158. — Развѣзъ нѣсколькихъ водоносныхъ слоевъ (d, d, d, d) у Фюрстенфельда въ Штейермаркѣ.

съ солоноватою водою выходитъ много солоноватыхъ источниковъ, образующихъ цѣлыя рѣчки, напр., Кызъ-имчикъ. Въ сильно трещиноватыхъ областяхъ, состоящихъ изъ легко растворимыхъ породъ, какъ, напр., въ извѣстныхъ causses въ Севеннахъ, Юрѣ, Карстѣ и др. поверхностные потоки нерѣдко скрываются и превращаются въ подземные, а при благопріятныхъ условіяхъ снова вытекаютъ на поверхность въ видѣ мощныхъ источниковъ, часто удаленныхъ на значительное разстояніе отъ мѣста сокрытія [34]). Къ нимъ принадлежатъ много извѣстныхъ источниковъ, напр., Нуаресъ, Серрьеръ въ Швейцарской Юрѣ, Бляу въ Швабіи, Глазной въ Кисловодскѣ и др.; они называются воклюзами по имени департамента въ Южной Франціи, гдѣ они имѣютъ широкое распространеніе (doues ou sources vauclusiennes).

Если водоносные слои перемежаются съ водонепроницаемыми, то образуется нѣсколько горизонтовъ источниковъ. Въ этомъ отношеніи интересный примѣръ представляетъ почва г. Фюрстенфельда въ Штейермаркѣ, гдѣ среди водонепроницаемаго мощнаго тегеля (глинистая порода до 100 м. толщиною, *c* фиг. 158) залегаетъ нѣсколько слоевъ водо-

носнаго песка (*d* фиг. 158) различной мощности—отъ 2 до 20 cm., которые питаютъ колодцы разнообразной глубины (*b*, *b*, *b* фиг. 158). Толща тегеля съ водоносными слоями (*d* фиг. 159) залегаетъ также на водоносныхъ пескахъ, песчаникахъ и известнякахъ сарматскаго яруса (*c* фиг. 159), которые прилегаютъ съ одной стороны къ трахитамъ *a*, а съ другой къ различнымъ кристаллическимъ породамъ (*b*) Альпъ.

Количество воды въ источникахъ подвержено значительнымъ колебаніямъ; нѣтъ ни одного ключа, который бы въ этомъ отношеніи отличался совершеннымъ постоянствомъ. Колебанія эти, при другихъ одинаковыхъ условіяхъ, тѣмъ больше, чѣмъ мельче залегаютъ его питательные каналы или, какъ говорятъ, система корней источника. Для опредѣленія годовой производительности источника, какъ уже выше указано (стр. 221), помножаютъ площадь области питанія его осадками на число, выражающее количество поглощенной путемъ инфильтраціи воды каждою единицею этой площади въ теченіе года; но постоянство и равномѣрность производительности ключа обусловливаются не одною только областью осадковъ, питающихъ источникъ, а также мощностью, свойствами и глубиною зале-



Фиг. 159. — a—массивныя породы; b—кристаллическія сланцы; c—Сарматскій ярусъ, d—водоносныя породы, разрѣзъ которыхъ на фиг. 158.

ганія водоноснаго пласта, регулирующими истокъ, но главнымъ образомъ отношеніемъ величины выпускныхъ каналовъ къ общему годовому количеству поглощенной воды. Если каналы эти слишкомъ велики, то поглощенная почвою вода быстро подводится къ источнику и подземный резервуаръ не получаетъ никакихъ запасовъ или только ничтожные; въ такихъ случаяхъ при продолжительной засухѣ производительность ключа можетъ уменьшиться до нуля и тѣмъ легче, чѣмъ быстрѣе инфильтрація доходитъ до непроницаемаго ложа или до горизонта грунтовыхъ водъ, напр., многіе источники въ средней и южной Россіи дѣйствуютъ только въ первую половину лѣта и отчасти осенью, а во вторую половину лѣта и зимой совершенно изсякаютъ. Если же, наоборотъ, выпускные каналы малы, то подземный резервуаръ быстро наполняется водой, которая насыщаетъ поры горныхъ породъ и служитъ запасомъ для питанія источниковъ во время продолжительныхъ засухъ. Вслѣдствіе продолжительнаго пребыванія этой воды въ нѣдрахъ земли, она совершенно очищается отъ мути и получаетъ равномѣрную температуру окружающей среды, а потому источники ея отличаются небольшими колебаніями не только въ производительности, но и въ температурѣ и доставляютъ всегда чистую воду. Отсюда понятно, что расширеніе сточныхъ каналовъ, которое практикуется иногда неумѣло, съ цѣлью увеличенія производительности ключа, можетъ испортить хорошія качества его. Особенно опасенъ этотъ пріемъ

для грунтовыхъ источниковъ, въ которыхъ расчистка и пониженіе устья часто ведетъ къ нежелательному пониженію уровня грунтовыхъ водъ и даже къ истощенію ихъ, если они залегаютъ неглубоко, а, слѣдовательно, къ уничтоженію самихъ ключей. Само собой разумѣется, что для множества источниковъ съ глубокими системами корней, съ большою областью питанія, такія операціи не только не вредятъ, но даже улучшаютъ ихъ, а потому тѣмъ болѣе практикамъ нужно помнить основное правило, что прежде чѣмъ обдѣлывать какой-либо источникъ, необходимо изучить всѣ его свойства и особенно условія питанія его.

Не меньшее значеніе для равномѣрной производительности источниковъ имѣетъ мощность и глубина залеганія подземнаго резервуара. При малой величинѣ его онъ быстро наполняется и становится непроницаемымъ для дальнѣйшихъ осадковъ, которые вслѣдствіе этого усиленно стекаютъ по поверхности и являются безполезными для источниковъ; по прекращеніи ихъ онъ быстро опоражнивается. При большихъ же размѣрахъ его устанавливается полное соотвѣтствіе между количествомъ осадковъ и производительностью источниковъ, образуются мощные запасы, большее или меньшее постоянство источниковъ. Такое же вліяніе оказываетъ и глубина залеганія подземныхъ резервуаровъ. Мелколежащій водоносный горизонтъ подверженъ быстрымъ и значительнымъ колебаніямъ въ зависимости отъ различныхъ факторовъ, слѣдовательно и ключи, питающіеся имъ, также испытываютъ постоянныя измѣненія. Глубоко лежащіе водоносные горизонты медленно впитываютъ поглощаемую влагу, но зато и медленно отдаютъ ее, а потому дебитъ ключей ихъ не претерпѣваетъ сильныхъ колебаній, или даже остается постояннымъ, если измѣненія уровня небольшія.

Чтобы яснѣе представить степень зависимости источниковъ отъ колебанія уровня подземныхъ резервуаровъ и величины сточныхъ каналовъ, согласно съ Люгеромъ, допустимъ [33]), что каналъ замѣненъ трубой, представляющей такое же сопротивленіе движенію воды, какъ и естественный выпускной каналъ, то для пропуска чрезъ трубу длиною L, діаметромъ D, количества воды Q требуется опредѣленный напоръ H. Для того, чтобы въ данномъ пунктѣ на поверхность выходило количество воды Q, уровень грунтовыхъ водъ долженъ быть выше этого пункта на высоту H. Зависимость между этими величинами выражается слѣдующею формулою:

$$H = \frac{\alpha Q^2 L}{D^5} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

откуда получимъ:

$$Q = c\sqrt{H}, \text{ гдѣ } c = \sqrt{\frac{D^5}{\alpha L}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

представляетъ величину, сохраняющую свое значеніе при всякомъ измѣненіи уровня грунтовой воды. При этомъ, конечно, давленіе атмосферы въ началѣ ключа принято равнымъ давленію воздуха въ почвѣ.

Изъ формулы (2) можно заключить, что при постоянномъ положеніи уровня въ резервуарѣ происходитъ уменьшеніе истекающей воды Q и обратно. Но это увеличеніе или уменьшеніе воды происходитъ не въ прямомъ отношеніи къ измѣненію напора H. Если, напр., напоръ H уменьшается на $^1/_2$ начальнаго напора, то получимъ:

$$Q = c\sqrt{\frac{H}{2}} = 0{,}7\ c\sqrt{H},$$

т. е. количество воды, доставляемое ключомъ будетъ не половина (0,5), а больше—0,7 первоначальнаго количества. Если H уменьшится на $^1/_{10}$, то $Q = {}^9/_{10}$ начальнаго количества; если же H увеличится вдвое, то $Q = c\sqrt{2H} = 1{,}4\ c\sqrt{H}$, т. е. нѣсколько меньше полуторнаго начальнаго количества. Словомъ, изъ этого видно, что даже при значительныхъ колебаніяхъ уровня водоноснаго горизонта, производительность ключа ко-

леблется только въ небольшихъ предѣлахъ. Что же касается самой величины производительности, то она главнымъ образомъ зависитъ отъ діаметра трубы, а не отъ длины ея. Допуская, напр, діаметръ трубы или канала вдвое больше, получимъ новый коэффиціентъ пропорціональности, а именно:

$$c' = \sqrt{\frac{2^5 D^5}{\alpha L}} = 5{,}31\ c,$$

т. е. такой каналъ, при другихъ равныхъ условіяхъ, будетъ давать въ 5 разъ больше воды. Если же длину L уменьшимъ на половину, то при томъ же діаметрѣ D получимъ $c' = 1{,}4\ c$, т. е. производительность будетъ больше только почти въ полтора раза, а не вдвое. При увеличеніи длины L вдвое, производительность уменьшается опять-таки не вдвое, а до 0,7 начальнаго и т. д.

Немалое значеніе для производительности источниковъ имѣютъ свойства породъ и особенно влагоемкость ихъ. Въ такихъ породахъ, какъ граниты, порфиры, мраморы и пр. съ ничтожною влагоемкостью (см. выше таблицу на стр. 218) или трудно пропитываемые, нисходящіе источники никогда не отличаются многоводностью; напротивъ, они даютъ только ничтожныя количества воды; тогда какъ въ осадочныхъ влагоемкихъ породахъ: песчаникъ, известнякъ, мѣлъ (см. таблицу на стр. 218) встрѣчаются мощные источники съ болѣе или менѣе постояннымъ режимомъ.

Производительность ключей можетъ измѣняться также вслѣдствіе различныхъ медленно дѣйствующихъ дислокацій, которыя нерѣдко закрываютъ одни и открываютъ другія трещины, служащія для стока водъ; тоже производятъ иногда землетрясенія, сопровождающіяся осѣданіями, провалами, оползнями и пр., напр., устья нѣкоторыхъ Пятигорскихъ источниковъ опустились вслѣдствіе землетрясеній. Нетолько механическіе, но и химическіе процессы, происходящіе въ земной корѣ, измѣняютъ режимъ источниковъ, такъ какъ съ одной стороны процессы эти расширяютъ водосточныя трещины до пещеръ, а съ другой заполняютъ или закупориваютъ ихъ различными осадками; особенно въ легкорастворимыхъ породахъ, напр., въ известнякахъ, гипсахъ и пр., то и другое измѣняетъ направленіе питательныхъ каналовъ или систему корней источника и обусловливаетъ уменьшеніе или даже изсяканіе ихъ въ однихъ мѣстахъ и появленіе въ другихъ. Грунтовые источники меньше всего подвержены этому вліянію, но зато они больше страдаютъ отъ поверхностнаго размыва, который нерѣдко обнажаетъ скрытыя щели и направляетъ грунтовыя воды по новымъ путямъ къ какому-нибудь открытому водяному потоку, къ которому онѣ до тѣхъ поръ не притекали, а иногда обратно воды открытаго потока направляетъ къ грунтовымъ, отводящимъ ихъ въ другія области. Измѣненія уровня въ открытыхъ бассейнахъ также отражаются на колебаніи режима источниковъ, особенно тѣхъ, которые образуются отъ сокрытія рѣкъ или просачиванія озерной воды или же подпираемыхъ морскою водою.

Наконецъ, многочисленныя наблюденія показали, что производительность источниковъ, а также уровень грунтовыхъ колодцевъ измѣняется въ зависимости отъ давленія атмосферы. При быстромъ и сильномъ пониженіи барометрическаго давленія количество воды въ источникахъ и колодцахъ увеличивается, что нерѣдко приписывается дождю, обыкновенно слѣдующему за пониженіемъ давленія; между тѣмъ это увеличеніе объясняется тѣмъ, что давленіе подпочвенной атмосферы весьма медленно сравнивается съ давленіемъ внѣшней атмосферы вслѣдствіе значительнаго

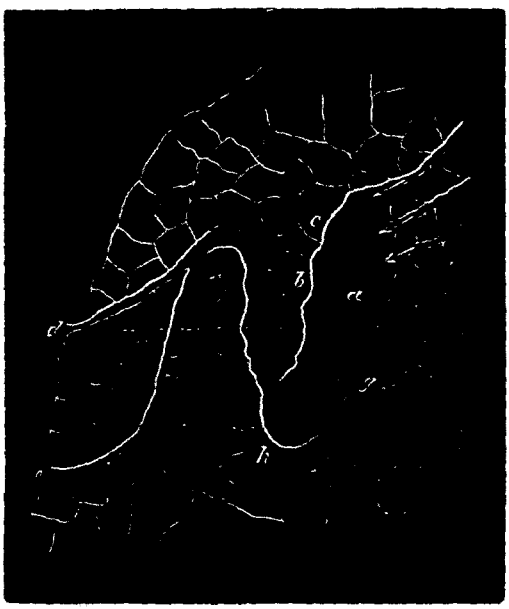
сопротивленія движенію воздуха въ капилярахъ почвы; поэтому, когда надъ выходнымъ отверстіемъ источника или колодца давленіе понизилось, въ тоже время внутри почвы остается еще прежнее, болѣе высокое давленіе, которое и вызываетъ увеличеніе притока [35]). При повышеніи барометрическаго давленія происходитъ обратное явленіе, т. е. уменьшеніе дебита источниковъ. Эти колебанія въ нѣкоторыхъ ключахъ (напр., Кройдонскіе въ графствѣ Суррери, къ югу отъ Лондона) достигаютъ до ± 2000 куб. метровъ въ сутки или ± 23 литра въ секунду.

Такимъ образомъ, колебанія производительности источниковъ зависятъ отъ весьма сложныхъ факторовъ и свойственны, въ большей или меньшей степени, всѣмъ стокамъ, но въ нѣкоторыхъ они проявляются съ такою силою, что дѣйствіе источниковъ на извѣстный періодъ времени совершенно прекращается; такіе источники называются перемежающимися (Intermithirende Quellen). Нѣкоторые изъ нихъ перемежаются въ прямой зависимости отъ времени года и атмосферныхъ осадковъ, какъ, напр., вышеупоманутые грунтовые источники Россіи или майскіе колодцы Германіи; ихъ замираніе происходитъ на продолжительное время и, разумѣется, ими нельзя пользоваться для какихъ-либо постоянныхъ гидротехническихъ сооруженій. Другіе обнаруживаютъ частую перемежаемость въ зависимости отъ какихъ-либо мѣстныхъ причинъ, напр., черезъ каждые два дня, или каждый день, или черезъ два-три часа или же, наконецъ, черезъ нѣсколько минутъ. Въ долинѣ де-Арса противъ Ремю (Швейцарія) источникъ, вытекающій изъ известняковъ, исчезаетъ три раза въ день, какъ и нѣкоторые источники Пилатуса у Люцерна, тоже ключъ Сеидъ-брари въ Кашмирѣ. Въ Пюигро, на юго-востокъ отъ Шамбери (Савойя, Франція), ключъ течетъ четыре раза въ день съ перерывами въ 5—6 часовъ, въ зависимости отъ времени года. Ключъ Польтербрунненъ у Альтенбекумъ (въ Вестфаліи) временами совершенно исчезаетъ, а временами дѣйствуетъ черезъ каждые 6 часовъ лѣтомъ и 4 часа въ другое время года, но только въ теченіи 15 минутъ, хотя съ такимъ шумомъ и силой, что имъ могло бы быть приведено въ движеніе нѣсколько мельницъ. Источникъ въ Гокомбъ (Савойя, Франція) дѣйствуетъ черезъ каждыя 20 минутъ, а въ засухи нѣсколько рѣже. Когда вода входитъ въ каналъ, діаметромъ 0,35 метр., то внутри горы (наз. Монтань дю-Ша) слышится глухой гулъ производимый вытѣсненнымъ воздухомъ, который, по прекращеніи истеченія, снова всасывается какъ насосомъ. Въ Пиренеяхъ также извѣстны подобные источники, напр., у Белеста, дѣйствующій каждые полчаса. Въ Венгріи источникъ Идцукъ у Кимна дѣйствуетъ съ перерывами въ 10 — 15 минутъ въ дождливое время, а въ сухое въ 20—30 минутъ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ перемежающіеся источники объясняютъ слѣдующимъ образомъ [34]): представимъ себѣ внутри земной коры пустоту или пещеру *a*, изъ которой идетъ (фиг. 160) каналъ въ формѣ сифона; когда пустота постепенно наполняется посредствомъ боковыхъ притоковъ, вода въ ней будетъ стоять на томъ же уровнѣ, какъ и въ каналѣ; если вода поднимется до *c*, то она и въ сифонѣ достигаетъ верхняго колѣна и начинаетъ выливаться черезъ *d*. Это истеченіе будетъ продолжаться непрерывно до тѣхъ поръ, пока горизонтъ воды не понизится

до *d*. Если бы отверстіе канала находилось ниже, напр., въ *e*, то ключъ продолжалъ бы бить до тѣхъ поръ, пока уровень не понизился бы до нижняго конца сифона, т.-е. до *g*. Послѣ того теченіе прекращается до тѣхъ поръ, пока подземная пустота снова не наполнится до высоты *c*, т.-е. верхняго колѣна сифона. Перерывъ будетъ очевидно тѣмъ продолжительнѣе, чѣмъ обширнѣе пустота и чѣмъ меньше боковой притокъ воды, и наоборотъ; слѣдовательно періоды, слѣдующіе черезъ короткіе промежутки времени, будутъ приблизительно одинаковы. Если сифонъ засорится или откроется новый каналъ *h*, то прежній источникъ совершенно изсякнетъ.

При соотвѣтственномъ измѣненіи сточныхъ каналовъ, чего можно достигнуть даже и обдѣлкой, перемежающіеся источники превращаются въ непрерывные, какъ кажется это произошло уже съ источникомъ въ Падернборнѣ.



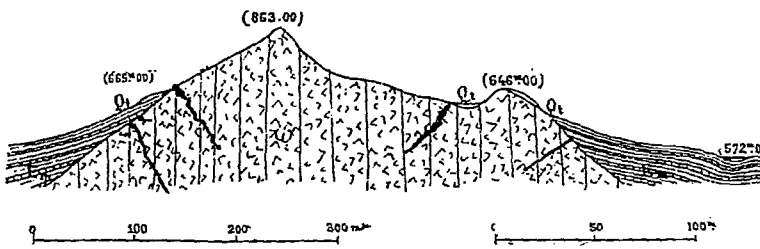
Фиг. 160. — Схема перемежающагося или періодически дѣйствующаго источника.

Люгеръ [37]), не отрицая приведеннаго объясненія, полагаетъ, что большая часть перемежающихся ключей объясняется проще, именно свойствами сточныхъ каналовъ, уподобляющихся трубопроводу, въ которомъ тоже замѣчается перемежаемость, если онъ уложенъ съ неодинаковымъ паденіемъ и діаметръ его слишкомъ великъ сравнительно съ количествомъ протекающей черезъ него воды; при такихъ условіяхъ въ слабо наклоненныхъ участкахъ трубы вода заполняетъ все ея поперечное сѣченіе; если за ними слѣдуютъ участки трубы съ сильнымъ уклономъ, то вода быстро устремляется впередъ и это вызываетъ разрывъ водянаго столба, разрѣженное пространство и т. д., словомъ всѣ тѣ явленія, которыми сопровождается перемежаемость. Тоже наблюдается при паденіи постоянной водяной струи по короткимъ ступенямъ (каскадамъ); стокъ съ нижней ступени бываетъ то очень силенъ, то очень слабъ, причемъ промежутки могутъ быть впередъ опредѣлены въ секундахъ.

Восходящіе источники.—Восходящіе источники, какъ выше замѣчено (стр. 237), выступаютъ на поверхность подъ напоромъ болѣе или менѣе значительнаго столба воды въ видѣ естественныхъ фонтановъ, а потому ихъ называютъ также бьющими источниками. Нѣкоторые изъ нихъ поднимаются подъ вліяніемъ напора выдѣляющихся газовъ, которые дѣйствуютъ или постоянно или же только временами, производя періодическія изверженія; такіе источники называются извергающимися или гейзерами; они отличаются высокою температурою. Восходящіе источники появляются или изъ различныхъ трещинъ отдѣль-

пости (см. выше фиг. 149) (діаклазъ, по Добре, см. т. I, гл. IV) или изъ трещинъ сбросовъ, или въ контактахъ пластовыхъ породъ съ массивными, особенно съ жильными, или же, наконецъ, вслѣдствіе складчатаго изогнутія водоносныхъ слоевъ, залегающихъ среди водонепроницаемыхъ (см. выше фиг. 150); поэтому они, подобно нисходящимъ источникамъ, могутъ быть раздѣлены въ зависимости отъ условій выхода ихъ на нѣсколько главныхъ типовъ, а именно: 1) трещинные восходящіе источники, которые въ отличіе отъ нисходящихъ трещинныхъ можно было бы назвать жильными, такъ какъ они представляютъ настоящія водяныя жилы; 2) сбросовые; 3) контактовые восходящіе источники представляютъ только разновидности предыдущихъ, причемъ первые пріурочиваются къ трещинамъ сбросовъ, а вторые къ контактамъ различныхъ породъ, и 4) складковые или пластовые восходящіе источники.

Жильные источники, хотя выходятъ на поверхность изъ одной или нѣсколькихъ простыхъ трещинъ, но обыкновенно имѣютъ очень сложную систему корней (см. выше фиг. 149), которую только въ рѣд-

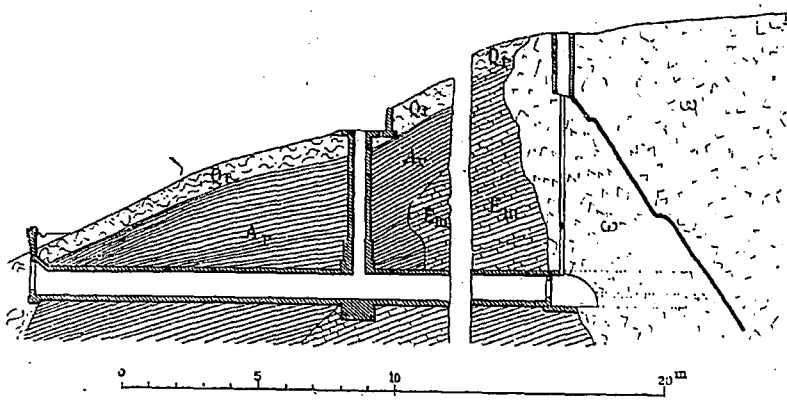


Фиг. 161.—Развѣзъ горы Желѣзной. Q—источники выходящіе изъ трещинъ кварцеваго порфиры w; Em—эоценовый мергель; An—наносы и Qd—туфы.

кихъ случаяхъ удается опредѣлить съ надлежащею точностью; особенно при сочетаніи въ одной и той же толщѣ породъ энтокинетическихъ и экзокинетическихъ трещинъ (см. т. I, гл. IV). Эти источники одинаково встрѣчаются какъ въ осадочныхъ, такъ и въ массивныхъ породахъ, но, преимущественно, въ областяхъ, подвергавшихся дислокаціи. Наиболѣе простой примѣръ въ области массивныхъ породъ представляютъ Желѣзноводскіе источники, выходящіе изъ трещинъ кварцеваго порфира (*w*) (фиг. 161—162); прикрытаго у подошвы Желѣзной горы осадочными породами, которыя нерѣдко маскируютъ выходы источниковъ и тѣмъ самымъ измѣняютъ составъ и температуру воды ихъ. Въ этихъ случаяхъ основные восходящіе источники, съ температурою около 40° Ц., попадая въ осадочныя породы, раздѣляются на нѣсколько струй или дериватовъ, значительно охлаждаются и превращаются въ цѣлый рядъ нисходящихъ источниковъ, которые эксплоатируются, какъ самостоятельные и даже съ различными названіями. Чтобы пользоваться неизмѣненнымъ источникомъ нужно или очистить отъ наносовъ устье трещины, если это возможно, или провести къ ней штольню, какъ это сдѣлано въ Желѣзноводскѣ для источниковъ № 1 и № 2 (фиг. 161).

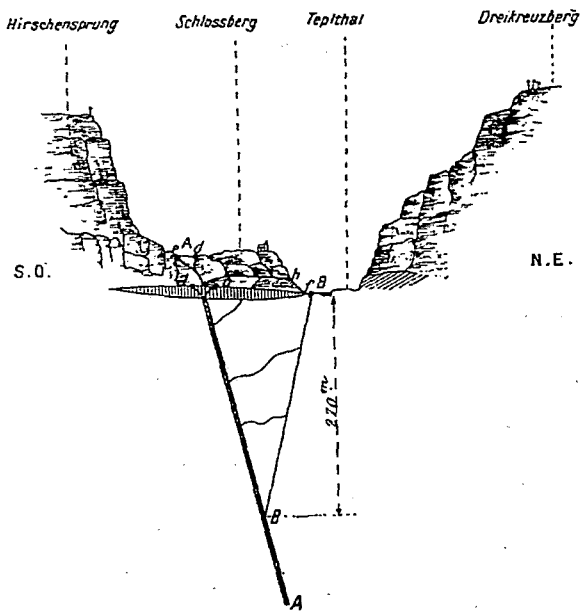
Нѣсколько сложнѣе основныя трещины въ Карлсбадѣ (фиг. 163), гдѣ они залегаютъ также въ массивныхъ породахъ, именно въ гранитахъ.

Предполагаютъ [38]), что къ главной трещинѣ *AA* на глубинѣ 270 м. присоединяется вторая *BB* (фиг. 163), которая связана съ первою еще нѣ-



Фиг. 162. — Каптажъ желѣзистыхъ источниковъ въ Желѣзной горѣ; обозначеніе буквъ то же, что на фиг. 161.

сколькими поперечными. Изъ основной трещины вытекаетъ главный источникъ—Шпрудель, а изъ второй меньшій источникъ—Мюльбрунненъ.



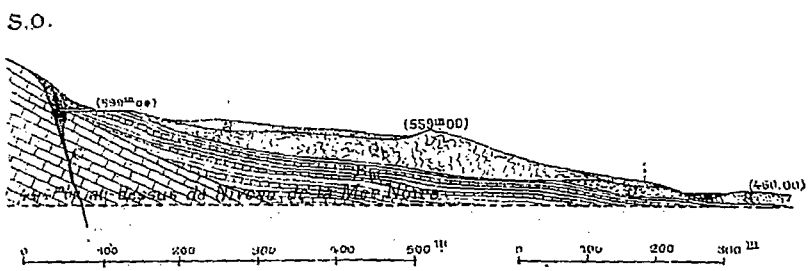
Фиг. 163. — Разрѣзъ, показывающій расположеніе источниковъ въ Карлсбадѣ.

Такъ какъ близъ устья трещинъ залегаетъ травертинъ, то часть воды Шпруделя, попадая въ трещины его, даетъ нѣсколько второстепенныхъ источниковъ, которые эксплоатируются самостоятельно подъ различными названіями: Шпрингеръ (*a* фиг. 163), Гигіеническій и др. (см. фиг. 163). Источники Вильдбада, также вытекаютъ изъ гранитовъ, прикрытыхъ песчаниками и пр. Въ осадочныхъ породахъ также нерѣдко встрѣчаются жильные источники, напр., сѣрнистые источники въ Пятигорскѣ, гдѣ такъ называемый «Большой Провалъ» выходитъ изъ трещины залегающей въ наклонныхъ мѣловыхъ мергеляхъ (фиг. 164—165), прикрытыхъ эоценовыми мергелями и туфами, слагающими Горячую гору. Изъ основной или главной трещины сѣрнистые источники попадаютъ въ третичные мергели или туфы, раздѣляются на нѣсколько струй или дериватовъ, охлаждаются въ разной степени и выходятъ на дневную поверхность въ видѣ самостоятельныхъ и исходящихъ источниковъ, какъ и въ Желѣзноводскѣ [39]).

Извѣстные источники Эмса вытекаютъ изъ цѣлой системы трещинъ, имѣющихъ такое же расположеніе, какъ и близъ лежащія рудныя жилы; тѣ и другія прорѣзываютъ сильно нарушенные девонскіе слои. Основная водоносная трещина залегаетъ въ нижнихъ сланцахъ (такъ называемыхъ

Фиг. 164.—«Большой Провалъ» въ Пятигорскѣ.

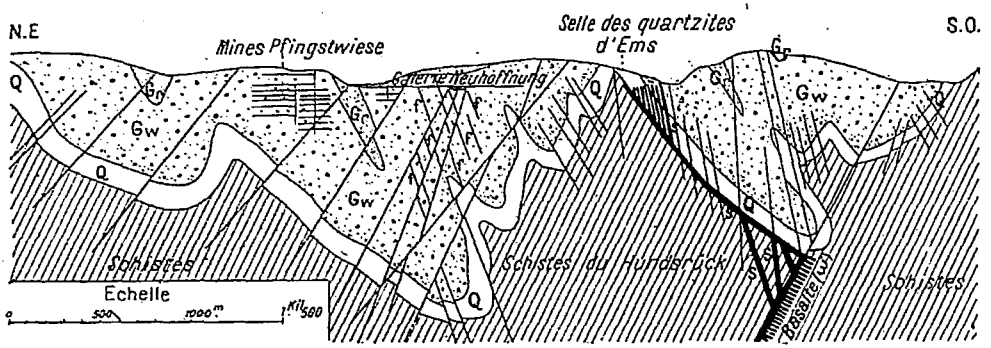
гундсрюкскихъ) (фиг. 166), въ контактѣ съ базальтомъ, выше раздѣляется на нѣсколько вѣтвей и, дойдя до водонепроницаемаго кварцита (*Q* фиг. 166), слѣдуетъ подъ нимъ почти до поверхности, гдѣ снова раздѣляется на нѣсколько дериватовъ [40]). Источники Эмса до нѣкоторой



Фиг. 165.—Разрѣзъ Горячей горы черезъ провалъ въ Пятигорскѣ.

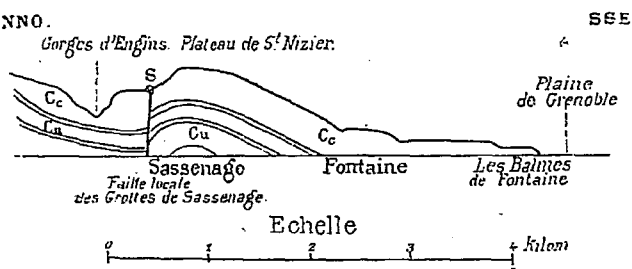
степени представляютъ уже смѣшанный типъ, такъ какъ водоносная трещина отчасти залегаетъ въ контактѣ съ одной стороны базальта, со сланцами, а съ другой сланцевъ съ кварцитами. Всѣ приведенные примѣры вполнѣ объясняютъ съ одной стороны превращеніе восходящихъ источниковъ въ нисходящіе, а съ другой возможность совмѣстнаго нахожденія теплыхъ и холодныхъ источниковъ, питающихся одною и тою же жилою.

Сбросовые источники встрѣчаются чаще предыдущихъ, но преимущественно въ областяхъ дизъюнктивной дислокаціи, какъ, напр., въ Оверни, Богеміи и пр., гдѣ выходы ихъ находятся въ тѣсной зависимости отъ направленія сбросовъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, при маленькихъ сбросахъ источники эти выходятъ съ ничтожнымъ напоромъ, а иногда даже являются нисходящими, какъ выше указано для пфальц-



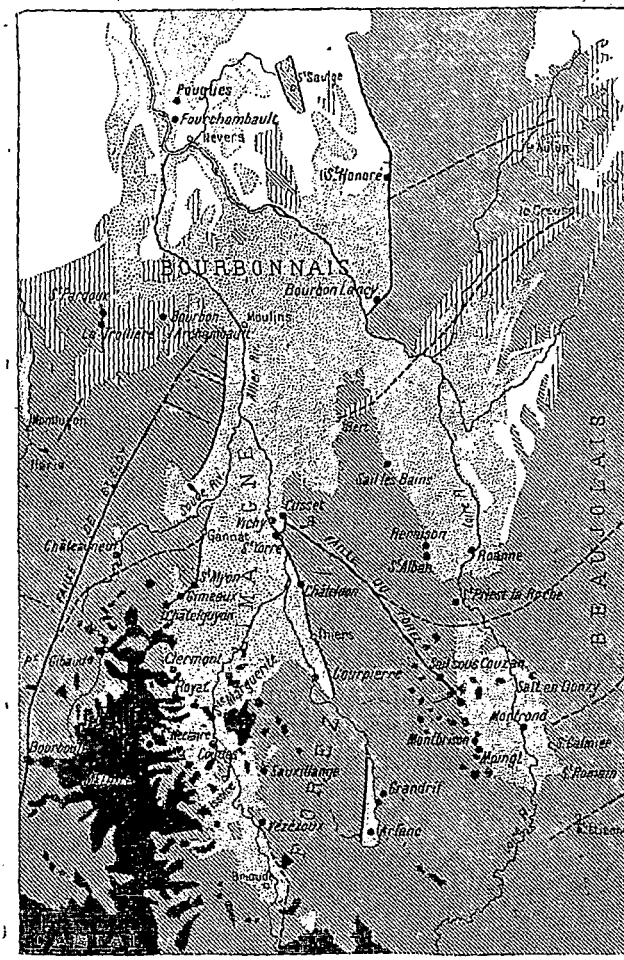
Фиг. 166.—Развѣзъ, указывающій залеганіе источниковъ Эмса. Sch—сланцы Гундсрюка; Q—кварциты. Gw—Граувакка; Gr—Спириферовый песчаникъ; w—жилы базальта; fff—рудныя жилы; s, s, s, s—минеральные источники.

скихъ источниковъ (см. выше фиг. 153); но большею частью они, подобно жильнымъ, обладаютъ значительнымъ напоромъ. Прекрасными примѣрами этого типа могутъ служить источники Лудюна [41]) у Вѣны, Сассенажъ у Гренобля [42]) (фиг. 167), гдѣ источникъ S вытекаетъ прямо изъ трещины сброса въ мѣловыхъ пластахъ ($C_c C_u$ фиг. 167), Рорбахъ, Баденъ, Фишау, Веллау въ Австріи и др., но особенно интересны въ этомъ отношеніи многочисленные источники Лиманя въ Оверни, гдѣ всѣ они располагаются въ зависимости отъ направленія главныхъ сбросовъ. На прилагаемой геологической карточкѣ (фиг. 168) видно, что по большому сбросу, ограничивающему третичныя отложенія Лиманя съ запада выходятъ источники: Руайя, Жимо, С. Мійонъ, Шательгюйонъ и др., а по восточному сбросу: Виши, Кюссе, S. Yorre, Шательдонъ и др. На такихъ же сбросахъ залегаютъ и другіе источники къ сѣверу отъ Лиманя, напр. Бурбонъ д'Аршамбо, Бурбонъ Лянси, С. Оноре, Pougues и др. [43]) Кромѣ главныхъ сбросовъ находится много второстепенныхъ, которые также служатъ для выхода источниковъ. Такъ какъ сбросы прорѣзываютъ различныя породы, то и составъ воды источниковъ далеко неодинаковъ. Одни изъ нихъ залегаютъ среди кристаллическихъ породъ или на рубежѣ



Фиг. 167.—Развѣзъ, перпендикулярный сбросу Сассенажа, по которому выходитъ источникъ S въ мѣловыхъ пластахъ Cc — Cu.

ихъ съ осадочными, напр., литіевый источникъ Руайя, Шательгюйонъ (фиг. 169); другіе же—въ осадочныхъ породахъ, какъ, напр., источники Виши (Гранъ-гриль, Селестенъ, Л'опиталь), Верне (фиг. 170). Къ тому же типу сбросовыхъ источниковъ принадлежитъ извѣстный Бурбуль, (Пюи де Домъ), получающійся изъ сброса въ гранитѣ, прикрытаго туфами (фиг. 171). Всѣ эти источники, несмотря на разнообразіе состава содержатъ много углекислоты, что вѣроятно обусловливается близостью древнихъ вулкановъ Оверни (см. фиг. 168), и вмѣстѣ съ тѣмъ объясняетъ сильный напоръ нѣкоторыхъ изъ нихъ (напр. Hauterive у Виши) подъ вліяніемъ выдѣляющихся газовъ, что еще болѣе подтверждается выдѣленіемъ углекислоты въ сосѣднихъ рудникахъ Понжибо.



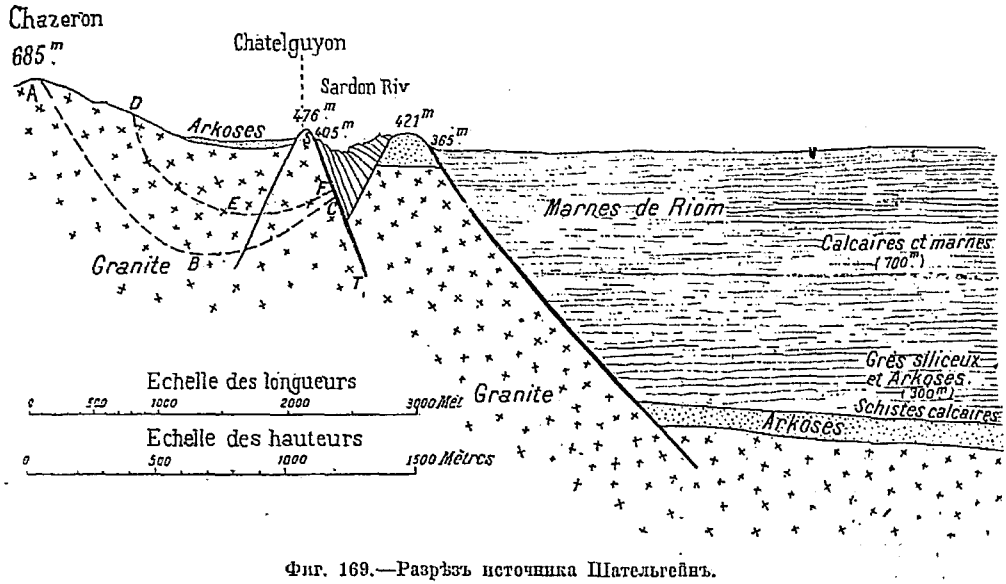
Фиг. 168. — Геологическая карта третичнаго бассейна центральнаго плато Франціи; расположеніе сбросовъ и минеральныхъ источниковъ.

Архейскія породы . . . . .
Третичныя изверженн. породы .
Главный сбросъ . . . . .
Мезозойскія отложенія . . . . .
Пермскія и тріасовыя отложенія .
Третичныя отложенія . . . . .
Синклинали архейскихъ породъ . ------

Контактовые источники, выступающіе вблизи или по линіи соприкосновенія кристаллическихъ и осадочныхъ породъ или разнородныхъ осадочныхъ рѣдко проявляются въ типичномъ видѣ; большею частью они представляютъ частные случаи жильныхъ (см. выше фиг. 159) или сбросовыхъ (см. выше фиг. 169) источниковъ или же разновидность пластовыхъ, какъ, напр., оригинальные соленые источники Наугейма, о которыхъ скажемъ ниже.

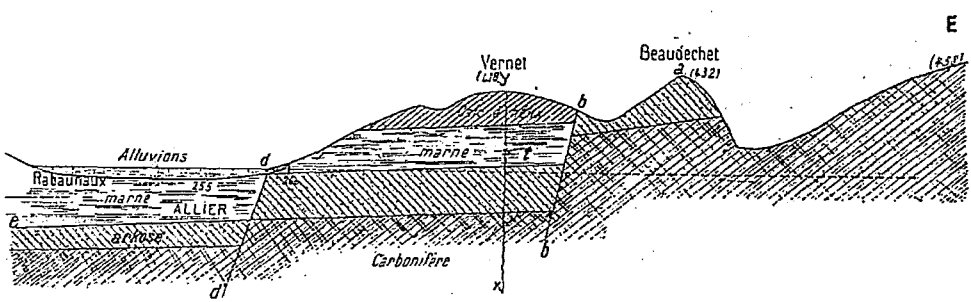
Контактовые источники чаще встрѣчаются въ Пиренеяхъ, напр., Котере (фиг. 172), представляющій двѣ группы источниковъ вблизи контакта гранитовъ со сланцами; одна изъ нихъ, южная, залегаетъ въ гранитѣ, а другая — сѣверная въ сланцахъ; также сѣрнистые источники Баньеръ-де-Люшонъ ($t = 68°$ Ц.) залегаютъ въ контактѣ слюдяно-извест-

ковыхъ сланцевъ и гранулитовыхъ жилъ [44]). Вліяніе контакта на появленіе источниковъ особенно часто обнаруживается въ жилахъ, какъ вулканическихъ, такъ и рудныхъ. Въ нѣкоторыхъ областяхъ, напр., въ Баварскихъ Альпахъ, источники до такой степени тѣсно связаны съ



Фиг. 169.—Разрѣзъ источника Шательгейнъ.

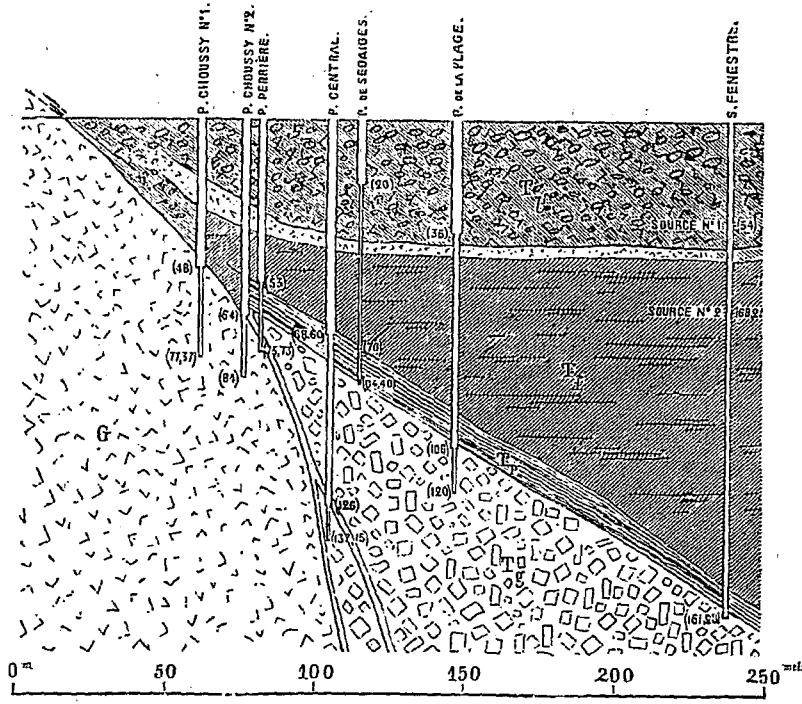
выходами вулканическихъ жилъ, что даже выработалось особое правило для отысканія источниковъ по выходамъ жилъ, а съ другой стороны въ нѣкоторыхъ рудныхъ округахъ наоборотъ по выходамъ источниковъ отыскиваютъ рудныя жилы. Такая тѣсная связь объясняется



Фиг. 170.—Разрѣзъ источниковъ Верне.

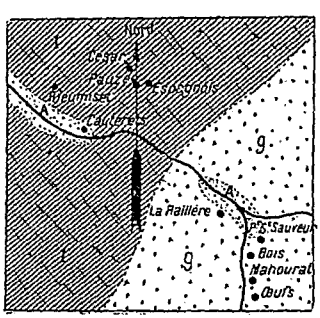
общностью причинъ образованія трещинъ, изъ которыхъ одни служатъ еще путями для источниковъ, а другія уже заполнились минеральнымъ матеріаломъ и превратились въ жилы; словомъ, въ данномъ случаѣ источники можно разсматривать какъ формирующіяся жилы, а готовыя жилы — какъ окаменѣлые источники; къ такимъ принадлежатъ преимущественно такъ называемые термы и минеральные источники, т. е. имѣющіе высокую температуру и содержащіе въ растворѣ различныя соли. Повсюду совмѣстно съ этими источниками находятся и соот-

вѣтственныя жилы, напр., въ центральномъ плато Франціи источники Бурбонъ д'Аршамбо ($t = 53$), Нери (53° Ц.), Эво (55° Ц.) и др. выхо-

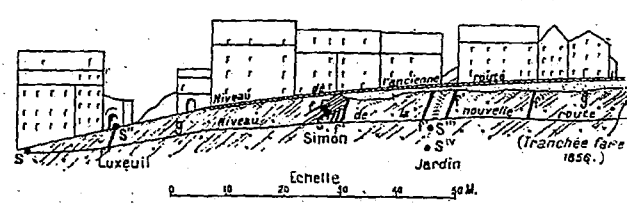


Фиг. 171.—Разрѣзъ источниковъ Бурбуль. G—граниты, Tf—трахитовые туфы, Tp—тѣ же туфы съ обломками гранита. Цифры означаютъ глубины скважинъ, доставляющихъ источники.

дятъ изъ жилы кварца, плавиковаго шпата, барита и стронціонита или вблизи ихъ изъ трещинъ, простирающихся параллельно жиламъ; тоже источники Пломбьеръ въ Вогезахъ (s—s фиг. 173) съ температурою до 70° Ц., выходятъ среди цѣлой свиты жилъ кварца ($f'f'$) и плавиковаго



Фиг. 172.—Геологическій эскизъ источниковъ Катера. G — гранитъ; J—метаморфическіе сланцы; A—аллювій.



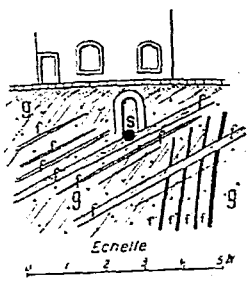
Фиг. 173.—Разрѣзъ источниковъ Пломбіера, залегающихъ рядомъ съ рудными жилами. G—гранитъ; ff—жилы плавика; f'f'—жилы кварца; S I — источникъ Симона; S II — источникъ Luxeuil; S III и S V— источникъ Жарденъ.

шпата ($f f$), залегающихъ въ гранитахъ (g) по двумъ направленіямъ (фиг. 174). Въ Карльсбадѣ, Маріенбадѣ и др., наблюдается такое же соотношеніе между источниками и жилами кварца; въ Эссентукахъ жилы

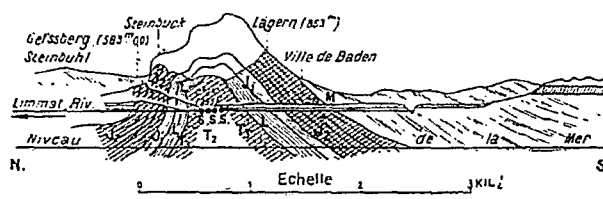
известковаго шпата совершенно соотвѣтствуютъ направленію источниковыхъ трещинъ. Тоже встрѣчалось при работахъ въ рудникахъ на большой глубинѣ, напр., во Фрейбургѣ (Саксонія) на глубинѣ 160 м. открытъ источникъ въ 26° Ц., выходящій изъ серебряной жилы. Въ знаменитомъ Комстокѣ (Невада) серебряныя жилы часто сопровождались горячими источниками (до 77° Ц.), способствовавшими такому быстрому возвышенію температуры въ рудникѣ, что уже на глубинѣ 800 метр. пришлось работы прекратить и рудникъ закрыть, несмотря на оставшіяся богатства (см. т. I, гл. II).

Недалеко отъ Комстока находятся бьющіе источники Стимботъ (Steamboat Springs). Тѣсная связь между минеральными источниками и рудными жилами имѣетъ большое значеніе для выясненія происхожденія рудныхъ жилъ, какъ увидимъ ниже.

Складковые источники, обусловливаемые складчатостью водоноснаго слоя, залегающаго между водонепроницаемыми пластами, встрѣчаются въ естественномъ видѣ сравнительно рѣдко, но искусственно получаются часто, такъ называе-



Фиг. 174.—Деталь предыдущаго разрѣза, указывающая два направленія жилъ—fff и f₁f₁f₁.

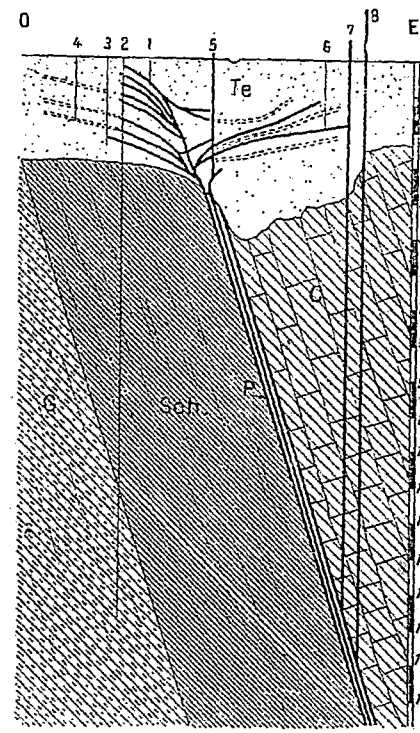


Фиг. 175. — Геологическій разрѣзъ источника Баденъ (Аргови). T_3 — раковинный известнякъ; T_2 — Кейперъ, непроницаемый для воды; d — лейасъ тоже непроницаемый J_1 — доггеръ-проницаемый. J_2—мальмъ; M—молласъ.

мыми, артезіанскими колодцами. Примѣры естественныхъ артезіанскихъ источниковъ извѣстны во многихъ мѣстахъ Алжира: въ Митиджа, Мзабѣ, Уедъ-Ирѣ, Уаргла, Бискра и др. [45]); многіе изъ нихъ берутъ начало на склонахъ М. Атласа напр. въ Метиджа и выходятъ на поверхность на высотѣ 80—100 метровъ. Къ тому же типу повидимому принадлежитъ источникъ Ивердонъ на Невшательскомъ озерѣ, въ Швейцаріи, вытекающій на окраинѣ синклинала мѣловыхъ пластовъ и молласа, хотя съ точностью это неопредѣлено, потому что на мѣстѣ выхода источника подозрѣваютъ сбросъ. Въ Аппалахскихъ горахъ (С. Америки) находятся источники, расположенные по оси антиклиналовъ верхнесилурійскихъ отложеній. Источники Бадена въ Арговіи, съ температурою отъ 46° до 50° Ц., также вытекаютъ изъ свода антиклинала близъ оси складки (*ss* фиг. 175), гдѣ она прорѣзывается р. Лиммать. Вообще, антиклинальные источники болѣе извѣстны, нежели синклинальные; послѣдніе легко открываются только искусственными способами.

Извергающіеся источники или восходящіе подъ напоромъ газовъ. Они составляютъ особую группу источниковъ, которые встрѣчаются при самыхъ разнообразныхъ геологическихъ условіяхъ, но имѣютъ то общее свойство, что выступаютъ на поверхность въ видѣ постоянныхъ или пе-

ріодическихъ фонтановъ исключительно вслѣдствіе напора газовъ. Они извѣстны были еще въ древности (Плиній, Витрувій и др.), когда нѣкоторые ученые (напр., Сенека) объясняли выдѣленіями газовъ всѣ восходящіе источники. Выходъ ихъ на поверхность сопровождается иногда весьма эфектными явленіями, особенно при періодическихъ изверженіяхъ такъ называемыхъ гейзеровъ или кипящихъ источниковъ. Восхожденіе ихъ обязано главнымъ образомъ выдѣленію углекислоты, углеводородамъ, водянымъ парамъ и рѣдко азоту. Прекраснымъ примѣромъ такихъ источниковъ можетъ служить соленый источникъ Наугейма на склонѣ горъ Таунусъ, о которомъ уже выше упомянуто. Онъ выходитъ подъ напоромъ углекислоты изъ контакта среднедевонскихъ известняковъ (*C* фиг. 176) и сланцевъ (Sch. фиг. 176), на неровной поверхности которыхъ залегаютъ третичные пласты (Te фиг. 176), гдѣ основной источникъ раздѣляется на множество отдѣльныхъ дериватовъ. Онъ открытъ буреніемъ еще въ 1816 г.; въ настоящее время самый сильный источникъ (называемый Friedrich-Wilhelm-Riesensprudel) выходитъ изъ буровой глубиною 177,2 метр. и поднимается на 16,1 метр. надъ поверхностью земли; температура его 37,6°Ц. Источники Наугейма ежегодно доставляютъ 240.000 куб. метр. или 50.000 кил. солей. Хотя они извергаютъ постоянно, но иногда значительно ослабляются [46]). Въ Киссингенѣ такіе же источники, выходящіе изъ глубины въ 90 метр., обнаруживаютъ болѣе отчетливыя колебанія, по нѣсколько разъ въ сутки, при чемъ усиленіе изверженія сопровождается подземнымъ шумомъ и даже иногда ударами подобными грому. Къ этому же типу принадлежатъ источники Гомбурга, вѣроятно, Кисловодскій Нарзанъ и др. Въ Монтрондѣ [47]), въ департаментѣ Луары, такой источникъ открытъ буреніемъ на глубинѣ 473 м., бьетъ великолѣпнымъ фонтаномъ въ 35 м. высотою; онъ замѣчателенъ тѣмъ, что обнаруживаетъ поразительную чувствительность въ зависимости отъ барометрическаго давленія. Всѣ эти источники извергаются исключительно подъ напоромъ углекислоты.



Фиг. 176. — Разрѣзъ шпруделя Наугейма. G — спириферовый песчаникъ; P — контактъ съ соленою водою; C—стрингоцефаловые известняки; Sch—ортоцеровые сланцы; Te — третичныя породы, залегающія несогласно на неровной поверхности девонскихъ породъ.

Не менѣе оригинальны источники, извергаемые при помощи углеводородныхъ газовъ, какъ, напр., источникъ, называемый Kane-Geyser-Well въ долинѣ Вильсонъ-Рунъ, въ нефтеносной области западной Пенсильваніи. Открытый на глубинѣ 100 м., онъ бьетъ фонтаномъ періодически съ

промежутками около 13 минутъ; высота фонтана отъ 30 до 50 метр. (фиг. 177). Если углеводородный газъ случайно загорается, то фонтанъ представляетъ эфектное зрѣлище, особенно ночью, борьбы огня и воды. Въ окрестностяхъ Баку мѣстами выдѣляются прямо изъ трещинъ только одни горючіе газы безъ воды, напр., въ Сураханахъ, гдѣ горѣніе ихъ образуетъ такъ называемые вѣчные огни, служащіе предметомъ поклоненія огнепоклонниковъ, которые построили надъ ними храмъ и провели газы въ угловыя башни, одна изъ которыхъ изображена на прилагаемомъ рисункѣ (фиг. 178). Выдѣленіе газовъ на днѣ моря близъ Биби-Эйбатъ въ тихую погоду обнаруживается бурленіемъ на поверхности моря; при зажиганіи ихъ получается не менѣе эфектная картина, какъ и въ вышеупомянутомъ гейзерѣ. Къ той же категоріи явленій принадлежатъ, въ сущности, ранѣе разсмотрѣнные сальзы или грязевые вулканы, миканула и пр. (см. т. I, гл. VII).

Фиг. 177.—Гейзеры Кане при извержепіи.

Въ Вельсѣ (В. Австріи) болотный газъ поднимаетъ даже грунтовую воду. Многіе горячіе источники извергаются при помощи водяныхъ паровъ, которые при недостаткѣ воды образуютъ исключительно паровые источники, какъ, напр., такъ называемые суффіони въ Тосканѣ, у Волтерра въ провинціи Пиза, гдѣ вмѣстѣ съ водяными парами выдѣляется борная кислота, сѣра и сѣрнистый кальцій. Они объясняются нахожденіемъ пещеръ на глубинѣ 50 — 60 метр., въ которыхъ скопляется водяной паръ съ температурою 105° — 120°. Они извѣстны также въ Невадѣ, въ Калифорніи и въ др. исключительно вулканическихъ областяхъ. При обиліи воды водяной паръ образуетъ періодически извергающіеся источники или такъ называемые гейзеры. Они принадлежатъ къ самымъ замѣчательнымъ источникамъ, изъ всѣхъ разсмотрѣнныхъ выше, и встрѣчаются тоже только въ вулканическихъ областяхъ, напр., въ Исландіи, Н. Зеландіи; С. Америкѣ и пр.

Въ Исландіи славится Большой гейзеръ, залегающій у подошвы Борнафела; въ спокойномъ состояніи онъ представляетъ круглый бассейнъ съ небольшимъ истокомъ совершенно прозрачной теплой воды; бассейнъ этотъ (около 18 м. діам. и 2 м. глубины) находится на вершинѣ плоскаго конуса до 10 м. высотою и до 60 м. въ діаметрѣ у подошвы, состоящаго изъ чистаго, снѣжно-бѣлаго кремнистаго туфа (гейзерита), отло-

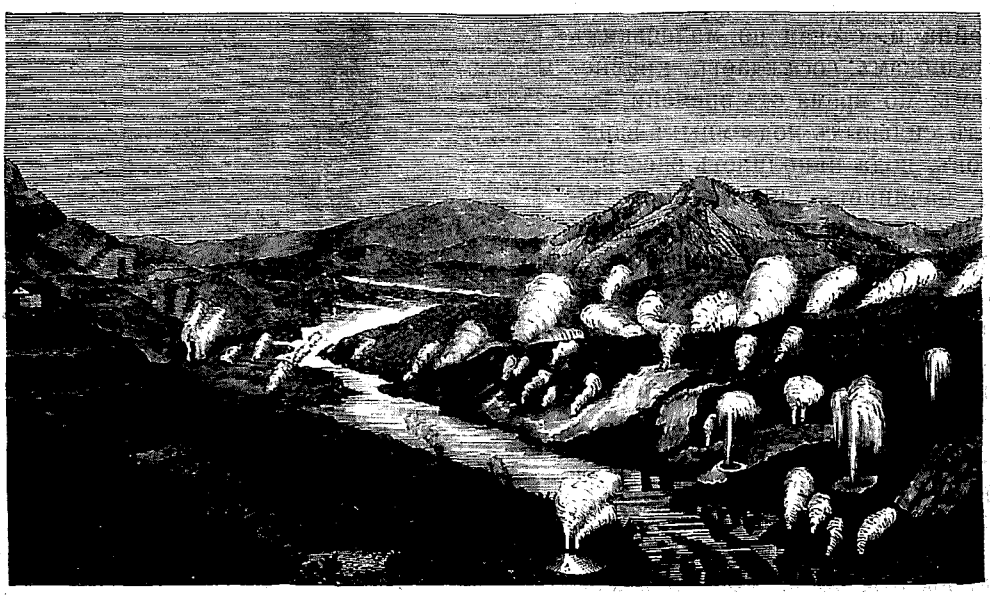
женнаго самимъ источникомъ. На днѣ бассейна открывается каналъ до $3^1/_2$ м. діаметромъ, по которому снизу постоянно доставляется вода спокойно или бурно въ періодъ изверженія. Температура воды измѣняется на поверхности отъ 76° до 82°Ц., а въ каналѣ, на глубинѣ 6 м.,—отъ 120° до 127° Ц. Въ составъ ея на 1000 ч. входятъ: кремнеземъ—0,5097, углекислый натръ — 0,1930, сѣрнокислый натръ — 0,1070, хлористый натрій—0,2521 и другія вещества, но въ меньшемъ количествѣ, а именно: углекислый амміакъ — 0,0083, сѣрнокислое кали — 0,0475, сѣрнокислая магнезія — 0,0042, сѣрнистый натръ — 0,0088 и CO_2—0,0557. Вода постепенно поднимается до краевъ бассейна и, стекая по маленькимъ желобкамъ, осаждаетъ кремнеземъ; но время отъ времени, послѣ сильныхъ подземныхъ взрывовъ, вода наполняетъ бассейнъ и начинаетъ кипѣть; образующіеся на поверхности огромные пузыри лопаются и брызги взлетаютъ на 6 м. высоты; эти маленькія изверженія становятся все чаще и наконецъ происходитъ сильное изверженіе, повторяющееся чрезъ каждые 24—30 часовъ. При этомъ подземные удары усиливаются и изъ отверстія вылетаетъ огромная струя воды около 3 м. въ діаметрѣ до высоты 30 м., сопровождающаяся густымъ клубомъ пара; за первою вылетаетъ вторая, третья и т. д., наконецъ цѣлый пучекъ струй, которыя, разбиваясь въ брызги, даютъ эффектную картину. Это продолжается около 10 мин. и затѣмъ все снова успокоивается, и въ каналѣ вода стоитъ такъ, какъ въ любомъ колодцѣ.

Фиг. 178.—Часть храма огнепоклонниковъ съ внутренней стороны въ Сураханахъ.

Строкръ находится шагахъ въ 100 отъ Большого гейзера и имѣетъ коническую, постепенно съуживающуюся книзу трубу, верхнее отверстіе которой около сажени въ діаметрѣ; труба эта тоже состоитъ изъ кремнистой накипи и окружена небольшимъ валомъ изъ того же матеріала, отъ 1 до $1^1/_2$ м. высоты. Вода обыкновенно стоитъ на 3—4 м. ниже отверстія и постоянно кипитъ ключомъ; температура ея въ нижней части канала, имѣющаго 12 м. длины, равна 114°. Черезъ каждые два или три дня въ Строкрѣ бываетъ изверженіе, которое, говорятъ, еще грандіознѣе, чѣмъ изверженія Большого гейзера. Вода со страшною силою вылетаетъ на огромную высоту и разсыпается въ мелкую пыль; большіе камни выбрасываются вмѣстѣ съ водой и иногда снова падаютъ отвѣсно въ жерло. Въ концѣ изверженія, которое вообще продолжается около $^1/_4$ часа, весь выходящій столбъ фонтана состоитъ изъ одного пара, который, шипя и свистя, съ невообразимою быстротою несется подъ облака. Тутъ же, неподалеку отъ двухъ описанныхъ источниковъ, разсѣяно еще до 40 горячихъ ключей, изъ которыхъ иные тоже представляютъ періодическіе фонтаны. Въ самомъ значительномъ изъ этихъ ключей вода бьетъ на высоту 6—10 м.

Такъ называемый, Малый гейзеръ принадлежитъ къ другой группѣ источниковъ этого рода, находящейся въ 8 миляхъ на SW отъ Большого. Черезъ каждые $3^3/_4$ часа изъ отверстія Малаго гейзера начинаетъ мало по-малу подниматься паръ и раздается подземный шумъ, похожій на плескъ воды. Затѣмъ появляется кипящая и пѣнящаяся вода, которая, медленно поднимаясь и опускаясь, подступаетъ все ближе къ отверстію и, наконецъ, по прошествіи 10 мин., вылетаетъ вертикальными и наклонными столбами на высоту 10—12 м. Послѣ того струи постепенно уменьшаются и дѣлаются ниже, и черезъ 10 минутъ вода попрежнему принимаетъ спокойное состояніе. Наконецъ, въ сѣверной части Исландіи есть еще три гейзера, называемые Uxaver; температура ихъ никогда не бываетъ ниже точки кипѣнія.

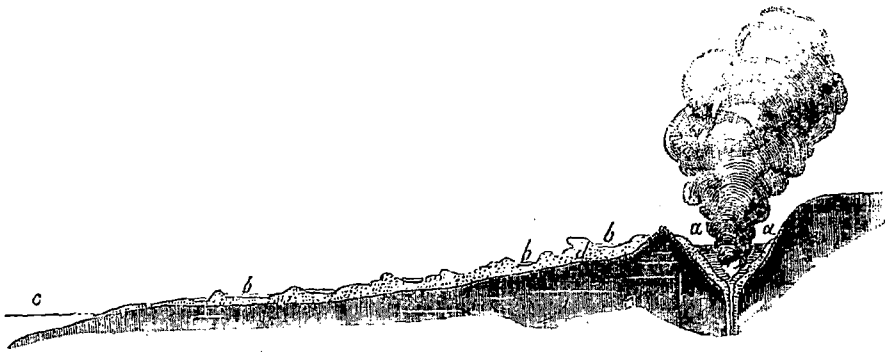
Въ сѣверной части острова Новой Зеландіи, вообще очень богатой горячими источниками, мѣстами насчитываютъ сотни гейзеровъ, напр., источники долины Вайкато у Оракайкорако (фиг. 179); но самые замѣчательные изъ нихъ находятся по берегамъ небольшого озера Ротома-



Фиг. 179.—Гейзеры Оракайкорако въ Нов. Зеландіи.

гана, имѣющаго $^1/_4$ м. длины и $^1/_{16}$ м. ширины и получившаго отъ нихъ свое названіе, что̀ значитъ «Теплое озеро»; температура воды въ немъ, впрочемъ, неодинакова, напр., въ срединѣ озера отъ 30° до 40° Ц., а при выходѣ изъ него истока р. Кайвака только 26° Ц. Въ сѣверо-восточномъ концѣ озера, недалеко отъ р. Кайвака, находится самый замѣчательный гейзеръ, называемый Тетарата; бассейнъ его представляетъ нѣчто въ родѣ кратера (фиг. 180), 33 м. длиною, 20 м. шириною; онъ наполненъ до краевъ прозрачною водою, которая выложила внутренность бассейна снѣжно-бѣлымъ слоемъ кремнистаго туфа; вода съ температурою 84° Ц., на вкусъ слабо солоноватая, обладаетъ способностью быстро окаменять или инкрустировать погруженные въ нее предметы. Отъ источника къ озеру идетъ рядъ террассъ (*b*, *b* фиг. 180) состоящихъ изъ полукруглыхъ ступенекъ съ нѣсколько возвышенными краями, на которыхъ висятъ нѣжные бѣлые сталактиты, окружающіе естественныя ванны самой разнообразной температуры и глубины. Террасы эти съ многочис-

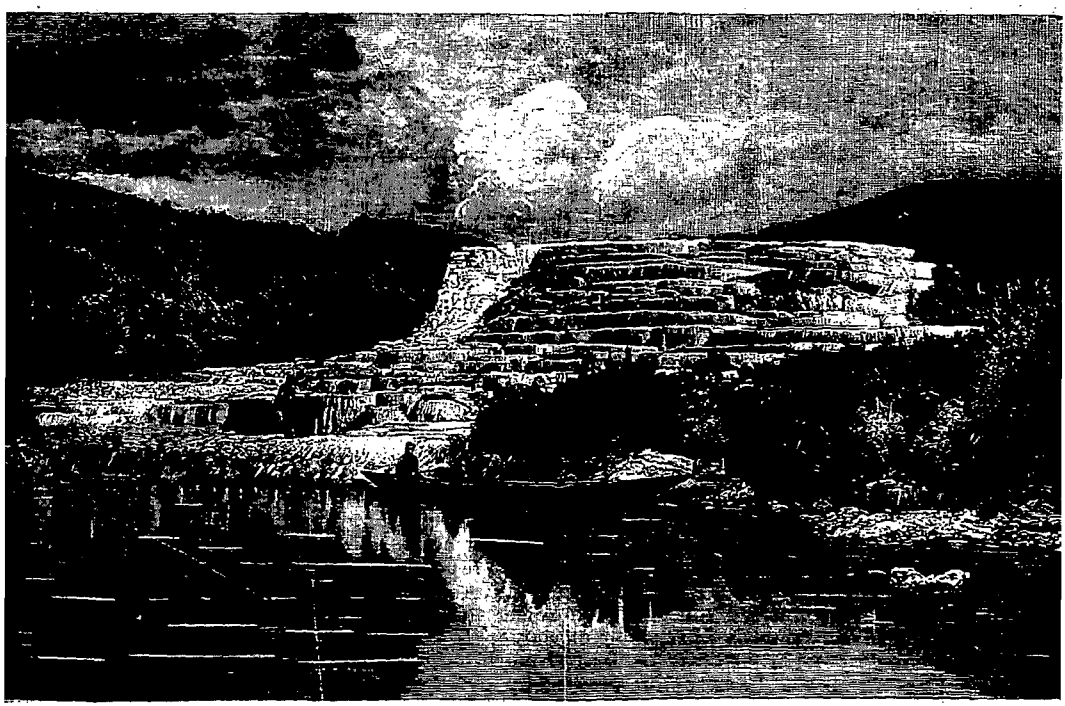
лепными бассейнами и водопадами представляютъ чудную картину, особенно въ періодъ изверженія гейзера, когда изъ отверстія выбрасывается большой столбъ воды и пара. Послѣ изверженія бассейнъ опоражни-



Фиг. 180. — Развѣзъ отъ бассейна гейзера Тетарата чрезъ террассы кремнистаго туфа до оз. Ротомагана; a, a—главный бассейнъ, b, b, b—бассейны на террасахъ; d—кремневый туфъ; e—ріолитъ.

вается на глубину до 10 м.; изверженія повторяются чрезъ небольшіе промежутки времени.

Недалеко отъ Тетарата находится гейзеръ Нгагапу, бассейнъ котораго 15 м. длины, 10 м. ширины; вода его находится почти постоянно въ состояніи кипѣнія и



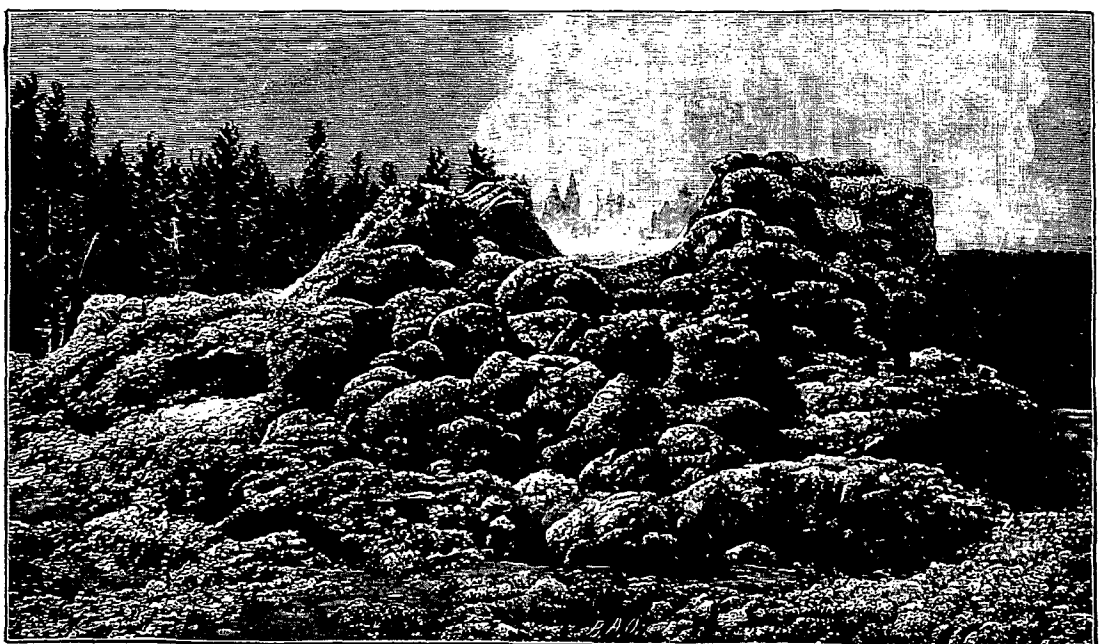
Фиг. 181.—Гейзеръ Отукапауранги на ов. Ротомагана въ Нов. Зеландіи—террассы изъ кремнистаго туфа.

извергается чрезъ весьма короткіе промежутки времени, оставаясь въ покоѣ нѣсколько секундъ; вода поднимается на 3 м. и имѣетъ 82° Ц. температуры.

Еще южнѣе, у самаго восточнаго берега озера Ротомагана, находится еще

источникъ, называемый Тетакапо, съ бассейномъ въ 3 м. діаметромъ; вода постоянно кипитъ и при извержеиіи выбрасывается на 15 м. Кромѣ того, Гохштеттеръ [48]), подробно изучившій новозеландскіе гейзеры, упоминаетъ еще объ источникахъ, Вайкана-панапа, Нгавана, Ватапого и др. Они также развиты на западной сторонѣ озера, напр. Отукапуарангп, т. е. облачная атмосфера; названіе свое получилъ отъ постоянныхъ облаковъ пара, окружающаго его; онъ также, какъ Тетарата, отлагаетъ массы кремнистаго туфа, спускающагося террассами къ озеру (фиг. 181), но еще краспвѣе, такъ какъ они розово-краснаго цвѣта.

Не менѣе замѣчательна область гейзеровъ, открытая сравнительно недавно (въ 1869 г.) въ С. Америкѣ по притокамъ Миссури, въ верховьяхъ р.р. Yellowstone- и Madison river, между 44° и 45 с. ш. и 110° и 111° з. д. отъ Гр., и изслѣдованная особою экспедиціею подъ руководствомъ извѣстнаго геолога Гайдена. Красота ихъ, по словамъ Гайдена, превосходитъ всякое ожиданіе. Правительство, желая сохра-



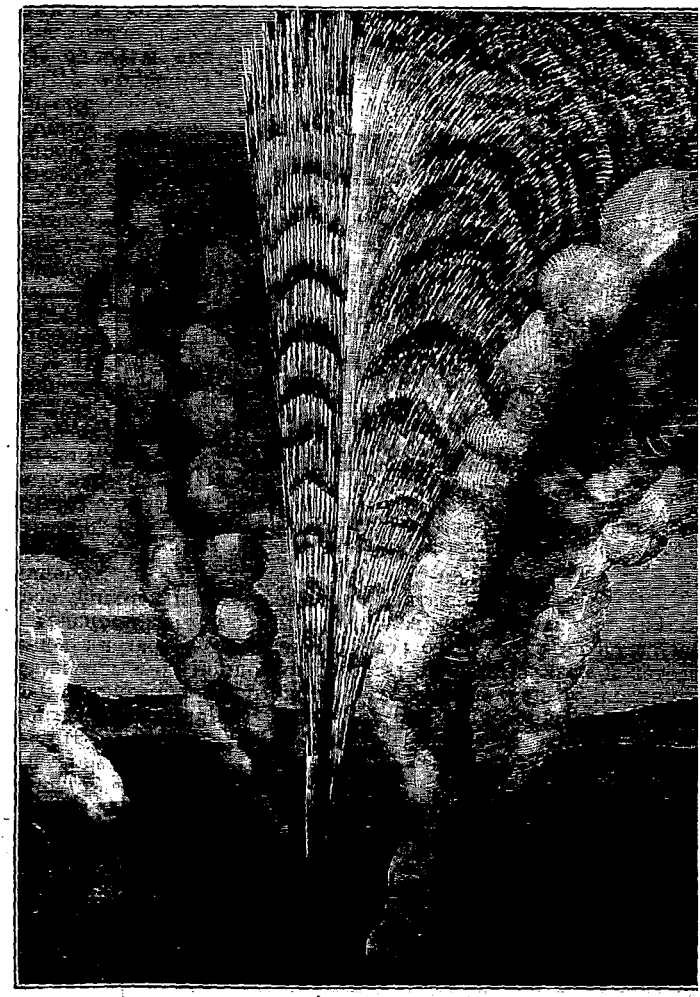
Фиг. 182.—Кремнистый туфъ Castle-geiser'a въ Сѣв. Америкѣ.

нить отъ эксплуатаціи эту замѣчательную группу гейзеровъ, сдѣлало ее неприкосновенною и основало въ ней Національный паркъ. Долины, гдѣ выходятъ гейзеры, лежатъ на высотѣ 600 м. и окружены горами въ 90—120 м. высоты. Гейзеры отлагаютъ громадную массу кремнистаго бѣлаго туфа, характеръ накопленія котораго виденъ на слѣдующемъ рисункѣ (фиг. 182), изображающемъ кремнистый туфъ Castle-geiser'a; мѣстами кремнистый туфъ образуетъ такія же великолѣпныя террассы, какъ новозеландскія.

Между гейзерами замѣчательны: Большой гейзеръ, извергающій чрезъ 32 ч., причемъ образуется столбъ воды въ 65 м. высоты, а паръ долетаетъ до высоты 235 м.; гейзеръ Гигантъ, выбрасывающій въ продолженіе 80 минутъ столбъ воды высотою 45 м.; Гигантесса — до 65 м. и рядомъ съ нимъ еще 5—6 маленькихъ; необыкновенно красивый Улей (Beehive-geiser) отличается оригинальнымъ конусомъ, отъ котораго онъ и получилъ свое названіе; столбъ воды при извержеиіи достигаетъ 70 м. высоты и болѣе (фиг. 183). Кромѣ описанныхъ областей, гейзеры находятся еще въ Новой Калифорніи къ сѣверу отъ Санъ-Франциско, въ Японіи — извѣстный гейзеръ Атоми и др.

Нельзя сомнѣваться, что гейзеры происходятъ вслѣдствіе нагрѣванія снизу воды, заключающейся въ ихъ каналѣ. Вслѣдствіе этого вода, какъ и всѣ жидкости, нагрѣваемыя снизу, пріобрѣтаетъ движеніе и образуетъ токи. Нижній нагрѣтый слой воды дѣлается легче, поднимается на поверхность, гдѣ, вслѣдствіе сильнаго испаренія, значительно охлаждается, дѣлается тяжелѣе и опускается по стѣнкамъ въ глу-

бину, гдѣ она нагрѣвается снова и при томъ сильнѣе прежняго. Вслѣдствіе этого процесса въ бассейнѣ гейзера происходитъ постоянная циркуляція: по средне части канала поднимается горячій водяной столбъ, который немного охлаждается на поверхности и затѣмъ по стѣнкамъ канала снова опускается внизъ. Подобное движеніе можно легко обнаружить, если въ центръ бассейна гейзера бросить клочки бумаги. Клочки эти тотчасъ же будутъ притянуты къ краямъ, гдѣ и будутъ увлечены на дно, откуда нѣкоторые изъ нихъ теплымъ потокомъ выносятся снова наружу. Если охлажденіе на поверхности не такъ сильно, какъ подогрѣваніе снизу, то вода, находящаяся въ бассейнѣ, станетъ нагрѣваться и можетъ достигнуть 100° Ц. На поверхности бассейна вода не можетъ, конечно, нагрѣться выше 100° Ц., но нижніе слои, напр., *a* (фиг. 184), вслѣдствіе давленія вышележащихъ, могутъ имѣть температуру выше 100° Ц. Слой, лежащій выше *a*, можетъ имѣть тоже болѣе 100 Ц., если будетъ подверженъ давленію вышележащихъ слоевъ, но температура его всегда будетъ ниже слоя *a*, потому что давленіе, претерпѣваемое имъ, будетъ меньше.



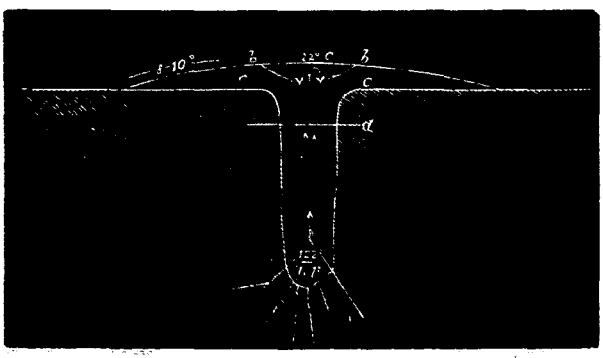
Фиг. 183.—Гейзеръ-Улей въ Сѣв. Америкѣ.

Измѣренія температуры въ бассейнѣ Большого гейзера Исландіи, дѣйствительно, подтвердили увеличеніе ея съ глубиною, именно:

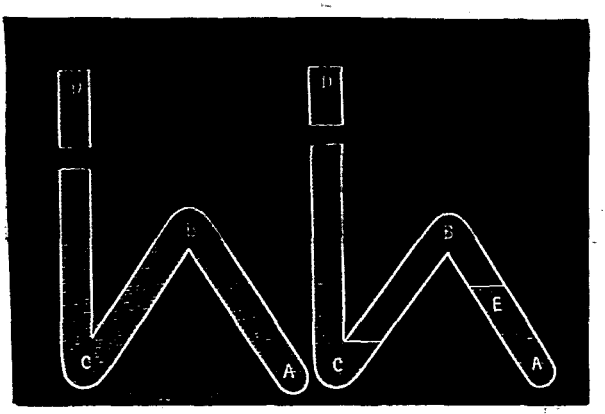
На разстояніи	отъ дна	19,55	метр.	(поверхность воды) .	85,2° Ц.
»	»	»	14,75	»	106,4° »
»	»	»	9,85	»	120,4° »
»	»	»	5.0	»	123,0° »
»	»	»	0,3	»	127,5° »

Продолжающееся нагрѣваніе снизу, не смотря на охлажденіе съ поверхности, повышаетъ все болѣе и болѣе температуру воды и, наконецъ, нагрѣваетъ ее въ каналѣ гейзера до температуры высшей точки кипѣнія воды при обыкновенномъ давленіи. Лишь только температура въ какой-нибудь нижней точкѣ (фиг. 184) возвысится настолько, что здѣсь можетъ произойти образованіе пара, то это незначительное количество пара будетъ, вслѣдствіе своего стремленія вырваться наружу, противодѣйствовать давленію и нейтрализуетъ часть этого послѣдняго. Ясно, что вода, лежащая ниже слоя *b* и принявшая высокую температуру только вслѣдствіе значительнаго давленія, является теперь, когда часть давленія уничтожилась, перегрѣтою и образуетъ громадную массу паровъ, обладающихъ достаточною упругостью для того, чтобы поднять вверхъ массу теплой воды, наполняющей бассейнъ.

Часть воды, падая обратно въ кратеръ, загражданетъ свободный выходъ пару; вслѣдствіе этого снова выбрасывается столбъ воды, и это повторяется до тѣхъ поръ, пока, наконецъ, чрезъ нѣсколько минутъ не исчерпается запасъ перегрѣтой воды и пара. Таково объясненіе изверженій гейзеровъ, данное Бунзеномъ; оно проще и вѣроятнѣе прежняго объясненія Мэкензи, но въ свою очередь имѣетъ существенные недостатки, какъ показала новѣйшая критика г. Отто Ланга [49]). Гипотеза Бунзена не отвѣчаетъ, во-первыхъ, на основной вопросъ: почему при существованіи въ трубѣ гейзера обмѣнныхъ теченій температура не дѣлается равномѣрною по всей длинѣ ея, а во-вторыхъ, она произвольно допускаетъ существованіе двухъ очаговъ для нагрѣва, на разныхъ горизонтахъ вертикальной трубы, что̀ демонстративно было указано (гейзеръ-аппаратомъ) Мюллеромъ, но что̀ въ природѣ трудно себѣ представить. О. Лангъ устраняетъ эти противорѣчія допущеніемъ зигзагообразной формы трубы гейзера (фиг. 185), что̀ совершенно возможно въ природѣ, благодаря сочетанію трещинъ (фиг. 186). Такъ какъ единственный источникъ теплоты внутри земли возрастаетъ съ углубленіемъ, то, очевидно, нижнія части трубы (*A* и *C*) будутъ нагрѣваться сильнѣе, нежели верхнія; вслѣдствіе этого въ верхнемъ колѣнѣ трубы (*B*) развиваются пары, которые, производя давленіе на воду, вытѣсняютъ ее изъ передняго колѣна (фиг. 186 *b*—правая); вода эта съ кипѣніемъ поднимается и изливается изъ главной выводной трубы гейзера въ *D*; какъ только это случится, то давленіе въ *E* уменьшится и образуется масса новыхъ паровъ, которые произведутъ сильный толчокъ и изліяніе въ *D* большой массы кипящей воды. Этотъ процессъ еще болѣе усилится, если источникъ теплоты будетъ у *C*. Эти отношенія осуществляются въ природѣ сочетаніемъ двухъ взаимно пересѣкающихся системъ параллельныхъ трещинъ *ABCD* (фиг. 186), къ которымъ принадлежитъ и вертикальная труба гейзера *C*. Наполненіе водою трещинъ *ABC*, лежащихъ въ основаніи дѣятельности гейзеровъ, происходитъ или чрезъ открытый бассейнъ гейзера, или же черезъ боковыя трещины *D*, роль которыхъ понятна изъ чертежа фиг. 186.



Фиг. 184. — Разрѣзъ гейзера Исландіи. a—основныя породы; b—бассейнъ гейзера; c—кремнистый туфъ; цифры означаютъ температуру и наклонъ; стрѣлки—движеніе воды.



Фиг. 185. — Объясненіе гейзеровъ по Лангу.

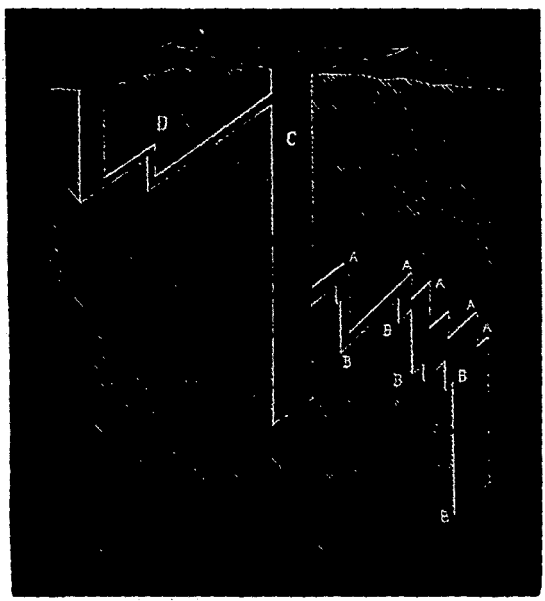
Андреа [50]) устроилъ приборъ, подражающій изверженію гейзеровъ и далъ общій схематическій разрѣзъ ихъ (фиг. 187).

Гейзеры имѣютъ еще то важное значеніе, что *даютъ намъ возможность составить ясное понятіе о процессахъ*, происходящихъ при вулканическихъ изверженіяхъ, потому что и въ этихъ послѣднихъ перегрѣтый паръ, какъ мы уже видѣли, играетъ весьма важную роль. Какъ кажется, только тѣ горячіе ключи могутъ образовать періодически извергающіе гейзеры, которые содержатъ въ растворѣ кремнеземъ и которые отлагаютъ его у мѣста своего выхода. Потому что только посредствомъ отложенія кремнистаго туфа могутъ образоваться трубы и конусы съ плоскими бассейнами, присутствіе которыхъ необходимо для тѣхъ явленій, о которыхъ мы говорили и которыя обусловливаютъ періодическія изверженія. Подобно тому, какъ горячіе источники, вслѣдствіе продолжительной дѣятельности, превращаются сами собой въ гейзеры, такъ и гейзеры прекращаютъ, наконецъ, свои изверженія; слѣдова-

тельно, гейзеръ есть только промежуточная стадія развитія горячаго источника, отлагающаго кремнеземъ.

Вначалѣ имѣется источникъ, температура воды котораго постоянно = 100° Ц. и который вслѣдствіе этого непрерывно кипитъ. Если такой источникъ, содержащій кремнеземъ, пробуритъ себѣ выходъ, то вокругъ него образуется скоро маленькій конусъ (см. фиг. 184—187), состоящій изъ кремнистаго туфа; вода, переливаясь постоянно черезъ его края, увеличиваетъ его новыми отложеніями, и только центральное отверстіе не закрывается, но постепенно удлиняется въ трубку, верхняя часть которой расширяется въ бассейнъ. Теперь вмѣсто прежняго незначительнаго отверстія имѣется большой бассейнъ, а потому испареніе и охлажденіе воды на поверхности увеличиваются весьма замѣтно. Нагрѣваніе снизу и охлажденіе на поверхности борются между собою, чтобы произвести пониженіе или повышеніе температуры бассейна. При извѣстной глубинѣ и ширинѣ бассейна наступитъ періодъ, во время котораго вода не будетъ находиться въ постоянномъ кипѣніи, но, напротивъ, глубокіе слои ея будутъ имѣть, вслѣдствіе давленія, температуру выше 100°, между тѣмъ какъ на поверхности температура будетъ ниже 100° и только постепенно дойдетъ до кипѣнія. Въ этотъ-то моментъ источникъ и начнетъ дѣйствовать какъ гейзеръ.

Между тѣмъ увеличеніе бассейна и конуса подвигается впередъ. Вслѣдствіе этого увеличивается охлажденіе на поверхности, и условія температуры, требуемыя для вызова изверженія, являются черезъ болѣе значительные промежутки времени. Наконецъ, бассейнъ сдѣлается такъ великъ, что охлажденіе на поверхности станетъ преобладать надъ нагрѣваніемъ; тогда извержения прекращаются, и остается бассейнъ съ горячей водой, температура которой никогда не достигаетъ 100° Ц. Въ странахъ богатыхъ гейзерами встрѣчаются обыкновенно рядомъ всѣ три формы развитія теплыхъ источниковъ.



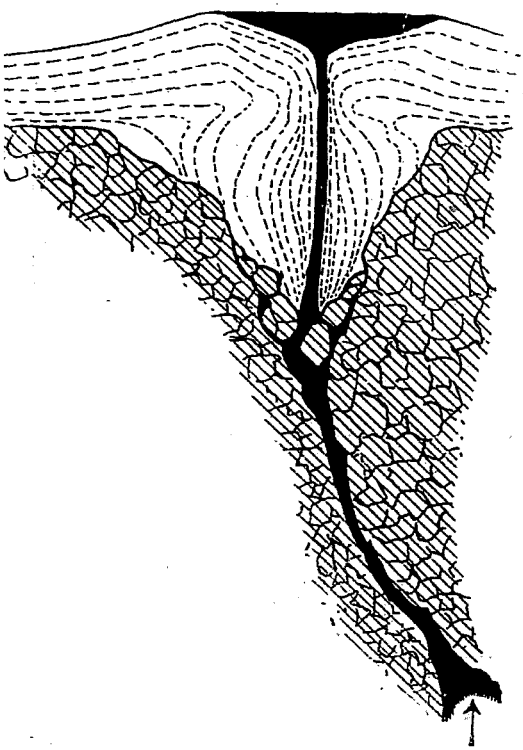
Фиг. 186.—Объясненіе гейзеровъ по Лангу.

По изслѣдованіямъ Фореса надъ образованіемъ слоя инкрустаціи вокругъ источниковъ, Б. гейзеръ въ Исландіи началъ свои извержения за $10^1/_2$ столѣтій до настоящей эпохи, но дѣятельность его прекратится, вѣроятно, по прошествіи несравненно болѣе короткаго періода времени. Слѣдовательно, изученіе осадковъ гейзеровъ даетъ иногда возможность опредѣлить продолжительность нѣкоторыхъ геологическихъ процессовъ.

Простые и артезіанскіе колодцы. Всѣ перечисленные типы источниковъ, если они не проявляются въ естественномъ видѣ, могутъ выводиться на поверхность при посредствѣ искусственныхъ колодцевъ, которые раздѣляются на простые и артезіанскіе; первые даютъ воду безъ напора или съ очень незначительнымъ напоромъ, питаются преимущественно грунтовой водой и соотвѣтствуютъ нисходящимъ источникамъ; вторые, напротивъ, даютъ часто самоистекающую струю, изливающуюся на поверхность подъ сильнымъ напоромъ, и соотвѣтствуютъ восходящимъ источникамъ.

Простые или обыкновенные колодцы въ техническомъ отношеніи раздѣляются на нѣсколько типовъ: 1) срубовые или ямные колодцы, представляющіе неглубокія ямы, закрѣпленныя срубомъ, напр., въ нашихъ деревняхъ, или даже безъ всякаго крѣпленія стѣнокъ, напр., такъ называемые худуки или кудуки въ калмыцкихъ и киргизскихъ степяхъ.

2) Каменные колодцы отличаются каменнымъ крѣпленіемъ стѣнокъ и могутъ получать воду нетолько изъ верхняго, но и изъ болѣе нижнихъ горизонтовъ. Колодцы эти, напр., въ Египтѣ также древни, какъ древнѣйшіе іероглифы [46]). 3) Абессинскіе колодцы (или Нортоновскіе колодцы) примѣнялись при походѣ англичанъ въ Абессинію въ 1867—1868 г.г., откуда и получили свое названіе, хотя въ Америкѣ уже раньше употреблялись во время междуусобной войны 1861—1865 г.г. Они отличаются маленькимъ діаметромъ и проводятся посредствомъ забиванія въ почву желѣзной трубы (отъ 25 до 60 милл. діам.) со стальнымъ наконечникомъ (фиг. 188 a, b, c). Выше наконечника труба на нѣкоторой длинѣ имѣетъ отверстія, черезъ которыя и поступаетъ грунтовая вода въ трубу, когда она дойдетъ до нее. Иногда, вмѣсто забиванія, труба завинчивается въ почву и тогда вмѣсто остраго наконечника она снабжена винтовымъ (фиг. 172). Абессинскіе колодцы очень удобны по быстротѣ добыванія воды для временныхъ цѣлей или для развѣдки грунтовой воды. 4) Трубчатые колодцы употребляются въ томъ случаѣ, когда забиваніе или завинчиваніе трубы въ почву становится невозможнымъ вслѣдствіе твердости породъ. Они проводятся уже посредствомъ буренія, какъ и артезіанскіе колодцы, но съ значительнымъ діаметромъ трубы — отъ $^1/_2$ до 1 метра и сравнительно на небольшую глубину — около 30 м. Для полученія большого количества воды трубчатые колодцы проводятся цѣлыми серіями въ одинъ и тотъ же водоносный горизонтъ, причемъ ихъ располагаютъ или по кругу, и тогда называютъ кольцевыми колодцами, или на одной линіи, и тогда ихъ называютъ бруклинскими колодцами. Всѣ эти колодцы опускаются не глубоко и питаются почти исключительно грунтовою водою.

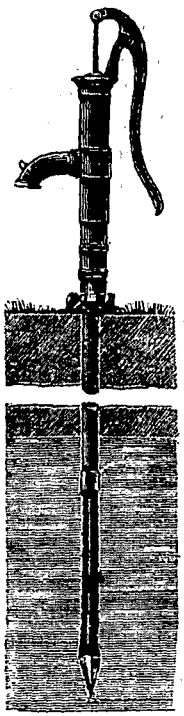


Фиг. 187.—Схематическій разрѣзъ всякаго гейзера.

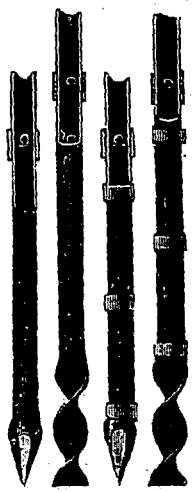
Артезіанскіе колодцы устраиваются при посредствѣ буренія, техника котораго [51]) настолько совершенна, что въ настоящее время проводятся необыкновенно глубокія скважины, напр., въ Поротовицахъ, въ Силезіи, скважина достигла 2.002 м. глубины, близъ Лейпцига около 1.600 м. и пр. (см. т. I, гл. II), а потому, понятно, что артезіанскіе колодцы могутъ доставлять воду изъ самыхъ разнообразныхъ водоносныхъ горизонтовъ, обладающихъ болѣе или менѣе значительнымъ напоромъ. Повидимому, они извѣстны были еще въ глубокой древности жителямъ Азіи и

Африки, особенно въ Китаѣ и Египтѣ, гдѣ съ незапамятныхъ временъ существуютъ такіе колодцы; но въ Европѣ начали устраивать ихъ только въ XII столѣтіи, именно въ 1126 г. во французской провинціи Артуа, отъ которой они и получили свое названіе—артезіанскихъ.

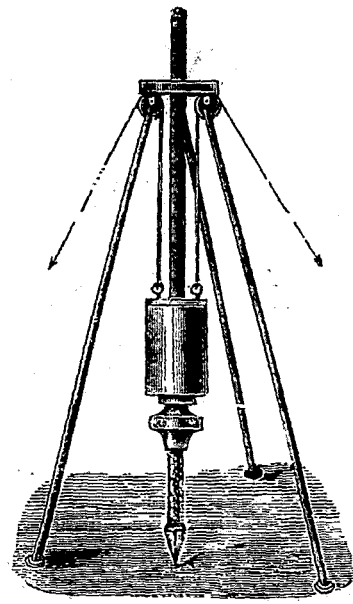
Къ артезіанскимъ водамъ относятся всѣ тѣ, которыя, будучи достигнуты буровой скважиной (см. выше фиг. 147), поднимаются по ней вверхъ съ большимъ или меньшимъ напоромъ, образуя фонтанъ или безъ него. Теорія теченія артезіанскихъ водъ таже, что и восходящихъ источниковъ или фонтановъ, т. е. основана на законѣ сообщающихся сосудовъ или трубокъ, въ которыхъ вода стремится къ одинаковому уровню. Рас-



Фиг. 188a.—Абиссинскій колодезь.



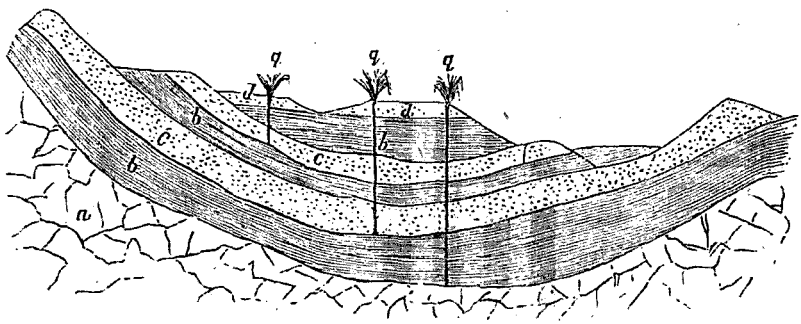
Фиг. 188b.—Наконечники для трубчатыхъ абиссинскихъ колодцевъ.



Фиг. 188c.—Коперъ для забиванія абиссинскихъ колодцевъ.

предѣленіе, движеніе и полученіе артезіанскихъ водъ уподобляется соотвѣтственнымъ явленіямъ въ большихъ городскихъ водопроводахъ. Водоподъемнымъ башнямъ съ запасными резервуарами соотвѣтствуютъ въ природѣ площади питанія, на которыя выпадаютъ осадки, образующіе какъ грунтовыя, такъ и артезіанскія воды. Системѣ развѣтвляющихся трубъ водопровода вполнѣ уподобляется сѣть водосборныхъ трещинъ (см. выше фиг. 146), водяныхъ жилъ или цѣлыхъ слоевъ водоносныхъ породъ (см. выше *a*, на фиг. 147), залегающихъ всегда ниже площади питанія. Наконецъ, фонтаны и краны водопровода соотвѣтствуютъ тѣмъ отверстіямъ или буровымъ скважинамъ (см. фиг. 147), черезъ которыя артезіанская вода выходитъ на поверхность. Какъ въ водопроводахъ, такъ и въ артезіанскомъ колодцѣ получается фонтанъ, бьющій тѣмъ выше, чѣмъ устье трубы или мѣсто истеченія его ниже по сравненію съ высотою области питанія; однако, въ обоихъ случаяхъ, вслѣдствіе тренія, пережима струи

и другихъ причинъ, высота фонтана никогда не доходитъ до высоты верхней поверхности воднаго резервуара; слѣдовательно, законъ сообщающихся трубокъ имѣетъ здѣсь нѣкоторое ограниченіе. Высота, на которой останавливается восходящая вода въ артезіанскомъ колодцѣ называется предѣльною высотою или пьезометрическимъ уровнемъ [53]), который считается положительнымъ, если вода изливается на поверхность земли, и отрицательнымъ, если она останавливается на нѣкоторой глубинѣ подъ поверхностью земли, не достигая устья буровой скважины; въ этомъ случаѣ, т. е. при отрицательномъ уровнѣ, пользованіе артезіанскою водою возможно только при помощи откачки ея насосами; иногда эту воду, въ отличіе отъ самоистекающей на поверхность, называютъ субъартезіанскою водою, что совершенно излишне и даже по существу неправильно, такъ какъ весьма часто одной и той же водѣ пришлось бы придавать различныя названія; напр., у насъ въ Европейской Россіи нерѣдко одинъ и тотъ же водоносный горизонтъ въ долинахъ даетъ самоистекаю-



Фиг. 189.—Схема нѣсколькихъ артезіанскихъ колодцевъ.

щую воду, т. е. съ положительнымъ уровнемъ, а на сосѣднихъ водораздѣлахъ—съ отрицательнымъ уровнемъ, слѣдовательно, одна и та же вода въ первомъ случаѣ называлась бы артезіанскою, а во второмъ — субъартезіанскою, что едва ли допустимо.

Артезіанская вода образуется только при опредѣленномъ геологическомъ строеніи мѣстности и не можетъ быть получена повсюду, даже самымъ глубокимъ буреніемъ; поэтому, всякому артезіанскому буренію должны предшествовать геологическія изслѣдованія, которыя нетолько выясняютъ условія нахожденія воды, но и опредѣляютъ наиболѣе благопріятныя пункты для заложенія скважинъ. Для успѣшнаго буренія необходимы слѣдующія геологическія условія:

1) Въ области осадочныхъ породъ необходимо, чтобы толща ихъ состояла изъ пластовъ различной водопроницаемости, причемъ водопроницаемые (*c*, *c* фиг. 189) должны залегать между водонепроницаемыми (*b*, *b* фиг. 189) пластами.

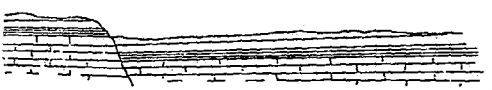
2) Вся свита водоносныхъ пластовъ должна имѣть наклонъ въ какую-либо одну сторону или, еще лучше,—котловинообразное изогнутіе, т. е. образовать синклинальную складку (фиг. 189), которая отражалась бы на поверхности соотвѣтственнымъ пониженіемъ, незамаскированнымъ новѣйшими отложеніями. Въ горизонтальныхъ пластахъ возможно получить

артезіанскую воду только въ такихъ случаяхъ, когда они залегаютъ при подошвѣ большихъ горныхъ кряжей, въ которыхъ продолженіе тѣхъ же пластовъ имѣетъ крутое паденіе. Примѣромъ колодцевъ, залегающихъ просто на наклонныхъ слояхъ, могутъ служить артезіанскіе колодцы въ С.-Петербургѣ (см. т. I, гл. V, фиг. 130), доказавшіе, между прочимъ, что въ основаніи осадочныхъ образованій нашей столицы, на глубинѣ 155 м., залегаетъ гнейсъ. Къ колодцамъ, получающимъ воду изъ синклинальной складки, принадлежатъ артезіанскіе колодцы Парижа (фиг. 190): Гренельскій (435 м. глубины), Пасси (587 м.) и др. Изъ горизонтальныхъ

Фиг. 190.—Разрѣзъ Парижскаго бассейна.

1—Аллювій и дилювій. 2—Верхній эоценъ. 3—Нижній эоценъ. 4—Верхній (бѣлый) мѣлъ. 5—Средній мѣлъ: водоносный зеленый песчаникъ, питающій Гренельскій арт. кол. 6—Нижній мѣлъ и Юра.

пластовъ артезіанская вода получена нѣкоторыми колодцами Алжира, изъ слоевъ, приподнятыхъ на склонахъ Атласа. Иногда даже въ столовыхъ странахъ, почти съ горизонтальнымъ напластованіемъ, получается артезіанская вода вслѣдствіе сбросовъ, если только водоносный слой упирается на плоскости сброса въ водонепроницаемые слои, какъ, напр., въ оазисахъ Дакель, Фарафрехъ и др. (фиг. 191). Впрочемъ, иногда сбросы, особенно на значительныхъ глубинахъ, которые предвидѣть нельзя по строенію поверхности, обусловливаютъ неуспѣшность полученія артезіанской воды или совершенно измѣняютъ предполагаемую глубину, напр., Айбарская скважина въ Крыму. Само собой разумѣется, что всѣ частные случаи перечислить здѣсь невозможно, но, во всякомъ случаѣ, на основаніи вышеприведенныхъ главныхъ условій всегда можно опредѣлить заранѣе вѣроятность полученія артезіанской воды изъ осадочныхъ породъ, даже разсчитать приблизительную глубину залеганія ея и выбрать цѣлесообразно пункты для буренія. Совершенно другія условія представляютъ массивныя породы.



Фиг. 191. — Артезіанская вода, обусловленная сбросомъ.

3) Въ массивныхъ породахъ артезіанская вода образуется только вслѣдствіе развитія сложной системы трещинъ (см. выше фиг. 146), среди которыхъ одна является главнымъ водопроводомъ. Если одинъ конецъ ея выходитъ на поверхность съ восходящимъ источникомъ, то изучивъ подробно строеніе породъ и характеръ ихъ трещиноватости, воз-

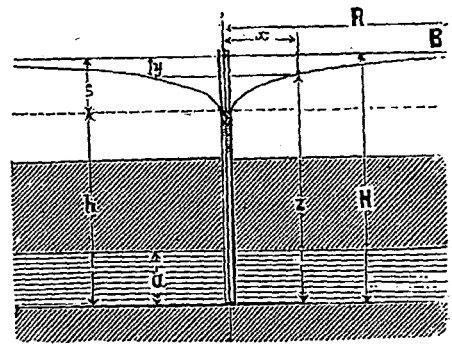
можно еще иногда ориентироваться и получить нѣкоторыя данныя для опредѣленія мѣста заложенія буровой скважины съ цѣлью полученія артезіанской воды, какъ это, напр., доказалъ Норденшильдъ [55]), получившій воду изъ гранитовъ Стокгольма съ глубины 32 мет. Въ противномъ случаѣ, трудно сдѣлать какіе-либо предварительные разсчеты и большинство буровыхъ скважинъ закладывалось на удачу и только случайно получили артезіанскую воду съ небольшой глубины, напр. изъ гранитовъ Вильдбада въ Вюртембергѣ, съ глубины 20 м., изъ гранитовъ Абердинъ въ Шотландіи, съ глубины 54 м. и др.

4) Кромѣ геологическихъ условій, при выборѣ мѣстъ для артезіанскаго буренія, необходимо еще принимать во вниманіе орографическія условія. Всякій артезіанскій потокъ образуется отъ инфильтраціи поверхностныхъ водъ (дождей, рѣкъ, озеръ и пр.) въ наиболѣе возвышенныхъ мѣстахъ, откуда она стекаетъ и получаетъ избытокъ напора для преодолѣнія сопротивленія въ водоносномъ слоѣ и для образованія давленія въ самомъ потокѣ. Поэтому, на равнинахъ или на плоскихъ возвышенностяхъ рѣдко удаются артезіанскіе колодцы, особенно самоистекающіе, или же только въ глубокихъ долинахъ и мѣстныхъ выемкахъ. Если же равнина окружена высокими горами, то, при благопріятныхъ геологическихъ условіяхъ, успѣхъ буренія всегда обезпеченъ. На крутыхъ склонахъ горъ, облегчающихъ стокъ воды, артезіанская вода рѣдко получается, да и вообще на горныхъ склонахъ меньше вѣроятія добыть ее, нежели въ котловинахъ или долинахъ; хотя на пологихъ склонахъ вѣроятность эта больше, нежели на водораздѣлахъ.

Выбравъ мѣста для буренія на основаніи геологическихъ и орографическихъ изслѣдованій, самую работу производятъ особыми буровыми инструментами и по мѣрѣ углубленія закрѣпляютъ скважину такъ называемыми обсадными трубами, въ которыхъ постоянно измѣряютъ верхній уровень воды. Достиженіе артезіанской воды обозначается быстрымъ повышеніемъ этого уровня или даже образованіемъ фонтана, который часто вначалѣ бьетъ очень сильно, а затѣмъ вода или выливается спокойно или же останавливается ниже устья скважины. Сильный напоръ вначалѣ объясняется быстрымъ выдѣленіемъ спертыхъ газовъ, особенно воздуха и углекислоты, наблюдавшихся въ нѣкоторыхъ скважинахъ. Если первый артезіанскій слой почему либо не удовлетворяетъ потребностямъ, то его уединяютъ, закрѣпляютъ и продолжаютъ буреніе дальше, если можно предполагать другіе, болѣе нижніе слои. Въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ находится нѣсколько горизонтовъ съ артезіанской водой (см. фиг. 189), напр., близъ Діеппа нашли 7 водяныхъ слоевъ до глубины только около 100 м.; въ С. Каннѣ буровая скважина прошла 5 водоносныхъ горизонтовъ и пр. По окончаніи скважины нижній конецъ трубы снабжаютъ дырчатыми фильтрами различнаго устройства.

Въ самоистекающихъ колодцахъ для опредѣленія предѣльной высоты, на которую можетъ подняться вода, примѣняютъ или манометръ, указывающій давленіе воды при истеченіи ея изъ устья, или же просто наращиваніе трубъ до надлежащей высоты надъ устьемъ скважины; наблюденія эти показали, что предѣльная высота воды въ скважинахъ всегда ниже области питанія артезіанскаго потока и напротивъ выше свобод-

наго фонтана; впрочемъ, высота фонтана тѣмъ болѣе, чѣмъ меньше діаметръ трубы. Количество воды, доставляемое фонтаномъ, зависитъ, прежде всего, отъ разности въ высотѣ устья скважины и предѣльной высоты подъема воды; чѣмъ эта разность больше и устье скважины ниже, тѣмъ больше скважина даетъ воды. С. Н. Никитинъ приводитъ интересный примѣръ одной изъ Московскихъ скважинъ, дававшей до 300 тысячъ ведеръ въ сутки; при наращиваніи трубъ на 1,5 саж., она уже давала только 200 тысячъ ведеръ, а при $2^1/_2$ саж. достигла предѣльной высоты; слѣдовательно, количество изливающейся воды пропорціонально пониженію уровня въ колодцѣ, но отъ діаметра скважины зависитъ весьма мало; такъ, напр., при сравненіи двухъ скважинъ, изъ которыхъ одна имѣла діаметръ 2 мет., а другая — 0,2 мет., оказалось, что, при всѣхъ другихъ одинаковыхъ условіяхъ, первая скважина давала только въ $1^1/_2$ раза больше воды, чѣмъ вторая, съ діаметромъ въ 10 разъ меньшимъ; поэтому, если и устраиваютъ дорого стоющія скважины большого діаметра, то только вслѣдствіе удобства работъ.



Фиг. 192.

Въ случаѣ, если вода не доходитъ до устья скважины, то убѣдиться въ ея артезіанскомъ характерѣ весьма легко при помощи откачки ея насосами, причемъ наблюдается тоже явленіе, что и при наращиваніи трубъ, т. е. съ пониженіемъ рукава насоса дебитъ скважины увеличивается, а по прекращеніи откачки вода снова и быстро поднимается до предѣльнаго уровня. На практикѣ иногда такое испытаніе дѣлаютъ не откачкою, а, наоборотъ, вливаніемъ воды въ скважину сверху; если при этомъ уровень ея въ скважинѣ остается неизмѣннымъ, сколько бы не вливали, то значитъ вода артезіанская; въ противномъ случаѣ скважина наполняется прилитой водой и только медленно, иногда черезъ нѣсколько дней, возстановляетъ первоначальный уровень.

Условія движенія артезіанской воды будутъ одни и тѣ же, какъ въ самоистекающей струѣ, такъ и въ накачиваемой насосами. Положимъ, что водоносный слой, толщиною a, залегаетъ между двумя водонепроницаемыми пластами и что давленіе въ немъ до начала расхода — постоянное. Если назовемъ это давленіе черезъ p, то, по проведеніи скважины до глубины s, вода въ ней поднимется на высоту $H_0 = \frac{p}{\gamma}$ и станетъ на уровнѣ AB (фиг. 192); этимъ вызовется стремленіе воды со всѣхъ сторонъ къ той части колодца, которая лежитъ въ водоносномъ слоѣ. На горизонтальномъ разстояніи x отъ оси колодца движеніе воды происходитъ по цилиндрической поверхности съ постоянною высотою a, т. е. поверхность xF, но такъ какъ водопроницаемое сѣченіе F будетъ представлять боковую поверхность цилиндра радіусомъ x и высотой a, то $xF = 2\pi\varphi xa$. Если обозначимъ черезъ z ординату депрессіонной поверхности, вызываемой этимъ движеніемъ, то она должна быть поверхностью вращенія, такъ какъ всѣ проведенныя черезъ ось колодца вертикальныя сѣченія будутъ одинаковы съ сѣченіемъ, проведеннымъ черезъ ось x—овъ, чѣмъ опредѣляются одинаковыя условія притока со всѣхъ сторонъ. Если черезъ Q обозначимъ количество притекающей воды, то скорость (u) получимъ:

$$u = \frac{Q}{F} = k\frac{dz}{dx} = \frac{Q}{2\pi\varphi xa} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1),$$

которое и представляетъ собою дифференціальное уравненіе движенія (k — коэф. проницаемости породы). Интегрированіе его даетъ:

$$z = \frac{Q}{2\pi\varphi ka} \cdot log.\ nat.\ x + C \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2$$

Если черезъ R обозначимъ разстояніе, на которомъ величина z близка къ предѣльной высотѣ подъема до начала расхода, то величины H_0 и R представятъ собою соотвѣтственныя значенія z и x; подставляя эти величины въ уравненіе 2-е и рѣшая его относительно Q, получимъ:

$$Q = \frac{2\pi\varphi ka}{log.\ nat.\ \frac{R}{r}} \cdot s \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Эта формула, предложенная впервые Дюпюи, вполнѣ подтверждаетъ выше приведенный выводъ, т. е., что количество воды пропорціонально понижению уровня воды въ колодцѣ; при чемъ это одинаково относится какъ для артезіанскихъ, такъ и для простыхъ колодцевъ, какъ для горизонтальнаго, такъ и для наклоннаго водоноснаго слоя.

Опредѣляя постоянную C изъ уравненія (2) по соотвѣтствующимъ значеніямъ $z = H_0$, $x = R$, получимъ два уравненія:

$$z = H_0 - \frac{Q}{2\pi\varphi ka}\ log.\ nat.\ \left(\frac{R}{x}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

и

$$Q = \frac{2\pi\varphi ka}{log.\ nat.\ \left(\frac{R}{r}\right)} \cdot s \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

гдѣ k—коэф. проницаемости породъ, φ—коэф. свободной для протока профили, s—глубина и пр.

До сихъ поръ не принималось во вниманіе сопротивленіе поступленію воды въ подъемную трубу артезіанскаго колодца. При діаметрѣ трубы $2r$, расходъ воды Q и при условіи, что скорость поступленія u_0 изъ потока очень мала, это сопротивленіе, измѣряемое потерей напора, будетъ:

$$\varepsilon_1 = \nu \frac{u^2 - u_0^2}{2g} = \infty\nu \frac{u^2}{2g} = \frac{\nu Q^2}{2\pi^2 g r^4} = m_1 Q^2, \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

такъ какъ средняя скорость воды въ подъемной трубѣ составляетъ $u = \frac{Q}{\pi r^2}$.

Для преодолѣнія тренія воды о стѣнки трубы требуется дальнѣйшая потеря напора, которая, какъ извѣстно изъ гидравлики, составляетъ:

$$\varepsilon_2 = \frac{\lambda Q^2\ (H_0 - s)}{32\, r^5} = (H_0 - s)\ m_2 Q^2, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

гдѣ $H_0 - s$ предположена равной длинѣ пути, проходимаго водой по подъемной трубѣ.

Наконецъ, самоистекающая вода должна преодолѣвать сопротивленія, происходящія при самомъ истокѣ и выражающіяся нѣкоторой потерей напора ε_3, которая можетъ быть принята пропорціональной квадрату скорости истеченія и нѣкоторому отдѣльному, для каждаго даннаго случая, коэффиціенту пропорціональности. Такимъ образомъ:

$$\varepsilon_3 = \mu u^2 = \frac{\mu Q^2}{\pi^2 r^4} = m_3 Q^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

Всѣ эти сопротивленія (ε_1, ε_2 и ε_3) понижаютъ уровень воды въ скважинѣ; опредѣляя его точно, получаемъ:

$$s = \frac{Q\ log.\ nat.\ \left(\frac{R}{r}\right)}{2\pi\varphi ka} + [m_1 + (H_0 - s)\ m_2 + m_3]\ Q^2 \quad \ldots\ldots\ldots (9)$$

или же, приблизительно, подставивъ вмѣсто $H_0 - s$ какую-нибудь постоянную среднюю величину, получимъ:

$$s = nQ + mQ^2, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

гдѣ численныя значенія для n и m опредѣляются изъ предыдущаго уравненія. Толщина слоя воды, переливающейся выше верхняго конца трубы не входитъ въ эти вычисленія, такъ какъ пониженіе уровня всегда измѣряется отъ верхняго конца трубы.

Изъ уравненія (10) можно получить:

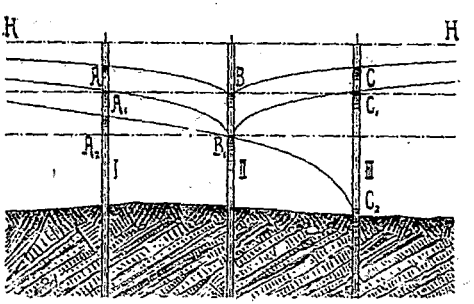
$$Q = \sqrt{\frac{s}{m} + \frac{n^2}{4m^2}} - \frac{n}{2m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

Если выпускное отверстіе обсадной трубы занимаетъ неизмѣнное положеніе, то при всѣхъ обстоятельствахъ пониженіе s и коэффиціентъ m будутъ имѣть постоянныя величины относительно Q. Если же, при одинаковой высотѣ истеченія, измѣняется величина Q, то это измѣненіе можетъ произойти только отъ измѣненія величины n, которая равна:

$$n = \frac{log.\ nat.\left(\frac{R}{r}\right)}{2\pi\varphi ka},$$

гдѣ можетъ измѣняться только R, т. е. разстояніе отъ оси колодца, гдѣ уровень воды находится на постоянной высотѣ H_0 отъ непроницаемаго слоя.

Если депрессіонная поверхность поднимается вслѣдствіе увеличившейся инфильтраціи въ области питанія артезіанскаго потока, то величина R уменьшается, также какъ и n. Наоборотъ R и n увеличиваются, если депрессіонная поверхность понижается вслѣдствіе усиленнаго расхода запасовъ воды при отсутствіи или замедленіи инфильтраціи. При постоянной величинѣ s одновременно съ этими измѣненіями происходитъ увеличеніе или уменьшеніе количества воды или дебита колодца.



Фиг. 193. — Депрессіонныя линіи артезіанскихъ колодцевъ.

Если, въ какой-либо скважинѣ, произведено искусственное пониженіе депрессіонной поверхности путемъ усиленнаго расхода воды, то это пониженіе отразится на всякой сосѣдней скважинѣ, питающейся тѣмъ же артезіанскимъ потокомъ. Такъ напр., колодецъ II (фиг. 193) съ уровнемъ B и депрессіонной линіей $AB - BC$ будетъ доставлять количество воды Q до тѣхъ поръ, пока изъ колодцевъ I и III не производится расхода воды; но если въ этихъ колодцахъ понизить уровень до A_1 и C_1, то изъ B потокъ прекратится и перемѣстится въ B_1 и т. д.; въ свою очередь, усиленнымъ откачиваніемъ изъ B или B_1 понижается уровень въ A_1 и C_1; словомъ, соотвѣтственнымъ углубленіемъ мѣста истока въ одномъ изъ трехъ колодцевъ I—II—III всегда возможно прекратить истокъ изъ остальныхъ двухъ. Взаимное вліяніе артезіанскихъ колодцевъ простирается на весьма значительныя протяженія. Артезіанскій колодецъ на Гренельской бойнѣ въ Парижѣ, глубиною 548 м., дѣйствовалъ съ 1842 г. до 1861 г. съ постояннымъ расходомъ воды 907 куб. метр. въ сутки, какъ въ сухіе (1857—1859), такъ и въ дождливые (1860) годы. Но какъ только 24 сентября 1861 г. открылся колодецъ въ Пасси, глубиною 587,5 м., находящійся въ трехъ километрахъ отъ Гренелля, близъ Булонскаго лѣса, такъ тотчасъ дебитъ Гренельскаго колодца измѣнился слѣдующимъ образомъ: 25 сентября 1861 г. онъ уже давалъ только 806 куб. м., 27 сентября — 720 куб. м. 3 октября — 634 куб. м., 12 октября—605 куб. м. въ сутки; затѣмъ немного увеличился, а именно 3 ноября — 662 куб. м., и съ того времени производительность его, уменьшившаяся почти на одну треть, колебалась въ зависимости отъ расхода воды въ скважинѣ въ Пасси, которая въ свою очередь уменьшила притокъ воды по открытіи колодца на сахарномъ заводѣ Сэ (Say) въ 1872 г.

Систематическими измѣреніями количества воды и уровня ея въ скважинѣ въ теченіе болѣе или менѣе продолжительнаго времени возможно опредѣлить водоносность артезіанскаго потока, что особенно важно для небольшихъ потоковъ. Люгеръ [58]) доказалъ это почти шестилѣтними наблюденіями надъ артезіанскими колодцами въ Констанцѣ, гдѣ онъ получилъ расходы: maximum 12,8 метр. въ секунду, а minimum 8 метровъ въ 1″; слѣдовательно, нормальная водоносность потока коле-

блется между этими двумя предѣлами. При этихъ наблюденіяхъ онъ убѣдился, что временныя колебанія уровня въ артезіанскихъ колодцахъ Константина вызываются вліяніемъ вѣтра, особенно восточными бурями, при которыхъ быстро уровень поднимался, а съ прекращеніемъ ихъ опускался.

Что касается вліянія діаметра скважины, о которомъ уже упомянуто выше, то его легко опредѣлить, пользуясь тѣми же формулами. Положимъ, что наблюденіями получены величины m и n и найдено для колодца діаметромъ въ 200 миллиметровъ ($r = 0{,}1$), что:

$$s = 200\,Q + 350\,Q^2 \quad \ldots \quad (12)$$

тогда значенія n и m соотвѣтственно будутъ:

$$n = 200 = \frac{log.\ nat.\ \left(\frac{R}{r}\right)}{2\varphi\pi\,ka} = \frac{log.\ nat.\ (10\,R)}{2\pi\varphi\,ka} \quad \ldots \quad (13)$$

$$m = 350 = \frac{2g\mu + \nu}{2g\pi^2 r^4} + \frac{(H_0 - s)\lambda}{32\,r^5} = \frac{19{,}62\,\mu + \nu}{19{,}62\,.\,3{,}14^2\,.\,0{,}0001} + \frac{0{,}0025\,(H_0 - s)}{32\,.\,0{,}0001} \quad \ldots \quad (14)$$

Если удесятерить діаметръ скважины, т. е. $r = 10\,.\,0{,}1 = 1$, тогда:

$$s = n_{10}Q + m_{10}Q^2, \quad \ldots \quad (15)$$

гдѣ

$$n_{10} = \frac{log.\ nat.\ (R)}{2\pi\varphi\,ka} \quad \text{и} \quad m_{10} = \frac{19{,}62\,\mu + \nu}{19{,}62\,.\,3{,}14^2} + \frac{0{,}0025\,(H_0 - s)}{32}.$$

Допустимъ, что мощность водоноснаго слоя $a = 10$ метр., $\varphi = 0{,}3$, $k = 0{,}002$, $H_0 - s = \infty\,32$ метр., то по формуламъ (13) и (14), получимъ:

$$200 = \frac{log.\ nat.\ (10\,R)}{2\,.\,0{,}3\,.\,3{,}14\,.\,0{,}002\,.\,10},\quad R = 187{,}4 \text{ метр.}$$

$$350 = \frac{19{,}62\,\mu + \nu}{19{,}62\,.\,3{,}14^2\,.\,0{,}0001} + \frac{0{,}0025\,.\,32}{32\,.\,0{,}00001};\quad 19{,}62\,\mu + \nu = 1{,}93.$$

Отсюда получимъ:

$$n_{10} = \frac{log.\ nat.\ 187{,}4}{2\,.\,0{,}3\,.\,3{,}14\,.\,0{,}002\,.\,10} = 139;\quad m_{10} = \frac{1{,}93}{19{,}62\,.\,3{,}14^2} + \frac{0{,}0025\,.\,32}{32} = 0{,}0125.$$

Такимъ образомъ, уравненіе (15) будетъ:

$$s = 139\,Q + 0{,}0125\,Q^2 \quad \ldots \quad (15a)$$

Вычисляя пониженіе s для расхода въ 10 метровъ въ секунду изъ уравненія (12), получимъ:

$$s = 200\,.\,0{,}01 + 350\,.\,0{,}0001 = 2 + 0{,}035 = 2{,}035 \text{ метр.},$$

а изъ уравненія (15), т. е. когда діаметръ въ 10 разъ больше, получимъ пониженіе:

$$s = 139\,.\,0{,}01 + 0{,}0125\,.\,0{,}0001 = 1{,}39 \text{ метровъ.}$$

Увеличеніе діаметра колодца въ 10 разъ дастъ весьма небольшое прибавленіе къ количеству доставляемой имъ воды; колодезь діаметромъ въ 2 м. по уравненію, (15 а), при пониженіи уровня на 2 м., при неизмѣнномъ R, даетъ 14,5 литровъ въ секунду, т. е. не болѣе какъ въ $1^1/_2$ раза увеличиваетъ количество воды, даваемой при томъ же пониженіи уровня колодцемъ съ діаметромъ 0,2 метра, о чемъ уже сказано выше.

Количество воды въ артезіанскихъ колодцахъ или дебитъ ихъ, а значитъ напоръ и предѣльная высота подъема, съ теченіемъ времени подвергаются болѣе или менѣе значительному уменьшенію сравнительно съ первоначальнымъ. Уменьшеніе это, прежде всего, обусловливается, во 1-хъ, вышеупомянутымъ освобожденіемъ спертыхъ газовъ, которые до прорытія скважины увеличивали давленіе въ артезіанскомъ потокѣ; послѣ вы-

дѣленія ихъ напоръ иногда настолько уменьшается, что самоистеченіе воды прекращается. Во 2-хъ, буровыя скважины нарушаютъ то равновѣсіе, которое до прорытія ихъ существовало между запасами артезіанскихъ водъ, ихъ напоромъ и расходомъ въ данной мѣстности. Новое равновѣсіе устанавливается весьма медленно, особенно если колодезь расходуетъ больше, чѣмъ даетъ инфильтрація въ области питанія артезіанскаго потока; тогда онъ расходуетъ вѣковые запасы, сокращеніе которыхъ ведетъ къ неминуемому пониженію давленія всей водяной массы. Въ 3-хъ, общее пониженіе напора артезіанскаго горизонта происходитъ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ большее число колодцевъ питается однимъ и тѣмъ же горизонтомъ; особенно если онъ состоитъ изъ породъ легко проводящихъ воду, напр., изъ крупно-зернистаго песка, гальки или сильно трещиноватыхъ породъ, тогда онъ скорѣе лишается своихъ запасовъ или, такъ сказать, исчерпывается, потому что онъ даетъ въ каждую скважину большее количество воды, нежели при составѣ его изъ мелкозернистыхъ, или глинистыхъ песковъ, затрудняющихъ свободный притокъ. Выше мы видѣли, что даже только два сосѣднихъ колодца въ Гренелли и Пасси, находящихся въ значительномъ разстояніи другъ отъ друга и питающихся огромнымъ артезіанскимъ бассейномъ Парижа, оказываютъ взаимное вліяніе на дебитъ ихъ; но, очевидно, что вліяніе это будетъ еще больше при цѣломъ рядѣ колодцевъ, какъ это наблюдается уже на многихъ скважинахъ въ Москвѣ, эксплуатирующихъ воду каменноугольныхъ известняковъ; а еще больше въ степной части Крыма, гдѣ въ послѣднее время, при большомъ возрастаніи числа колодцевъ, питающихся водою сарматскихъ породъ, общій дебитъ ихъ значительно уменьшился [59]).

Въ виду возможности такого истощенія вѣковыхъ запасовъ подземной воды, слѣдовало бы осторожнѣе обращаться съ нею и, во всякомъ случаѣ, соразмѣрять расходъ съ приходомъ ея. Во избѣжаніе возможнаго банкротства въ будущемъ, хотя бы и далекомъ, слѣдуетъ теперь же позаботиться о томъ, чтобы, во 1-хъ, число колодцевъ было ограничено, хотя бы приблизительно, размѣрами бассейна и мощностью его, во 2-хъ, чтобы расходъ воды въ самоистекающихъ колодцахъ производился по мѣрѣ надобности, а не безпрерывно, какъ это теперь часто наблюдается и даже въ такое время, когда она совершенно не нужна; въ такое время слѣдовало бы колодцы закрывать и сберегать воду; вѣдь въ обыкновенныхъ колодцахъ или при откачкѣ насосами эта экономія дѣлается сама собой; слѣдовательно, нетрудно примѣнить ее и къ самоистекающимъ колодцамъ; это тѣмъ болѣе необходимо, что въ настоящее время артезіанскіе колодцы быстро распространяются во всѣхъ странахъ, а также и у насъ въ Россіи.

При буреніи артезіанскихъ колодцевъ наблюдались весьма интересныя явленія, наглядно подтверждающія то основное положеніе въ ученіи объ источникахъ, что всѣ подземныя воды питаются атмосферными осадками и что артезіанскіе потоки имѣютъ свободное движеніе даже на значительныхъ глубинахъ. Такъ, при буреніи въ Турѣ 1830 г. изъ нижнемѣловыхъ пластовъ забилъ сильный фонтанъ, который съ глубины 110 метр. вынесъ много песку, стеблей и корней растеній и даже цѣльныя раковины: прѣсноводныя—Planorbis marginatus и наземныя—Helix ga-

tundata и H. striata. Между растеніями оказались вѣтви терновника въ нѣсколько дюймовъ длиною и стебли болотныхъ растеній съ корнями и сѣменами, сохранившими еще свою свѣжесть, напр., Galium uliginozum, которое, по мнѣнію Дюжардэна [60]) принесено изъ долинъ Оверни въ 30 миляхъ отъ Тура и пробыло въ водѣ около 3—4 мѣсяцевъ. Изъ скважины Римке, у Бохума въ Вестфаліи, вода съ глубины 45 м. выбросило множество маленькихъ рыбокъ отъ 8 до 10 сант. длиною, очевидно попавшихъ въ подземный потокъ изъ рѣки за 10—20 километровъ отъ колодца. Подобныя же явленія часто наблюдаются въ артезіанскихъ колодцахъ Сахары, особенно въ области Урляна въ Уэдъ-рирѣ [61]), гдѣ вода выбрасываетъ изъ скважинъ живыхъ животныхъ: рыбокъ, рачковъ и моллюсковъ, напр., въ колодцѣ Марье, глубиною 80,35 мет., діаметромъ 0,16 м., въ Сиди-Амронъ, глубиною 81,07 м. діаметромъ 0,12 и въ другихъ, всего въ 39 артезіанскихъ колодцахъ, замѣчено было выбрасываніе моллюсковъ: Melanopsis Maroccana, Amnicola Saharica, Cardiam edule, Car. saharicum, Helix pyramidata и пр., всего около 26 видовъ; краббы встрѣчались только въ трехъ скважинахъ и принадлежали рѣчному виду Telphusa fluviatilis; рыбы: Cypriodon cabaritumes, Hemichromis sahara, Hemichromis Rollandi, Chromis Zillei и Chromis Desfontainei. Во всѣхъ этихъ случаяхъ, очевидно, вода проникала съ поверхности на значительную глубину не посредствомъ простой инфильтраціи, а протекала свободно по готовымъ подземнымъ каналамъ. Съ другой стороны, нахожденіе рѣчныхъ, озерныхъ и болотныхъ формъ животныхъ и растеній свидѣтельствуетъ также, что не только грунтовыя, какъ мы видѣли выше, но и артезіанскія воды въ нѣкоторыхъ случахъ питаются озерами и рѣками. Такъ, напр., по мнѣнію Кейльгака [62]), извѣстная катастрофа при проведеніи колодца въ Шнейдемюлѣ, обусловливалась сильнымъ подземнымъ потокомъ, который питается въ озерахъ, залегающихъ на высотѣ 130—170 м. Прибалтійскаго хребта (т. наз. baltischen Höhenrücken), откуда они могутъ направляться только къ югу, постепенно углубляясь подъ водонепроницаемыя породы и достигая Шнейдемюля, лежащаго на высотѣ 10 м. Катастрофа съ колодцемъ въ Брянскомъ арсеналѣ, кажется, зависѣла отъ чисто техническихъ ошибокъ.

Иногда буреніе артезіанскихъ колодцевъ производится съ совершенно противоположною цѣлью, т. е. не для полученія воды, а для отвода ея съ поверхности, напр., въ окрестностяхъ Марселя, болотистая равнина обусловливалась глинистою почвою, прикрывавшею трещиноватые известняки. Пробуривъ водонепроницаемую ветхнюю глину въ нѣсколькихъ мѣстахъ, спустили по скважинамъ болотную воду, которая по трещинамъ известняка ушла внизъ и дала источники въ морѣ. Такимъ способомъ болота Марселя превращены были въ культурныя поля. Подобное же явленіе наблюдалось при буреніи Московской скважины на Яузскомъ бульварѣ; на нѣкоторой глубинѣ, именно при проходѣ буровою скважиною юрскихъ глинъ, вся вода, задерживаемая ими, ушла внизъ по трещинамъ горнаго известняка [63]). Такіе колодцы, которые позволяютъ осушать мѣстность, называются отрицательными или поглощающими колодцами (puits obsorbants).

Наконецъ, буреніемъ скважинъ получаютъ не только прѣсные источ-

ники или спускаютъ верхнюю воду, но также добываютъ различные минеральные источники и нефть.

Артезіанская вода имѣетъ разнообразныя примѣненія; она употребляется не только для городскихъ водопроводовъ, и орошенія, но также какъ механическая сила для работы на фабрикахъ и заводахъ; наконецъ, при постоянной и часто высокою температурою ея, она служитъ для лечебныхъ ваннъ, для пользованія оранжерей и рыбоводныхъ прудовъ. Вслѣдствіе такого важнаго значенія артезіанскихъ колодцевъ, способныхъ вызвать жизнь и создать цвѣтущіе оазисы даже въ безводныхъ пустыняхъ, они получили широкое распространеніе въ различныхъ странахъ. Въ Азіи ихъ устраивали еще въ древнія времена, въ Европѣ начали устраивать ихъ съ XII ст., какъ выше упомянуто, а теперь они извѣстны повсюду въ Австраліи, Америкѣ и Африкѣ. Въ Соединенныхъ Штатахъ С. Америки ихъ насчитываютъ сотнями, напр., въ Дакота болѣе 100, въ Техасѣ около 100, въ Канзасѣ, Небраска и пр. Огромная площадь (около 1.350.000 кв. амер. миль), пустыннаго запада, такъ называемая Arid lands Соед. Шт. призвана къ жизни артезіанскими колодцами [64]). Въ Африкѣ они проводились въ Абиссиніи, Египтѣ, Сахарѣ, но особенно много въ Алжирѣ, гдѣ начали ихъ проводить въ 1855 г., по иниціативѣ генерала Дево (Desvaux), а въ 1860 г. было уже около 50 колодцевъ въ провинціи Константинъ, которые давали 36.000 литровъ въ минуту. Въ 1890 г. было уже всего 625 колодцевъ съ дебитомъ 240.000 литровъ въ минуту [65]). Общая длина буровыхъ скважинъ до 1882 г. была 22.780 метровъ и стоимость проведенія ихъ—3.897.724 франка; но, за то, въ нѣкоторыхъ округахъ населеніе увеличилось вдвое, напр., въ Уэдъ-рирѣ вмѣсто 6.672 человѣкъ въ 1856 г., въ 1880 было 12.727 человѣкъ; возникли даже новые оазисы, напр., вмѣсто 34 прежнихъ, нынѣ 37; число пальмовыхъ деревьевъ въ нихъ увеличилось на 128.000, такъ что теперь ихъ болѣе полумилліона (517.563).

У насъ въ Россіи буреніе артезіанскихъ колодцевъ началось еще въ XVI ст. въ Пермской и Новгородской губ. для добыванія соляныхъ разсоловъ, но затѣмъ было почти забыто и снова возникло только уже въ XIX ст.; одни изъ первыхъ колодцевъ проведены въ Старой Руссѣ: Царицынскій колодезь, глубиною 248 м., и Муравьевскій въ 115 м., оконченный въ 1839 г. и др.; они даютъ соленую воду, служившую прежде для выварки соли, а теперь для лечебныхъ цѣлей; она выходитъ фонтаномъ изъ девонскихъ осадковъ, заполняющихъ плоскую мульду въ кембро-салурійскихъ пластахъ между деревнями Вельсы на Волховѣ и Куницею [66]). Затѣмъ устроены были колодцы въ Ревелѣ въ 1842 г., С.-Петербургѣ въ 1861 г., въ Москвѣ въ 1867 г., но въ послѣднее время (15—20 лѣтъ) ихъ проводятъ множество, особенно на югѣ Россіи, такъ напр, въ одной Таврической губ., ихъ уже болѣе 200 [67]). Площадь Европейской Россіи, за исключеніемъ разумѣется горныхъ окраинъ, вообще мало благопріятна для полученія артезіанской, особенно самоистекающей воды, во 1-хъ, потому, что дислокація породъ проявляется въ ней весьма слабо; большая часть породъ залегаетъ горизонтально или только съ небольшимъ паденіемъ, а во 2-хъ, потому, что на поверхности русской равнины разность уровней рѣдко колеблется въ предѣлахъ бо-

лѣе 80—100 метр. При такихъ условіяхъ не могутъ образоваться подземные потоки съ сильнымъ напоромъ, которые могли бы дать самоистекающіе колодцы; а нѣкоторыя мѣстности, повидимому, совершенно безнадежны въ этомъ отношеніи, напр., многіе крупные водораздѣлы: Валдай, Тульско-Орловско-Воронежскія высоты, большая часть площадей Тамбовской, Пензенской, Саратовской губ. у Заволжья и др. Лучшій знатокъ условій артезіанскихъ водъ въ русской равнинѣ С. Н. Никитинъ, уже много лѣтъ собирающій данныя по буровымъ работамъ и располагающій огромнымъ матеріаломъ, приходитъ къ слѣдующимъ общимъ выводамъ о положеніи артезіанскихъ водъ въ Россіи [68]).

1) Нѣтъ никакихъ основаній искать и надѣяться получить артезіанскую воду, не только самоистекающую, но и возможную для выгодной эксплоатаціи откачкою, на главныхъ водораздѣлахъ, раздѣляющихъ крупные рѣчные бассейны.

2) Наиболѣе удачныя скважины пріурочены къ рѣчнымъ долинамъ; на ровныхъ же, междурѣчныхъ площадяхъ степи можно при благопріятныхъ мѣстныхъ условіяхъ имѣть артезіанскую воду только несамоистекающую.

3) Вообще говоря, въ громадномъ большинствѣ мѣстностей мы не имѣемъ никакихъ основаній разсчитывать въ средней Россіи получить самоистекающую воду на ровныхъ площадяхъ, превышающихъ 70 саж. (около 147 мет.) абсолютной высоты. Значеніе этого вывода выступаетъ особенно рельефно, если вспомнить, что абсолютныя высоты большей части средней Россіи (внѣ рѣчныхъ долинъ) колеблется въ предѣлахъ отъ 60 до 120 саж. (126—252 м.). Только въ нѣкоторомъ, очень ограниченномъ числѣ долинъ, но не водораздѣльныхъ площадей, подъемъ артезіанскихъ водъ превышаетъ означенный предѣлъ. Наибольшей высоты—90 саж. (168 саж.) достигаетъ вода въ артезіанскихъ скважинахъ глубокой долины Десны у г. Брянска, вслѣдствіе исключительной близости водораздѣльныхъ площадей питанія, достигающихъ 120 саж. (252 м.) высоты. Точно также артезіанскіе воды нѣкоторыхъ глубокихъ долинъ Симбирской губ., окаймленныхъ высокими холмами третичныхъ, водопоглощающихъ песковъ, достигаютъ высоты 80 саж. (168 м.)

4) Громадное большинство скважинъ, въ томъ числѣ всѣ скважины средней, юго-восточной и южной Россіи, поднимаютъ воду на высоту значительно ниже 10 саж. надъ уровнемъ главной рѣки данной мѣстности. Только, находящіяся въ исключительно благопріятныхъ условіяхъ, скважины Брянска поднимаютъ воду на высоту 15 саж. надъ рѣкою, а скважины котловины озера Ильменя до 13 саж.

5) Наивысшій предѣлъ возможности выгоднаго пользованія артезіанскими водами внѣ рѣчныхъ долинъ, при условіи употребленія всасывающихъ паровыхъ или вѣтряныхъ двигателей, почти нигдѣ не превышаетъ абсолютную высоту 90 саж.; во многихъ же случаяхъ высота эта значительно ниже.

Артезіанскіе воды у насъ находятъ примѣненіе преимущественно на фабрикахъ и заводахъ и, отчасти, для водоснабженія небольшихъ городовъ; но, къ сожалѣнію, очень мало для сельскохозяйственнаго орошенія, потому что рѣдко удается получить ихъ на водораздѣлахъ, а долины не

нуждаются въ орошеніи. Важнѣйшій недостатокъ, дѣлающій наши артезіанскія воды мало пригодными не только для орошенія, но и во многихъ отрасляхъ промышленности — это ихъ химическій составъ. Между ними не только преобладаютъ воды жесткія, выше предѣла жесткости, допускаемой для употребленія внутрь, но часто соленыя, содержащія значительное количество хлористыхъ и особенно вредныхъ сѣрнокислыхъ солей щелочей и щелочныхъ земель; чѣмъ глубже онѣ, чѣмъ съ болѣе отдаленныхъ площадей они собираются къ данной скважинѣ, тѣмъ болѣе онѣ насыщаются различными солями. Наиболѣе солеными являются артезіанскія воды, которыя проходятъ черезъ толщи соленосныхъ породъ, напр., въ Старой Руссѣ, Тотьмѣ, Соликамскѣ и пр. Въ Петербургѣ, на дворѣ экспедиціи заготовленія Государственныхъ бумагъ, въ колодцѣ (глуб. около 190 м.) минерализація воды съ углубленіемъ увеличивается: отъ 1,14 ч. на 1000 ч. воды въ верхнемъ слоѣ до 4 ч. въ нижнемъ; при чемъ, кромѣ главной составной части—хлористаго натрія, находятся хлористыя и углекислыя соли кальція, магнія и желѣза [69]). Самый глубокій колодезь въ Россіи находится въ степной части Крыма у деревни Айваръ — 373½ саж. (783 м.), но, къ сожалѣнію, онъ не даетъ воды, такъ какъ не доведенъ до мѣловыхъ зеленыхъ песчаниковъ, изъ которыхъ Г. Д. Романовскій [70]) предполагалъ, и вполнѣ основательно, получить воду.

Разсмотримъ подробнѣе нѣкоторые изъ русскихъ колодцевъ. Въ Петербургѣ первый колодезь былъ заложенъ, по предложенію горнаго инженера академика Г. П. Гельмерсена, въ 1861 г. на дворѣ зданія Экспедиціи Заготовленія Государственныхъ Бумагъ и оконченъ по настоянію и подъ руководствомъ горнаго инженера профессора Г. Д. Романовскаго. Колодезь этотъ, глубиною 658 ф. 1 д., въ настоящее время самый большой, какъ по глубинѣ, такъ и особенно по количеству воды, изъ всѣхъ другихъ колодцевъ, которые въ послѣднее время, по готовому примѣру, стали проводиться какъ въ Петербургѣ, такъ и въ окрестностяхъ его. Колодезь Экспедиціи, впервые рѣшивъ вопросъ объ артезіанской водѣ въ Петербургѣ и качествахъ ея, опредѣлилъ вмѣстѣ съ тѣмъ толщину кембрійскихъ осадковъ около 600 ф. и залеганіе ихъ на финляндскихъ гнейсо-гранитахъ. Осадки эти имѣютъ небольшое паденіе къ югу (см. т. I. фиг. 191) и прикрываются наносами долины Невы, которая, расширяясь мѣстами до 40 вер., ограничивается съ сѣвера Парголовскими высотами, а съ юга Царскосельскими, состоящими изъ силлурійскихъ известняковъ. Буреніе доказало, что подъ Петербургомъ три водоносныхъ слоя. Верхній, съ чистою прѣсною водою, встрѣченъ былъ на границѣ соприкосновенія плывучихъ наносныхъ песковъ съ синею кембрійскою глиною на глубинѣ 88 ф. Второй—горизонтъ изъ сѣраго песчаника съ зернами шпатоватаго желѣзняка, далъ небольшой потокъ слабой минеральной воды съ глубины 388 ф. Третій — горизонтъ изъ бѣлаго крупнозернистаго кварцеваго песчаника доставилъ громадную струю солоноватой воды съ глубины 517½ ф., количество которой съ глубины 609 и 638 ф. достигло 300.000 ведеръ въ сутки, при первоначальномъ діаметрѣ трубы въ 10½ д., но теперь, при діаметрѣ въ 6 д., даетъ 250.000 ведеръ въ сутки съ температурою 11,2° Ц. Минерализація воды увеличивается съ углубленіемъ, а именно, вода перваго горизонта содержитъ на 1.000 ч.—1,14 ч. минеральныхъ веществъ, во второмъ—2,23, а въ самыхъ нижнихъ—4 ч. Главною составною частью является $NaCl$ до 20% въ верхнемъ и до 80% въ нижнемъ горизонтѣ колодца Экспедиціи Заготовленія Государственныхъ Бумагъ, а въ колодцѣ Воронежскихъ бань—до 81%; кромѣ того, находится до 7% $CaCl_2$ и $MgCl_2$ и около 6% углекислыхъ солей: $CaCO_3$, $MgCO_3$, $FeCO_3$. Въ настоящее время въ С.-Петербургѣ и окрестностяхъ проведено уже нѣсколько колодцевъ, находящихся въ такихъ же геологическихъ условіяхъ, какъ и первый.

Въ Москвѣ первый колодезь заложенъ былъ въ 1867 г. въ верхней части Яузскаго бульвара и доведенъ до глубины 453 м. (216 саж.), на которой сломался буръ въ 1871 г., такъ что онъ не доведенъ до предполагавшейся глубины; вода не доходитъ 6 саж. до устья скважины, хотя при откачкѣ получается около 200.000 ведеръ въ сутки. Колодезь этотъ заложенъ по иниціативѣ горнаго инженера В. А. Бабина [71]) на основаніи геологическаго разрѣза Г. Д. Романовскаго [72]), который предполагалъ получить воду изъ девонскихъ осадковъ, но такъ какъ онъ не дове-

день до предполагавшагося горизонта, то вѣроятно полученная въ немъ вода истекаетъ изъ горныхъ известняковъ каменноугольной системы, тѣмъ болѣе, что въ настоящее время болѣе 20 колодцевъ въ Москвѣ утилизируютъ артезіанскія воды каменноугольныхъ известняковъ. С. Н. Никитинъ [73]), подробно изучавшій какъ геологическое строеніе подмосковнаго края, такъ и условія артезіанскихъ водъ подъ Москвою, приходитъ къ слѣдующимъ общимъ выводамъ, которые могутъ служить для уясненія вопроса о происхожденіи воды въ артезіанскихъ колодцахъ подъ Москвою.

1.—Верхній отдѣлъ известняковъ каменноугольной системы, внѣ всякаго сомнѣнія, заключаетъ въ себѣ нѣсколько очень мощныхъ водоносныхъ горизонтовъ, частію сообщающихся между собою, частію же обладающихъ совершенно различнымъ напоромъ и различнымъ составомъ воды.

2.—Ни одна скважина, заложенная въ предѣлахъ площади 57 листа (10-ти верстной геологической карты Россіи) выше 130 метр. абсолютной высоты, не дала самоистекающей каменноугольной воды, включая и первый или главный артезіанскій колодезь, прошедшій не только всѣ каменноугольные слои, но и значительную толщу девонскихъ отложеній.

3.—Высота, до которой поднимается собственнымъ напоромъ каменноугольная артезіанская вода, колеблется между + 130 (близъ Твери) и + 125 м. (въ Богородскомъ уѣздѣ). Подъ Москвою же въ области р. Яузы артезіанская вода поднимается до + 128 и + 129 м. высоты. Между тѣмъ, въ Замоскворѣчьѣ (т. е. южной части города) въ предѣлахъ долины р. Москвы скважины хотя и даютъ обильную воду, но собственный напоръ ея поднимаетъ ее только до высоты 118—120 м.

4.—Абсолютная глубина изученныхъ водоносныхъ горизонтовъ колеблется въ предѣлахъ + 112 и + 118 м. для перваго, болѣе слабаго горизонта, а для другого, болѣе мощнаго—въ предѣлахъ + 65 и + 35 м.

5.—Откачкою изъ скважинъ, прошедшихъ оба эти горизонта, по недалющихъ самоистекающей струи по высотѣ заложенія скважинъ, получалось количество воды, которое можно измѣрять десятками и даже сотнями тысячъ ведеръ въ сутки, смотря по діаметру скважины и пониженію уровня трубы.

6.—Относительно низкое положеніе уровня артезіанской воды въ скважинахъ Замоскворѣчья, по отношенію къ скважинамъ Яузы и сѣверной части г. Москвы, повидимому, объясняется нѣкоторымъ дренажемъ, который производитъ р. Москва, прорѣзывающая значительную толщу известняковъ ниже 116 м.

7.—Скважины, находящіяся въ Москвѣ близко другъ къ другу, оказываютъ взаимно существенное вліяніе; усиленное откачиваніе въ одной ведетъ къ большему или меньшему оскудѣнію сосѣднихъ.

8.—Артезіанская вода каменноугольныхъ известняковъ имѣетъ на различныхъ горизонтахъ одной и той же скважины и въ различныхъ скважинахъ различный химическій составъ, но, вообще, отличается весьма малымъ содержаніемъ углекислыхъ солей.

9.—Лучшая по качеству, вполнѣ пригодная для самаго разнообразнаго употребленія и весьма значительная по количеству, вода получалась не изъ самыхъ глубокихъ скважинъ; напротивъ, съ углубленіемъ качество воды ухудшалось возрастаніемъ минерализаціи вообще и особенно увеличеніемъ сѣрнокислыхъ соединеній.

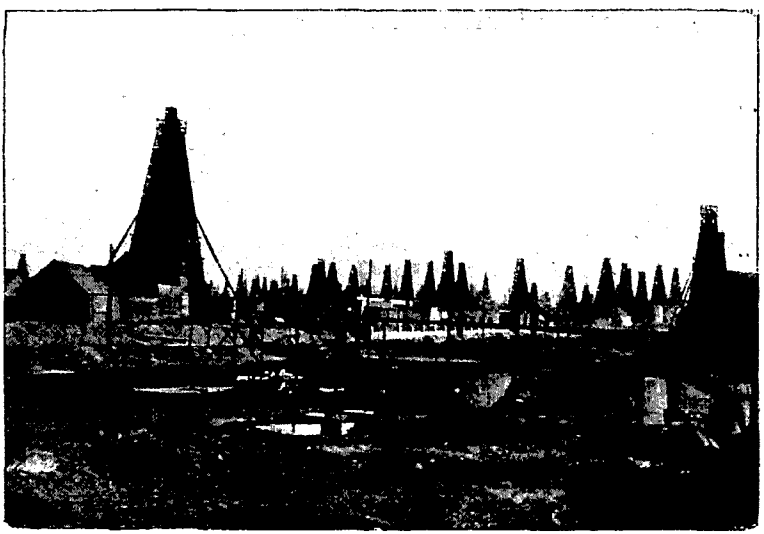
10.—Постоянная температура артезіанскихъ водъ верхняго каменноугольнаго известняка колеблется въ различныхъ источникахъ отъ 7,5° до 10° Ц.

Въ другихъ частяхъ средней Россіи артезіанскія воды хотя и получаются мѣстами, напр., въ Брянскѣ [74]) изъ девонскихъ известняковъ, наСамарской лукѣ [75]) изъ каменноугольныхъ горныхъ известняковъ, въ Казани [76]) на рубежѣ послѣтретичныхъ и пермскихъ породъ съ глубины 210 ф. и др., но вообще условія полученія артезіанскихъ водъ въ средней и юго-восточной Россіи нельзя считать благопріятными; при заложеніи артезіанскихъ колодцевъ кромѣ геологическаго строенія необходимо еще принимать во вниманіе абсолютную высоту, какъ указано выше (см. стр. 276) и что впервые опредѣлено С. Н. Никитинымъ [77]). Что касается южной Россіи, то она находится въ болѣе благопріятныхъ условіяхъ по отношенію къ артезіанской водѣ, хотя тоже далеко не повсемѣстно. Такъ, вся южно-русская кристаллическая полоса, особенно юго-восточная часть ея, образующая Пріазовскую возвышенность (Бердянскій и Маріупольскій уѣзды), почти лишена артезіанской воды; даже въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ кристаллическія породы прикрыты болѣе или менѣе мощною толщею третичныхъ осадковъ, колодцы не удаются или же не даютъ самоистекающей струи; напр., въ низовьяхъ р. Конки колодцы оказались неудачными, а въ г. Орѣховѣ, лежащемъ выше въ глубокой долинѣ Конки, вода хотя получилась изъ палеогеновыхъ слоевъ, но до поверхности не дошла; также неблагопріятны водораздѣльныя площади между бассейнами Днѣпра и Буга, дренированныя множествомъ рѣчекъ [78]) (сѣв. ч. Херсонской, южн. ч. Кіевской, сѣв.-вост. ч. Подольской и вост. ч. Волынской губ.).

Къ сѣверу отъ кристаллической полосы условія болѣе благопріятныя, особенно въ наиболѣе пониженныхъ частяхъ Екатеринославской (Новомосковскій, Павлоградскій) и Полтавской губ. (Кременчугскій, Золотоношскій, Переяславскій, Кобилякскій и Полтавскій уѣзды), гдѣ мѣстами получена артезіанская вода изъ фосфоритовыхъ песковъ нижняго палеогена, напр., въ имѣніи Соковскаго Кобелякскаго уѣзда [79]). Въ Харьковѣ [80]) обильная вода получена изъ песковъ, подстилающихъ бѣлый мѣлъ, съ глубины около 300 саж. Такъ какъ, по мнѣнію Гурова [81]), Харьковская скважина доказываетъ существованіе глубокой мульды въ домѣловыхъ слояхъ, простирающейся параллельно Донецкому кряжу (*NW — SO*), то область по Донцу можетъ считается благопріятною для буренія артезіанскихъ колодцевъ. Что же касается Донецкаго каменноугольнаго бассейна, то вслѣдствіи сильной и сложной дислокаціи его, трудно сказать что нибудь опредѣленное; но если и возможны артезіанскіе колодцы въ немъ, то, во всякомъ случаѣ, необильные водою, вслѣдствіе незначительности питающихъ областей отдѣльныхъ мульдъ. Пониженная область къ югу отъ Донецкаго кряжа и къ востоку отъ Пріазовской возвышенности гораздо благопріятнѣе для артезіанскаго буренія.

Къ югу отъ кристаллической полосы южной Россіи наиболѣе надежную область представляетъ глубокая мульда р. Молочной, состоящая изъ водоносныхъ слоевъ міоценоваго и палеогеноваго возраста, имѣющихъ обширную область питанія. Изъ колодцевъ этого района самый обильный находится въ г. Мелитополѣ, дающій до 50.000 ведеръ въ сутки, остальные же не болѣе 10.000 ведеръ; также благопріятна, пониженная полоса, прилегающая къ сѣверному берегу Азовскаго моря, гдѣ хотя открыты колодцы (напр. въ Бердянскѣ и Ново-Георгіевскѣ), въ міоценовыхъ слояхъ, но, къ сожалѣнію, съ минерализованною водою, негодною къ употребленію, что, впрочемъ, въ колодцахъ этого района встрѣчается нерѣдко. Къ благопріятнымъ районамъ принадлежатъ также Херсонская губ., южная часть Бессарабіи, высотою до 40—50 саж., и особенно степная часть Крыма. Въ Крыму артезіанская вода находится на нѣсколькихъ горизонтахъ: въ понтическихъ, сарматскихъ и мѣловыхъ слояхъ. Наиболѣе благопріятными мѣстностями считаются, по мнѣнію проф. Головкинскаго [82]), низменность къ югу отъ Сиваша и Евпаторійская. Въ первой колодцы питаются понтическимъ горизонтомъ и даютъ немного воды: отъ 2.000 до 4.500 ведеръ въ сутки и только въ колодцѣ Авузъ-Кенегезъ количество воды доходитъ до 11.000 ведеръ; самоистекающую струю даютъ только колодцы, залегающіе въ пониженныхъ мѣстахъ, напр. Авузъ-Кенегезъ ($51^1/_2$ саж.), Шатилово (105 саж.), Шейхъ-Эли (90 саж.). Въ Сакской мульдѣ или въ низменности Евпаторійскаго уѣзда колодцы питаются сарматскимъ горизонтомъ и даютъ больше воды, напр., колодезь Сакской грязелѣчебницы ($70^1/_2$ саж. глубиною) даетъ 47.000 ведеръ въ сутки съ глубины 36—40 саж. Но самымъ лучшимъ горизонтомъ въ Крыму какъ по количеству, такъ и по качеству воды, считается мѣловой, т. е. нижне-мѣловые песчаники и конгломераты неокомскаго яруса, но онъ трудно достижимъ въ степной части Крыма, какъ показала Айбарская скважина (373 саж. глубиною); но его, вѣроятно, легко эксплуатировать въ глубокихъ долинахъ предгорій; онъ представляетъ надежный запасъ для будущаго времени, такъ какъ въ настоящее онъ еще совсѣмъ не тронутъ. Указываютъ также артезіанскую воду и въ юрскихъ известнякахъ, но очень слабую, напр., въ колодцѣ Теренапръ ($13^3/_4$ саж. глубиною). Неблагопріятными мѣстностями въ Крыму считаются Тарханкутская возвышенность и Керченскій полуостровъ. Въ настоящее время въ Таврической губ. находится наибольшее количество колодцевъ, чѣмъ гдѣ-либо въ Россіи. Еще въ 1895 году проф. Головкинскій насчиталъ до 264 буровыхъ скважинъ, заложенныхъ въ Таврической губерніи съ цѣлью полученія артезіанской воды; изъ нихъ 100 скважинъ изливаютъ воду на поверхность; 89 скважинъ имѣютъ уровень воды не глубже 10 саж. и эксплуатируются откачкой; въ 11 скважинахъ вода стоитъ глубже 10 саж. и не добывается; 14 скважинъ безводныхъ и о 50 скважинахъ нѣтъ опредѣленныхъ свѣдѣній. Общая глубина всѣхъ производительныхъ скважинъ = 8.288 саж., а стоимость ихъ 314.402 руб.; средняя стоимость одной сажени буренія = 39 руб. 22 к.; общее количество воды = 2.875.472 ведра въ сутки. Кромѣ того, пустыя или непроизводительныя скважины стоили около 200.000 руб., такъ что всего въ Таврической губ. затрачено около $^1/_2$ милліона на буреніе. Наблюденія надъ Таврическими колодцами показываютъ, что количество воды въ нихъ не только колеблется, но, повидимому, уменьшается; такъ, напр., въ первой Сакской скважинѣ у Земской грязелечебницы въ 1890 г. напоръ воды былъ такой, что она поднималась надъ поверхностью почвы на 0,65 саж., а въ 1895 г. онъ уменьшился до 0,47 саж.; притокъ на высотѣ 0,55 саж. въ 1890 г. былъ 18.825 ведеръ въ сутки, въ 1891 г. — 18.439 ведеръ, въ 1895 г. — 3.200 ведеръ, а по временамъ совсѣмъ прекращался. Въ Евпаторіи, въ колодцѣ Дувана напоръ былъ болѣе 0,30 саж., но и при 0,15 саж. давалъ въ 1893 г.—12.000 ведеръ, а въ 1895 г. ничего; такъ и въ другихъ колодцахъ Евпаторіи. Въ одномъ колодцѣ Чеботарки

притокъ въ три дня уменьшился на 3.000 ведеръ и пр. Всѣ эти колебанія Головкинскій приписываетъ во 1-хъ измѣненію атмосфернаго давленія, во 2-хъ, нарушенію и постепенному возстановленію равновѣсія между приходомъ и расходомъ артезіанской воды, что составляетъ явленіе преходящее и, въ 3-хъ, взаимному вліянію старыхъ и новыхъ скважинъ подобно тому, какъ замѣчено на Московскихъ и Парижскихъ скважинахъ (см. выше стр. 273). Все это, по мнѣнію Головкянскаго, не указываетъ на истощеніе подземныхъ водъ, потому что количество воды, получаемое изъ артезіанскихъ колодцевъ (около 3.000.000 ведеръ въ сутки или 1.300.000 куб. саж. въ годъ), составляетъ только ничтожную долю $\left(\text{около } \frac{1}{1043}\right)$ всего количества осадковъ, выпадающихъ на площадь Таврической губ. (1.428 милл. куб. саж., при допущеніи 304 милл. на площадь 40.000 кв. верстъ) въ теченіе года; слѣдовательно, пока боятся истощенія нельзя. Но, съ другой стороны, съ возрастаніемъ числа колодцевъ и при небережливомъ пользованіи водою оно рано или поздно наступитъ и



Фиг. 194.—Буровыя башни въ Балаханахъ близъ г. Баку.

выразится прежде всего уменьшеніемъ напора настолько, что многіе колодцы невозможно будетъ эксплуатировать, что равносильно потерѣ ихъ. Въ виду этого необходимо принимать тѣ мѣры, которыя указаны выше (см. стр. 273), пока еще не поздно.

На Кавказѣ артезіанское буреніе примѣняется, главнымъ образомъ, для полученія нефти въ Грозномъ, на Таманскомъ и Апшеронскомъ полуостровахъ. Въ окрестностяхъ Баку, иногда на небольшихъ площадяхъ, напр., въ Балаханахъ и Биби-Эйбатѣ, проведено тысячи буровыхъ скважинъ, такъ что буровыя башни издали кажутся лѣсомъ (фиг. 194). Многія изъ этихъ скважинъ доставляли громадные фонтаны нефти съ водою, которые сначала, т. е. при открытіи скважинъ, дѣйствовали съ большимъ напоромъ, но затѣмъ, по мѣрѣ выдѣленія газовъ, постепенно ослабѣвали и совершенно прекращались; уровень нефти при этомъ настолько понижался, что добываніе ея производилось только вычерпываніемъ или тартаніемъ. Чѣмъ больше проводилось скважинъ на одинъ и тотъ же горизонтъ, тѣмъ фонтаны появлялись рѣже, а въ настоящее время, если они и получаются, то изъ другихъ, болѣе нижнихъ горизонтовъ.

Качества воды источниковъ и колодцевъ весьма разнообразны. Хотя многіе источники даютъ прекрасную прѣсную воду, годную для всякаго употребленія, но за то вода другихъ по своимъ свойствамъ рѣзко отличается отъ атмосферной. Циркулируя болѣе или менѣе продолжительное время по разнообразнымъ породамъ, на различной глубинѣ, подземная вода получаетъ особый составъ, температуру и пр. и выходитъ на по-

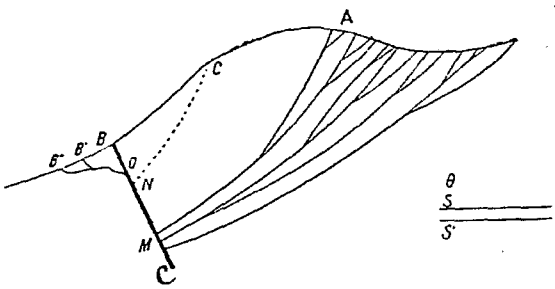
верхность совершенно измѣненною. Степень этого измѣненія, разумѣется, зависитъ отъ условій циркуляціи; чѣмъ глубже она залегаетъ, тѣмъ выше температура ея, чѣмъ больше она соприкасается съ легко растворимыми породами, тѣмъ сильнѣе она насыщается различными минеральными солями и пр. Всѣ источники, дающіе такую измѣненную воду, въ зависимости отъ температуры и состава называются термальными, минеральными или термоминеральными.

Термоминеральные источники.

Подземныя воды пріобрѣтаютъ разнообразныя физическія и химическія свойства, между которыми первое мѣсто занимаютъ температура и составъ ихъ. Въ зависимости отъ температуры источники раздѣляются на три группы: 1)—нормальные или изотермическіе, температура которыхъ равна средней годовой температурѣ воздуха въ данномъ мѣстѣ; они залегаютъ на небольшой глубинѣ, обыкновенно вблизи слоя постоянной температуры. 2)—Гипотермы или гипотермическіе источники, температура которыхъ ниже средней годовой температуры даннаго мѣста; они берутъ начало въ высокихъ холодныхъ областяхъ, и выходятъ въ низовьяхъ долинъ; слѣдовательно, принадлежатъ къ нисходящимъ источникамъ и дѣйствуютъ большею частью только лѣтомъ, напр., источники, питающіеся Даубенскимъ озеромъ съ $t = 3^1/_2 — 4^1/_2°$ Ц., Либфрауэнбрунненъ, источники въ долинѣ Иссыкъ въ Заилійскомъ Алатау съ $t = 5°$ Ц., при средней годовой этой мѣстности около 12° Ц. и др. 3)—Термы или гипертермическіе источники, температура которыхъ выше средней годовой даннаго мѣста. Термы, въ противоположность гипотермамъ, выходятъ большею частью вблизи вулканическихъ очаговъ или изъ большой глубины и принадлежатъ къ восходящимъ источникамъ. Термы раздѣляются на мѣстныя или относительныя и абсолютныя. Первыя имѣютъ температуру выше средней годовой даннаго мѣста, а вторыя—выше максимальной средней годовой у экватора, т. е. выше + 30° Ц. Термы, несодержащіе въ растворѣ минеральныхъ солей или содержащія очень мало, называются индиферентными; въ противномъ случаѣ называются минеральными или термо-минеральными источниками. Мѣстныя термы, въ большинствѣ случаевъ, почти не отличаются отъ обыкновенныхъ источниковъ и рѣдко имѣютъ какое-либо спеціальное примѣненіе; тогда какъ абсолютныя термы, и особенно термо-минеральные источники, широко примѣняются въ медицинѣ (бальнеотерапія, бальнеологія), почему и называются также цѣлебными или лечебными источниками. Нахожденіе ихъ тѣсно связано, съ одной стороны, съ дѣйствующими и потухшими вулканами, а съ другой съ наиболѣе крупными трещинами дизъюнктивной дислокаціи и очень мало зависитъ отъ сочетанія водопроницаемыхъ и водонепроницаемыхъ породъ; они встрѣчаются подъ всѣми широтами, отъ полюса до экватора, и на различной высотѣ — до 3000 — 4000 м., напр., такъ наз. Aqua fibia (t около 30° Ц.) находится на высотѣ 3700 м. въ Кордильерахъ Ю. Америки. Ниже мы подробнѣе разсмотримъ географическое распредѣленіе термальныхъ и минеральныхъ источниковъ, теперь же приведемъ только нѣкоторые примѣры для доказательства связи ихъ

съ вулканами и дизъюнктивною дислокаціею. Въ областяхъ дѣйствующихъ вулкановъ они встрѣчаются всегда, напр., гейзеры Исландіи, Новой Зеландіи (см. выше стр. 255—263) и пр., но и потухшихъ ихъ также много, напр., въ Центральномъ плато Франціи, гдѣ вулканы дѣйствовали еще въ третичномъ періодѣ; въ Богеміи по такъ называемой термальной трещинѣ, по которой когда то происходили изверженія базальтовъ и фонолитовъ. Но иногда термы находятся вдали отъ вулкановъ, по трещинамъ разломовъ земной коры, напр., Гаммамъ-Мескутинъ въ Алжирѣ, Батъ въ Англіи, Команчиллясъ въ Гванахуато въ Мексикѣ и др.; причемъ число термъ тѣмъ больше, а температура ихъ выше, чѣмъ разломы новѣе и чѣмъ они интенсивнѣе; такъ, термы Аппалахскихъ горъ имѣютъ температуру ниже, нежели термы болѣе новыхъ Скалистыхъ горъ въ Сѣв. Америкѣ [84]).

Температура теплыхъ источниковъ зависитъ отъ различныхъ причинъ: прежде всего, отъ глубины залеганія ихъ, т. е. отъ геотермическаго грандіента (см. т. I гл. II), отъ близости вулканическихъ очаговъ, отъ возможности мѣстныхъ испареній или конденсацій пара на глубинѣ, причемъ выдѣляется или поглощается теплота, отъ охлаждающаго вліянія породъ, вмѣщающихъ источники, отъ интенсивности химическихъ реакцій, отъ подтека холодныхъ водъ, отъ охлажденія у поверхности, отъ холодныхъ инфильтрацій и пр. Выдѣлить или оцѣнить значеніе каждой изъ этихъ причинъ совершенно невозможно въ разныхъ частныхъ случаяхъ, но, несомнѣнно, что каждый термальный источникъ находится подъ совокупнымъ вліяніемъ нѣсколькихъ изъ этихъ причинъ, напр., положимъ, что вода по трещинамъ AM (фиг. 195) достигаетъ глубины M, гдѣ смѣшиваемая съ горячею водою, подходящею снизу по большой трещинѣ MC; она получаетъ соотвѣтственную температуру, допустимъ 50—60° Ц., и поднимается выше къ N, гдѣ она снова измѣняетъ температуру до 40° Ц. вслѣдствіе охлаждающаго вліянія породъ и подтека болѣе холодной воды по трещинѣ CN; далѣе отъ O струя развѣтвляется, и выходитъ на поверхность нѣсколькими источниками, изъ которыхъ B имѣетъ температуру болѣе высокую, нежели B' и B'', такъ какъ проходитъ кратчайшій путь и меньше подвергается охлажденію отъ поверхности, чѣмъ источники $B'B''$. Въ другихъ термахъ будетъ другое сочетаніе причинъ нагрѣванія. Но, во всякомъ случаѣ, уже изъ приведеннаго примѣра очевидно, что малѣйшее измѣненіе какой-либо причины должно вызвать колебаніе температуры въ термальныхъ источникахъ. Съ другой стороны, тотъ же примѣръ доказываетъ, что по температурѣ источника невозможно опредѣлять глубину его выхода, руководствуясь только однимъ геотермическимъ градіентомъ, да еще среднею величиною его, т. е. 33 м. на 1° Ц. Кромѣ того, температура многихъ источниковъ подвержена быстрымъ или мед-



Фиг. 195.— Примѣръ циркуляціи водъ термальнаго источника.

ленным, періодическимъ или единовременнымъ колебаніямъ въ зависимости или отъ притока внѣшнихъ водъ, или отъ землетрясеній, или отъ заполненія трещинъ осадками и пр., или, наконецъ, отъ какихъ-либо разработокъ, нарушающихъ естественный режимъ подземныхъ водъ. Такъ, напр., термы Теплица понизили свою температуру съ 49° Ц. до 46° Ц. послѣ прорыва воды въ шахтѣ Дёмингера у Дукса [85]). Нѣкоторыя термы измѣняли температуру послѣ землетрясеній, напр., въ Пиринеяхъ термы Баньеръ де Люшонъ настолько понижали температуру и такъ быстро, что это замѣчалось купающимися, тоже источники Сутиниско послѣ Аграмскаго землетрясенія; напротивъ, въ Казаточіолѣ, Бурбасѣ и Л'Аршамбо температура возвысилась послѣ землетрясенія [86]). Въ термахъ Аахена температура измѣнялась весьма неравномѣрно въ разныхъ источникахъ, а именно изъ 12 источниковъ въ 1881 г. въ 8 источникахъ температура понизилась, въ 3-хъ, напротивъ, увеличилась, а одинъ остался безъ измѣненія; но температура всѣхъ ихъ въ совокупности была ниже, нежели въ 1872 г. Въ источникахъ Котера колебанія температуры достигаютъ до ± 4° Ц.; а въ источникахъ Геркулесъ въ Мегодіи температура въ теченіе года колеблется отъ 17° до 41° Ц. [87]).

Въ слѣдующей таблицѣ показаны температуры нѣкоторыхъ важнѣйшихъ термъ какъ индиферентныхъ, такъ и минеральныхъ въ разныхъ странахъ.

Въ Россіи.

Горячеводскіе	Кавказъ	отъ 44 до 89°	Ц.
Пятигорскіе		„ 27 „ 51°	„
Пескупскіе		„ 41 „ 52,5°	„
Желѣзноводскіе		44,37°	„
Абасъ-Туманскіе		40°—48°	„
Рахмановскіе, Томской губ.		43°	„
Джелалъ-Абадскіе, въ Ферганѣ		40°	„
Иссыкъ-атынскіе		30—50°	„

Въ Германіи и Австро-Венгріи.

Аахенъ, Kaiserquelle	55°	Ц.
Буртшейдъ, Schertbadquelle	76°	„
Висбаденъ	69°	„
Баденъ-баденъ, Hauptquelle	68,63°	„
„ „ Höllenquelle	86,25°	„
Вильдбадъ	37,4°	„
Карлсбадъ, Sprudel	73,8°	„
„ другіе источники	49—63°	„
Гаштейнъ	25—49°	„
Mecadia, Herkulesbad	25—62,5°	„

Во Франціи.

Пломбьеръ, Вогезы	71°	Ц
Chaudesaigues въ Канталѣ	81°	„
Баньеръ де-Люшонъ	66°	„
Виши	52°	„
Бурбонъ ле Бэнъ	68°	„
Бурбуль, Пюи де-Домъ	52°	„
Экслебэнъ, (Aix-les-Bains) Савойя	45°	„

Въ Швейцаріи.

Баденъ, Ааргау	48°	Ц.
Лейкъ въ Валлисѣ, Lorenzquelle	51°	„
Шеффферсъ, Рагацъ	37,5°	„

Въ Англіи.

Батъ, въ Сомерсетѣ	40—48°	„

Въ Италіи, Испаніи и Португаліи.

Абано въ Евганейскихъ горахъ	84,5°	Ц.
Акви, Провинція Александрія	48—51°	„
Лукка въ Тосканѣ	54°	„
Кальдасъ де-Хавесъ, Португалія	51°	„
Альгама въ Гренадѣ	47°	„
Кальдасъ де-Монтъ-Бюи, у Барселоны	70°	„

Въ неевропейскихъ странахъ.

Гаммамъ-Мескутинъ, Алжиръ	78—95°	Ц.
Стимбатъ-шпрингъ, Ибаго въ С. Америкѣ	87,7°	„
Chichi-Mequilla, въ Мексикѣ	96,4°	„
Aquas calientas de los Trincheras, Венецуэла	96,9°	„
Банасъ у Квито въ Экуадорѣ	52°	„
Игабо, Люцанъ-Филиппины	56°	„
Гейзеры Исландіи, Н Зеландіи, С. Америки и пр.	82—100°	„
а на глубинѣ, какъ выше видно,	до 127°	„

Термальные источники выносятъ огромное количество тепла изъ нѣдръ земли на поверхность, гдѣ оно теряется большею частью непроизводительно. Количество этой теплоты можно выразить въ большихъ колоріяхъ (1000 колорій въ минуту, 423,5 киллограммометра) или въ тоннахъ каменнаго угля, необходимаго для поддержанія соотвѣтственной температуры даннаго источника; такъ, напр., источникъ Бурбонъ-Л'Аршамбо, съ дебитомъ 3133 куб. м. въ секунду и температурою 53°, даетъ 166,050 калорій въ секунду, что составляетъ 70.322 килогрм. или количество тепла, производимое 0,027 кил. угля, при теплопроизводительной способности его въ 6.000. Слѣдовательно, въ годъ нужно затратить 873 тонны угля, чтобы получить тоже количество тепла, которое даетъ источникъ Бурбонъ-Л'Аршамбо. Источникъ Neris даетъ тепло, равное 3.167 тоннъ, Вишп—652, Котере—1.254 тонны угля и т. д. Лонэ [88]) приводитъ интересную таблицу всѣхъ главныхъ термъ Франціи съ показаніемъ ихъ дебита и количества тепла, изъ которой видно, что общее количество тепла, доставляемое термами Франціи въ теченіи года составляетъ 1.168.455 большихъ колорій, соотвѣтствующихъ 100.000 тоннъ угля, т. е. почти 0,03 всего добываемаго во Франціи угля. Слѣдовательно, термальные источники не только имѣютъ важное значеніе въ терпевтическомъ отношеніи, но и представляютъ большое богатство въ видѣ запасовъ теплоты, которое можетъ эксплуатироваться впослѣдствіи при истощеніи каменноугольныхъ бассейновъ.

Кромѣ температуры, вода источниковъ, особенно минеральныхъ, отличается еще и другими физическими особенностями: во 1-хъ, различною прозрачностью и преломляемостью свѣта въ зависимости отъ примѣсей, иногда тончайшей мути, которая медленно осѣдаетъ, напр., въ источникахъ Бурбонъ Л'Аршамбо буроватая муть содержитъ марганецъ; во 2-хъ, особою мягкостью, бархатистостью (onctuozité), зависящей, вѣроятно, отъ содержанія органическихъ веществъ (водоросли, клѣтчатки), особенно барежина (получила названіе отъ источника Bagéges) или глэрина, представляющій продуктъ разложенія водорослей, прозябающихъ въ сѣрнистыхъ источникахъ и обладающихъ различною окраскою; также сульфурирія, муферъ и др.; въ 3-хъ, разнообразнымъ вкусомъ и запахомъ въ зависимости отъ солей, растворенныхъ въ водѣ; въ 4-хъ, различнымъ цвѣтомъ; въ 5-хъ, содержаніемъ растительныхъ и животныхъ организмовъ, какъ уже указано выше (см. стр. 274) относительно крупныхъ животныхъ, а также относительно водорослей сѣрнистыхъ водъ, въ которыхъ кромѣ того находятся, такъ наз., *сѣробактеріи*, вліяющія на составъ этихъ водъ; точно также въ желѣзистыхъ водахъ находятся особыя бактеріи, заключающія въ окружающихъ студенистыхъ сумкахъ зернышки окиси желѣза. Въ большинствѣ случаевъ бактеріи представляютъ случайную примѣсь при загрязненіи воды; въ 6-хъ, обладаютъ, повидимому, другимъ коэффиціентомъ

проводимости (въ 5—6 разъ больше) электрическаго тока, чѣмъ прѣсная вода и, кромѣ того, находясь подъ давленіемъ, вѣроятно, особо электризуются, но, къ сожалѣнію, объ электрическихъ свойствахъ минеральныхъ источниковъ до сихъ поръ еще мало извѣстно, хотя существуетъ уже нѣсколько попытокъ; такъ, напр., полагаютъ [89]), что нѣкоторыя минеральныя воды въ соприкосновеніи съ землею обнаруживаютъ отрицательное электричество, тогда какъ воды морей и рѣкъ напротивъ положительное; въ 7-хъ, другимъ удѣльнымъ вѣсомъ въ зависимости отъ состава и температуры; самыми тяжелыми водами считаются воды съ хлористыми солями съ у. в. до 1,0165, т. е. почти равнымъ уд. вѣсу морской воды Средиземнаго моря — 1,0285; затѣмъ слѣдуютъ воды съ углекислыми солями съ у. в. до 1,005 и сѣрнокислыми съ у. в. 1,0002; наконецъ, въ 8-хъ, источники отличаются составомъ, что составляютъ самую главную особенность ихъ, а потому разсмотримъ его подробнѣе.

Химическій составъ воды источниковъ еще болѣе разнообразенъ, чѣмъ температура и другія физическія свойства. Вода, циркулирующая болѣе или менѣе продолжительное время въ нѣдрахъ земли, всегда содержитъ въ растворѣ тѣ или другія соли, количество и качество которыхъ зависитъ прежде всего отъ характера породъ, а затѣмъ отъ продолжительности соприкосновенія съ ними или отъ скорости движенія, отъ температуры, давленія и пр., наконецъ, отъ содержанія въ водѣ кислорода, угольной кислоты и органическихъ веществъ, которые не только увеличиваютъ раствореніе, но и способствуютъ сложному, обмѣнному разложенію породъ, какъ это уже разсмотрѣно выше. Источники, содержащіе въ растворѣ большое количество солей называются минеральными, а если съ высокой температурой, то термо-минеральными. Собственно говоря, въ природѣ нѣтъ ни одного источника, который давалъ бы совершенно чистую воду, а потому рѣзкой границы между минеральными и прѣсными источниками не существуетъ или вполнѣ условная. Наиболѣе чистые источники, т. е. съ ничтожною минерализаціею, вытекаютъ изъ породъ стойкихъ или труднорастворимыхъ; напр., кварциты и нѣкоторые древніе сланцы; въ нихъ наблюдается содержаніе кремнезема и щелочей около 0,005%; но уже въ массивныхъ породахъ, каковы граниты, порфиры, базальты и пр., воды нерѣдко содержатъ хлористыя и углекислыя щелочи, соли закиси желѣза и пр., а больше всего минерализуются источники въ легкорастворимыхъ породахъ, каковы: известняки, гипсъ, каменная соль и пр. Въ однихъ и тѣхъ же породахъ минерализація происходитъ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ выше температура, давленіе, чѣмъ больше углекислоты въ водѣ и пр., словомъ, чѣмъ благопріятнѣе условія выщелачиванія породъ. Зависимость минеральныхъ источниковъ отъ вмѣщающихъ породъ доказывается не только сопоставленіемъ состава тѣхъ и другихъ, но и экспериментально; а именно искусственнымъ выщелачиваніемъ [90]) водой съ углекислотой подъ давленіемъ 2—3 атмосферъ различныхъ породъ, залегающихъ вблизи минеральныхъ источниковъ, напр., фонолитовъ Карлсбада и Билина, базальтовъ Маріенбада и Франценсбада, порфировъ Теплица, трахитовъ Глейхенберга и пр.; при этихъ опытахъ получались растворы, весьма близкіе по составу съ ближайшими минеральными источниками; такъ, изъ фонолитовъ Доннерберга у Билина полу-

чалась вода, подобная источнику St. Josephs-Sauerquelle, какъ видно изъ слѣдующихъ сравнительныхъ анализовъ Струве искусственной (I) и естественной воды. St. Josephs-Squ. (II), въ которыхъ количества солей показаны въ гр. на одинъ фунтъ воды.

	I.		II.
Углекислый кальцій	4,480	гр. въ фунт.	3,066.
Углекислый натрій	21,974	» » »	22,732.
Углекислая магнезія	1,126	» » »	1,196.
Сѣрнокислый натрій	4,859	» » »	6,171.
Сѣрнокислый калій	1,670	» » »	1,735.
Хлористый натрій	1,963	» » »	2,885.
Кремнеземъ	0,512	» » »	0,355.

При разнообразіи состава минеральныхъ источниковъ, очевидно, въ нихъ заключается большое количество элементовъ; въ настоящее время открыто уже около 50. Въ источникахъ находятся не только газы: сѣроводородъ, углекислота, аргонъ, гелій, кислородъ, водородъ, азотъ и легкорастворимыя соединенія: натрія, калія, кальція, магнія, желѣза и пр. съ угольною, сѣрною и хлористоводородною кислотами, но также рѣдкіе металлы: серебро, золото, титанъ, уранъ, ртуть и др., словомъ, почти всѣ элементы, которые извѣстны въ рудныхъ жилахъ, происшедшихъ при посредствѣ минеральныхъ источниковъ.

Перечислимъ подробнѣе элементы, встрѣчающіеся въ минеральныхъ источникахъ, начиная съ газовъ, среди которыхъ находятся не только элементы: кислородъ, водородъ, азотъ, аргонъ и гелій, но и соединенія: углекислота и сѣроводородъ, одни изъ нихъ въ растворѣ, другіе въ свободномъ состояніи и выдѣляются при обыкновенномъ атмосферномъ давленіи.

Кислородъ въ свободномъ состояніи встрѣчается рѣдко, потому что онъ быстро расходуется на *окислительные процессы*; однако, въ нѣкоторыхъ многоводныхъ источникахъ, напр., въ окрестностяхъ Геттингена, количество его опредѣлено отъ 8 до 18% [91]). Отношеніе кислорода къ азоту въ воздухѣ, поглощенномъ водою всегда другое, нежели въ атмосферѣ, а именно, кислорода нѣсколько больше, чѣмъ въ свободномъ воздухѣ.

Водородъ въ свободномъ состояніи доказанъ въ водѣ исландскихъ гейзеровъ при изверженіяхъ [92]), а также въ сальзахъ Кризувика (съ 4,3 ч. по 100) и въ выдѣленіяхъ суффіона въ Тосканѣ.

Азотъ найденъ еще въ прошломъ столѣтіи въ источникахъ Букстона, а затѣмъ во многихъ сѣрнистыхъ термахъ Пиринеевъ, въ термахъ Пфефферса, Лейка, Гаштейна, Висбадена, Аахена, въ холодныхъ источникахъ Швеціи: Порля (7,5° Ц.), Себастіана (13,75 Ц.) и др., но особенно много его въ источникахъ Теплица. Амміакъ выдѣляется иногда близъ вулкановъ.

Аргонъ и гелій открыты Бушаромъ и Трустомъ въ термальныхъ водахъ Катре. Всѣ эти элементы *поглощаются* изъ воздуха.

Угольная кислота представляетъ одну изъ самыхъ распространенныхъ составныхъ частей источниковъ; нѣкоторые даже полагаютъ, что она встрѣчается во всѣхъ источникахъ или въ свободномъ состояніи, или въ полусвязанномъ (двууглекислыя соли), или совершенно связанномъ состояніи (одноуглекислыя соединенія). Свободная или поглощенная углекислота не соединена съ металломъ, а только растворена въ минеральной водѣ и легко освобождается при выходѣ источника на поверхность. Въ нѣкоторыхъ источникахъ, такъ называемыхъ кислыхъ (Säuerlinge или антракокраны), она содержится въ огромныхъ количествахъ, напр, въ 1.000 куб. сант. воды. Гисгюбеля приходится 1.539 куб. сант. CO_2, въ Билинѣ—1.337 к. с., въ Нарзанѣ—1.017—1.097, Виши—967 к. с.. источники Карлсбада ежегодно выдѣляютъ 6.570.000 куб. сант. CO_2, а въ Майнбергѣ—10.512.000 к. с. Углекислота иногда сопровождается выдѣленіями углеводорода, напр, въ сальзахъ, маплубахъ и пр.

Углекислота получается или непосредственно вслѣдствіе выдѣленія изъ вулканическихъ очаговъ, или же является продуктомъ разложенія не-

вулканическихъ породъ. Въ первомъ случаѣ она прямо насыщаетъ подземныя воды и даетъ кислые источники или нарзаны, имѣющіе широкое распространеніе во всѣхъ областяхъ современныхъ и третичныхъ вулкановъ. Во второмъ случаѣ она получается сложнымъ путемъ, напр., при окисленіи сѣрныхъ колчедановъ происходитъ свободная сѣрная кислота, которая, при встрѣчѣ съ известнякомъ или вообще съ карбонатами, превращаетъ ихъ въ сульфаты, а углекислоту вытѣсняетъ и дѣлаетъ свободною: при этомъ, въ зависимости отъ условій, свободная углекислота насыщаетъ воду или же соединяется съ основаніями и даетъ источники со смѣшанными углекислыми и сѣрнокислыми солями. Такіе процессы объясняютъ нахожденіе углекислыхъ источниковъ области осадочныхъ породъ вдали отъ вулкановъ, напр. Пирмонтъ, доставляющій ежегодно 219.000 куб. метр., Дри Бургъ—75.000 куб. м., Нейзальцверкъ ежедневно доставляетъ частью свободную углекислоту, частью въ соединеніи съ различными основаніями—808.300 куб. м., особенно со щелочами, щелочными землями, желѣзомъ и пр.

Сѣроводородъ также встрѣчается нерѣдко свободнымъ въ водѣ источниковъ, какъ продуктъ выдѣленія вулкановъ или распаденія сѣрнистыхъ металловъ подъ вліяніемъ органическихъ веществъ или сѣроокиси углерода (Kohlenoxysulfid), которая легко разлагается на углекислоту и сѣроводородъ. Но количество его гораздо меньше углекислоты; онъ только рѣдко достигаетъ 40 куб. с.; обыкновенно же отъ 2 до 10 куб. с., напр. въ Пятигорскѣ—5,7 к. с., въ Теплицъ-Варединъ—4,93 куб. с., въ Аахенѣ—3,1 куб. саж.

Въ горячихъ и глубокихъ сѣрнистыхъ источникахъ происхожденіе сѣроводорода и сѣрнистыхъ металловъ не всегда ясно, но въ холодныхъ и мелкихъ они являются, большею частью, результатомъ разложенія гипсовъ, поэтому часто встрѣчаются въ гипсоносныхъ осадкахъ. Гипсъ возстановляется органическими веществами или вообще углеводородами, причемъ углеродъ, отнимая кислородъ превращаетъ гипсъ въ сѣрнистый кальцій, который легко разлагается водою и даетъ сѣроводородъ и известь. Иногда возстановленіе идетъ такъ сильно, что выдѣляется прямо сѣра или въ видѣ мелкой пыли, или даже въ видѣ кристалловъ. Бишофъ дѣлалъ такія превращенія искусственно, возстановляя сѣрнокислыя соединенія въ сѣрнистыя при посредствѣ углеводородовъ. Очевидно такимъ путемъ произошли наши холодные сѣрнистые источники Кемерна, Сергіевскіе и др.

Сѣра находится въ свободномъ состояніи или же въ соединеніяхъ. Выдѣленіе сѣры и сѣроводорода часто обусловливается дѣятельностью различныхъ бактерій, какъ будетъ указано ниже.

Селенъ находится очень рѣдко и вмѣстѣ съ сѣрой.

Хлоръ большею частью въ соединеніи съ различными металлами, особенно каліемъ, натріемъ, кальціемъ, магніемъ и др. Въ свободномъ состояніи только съ водяными парами въ вулканахъ.

Бромъ въ небольшихъ дозахъ находится во многихъ источникахъ: Зельтерсъ, Аахенъ, Зульцбадъ, Бурбонъ-ле-Бэнъ и др., преимущественно, въ видѣ бромистаго натрія и магнезіи.

Іодъ чаще встрѣчается въ прѣсныхъ водахъ, напр., въ рр. Невѣ, Сенѣ, Темзѣ, Эльбѣ и др., чѣмъ въ источникахъ, напр., въ Эксъ-ле-Бэнъ до 0,015 гр. на литръ іодистаго калія; въ Adelheidsquelle von Heilbrunn у Тольца въ Верхней Баваріи іодистый натрій до 0,031 гр. находится вмѣстѣ съ бромистымъ натріемъ до 0,058 гр. въ литрѣ.

Фторъ впервые найденъ Берцеліусомъ въ карлсбадскомъ Шпруделѣ въ видѣ фтористаго кальція до 0,0032 г. на 1.000 ч. воды, а затѣмъ открытъ въ водахъ: Пломбьеръ, Вишн, Контрексвиль, Нерн, Бурбонъ Л'Аршамбо, Эмсъ и др.

Фосфоръ въ соединеніи съ натромъ, кальціемъ, глиноземомъ встрѣчается часто, хотя и въ небольшихъ дозахъ, напр. въ Гранъ-гриль въ Виши.

Мышьякъ въ источникахъ не рѣдокъ, особенно въ соединеніи съ сѣрою, напр., Бур-Буль въ Пюи-де-Домъ, въ источникѣ Perrière опредѣлено 0,0098 гр. мышьяковой кислоты въ литрѣ воды.

Боръ, въ видѣ борной кислоты или бромистаго натрія, находится въ различныхъ источникахъ, но, преимущественно, въ выдѣленіяхъ суффіони и сальфаторъ. Источникъ у Тиволи (Albulae), близъ Рима, при содержаніи 0,270 гр. борнокислаго натрія въ литрѣ, доставляетъ въ годъ 14.235 килогр. борной кислоты. Всѣ эти элементы встрѣчаются преимущественно въ источникахъ вулканическихъ областей.

Кремній находится въ самыхъ разнообразныхъ количествахъ въ видѣ кремневой кислоты во множествѣ источниковъ; но особенно обильно въ горячихъ гейзерахъ, которые полны кремнистаго туфа или гейзерита (см. фиг. на стр. 255—263).

Углеродъ, въ видѣ угольной кислоты, углеводородовъ, углекислыхъ солей, имѣетъ широкое распространеніе въ источникахъ.

Калій встрѣчается, въ видѣ хлористаго, бромистаго и др. соединеній, во многихъ источникахъ. Количество его однако гораздо меньше, нежели натрія.

Натрій имѣетъ широкое развитіе и находится почти во всѣхъ источникахъ. Количество его иногда значительно превышаетъ количество калія; напр. въ Salies-de-Béarn на 245 гр. хлористаго натрія приходится только 2,3 гр. хлористаго калія (т. е. также $^1/_{100}$), въ Виши на 3,52 гр. N_2CO_3 приходится 0,24 гр. K_2CO_3, (т. е. $^1/_{145}$) и пр. Вообще, онъ распространенъ гораздо больше калія въ видѣ разнообразныхъ соединеній: хлористыхъ, сѣрнистыхъ, углекислыхъ, бромистыхъ, іодистыхъ и пр. Преобладаніе натрія объясняется тѣмъ, что большинство соленыхъ источниковъ происходятъ вслѣдствіе или простого выщелачиванія залежей каменной соли, или же разложенія полевыхъ шпатовъ. Въ первомъ случаѣ хлористый натрій преобладаетъ, а во второмъ углекислый, потому что натровые полевые шпаты разлагаются легче, чѣмъ каліевые.

Литій, въ противоположность натрію, представляетъ рѣдкій элементъ минеральныхъ источниковъ. Онъ открытъ Берцеліусомъ въ 1824 г. въ водахъ Богеміи, а затѣмъ въ ничтожныхъ количествахъ онъ найденъ во многихъ источникахъ, но съ значительнымъ содержаніемъ (отъ 0,01 до 0,278 гр.) его извѣстны только немногіе источники, напр, Bonifaziusquelle въ Гессенъ-Нассау, Wilhelmsquelle въ Эмсѣ, Kaiser-Friedrichquelle въ Оффенбахѣ и нѣкоторые другіе, но съ меньшимъ содержаніемъ.

Рубидія найдены только слѣды въ Баденъ-Баденѣ, Дюркгеймѣ и др.

Церій—еще рѣже и въ меньшихъ количествахъ.

Талій встрѣченъ только въ выдѣленіяхъ сальфаторовъ Волкано.

Стронцій, хотя встрѣчается въ видѣ бикербоната во многихъ источникахъ, но въ ничтожныхъ количествахъ.

Барій также мало развитъ, но найденъ, напр., въ водахъ Крейцнаха, Пирмонта, Висбадена и др.

Кальцій имѣетъ широкое распространеніе также какъ натрій и кремній: можно сказать, что едва ли существуютъ источники не содержащіе кальція въ видѣ углекислаго, сѣрнистаго или хлористаго соединенія; онѣ получаются прямымъ растворе-ніемъ известняковъ, гипса и др. породъ; содержаніе его доходитъ до 3,65 гр., напр., хлористаго кальція въ источникахъ о-вовъ Франціи. Известковые источники производятъ такія же мощныя отложенія известковаго туфа, какъ гейзеры кремнистаго туфа, какъ увидимъ ниже.

Магній почти всегда находится вмѣстѣ съ кальціемъ въ видѣ сѣрнистаго, хлористаго и углекислаго соединеній. Онъ особенно часто и въ большомъ количествѣ встрѣчается въ источникахъ, вытекающихъ изъ основныхъ породъ, которымъ приписываютъ образованіе морской пѣнки или жіобертита въ змѣевикахъ. Всѣ магнезіальные источники, содержащіе сѣрнокислый магній, называются горькими, напримѣръ, Victoria-Bitterwasser (30,7321 ч. $Mg\,SO_4$ на 1.000 ч. воды), Franz-Ioseph (26,88 ч.), Ofner-Rakoczy—13 (25,34 ч.) Apenta (24,49), Гуніяди-Яносъ (17,74), Баталинскій на Кавказѣ (8,46 ч.) и др. По мнѣнію Гольдберга, горькіе источники происходятъ преимущественно въ области доломитовъ, содержащихъ сѣрный колчеданъ, окисленіе котораго даетъ сѣрную кислоту и сульфаты магнія и кальція, при чемъ послѣдній часто выдѣляется въ видѣ карбоната, особенно въ присутствіи мѣднаго купороса.

Алюминій, хотя встрѣчается въ небольшихъ количествахъ, но не имѣетъ большаго значенія, напр., въ S. Nectaire, во Франціи, 0,017—0,023 гр. на литръ. Въ видѣ кремнекислаго соединенія онъ отлагаетъ въ Пломбьерѣ галлоизитъ.

Желѣзо, напротивъ, встрѣчается часто и играетъ большую роль, особенно въ видѣ углекислой закиси, такъ что всѣ источники содержащіе его называются же-

мѣзистыми. Соли желѣза или непосредственно растворяются, напр., углекислыя, или же сначала возстановляются окислы желѣза органическими веществами и переводятся въ растворимыя соли закиси желѣза, что особенно легко въ присутствіи углекислоты.

Марганецъ обыкновенно сопровождаетъ желѣзо, хотя и въ меньшихъ количествахъ.

Кромѣ перечисленныхъ элементовъ въ минеральныхъ источникахъ находится еще много другихъ, но сравнительно рѣдко и въ небольшихъ дозахъ, большею частью только слѣды, а именно никкель, кобальтъ (Виши, Лямуно), хромъ, олово (Киссингенъ), мѣдь (Зельтерсъ), свинецъ (Эмсъ, Карлсбадъ), ванадій (Bocklet въ Баваріи, Штахельбергъ въ Гларусѣ), цинкъ, сурьма (Пирмонтъ), титанъ (Карлсбадъ), церій, глицій, ртуть (гейзеры Исландіи), серебро (Либенштейнъ, Ронненбургъ), золото (Lenkerbad, Gieshübl, Карлсбадъ), молибденъ, ураиъ, танталъ, итрій и цирконій. Всѣ эти вещества, по своему рѣдкому и ничтожному проявленію въ источникахъ, хотя не имѣютъ почти никакого значенія для практическаго примѣненія источниковъ, но важны въ теоретическомъ отношеніи для пониманія происхожденія рудныхъ жилъ.

Кромѣ опредѣленія элементовъ, входящихъ въ составъ минеральныхъ источниковъ, необходимо выяснить еще группировку ихъ по даннымъ элементарнаго анализа, т. е. сочетаніе основаній съ кислотами или построеніе комбинированнаго анализа. Къ сожалѣнію, въ этомъ отношеніи, вслѣдствіе разногласія воззрѣній на химическую природу источниковъ, до сихъ поръ еще не установлено твердыхъ принциповъ. Обыкновенно (согласно Бунзену, Фрезеніусу, Раске и др.) при вычисленіи солей придерживаются порядка или степени растворимости ихъ, т. е. прежде всего дѣлаютъ подборъ соединеніямъ наиболѣе труднорастворимымъ, затѣмъ послѣдовательно выдѣляютъ болѣе растворимыя и заключаютъ вычисленіе соединеніями, отличающимися самой легкою растворимостью. Само собой разумѣется, что недостатокъ этотъ отражается на несовершенствѣ классификацій минеральныхъ источниковъ и вызываетъ справедливый упрекъ со стороны бальнеологовъ въ томъ, что химическій анализъ не даетъ полнаго представленія о природѣ источника, а, значитъ, и о лечебномъ дѣйствіи тѣхъ или другихъ водъ. Нѣкоторые считаютъ даже болѣе полезнымъ для оцѣнки физіологогическаго дѣйствія имѣть физико-химическій анализъ, обнимающій собою опредѣленіе осмотическихъ свойствъ водъ, ихъ электропроводимости, свѣтопреломляемости и пр., но эта сторона еще менѣе разработана. Такъ что химическій анализъ, не смотря на его недостатки, все-таки остается единственнымъ средствомъ для полученія представленія о главныхъ свойствахъ источниковъ и служитъ основаніемъ для классификацій ихъ, хотя и не безупречныхъ въ научномъ отношеніи, но практически удобныхъ, по крайней мѣрѣ для лечебныхъ цѣлей, т. е. по отношенію къ оцѣнкѣ фармакологическаго дѣйствія главныхъ составныхъ частей источниковъ. По одной, наиболѣе распространенной, считающейся даже общепринятой, нѣмецкой классификаціи Зеегена всѣ источники раздѣляются на семь группъ: 1) — щелочные (Нарзанъ, Эссентуки, Боржомъ, Марьенбадъ, Эмсъ, Виши); 2) — соляные или съ поваренной солью (Старая Русса, Киссингенъ, Друскеники, Наугеймъ); 3) — желѣзные (Липецкъ, Спа, Желѣзноводскъ, Пирмонтъ); иногда съ мышьяковыми соединеніями (Roncegno, Бурбуль и др.); 4 — горькіе (Баталинскіе, Ахалцихъ, Гуніяди-Яносъ, Апента); 5) — сѣрнистые (Пятигорскъ, Сергіевскіе, Буда-Пештъ, Баньеръ-де-Люшонъ); 6) — известковистые или землистые (Бирштанскіе, Алапаев-

скіе, Contrexéville, Вильдунгенъ); 7 — индиферентныя термы (Абасъ-Туманъ, Гаштейнъ, Рагацъ-Пфефферсъ). Многія изъ этихъ группъ раздѣляются еще на нѣсколько подгруппъ, которыя иногда настолько сближаютъ группы, что рѣзкая разница между ними исчезаетъ.

Классификація эта имѣетъ широкое распространіе и, между прочимъ, принята въ капитальномъ трудѣ Л. Б. Бертенсона [93]), а потому приведемъ ее въ болѣе подробномъ видѣ со всѣми раздѣленіями на подгруппы.

I. — Щелочные источники характеризуются преобладаніемъ въ составѣ углекислаго натра и угольной кислоты, а во многихъ также хлористаго натра, сѣрнокислаго натра и углекислыхъ кальція и магнія. Они раздѣляются на 4 подгруппы или класса: 1) — углекислые, выдѣляемые часто въ самостоятельную группу подъ именемъ кислыхъ источниковъ или атракокренъ; они большею частью имѣютъ низкую температуру, напр., Марьенбадъ—Marienbrunnen (t=10°5 Ц.) и Carolinenbrunnen (7,5° Ц.), Apollinarisbrunnen (Ahrweiler) (18°—27°5 Ц.), Giesshübl-Puchstein (7,7° Ц.), Нарзанъ въ Кисловодскѣ (13°,1—13°,75 Ц. съ суммою плотныхъ составныхъ частей = 1,74 и съ CO_2 = 1017 куб. сант., съ солями Na_2SO_4 = 0,437, K_2SO_4 = 0,033, $MgSO_4$ = 0,099, $CaSO_4$ = 0,852, $MgCl$ = 0,172, $FeCO_3$ = 0,003 и др.). 2) — Щелочно-углекислые источники съ преобладаніемъ углекислаго натра и углекислоты; между ними находятся какъ холодные, такъ и теплые источники, напр., Виши (Puits Chomel (44°), Grande Grille (41°8), Célestins (13°,8 Ц.), Caldas de Malavella (60° Ц.), Neuenahr, Боржомъ—Екатерининскій; Билинъ—Josephsquelle (12,3° Ц.), Зальцбруннъ—Mühlbrunnen (6—7,5°) и Kronenquelle (10,4° Ц.) и др. 3)—Щелочно-соляные источники содержатъ кромѣ углекислаго натра и угольной кислоты еще поваренную соль, напр., Эмсъ—Krähnchen (35,86° Ц.), Kaiserbrunnen (28°5), Wilhelmquelle (39°7)], Бурбуль, Михайловскіе, Слѣпцовскіе (31°25 до 69,5°). Эссентукскіе № 17 и 18 (11°25) и № 20 и др. 4)—Щелочно-глауберовые источники содержатъ вмѣстѣ съ углекислымъ патромъ еще глауберовую соль, поваренную соль и свободную угольную кислоту, напр. Карлсбадъ (Sprudel 72°9), Theresienbrunnen (56°6), Russische Krone (30°2), Марьенбадъ, Франценсбадъ (Salzqulle 11°, Kalter-Sprudel 11°4), Tarasp-Schuls, Погромскій.

Для примѣра приведемъ полные анализы нѣкоторыхъ щелочныхъ источниковъ, заимствуя ихъ изъ труда Бертенсона, въ которомъ тщательно собраны и провѣрены многочисленные анализы. Составныя части показаны въ граммахъ на 1.000 вѣсовыхъ частей воды. Первые два столба относятся къ щелочно-углекислымъ, третій къ щелочно-соляному, а четвертый къ щелочно-глауберовымъ источникамъ.

Составныя части щелочныхъ источниковъ.	Виши. Célestins. Буке.	Боржомъ. Екатерининскій. Мольденгауеръ.	Ессентуки. № 17. Ѳомина.	Карлсбадъ. Mühlbrunnen. Людвига.
Двууглекислый натръ	**5,3665**	**4,8850**	**6,0077**	**1,8330**
Двууглекислая известь	0,4620	0,4393	0,4589	0,4716
Двууглекислая магнезія	0,3280	0,2841	0,5218	0,2458
Двууглекислая закись желѣза	0,0040	0,0186	0,0063	0,0039
Хлористый калій	—	0,0705	—	—
Хлористый натрій	0,5340	0,5845	**3,4342**	1,0102
Хлористый литій	—	—	0,0129	0,0135
Бромистый натрій	—	0,0002	0,0059	—
Іодистый натрій	—	0,0003	0,0005	—
Сѣрнокислое кали	0,3012	—	0,0319	0,1888
Сѣрнокислый натръ	0,0415	—	0,3092	**2,3907**
Сѣрнокислый баритъ	—	—	0,0022	—
Сѣрнокислый стронціанъ	0,0048	—	0,0033	0,0005

Составныя части щелочныхъ источниковъ.	Вишн. Célestins. Буке.	Боржомъ. Екатерининскій. Мольденгауеръ.	Ессентуки. № 17. Ѳомина.	Карлсбадъ. Mühlbrunnen. Людвига.
Фосфорнокислый натръ	0,0910	—	—	0,0009
Мышьяковокислый натръ	0,0020	—	—	—
Борнокислый натръ	—	—	—	0,0029
Глиноземъ	—	—	0,0030	0,0005
Кремнеземъ	0,0600	0,0270	0,0188	0,0735
Сумма плотныхъ составныхъ частей	7,1950	6,3303	10,8165	6,2404
Своб. углекислоты въ куб. сант.	830	333,0	509,7	261,4
Своб. углекислоты въ граммахъ	1,641	0,656	1,008	0,516
Температура по Ц.	13°,8	29°,4	11°,25	51°

II. Соляные источники или поваренной соли, или галопеги, или галотермы. Въ составъ ихъ, главнымъ образомъ, входитъ хлористый натрій, но кромѣ того хлористые: кальцій, магній, калій, литій и алюминій, а нѣкоторые содержатъ также бромъ, іодъ, угольную кислоту и сѣроводородъ Содержаніе поваренной соли доходитъ иногда до 25—30%. По большему или меньшему количеству *NaCl* различаютъ: 1) Слабые соляные источники не болѣе $1^1/_2$% *NaCl*, напр., Соденъ, Старая Русса, Киссингенъ, Бурбонъ ле Бэнъ, Друскеники и др. 2) крѣпкіе соляные источники или разсольные (Soolen), не менѣе $1^1/_2$% *NaCl*, напр. Наугеймъ, Имль-Даксъ, Salines de Briscous, Гарцбургъ, Усольскіе, Цѣхоцинскіе, Михайловскій у Геленджика и др. Приведемъ анализы двухъ слабыхъ и двухъ крѣпкихъ соляныхъ источниковъ.

Составныя части соляныхъ источниковъ.	Стар. Русса. Муравьевскій. Мальчевскій 1891.	Крейцнахъ. Elisenquelle. Фрезеніусъ 1844.	Цѣхоцинскъ Источникъ № 1. Вреденъ и Фуксъ 1874	Наугеймъ. Riesensprudel № XII. Зонне 1893.
Хлористый калій	0,0934	0,1524	0,2539	0,6146
Хлористый натрій	**12,9775**	**10,5176**	**33,3592**	**28,3176**
Хлористый литій	—	0,0629	0,0444	0,0750
Хлористый аммоній	—	0,0221	—	0,0546
Хлористый магній	1,8902	0,2680	2,1476	0,5156
Хлористый кальцій	2,1809	1,7552	0,8792	2,2370
Бромистый натрій	0,0280	0,0499	0,0901	0,0151
Іодистый натрій	—	0,0004	0,0032	—
Двууглекислая известь	0,1621	0,4704	1,4180	2,5848
Двууглекислая закись желѣза	0,0126	0,0417	—	0,0523
Двууглекислая закись марганца	—	0,0012	—	—
Двууглекислый стронціанъ	—	0,0962	—	—
Двууглекислый баритъ	—	0,0749	—	—
Двууглекислая окись цинка	—	0,0095	—	—

Составныя части соляныхъ источниковъ.	Стар. Русса. Муравьевскій. Мальчевскій 1891.	Крейцнахъ. Elisenquelle. Фрезеніусъ 1944.	Цѣхоцинекъ Источникъ № 1. Вроденъ и Фуксъ 1874	Наугеймъ. Riesensprudel № XII Зонне 1893.
Сѣрнокислая известь	1,9768	—	1,1987	0,0622
Сѣрнокислый стронціанъ	—	—	—	0,0122
Мышьяковокислый натръ	—	0,0004	—	0,0003
Фосфорнокислый натръ	—	0,0005	—	0,0009
Борнокислый натръ	—	0,0004	—	—
Глиноземъ	0,0034	0,0002	0,0035	0,0041
Кремнеземъ	0,0141	0,0135	0,0230	0,0214
Сумма плотныхъ сост. частей	19,4272	13,5400	39,4208	34,5677
Свободной углекислоты въ куб. сант.	18,00	629,04	—	430,60
Температура	11°,25	12°	13°	33°

Ш. Желѣзные источники, въ водѣ которыхъ чаще всего находится углекислая закись желѣза и рѣдко сѣрнокислая закись желѣза и углекислота. Почти всѣ они имѣютъ низкую температуру, а съ высокой бываютъ только рѣдкіе, напр., Желѣзноводскъ, Куджиръ-нугу, Royat, Château neuf и др. Желѣзныя воды отличаются еще содержаніемъ особаго рода микроорганизмовъ, называемыхъ желѣзобактеріями, которыя окисляютъ соли закиси—въ соль окиси, отлагающуюся въ капсюляхъ бактеріи, окрашивая ихъ въ охряной цвѣтъ; возстановленіе соли окиси въ закись происходитъ при помощи анаэробнаго броженія; въ водахъ желѣзныхъ источниковъ развита разновидность Leptotrix ochracea, хромогенныя палочки—bacillus ochraceus, считающіяся ферментомъ угольной кислоты, также bacillus liquefacicus, micrococcus candiceus, bacterium chlorinum Engelmanni и др. Желѣзные источники раздѣляются на 1.—Чистые желѣзные, напр., Спа (9—10°), Маріенбадъ (Ambrosiusquelle 8,1), Карлсбруннъ, Липецкіе (7°), Швальбахъ (10—11°), Курскіе (8,5), Полюстровскіе (6,5), Начепчавскіе, Коби (5°) и др. 2.—Желѣзно-щелочные источники, напр., Эльстеръ (10°), Франценсбадъ (10,5°), Кутыморовскіе, Château-neuf со слѣдами мышьяка и литія (11°), Мзымтинскіе, Нарціальные (Колчеозерскіе, Олонецкіе (17°), Желѣзноводскіе (до 44°) и др. 3.—Желѣзно-соляные источники съ содержаніемъ хлористаго натрія, напр. Столыпинскіе, Royat (до 34°), Лысогорскіе (11°). 4.—Желѣзно-известковые источники съ содержаніемъ кальція и магнія, напр. Тулиновскіе, Цагверскіе (9—10°), Пирмонтъ (12°), Рекоаро (11°—13°), Уравельскіе. 5.—Желѣзные источники съ содержаніемъ сѣрнокислой закиси желѣза, напр., Левико (Starkwasserquelle 10,8° и Schwachwasserquelle—8,9) съ мышьякомъ, Змѣевскій или Купоросный (12°), Alexisbad (11,8), Roncegno тоже съ мышьякомъ и др.

Приведемъ для примѣра анализы нѣкоторыхъ желѣзныхъ источниковъ, какъ чистыхъ (Спа, Липецкъ), такъ и ж.-щелочныхъ (Желѣзноводскъ) и желѣзно-известковыхъ (Пирмонтъ).

Составныя части желѣзныхъ источниковъ.	Спа. Pouchon Pierre le Grand. Donny и др. 1874.	Липецкъ. Новый. Кислаковскій 1891.	Желѣзноводскъ. Вел. князя Михаила. Ѳоминъ 1895	Пирмонтъ. Stahlbrunnen. Фрезеніусъ 1874.
Двууглекислая закись желѣза	**0,1965**	**0,1172**	**0,0155**	**0,0771**
Двууглекислая закись марганца	0,0039	0,0008	—	0,0062
Двууглекислый натръ	0,1319	—	**0,3317**	—

Составныя части желѣзныхъ источниковъ.	Спа. Pouchon Pierre le Grand. Donny и др. 1874.	Липецкъ. Новый. Кислаковскій 1891.	Желѣзноводскъ. Вел. князя Михаила. Оомичъ 1895.	Пирмонтъ. Stahlbrunnen. Фрезеніусъ 1874.
Двууглекислая известь	0,0405	0,8287	1,0666	**1,1370**
Двууглекислая магнезія	0,0182	0,1755	0,2609	—
Хлористый калій	—	0,0408	—	—
Хлористый натрій	0,0540	0,1203	0,3652	0,1588
Хлористый литій	—	—	0,0012	0,0010
Хлористый аммоній	—	0,0041	—	0,0021
Хлористый магній	—	0,0122	—	—
Бромистый натрій	—	—	слѣды	0,00009
Іодистый натрій	—	—	слѣды	0,00002
Азотнокислый натръ	—	—	—	0,0001
Сѣрнокислое кали	0,0113	0,0120	0,0518	0,0165
Сѣрнокислый натръ	0,0140	—	0,9335	0,0417
Сѣрнокислая известь	—	—	—	0,7079
Сѣрнокислая магнезія	—	—	—	0,5288
Сѣрнокислый баритъ	—	—	—	0,0003
Сѣрнокислый стронціанъ	—	—	—	0,0036
Фосфорнокислый натръ	—	0,0039	—	0,00001
Глиноземъ	0,0143	0,00006	0,0014	0,00003
Кремнеземъ	0,0190	0,0141	0,0360	0,0318
Органическія вещества	—	0,0293	—	—
Сумма плотныхъ сост. частей	0,5037	1,4690	3,0638	2,7132
Свободная углекислота въ куб. сант.	1288	—	664	1271
Температура	10°,8	7°,6	20°	12°

Мышьяковистые источники, хотя и выдѣляются иногда въ особую группу, но, въ сущности, мышьяковыя соединенія встрѣчаются въ источникахъ различныхъ группъ, какъ видно изъ слѣдующей таблицы:

Названіе источниковъ.	Содержаніе мышьяка въ 1000 част. воды.		Какая группа по классификаціи.
	Мышьяково-кислаго натра.	Англид. мышьяковистой кисл.	
Roncegno	0,3192	0,1519	Желѣз.-сѣрнокислые.
Levico	0,0183	0,0086	Щелочно-соляные.
La Bourboule	0,0155	0,0073	Желѣз.-сѣрнокислые.
Vichy-Célestins	0,0014	0,0006	Желѣз.-щелочные.
Châtel-Guyon	0,0016	0,0007	Слабые соляные.
Nauheim	0,0003	0,0001	Крѣпкіе соляные.
S. Honoré-les-Bains	0,0002	0,0001	Сѣрнистые.

Въ совершенно такомъ же отношеніи къ другимъ группамъ стоятъ такъ называемые литіевые источники, изъ которыхъ при желаніи тоже можно сдѣлать самостоятельную группу, съ содержаніемъ хлористаго литія 0,0108 до 0.2182 и двууглекислаго литія отъ 0,0149 до 0,3032, напр., Наугеймъ, Бурбонъ ле Бэнъ, Цѣхоцинскъ, Эмсъ, Киссингенъ и пр.

IV. Горькіе источники характеризуются преобладаніемъ въ составѣ сѣрнокислой магнезіи (горькой соли), вмѣстѣ съ которою находится сѣрнокислый натръ и иногда хлористый натръ; рѣдко—угольная кислота и то въ ничтожныхъ количествахъ, напр., Victoria-Bitterwasser, Franz-Joseph-Bit, w., Apenta, Hunyadi-Janos, Sedliz, Friedrichshall съ 12,5 *NaCl*, Баталинскій (или Марія-Терезія 11°) съ 1,5 *NaCl*, Крыворожскіе (Свято-Крыницкій 9°—11°), Ахалцихскіе (20°) и др.

Подробный составъ этихъ замѣчательныхъ водъ указанъ въ прилагаемой таблицѣ анализовъ нѣкоторыхъ источниковъ.

Составныя части горькихъ источниковъ.	Венгрія.			Кавказъ.
	Victoria Bitter-wasser.	Apenta.	Hunyadi-Janos B. w.	Баталинскій.
	Ballo 1878.	Либертонъ 1895.	Людвигъ 1885.	Ѳоминъ 1893.
Сѣрнокислая магнезія	30,7321	24,4968	17,7485	8,4677
Сѣрнокислый натръ	20,5209	15,4320	23,1116	8,2587
Сѣрнокислое кали	0,2947	слѣды	0,1704	0,0518
Сѣрнокислый стронціанъ	—	—	0,0090	—
Сѣрнокислая известь	0,9139	1,0989	0,1582	1,1438
Углекислый натръ	—	—	—	0,0621
Двууглекислая известь	0,6422	0,8843	1,4495	0,6910
Двууглекислая закись желѣза	—	0,0189	—	слѣды
Хлористый натрій	2,1289	1,8720	1,8452	1,5416
Глиноземъ	0,0218	—	—	0,0100
Кремнеземъ	0,0421	0,0100	0,0127	0,0121
Сумма плотныхъ сост. частей	55,2966	44,08	44,50	20,2391
Свободной углекислоты въ куб. сант.	—	—	—	26

V. Сѣрнистые источники отличаются содержаніемъ сѣдоводорода и сѣрнистыхъ металловъ (натрія, калія, кальція и магнія); нѣкоторые изъ нихъ приближаются къ индиферентнымъ, а другіе къ слабымъ солянымъ. Кромѣ того въ нихъ часто встрѣчается вышеупомянутый барежинъ, напр., въ Barèges, Баньеръ де Люшонъ, Пятигорскіе, Тифлисскіе и др., а Виноградскій [94]) изслѣдовалъ 15 родовъ (25 видовъ) различныхъ микроорганизмовъ, названныхъ сѣробактеріями или сульфобактеріями; по изслѣдованіямъ Виноградскаго и Егунова они окисляютъ сѣроводородъ, причемъ въ протоплазмѣ ихъ отлагается аморфная сѣра; послѣдняя окисляется въ сѣрную кислоту, которая тотчасъ же нейтрализуется карбонатами и выдѣляется въ видѣ сульфатовъ; такимъ образомъ, благодаря дѣятельности сульфобактерій, содержащійся сѣроводородъ въ свободномъ состояніи обогащается сульфатами. Жизнедѣятельности сульфобактерій приписывалось превращеніе заключающейся въ барежинѣ сѣры въ сѣроводородъ, но по изслѣдованіямъ Виноградскаго образованіе сѣроводорода объясняется скорѣе появленіемъ въ водѣ гнилостныхъ бактерій, такъ какъ при этомъ сульфобактеріи погибаютъ. Наконецъ, въ сѣрнистыхъ водахъ встрѣчаются еще растительныя вещества (Confervae), такъ называемыя сульфураріи и муффы, прозябающія особенно пышно при температурѣ выше 30°.

Сѣрнистые источники раздѣляются на холодные и горячіе. Къ источникамъ съ высокой температурой принадлежатъ, напр., Горячеводскіе (73°—88° Ц.), Ах (77,6°), Buda—Pest (73,9°), Bagnères de Luchon (68°). Warasdin Teplitz (58,7°), Herculesbad (56,6°), Пятигорскіе (51,25°), Aix-les-Bains (46,6°); въ нихъ вмѣстѣ съ сѣроводородомъ

находится иногда азотъ. Въ холодныхъ сѣрнистыхъ источникахъ встрѣчается угольная кислота. Къ холоднымъ принадлежатъ, напр., Мацестинскіе у Сочи (21°), Сергіевскіе (7°—8,13°), Бусскіе (11°—12,2°), Кеммернскіе (8°), Meinberg (11°), Stachelberg (9,5°) и др.

О составахъ сѣрнистыхъ источниковъ даетъ понятіе слѣдующая таблица анализовъ нѣкоторыхъ теплыхъ и холодныхъ сѣрнистыхъ источниковъ.

Составныя части сѣрнистыхъ источниковъ.	Bagnères de Luchon. Source Bayen. Willon 1885.	Аахенъ. Kaiserquelle. Либихъ 1882.	Пятигорскъ. Александръ Ермоловскій. Ѳоминъ 1892.	Кеммернъ. № 1. Томскъ 1892.
Сѣроводородъ по вѣсу	—	—	0,0132	0,0205
Сѣрнистый натрій	0,0763	0,0136	—	0,0181
Сѣрноватистокислый натръ	0,0038	—	—	—
Сѣрнокислое кали	0,0091	0,1527	—	0,0130
Сѣрнокислый натръ	0,0062	0,2834	0,9789	—
Сѣрнокислый стронціанъ	—	0,0002	—	—
Сѣрнокислая известь	—	—	0,07861	1,7705
Сѣрнокислая магнезія	—	—	0,1800	0,1665
Хлористый калій	—	—	0,1158	—
Хлористый натрій	0,0911	2,6115	1,6627	0,0015
Хлористый литій	—	0,0033	—	—
Бромистый натрій	—	0,0036	—	0,0130
Іодистый натрій	—	0,0005	—	—
Двууглекислый натръ	0,0446	0,9187	0,1081 (фонтанно-кислые)	—
Двууглекислая известь	0,0026	0,2274	1,1204 (фонтанно-кислые)	—
Двууглекислая магнезія	0,0163	0,0771	0,0737 (фонтанно-кислые)	0,5181
Двууглекислая закись желѣза	0,0042	0,0131	—	—
Двууглекислая закись марганца	—	—	—	0,0031
Глиноземъ	—	—	0,0105	—
Кремнеземъ	0,0933	0,0661	0,0528	0,0185
Сумма составныхъ частей	0,3475	4,4481	4,3950	2,5428
Своб. углекислоты въ куб. сант.	7,282	126,94	297,90	336,2
Температура	64°,5	55°	46°,88	7°

VI. Известковые или землистые источники отличаются преобладаніемъ углекислаго и сѣрнокислаго кальція, иногда съ участіемъ магнезіальныхъ солей и свободной угольной кислоты, напр., въ Wildungen (1289,7 к. сант.), и азота. Температура ихъ большею частью низкая, но бываютъ и съ высокой, напр., Bagni di Lucca—53,7° Ц. Большинство ихъ въ лечебномъ отношеніи не имѣетъ значенія и должно быть причислено къ безразличнымъ источникамъ. Примѣрами известковыхъ источниковъ могутъ служить: Бирштанскіе, Джелалъ-абадскіе, Алапаевскій, Contrexéville, Баденъ у Цюриха, Безабдальскій и др. Известковыя воды иначе называются жесткими. Степень жесткости выражается градусами, причемъ за одинъ градусъ (т. наз. нѣмецкій) принято считать миллиграммъ извести (окиси кальція), растворенной въ 100 граммахъ воды. Опредѣляется жесткость извѣстнымъ объемомъ спиртнаго раствора чистаго мыла извѣстной концентраціи; прибавляя такой растворъ къ известковой водѣ и зная по таблицамъ, какое количество мыла требуетъ данное количество извести и магнезіи для своего насыщенія, можно опредѣлить степень жесткости по первому появленію мыльной пѣны при взбалтываніи смѣси. Питьевая

вода въ 6—8° жесткости считается хорошею; 17° жесткости считается предѣльной нормой, а съ большею жесткостью вода не годна къ употребленію. Обыкновенно жесткость узнается уже по трудности разваривания овощей, по слабой заваркѣ чая и по большому потребленію мыла, которое сильно поглощается известковою водою и начинаетъ вспѣниваться только тогда, когда вся известь въ водѣ насыщена мыломъ.

VII. Индиферентные или химически-безразличные источники, (Акрато-термы), въ которыхъ такъ мало содержится солей и газовъ, что они не принимаются во вниманіе при оцѣнкѣ лечебнаго дѣйствія, а именно не болѣе 1 гр. на литръ, хотя нѣкоторые содержатъ до 1,5 гр., напр. Evaux, La Malou, Bagnères de Bigorre и др. Между ними предпочитаются теплые источники, напр., Малкенскіе (86,9°), Chandes-aigues (81,5), Бутинскіе (80,5°), Plombières (70°), Dax (60°), Туркинскіе (58°), Абасъ-Туманскіе (до 48,2), Гаштейнъ (46°), Рагацъ-Пфефферсъ (36°) и другіе.

Кромѣ этой классификаціи практикуются и другія, напр. Гаасъ [95]) раздѣляетъ минеральные источники на семь группъ, мало отличающихся отъ предыдущихъ, а именно: 1—кислые или антракокрены съ свободной углекислотой; 2—щелочные; 3—желѣзистые, 4—соляные или галопеги, 5—горькіе, 6—щелочно-землистые и 7—сѣрнистые. Добрэ [96]) тоже выдѣляетъ 7 группъ, но со многими подгруппами, а именно 1—Источники съ хлористыми металлами: *a*—съ хлористымъ натріемъ, *b*—съ хлористымъ каліемъ, c—съ хлористымъ магніемъ. 2—Источники со свободной соляной кислотой. 3—Сѣрные источники. 4—Источники со свободной сѣрной кислотой. 5—Источники съ содержаніемъ сульфатовъ: a—съ сѣрнистымъ натріемъ, b—съ сѣрнистымъ кальціемъ, c—съ сѣрнистымъ магніемъ, d—съ сѣрнистымъ алюминіемъ, e—съ сѣрнистымъ желѣзомъ, *f*—со смѣшанными сѣрнистыми соединеніями 6—Источники съ содержаніемъ карбонатовъ: a—съ углекислымъ натріемъ; b—съ углекислымъ кальціемъ, c—съ углекислымъ желѣзомъ, d—со смѣшанными углекислыми соединеніями. 7—Источники съ содержаніемъ силикатовъ.

Танъ [97]) построилъ свою классификацію на основаніи той гипотезы, (по теоріи van't-Hoff-Arrhenius), что въ весьма разведенныхъ растворахъ минеральныя соли находятся въ разложенномъ состояніи въ видѣ такъ называемыхъ іоновъ, хотя и допускаетъ вмѣстѣ съ іонами нахожденіе нерасчлененныхъ солей. Онъ дѣлитъ всѣ источники на 9 группъ: 1—щелочно-углекислые источники; 2—землисто-углекислые; 3—желѣзно-углекислые; 4—углекислые съ поваренной солью; 5—углекислые съ сѣрнистыми соединеніями; 6—щелочно-двууглекислые; 7—горькіе; 8—галоидные; 9—термальные съ температурой выше 24°. Коншинъ [98]) дѣлитъ всѣ кавказскія воды на 10 группъ, подобныхъ группировкѣ Зеегена.

Всѣ подобныя классификаціи, хотя и отличаются практическимъ удобствомъ въ лечебномъ отношеніи, но не всегда выдерживаютъ строгую критику, „такъ какъ“, по словамъ авторитетнаго спеціалиста Л. Б. Бертенсона, „дѣйствіе многихъ водъ“ отнесенныхъ въ ту или другую группу въ зависимости отъ состава солей „часто всего менѣе зависитъ отъ этихъ солей“, особенно слабоминерализованныхъ водъ, напр., Contrexéville, извѣстныхъ подъ именемъ промывочныхъ (eaux de lavage), къ которымъ относятся многія даже извѣстныя минеральныя воды. „Врачебное дѣйствіе лечебныхъ водъ“ прибавляетъ Бертенсонъ „зависитъ не только отъ физикохимическихъ свойствъ ихъ, т. е. минеральныхъ частей, въ нихъ содержащихся и воды, которая сама по себѣ есть дѣятель весьма энергичный, но и отъ совокупности условій, въ которыя поставленъ больной во время пользованія водами“.

Приведенная классификація минеральныхъ источниковъ, (какъ и ей подобныя) [99]), несмотря на свою искусственность и недостатки въ химическомъ отношеніи, получила широкое распространеніе только благодаря практическимъ удобствамъ ея въ лечебномъ дѣлѣ, хотя и съ этой стороны она небезупречна, такъ какъ фармакологическое дѣйствіе водъ часто всего менѣе зависитъ отъ растворенныхъ въ нихъ «солей». Геологическое же значеніе ея весьма малое, такъ какъ отдѣльныя группы этой классификаціи не пріурочиваются ни къ какимъ геологически опредѣленнымъ областямъ, вслѣдствіи чего невозможно выяснить общія условія географическаго распредѣленія этихъ группъ. Между тѣмъ, казалось бы, что классификація минеральныхъ источниковъ должна быть основана не только на химическихъ, но и на геологическихъ данныхъ; подобно тому,

какъ въ отношеніи циркуляціи и выхода на поверхность источники раздѣляются въ зависимости отъ стратиграфическихъ условій такъ и по отношенію къ минерализаціи ихъ, они должны раздѣляться въ зависимости отъ температуры и состава вмѣщающихъ породъ. Съ этой точки зрѣнія болѣе общія французскія классификаціи (Дюранъ-Фарделя и Де-Лонэ) имѣютъ несомнѣнныя преимущества, тѣмъ болѣе, что онѣ, до нѣкоторой степени, удовлетворяютъ и лечебнымъ цѣлямъ, такъ какъ въ основу ихъ положены химическія соединенія, имѣющія важное бальнеологическое значеніе.

Всѣ термо-минеральные источники, по классификаціи Де-Лонэ [100]), раздѣляются на пять группъ, изъ которыхъ каждая можетъ быть раздѣлена еще на нѣсколько подгруппъ (напр. по Дюранъ-Фарделю). Изъ нихъ первыя три группы имѣютъ наибольшее значеніе какъ въ геологическомъ, такъ и въ бальнеологическомъ отношеніяхъ; онѣ различаются солями натрія, свободной углекислотою, температурою и геологическими условіями нахожденія, а именно:

1) Хлористые или соляные источники (Sources salines, Haloregen), всегда холодные, характеризуются преобладаніемъ хлористаго натрія и перемѣннымъ участіемъ іодистыхъ, углекислыхъ и сѣрнокислыхъ солей: натрія, калія, литія, магнія и кальція, а также, изрѣдка, свободнымъ сѣроводородомъ и, большею частью, отсутствіемъ свободной углекислоты. Залегаютъ преимущественно въ осадочныхъ формаціяхъ, содержащихъ залежи каменной соли, каковы: пермская, тріасовая и третичная, а у насъ и девонская, напр., Старая Русса, Бексъ, Рейхенгалль, Рейнфельденъ, гдѣ содержаніе хлористаго натрія достигаетъ до 200—300 гр.

2) Углекислые источники (Sources carbonatés), разнообразной температуры, отличаются преобладаніемъ углекислаго натра и свободной углекислоты при небольшомъ и непостоянномъ участіи другихъ углекислыхъ солей, въ томъ числѣ желѣза и марганца, а также нѣкоторыхъ сѣрнокислыхъ и хлористыхъ солей. Они встрѣчаются, преимущественно, въ вулканическихъ областяхъ современнаго и третичнаго періодовъ, напр. Овернь, Кавказъ, Италія.

3) Сѣрнистые или сѣрнонатровые источники (Sources sulfurées sodiques) отличаются большею частью высокою температурою, преобладаніемъ сѣрнистаго или сѣрнокислаго натрія, свободною углекислотою и сѣроводородомъ при перемѣнномъ участіи углекислыхъ и хлористыхъ солей. Они выходятъ въ большинствѣ случаевъ съ большой глубины и пріурочиваются преимущественно къ осадочнымъ и метаморфическимъ породамъ, особенно сильно дислоціированнымъ, напр., Барежъ, Котэрэ, Пятигорскъ, Кумогорскъ и др.

4) Желѣзные источники (Sources ferrugineuses) безъ свободной углекислоты и всегда холодные; они отличаются содержаніемъ солей закиси желѣза съ примѣсями другихъ соединеній и особенно частымъ присутствіемъ азотистыхъ. Они эксплуатируются сравнительно мало, хотя имѣютъ широкое распространеніе въ поверхностныхъ геологическихъ образованіяхъ, особенно въ наносахъ вблизи болотъ и торфяниковъ, напр., въ Сѣверной Германіи, Даніи, въ сѣверной и средней Россіи и пр.

5) Индиферентные термы (Sources indifférentes, alpestres, Wild-

bäder) отличаются высокою температурою и ничтожною минерализаціею или даже отсутствіемъ ея, напр., Рагацъ (38° Ц.), Пломбіеръ (70° Ц.), Гаштейнъ (71° Ц.) и др.

Такимъ образомъ, разсмотрѣніе химическаго состава минеральныхъ источниковъ показываетъ полную зависимость его отъ вмѣщающихъ породъ, которыя или непосредственно растворяются водою, или только отчасти выщелачиваются, или же совершенно измѣняются подъ вліяніемъ сложныхъ химическихъ процессовъ При такой зависимости и при непостоянствѣ дебита источниковъ, минерализація ихъ не можетъ быть постоянною, а подвергается разнообразнымъ колебаніямъ, которыя происходятъ въ концентраціи и составѣ нетолько временно—періодически, но и постоянно—хронически.

Колебанія минерализаціи источниковъ. Періодическія колебанія бываютъ большею частью кратковременныя, а именно по временамъ года или даже ежедневно; хроническія же измѣненія наблюдаются только въ теченіе многихъ лѣтъ. Кромѣ того, иногда рѣзкія измѣненія источниковъ наступаютъ быстро вслѣдствіе какихъ-либо внезапныхъ катастрофъ, напр. землетрясеній. Суточныя и годовыя колебанія, повидимому, находятся въ зависимости отъ перемѣнъ температуры и атмосферныхъ осадковъ, достигаютъ иногда значительныхъ размѣровъ и распространяются даже на глубокіе источники, какъ показали наблюденія надъ нѣкоторыми русскими минеральными водами, напр., въ Цѣхоцинкахъ содержаніе хлористаго натрія колебалось отъ 29 до 52 граммъ на литръ воды въ источникѣ, выходящемъ съ глубины 427 метровъ; въ водѣ артезіанскаго колодца Петербурга количество хлора ежедневно колеблется отъ 21,6% до 24,75%, а удѣльный вѣсъ отъ 1,0022 до 1,0050; въ соленыхъ источникахъ Друскеникъ содержаніе галоидовъ ежедневно измѣняется отъ 4,28 до 6,07 граммовъ въ литрѣ воды, извести отъ 1,132 до 1,569 гр., а удѣльный вѣсъ отъ 1,0104 до 1,0070 при 4° Ц.

На размѣры колебанія оказываетъ вліяніе температура источника; при низкой температурѣ колебанія больше, чѣмъ при высокой, такъ въ Niederselters, при $t = 15{,}5°$ Ц., сумма твердаго остатка колеблется между 87,3 — 100; въ Эмсъ-Кренхенъ, при $t = 36°$, колебаніе 95,6 до 100, въ Kochbrunnen Висбадена, при $t = 68{,}5°$, колебанія почти незамѣтны—99,7 до 100 [102]).

Многолѣтнія измѣненія обусловливаются преимущественно выщелачиваніемъ и смѣною минерализующихъ породъ; они достигаютъ еще большихъ размѣровъ, напр., въ Друскеникскихъ источникахъ за періодъ 46 лѣтъ (1835—1881 гг.) концентрація почти удвоилась, а именно вмѣсто 5,3 твердаго остатка въ 1835 г., на то же количество воды въ 1881 г. было 9,9 твердаго остатка. Кромѣ того, произошли существенныя измѣненія въ минерализаціи, выразившіяся главнымъ образомъ въ замѣщеніи натрія (съ 28 на 18%), кальціемъ (съ 8 на 14%) и магніемъ (съ 2% на 7%) [101]). Теплосѣрные источники въ Пятигорскѣ еще въ 1875 г. содержали сѣроводородъ, а уже въ концѣ 80-хъ годовъ сдѣлались совершенно индиферентными; громадные прѣсные источники горы Юцы, питающіе Пятигорскій водопроводъ, нѣкогда были сильно минерализованы, потому что отложили огромныя толщи туфа; слѣдовательно, минеральные

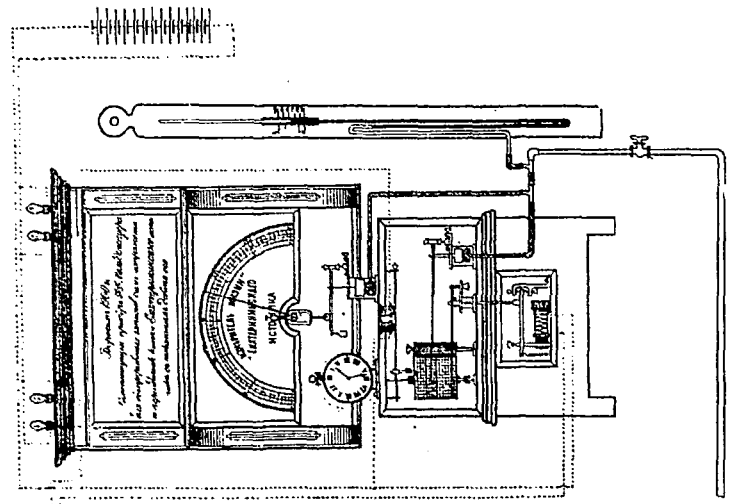
источники съ теченіемъ времени могутъ совершенно опрѣсняться и превращаться въ индиферентные.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ измѣненіе состава, а также температуры и дебита минеральныхъ источниковъ происходитъ внезапно вслѣдствіи землетрясеній, которыя нарушаютъ вообще циркуляцію подземныхъ водъ. Такъ, напр., знаменитое Лиссабонское землетрясеніе 1-го ноября 1755 г. отразилось на множествѣ минеральныхъ источниковъ Европы; именно, въ Néris при прохожденіи сейсмической волны источникъ билъ фонтаномъ до 4 метр. высотою, и окрасился въ молочный цвѣтъ; вблизи его открылись новые источники; въ Виши источникъ Grand Grille сдѣлался перемежающимся; Теплицкіе источники сначала совершенно изсякли, а затѣмъ появились мутными и съ увеличеннымъ дебитомъ; въ источникахъ въ Баньеръ-де-Бигорръ значительно понизилась температура съ 52° до 32° Ц. и т. д.; при этомъ минерализація ихъ нѣсколько измѣнилась. Тоже наблюдалось при землетрясеніяхъ 1861 г. на источникахъ Бурбонъ-ле-Бэнъ, 1863 г. въ Годна (Hodna) въ Алжирѣ; въ 1881 г. источникъ Бридъ въ Валэ послѣ землетрясенія увеличилъ свою минерализацію; въ Эвбеѣ при землетрясеніи 1894 г. 28-го апрѣля многіе источники значительно измѣнились. При послѣднемъ землетрясеніи въ Ахалкалакахъ 19-го декабря 1899 г. въ Боржомѣ открылись новые сѣрнистые источники, а Екатерининскій увеличился почти вдвое и возросло содержаніе углекислоты. Всѣ эти измѣненія объясняются тѣми крупными перемѣщеніями въ корѣ земной: трещинами, провалами и пр., которыми всегда сопровождаются сильныя землетрясенія (см. т. 1 гл. X.).

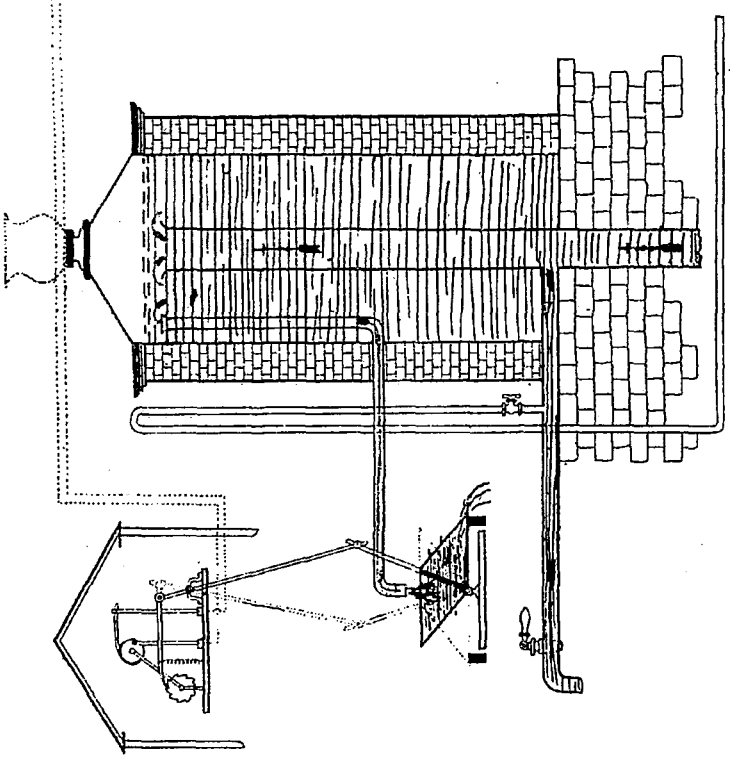
Всѣ эти колебанія, въ связи съ вышеизложенными свидѣтельствуютъ о непостоянствѣ не только дебита, температуры, но и состава минеральныхъ источниковъ, а потому одиночный химическій анализъ не можетъ еще характеризовать источникъ и опредѣлять его примѣненіе. Только продолжительныя и систематическія изслѣдованія жизни источника даютъ возможность цѣлесообразно пользоваться имъ, а для этой цѣли нельзя не пожелать широкаго распространенія самопишущаго прибора Ф. Ф. Мольденгауэра [103]), наз. измѣрителемъ жизни источника, который слѣдуетъ установить по возможности на всѣхъ курортахъ, гдѣ эксплуатируются минеральные источники (фиг. 196); онъ автоматически записываетъ какъ давленіе, такъ и количество воды, показывая то и другое въ видѣ непрерывныхъ кривыхъ, подобныхъ кривымъ самопишущихъ приборовъ Ришара, употребляемыхъ на метеорологическихъ станціяхъ.

Поводомъ къ устройству самопишущаго прибора послужило Мольденгауэру то обстоятельство, что Екатерининскій источникъ въ Боржомѣ обнаружилъ, особенно рѣзко послѣ Ахалкалакскаго землетрясенія 19-го декабря 1899 г., довольно правильныя періодическія колебанія; чтобы фиксировать эти колебанія Мольденгауэръ, основываясь на физическомъ законѣ равновѣсія жидкостей въ сообщающихся сосудахъ, предположилъ, что если въ магистральной трубѣ источника происходитъ колебаніе воды отъ давленія газовъ, то таковое должно быть передаваемо въ томъ же ритмическомъ порядкѣ и водѣ въ трубкѣ, находящейся на одинаковой высотѣ съ магистральной трубой; опытъ вполнѣ подтвердилъ это предположеніе. Когда къ тонкой трубкѣ былъ герметически придѣланъ ртутный манометръ, то наблюдалось давленіе, колеблющееся отъ $4^1/_2$ ф. до $5^1/_2$ фунтовъ на квадратный дюймъ. Повышенія и пониженія давленія соотвѣтствовали въ обратномъ отношеніи увеличенію и уменьшенію силы кипѣнія источника отъ выдѣляющагося газа; чѣмъ его больше, тѣмъ болѣе вытѣсняется вода и вѣсъ водяного столба уменьшается и наоборотъ. Уста-

новка прибора около источника оказалась весьма неудобною и потому труба, въ которой измѣрялись колебанія источника ртутнымъ монометромъ, была продолжена до химической лабораторіи, т. е. на 35 метровъ. Передача же колебаній производилась воздушнымъ столбомъ, находящимся въ трубкѣ между водою и маноме-



Фиг. 196b.



Фиг. 196a.

Измѣритель жизни источника, приборъ Ф. Ф. Мольденгауэра.

тромъ (фиг. 196a). Опытъ показалъ, что хотя ритмичность колебаній совершенно сохранилась, но давленіе въ лабораторіи нѣсколько уменьшилось, а именно, въ предѣлахъ отъ 4 до 5 ф. или отъ 200 до 250 мм. ртутнаго столба вмѣсто $4^1/_2$—$5^1/_2$ у источника. Для фиксированія колебаній на бумагѣ, они передаются стрѣлкѣ съ перомъ, рисующей діаграмму на клѣтчатой миллиметровой бумагѣ, длиною 2 метра, которая

накатывается на запасный валикъ и передвигается часовымъ механизмомъ на барабанѣ въ теченіе сутокъ (фиг. 196b). Спеціально приспособленная стрѣлка при помощи электромагнита обозначаетъ прямыми точками часы на передвигаемой часовымъ механизмомъ лентѣ.

Полученныя такимъ образомъ діаграммы (фиг. 196c) даютъ полное представленіе о колебаніяхъ источника и силѣ выдѣленія газовъ. Зная же объемъ магистральной трубы можно вычислить по этимъ кривымъ количество выдѣляемаго газа за любой періодъ времени; нужно только помнить, что въ діаграммѣ высшія пункты соотвѣтствуютъ наибольшему давленію, но наименьшему выдѣленію газовъ, а низшія наоборотъ. Для опредѣленія количества воды служитъ особый водомѣръ, состоящій изъ качающагося на оси желѣзнаго ящика, формы параллелепипеда, раздѣленнаго перегородкой на два отдѣленія, изъ которыхъ каждое по емкости равно ведру. При наполненіи одного отдѣленія ящикъ опрокидывается и вода выливается, а другое отдѣленіе въ это время наполняется. Эти качательныя движенія водомѣра при помощи рычага приводятъ въ дѣйствіе электрическій контактъ, устроенный съ такимъ разсчетомъ, чтобы послѣ каждыхъ 10 колебаній, соотвѣтствующихъ 10 ведрамъ, электрическій токъ замыкался и размыкался. Этимъ токомъ приводится въ движеніе якорь электромагнита, находящагося въ нижней части самопишущаго прибора (фиг. 196b). Соединенное съ якоремъ перо (нижнее на барабанѣ), отмѣчаетъ на листѣ то выше, то ниже черточки, изъ которыхъ каждая обозначаетъ 10 ведеръ воды. При замкнутомъ токѣ якорь притягивается электромагнитомъ и одновременно поднимаетъ перо, которое рисуетъ верхніе черточки; при разомкнутомъ токѣ перо рисуетъ нижнія черточки. Такимъ образомъ автоматическій приборъ Мольденгауэра графически изображаетъ количество воды и размѣры колебаній въ опредѣленное время, что даетъ возможность вычислить количество газа, выдѣляющагося изъ источника. Для обработки наблюденій и составленія ежедневнаго и мѣсячнаго бюллетеня, г. Мольденгауэръ даетъ особый практическій способъ, изложенный въ его брошюрѣ.

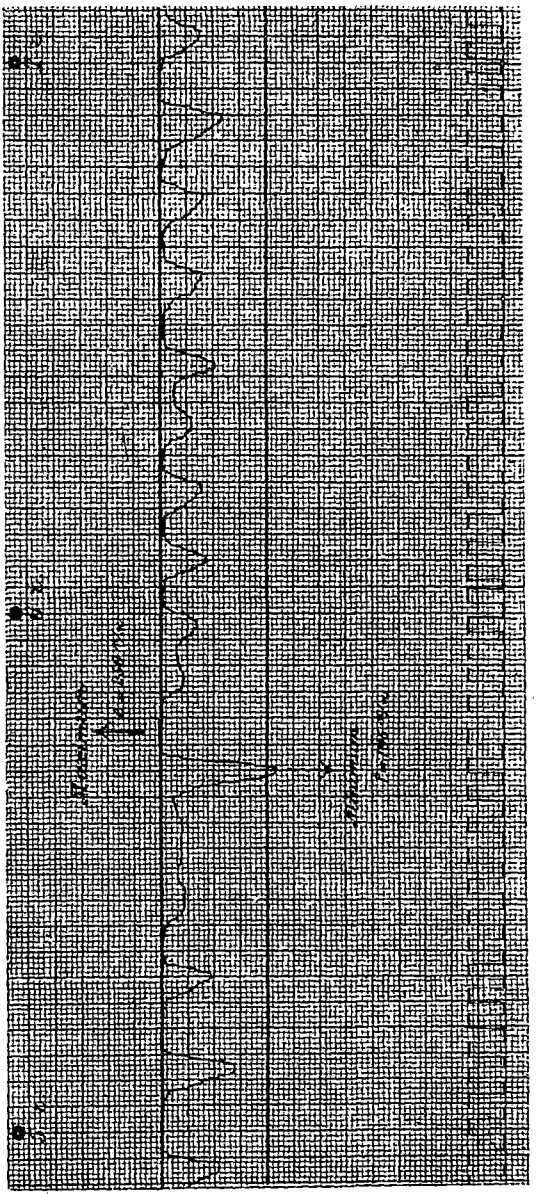


Рис. 196 c. — Діаграмма колебаній источника и силы выдѣленія газовъ.

Дебитъ минеральныхъ источниковъ также разнообразенъ, какъ и простыхъ; онъ варьируетъ отъ нѣсколькихъ десятковъ ведеръ въ сутки, (напр., Эссентукскій № 17) до нѣсколькихъ сотъ тысячъ (напр., Нарзанъ въ Кисловодскѣ). Само собой разумѣется, что въ каждомъ источникѣ дебитъ подверженъ различнымъ колебаніямъ въ зависимости отъ тѣхъ же при-

чинъ, которыя разсмотрѣны уже выше. По отношенію къ минеральнымъ источникамъ дебитъ выражается такъ называемою бальнеологическою мощностью, при чемъ за бальнеологическую единицу принимаютъ ванну въ 333 литра при 35° Ц. Если суточное количество воды въ источникѣ V, то его бальнеологическая мощность M выразится такъ:

$$M = \frac{V}{333},$$

но это при условіи прямого пользованія минеральною водою, безъ прибавленія прѣсной воды. Если же къ минеральной водѣ прибавляютъ прѣсную и смѣсь доводятъ тоже до 35° Ц., то въ ваннѣ въ 333 литра будетъ x минеральной съ температурою t и y — прѣсной съ температурою t', при чемъ количество x опредѣляется изъ уравненій:

$$xt + yt' = (x + y)\,35$$

$$x + y = 333,$$

откуда

$$x = \frac{333\,(35 - t')}{t - t'},$$

а бальнеологическая мощность выразится такъ:

$$M = \frac{V}{x} \text{ или } \frac{V}{333}\left(1 + \frac{35 - t}{t' - 35}\right).$$

Если же количество воды выражать въ куб. метрахъ, то, такъ какъ 333 литра составляютъ $^1/_3\,m^3$, значитъ $M = 3V\left(1 + \frac{35 - t}{t' - 35}\right)$.

Осадки отлагаемые источниками.

Минеральные источники, насыщаясь солями на счетъ растворенія и выщелачиванія горныхъ породъ, съ одной стороны производятъ въ корѣ земной разнообразныя пустоты: отъ самыхъ маленькихъ до громадныхъ пещеръ, а съ другой переносятъ растворенныя вещества и при благопріятныхъ условіяхъ снова отлагаютъ ихъ, образуя совершенно своеобразные осадки, которыя можно было бы назвать ключевыми или источниковыми осадками, хотя нѣкоторые изъ нихъ называютъ туфами. Условія, благопріятныя для отложенія, какъ, напр., уменьшеніе давленія, температуры и пр. встрѣчаются одинаково часто какъ внутри земной коры, такъ и на поверхности, при устьѣ источника, поэтому ключевые осадки имѣютъ широкое распространеніе, но, разумѣется, внѣшнія формы ихъ залеганія, болѣе доступныя для изслѣдованія, отличаются отъ внутреннихъ, болѣе сложныхъ по составу и строенію. Разсмотримъ наиболѣе обыкновенные изъ тѣхъ и другихъ. Само собой разумѣется, что относительныя количества матеріальныхъ веществъ, отлагаемыхъ источниками, находятся въ прямомъ отношеніи къ степени ихъ растворимости и участія въ составѣ минеральныхъ источниковъ. Первое мѣсто между ними занимаютъ: известковый туфъ, кремнистый туфъ, гипсъ,

поваренная соль и бурый желѣзнякъ, которые имѣютъ широкое распространеніе внутри земной коры, а на поверхности образуютъ мощныя толщи, а первые два цѣлыя горы.

Источники перемѣщаютъ и выносятъ на поверхность огромное количество солей: напр., Карлсбадскій Шпрудель выноситъ ежегодно около 400 пуд. фтористаго кальція, 50.000 пуд. углекислаго натра, 80.000 пуд. глауберовой соли, да кромѣ того углекислаго кальція, поваренной соли, такъ что всего около 332.000 пуд. солей; Аахенскіе источники даютъ въ годъ 105 000 пуд., Пятигорскіе — 120.000 пуд. Одинъ Нарзанъ, несмотря на небольшое содержаніе минеральныхъ примѣсей, даетъ въ годъ около 1.500 пуд. солей. Сѣрнистые источники Варездинъ Тѣплицъ въ Кроаціи, въ періодъ отъ Р. Х. до настоящаго времени, вынесли 37.000.000 пуд., что составитъ кубъ въ 140 м. длиною ребра, т. е. гору выше Страсбургскаго собора. Въ Батѣ источники даютъ въ годъ такое количество солей, что объемъ ихъ равенъ столбу діаметромъ 9 ф. и высотою 100 ф., такъ что если бы все это скоплялось у устья источника, то чрезъ нѣсколько лѣтъ образовалась бы гора, не уступающая по величинѣ многимъ вулканамъ. Гипсовые источники Бадена, близъ г. Вѣны, доставляютъ въ часъ отъ 600 до 1.000 куб. ф. воды, осаждающей мелкій порошокъ гипса съ сѣрою и хлористымъ кальціемъ. Одинъ изъ 20-ти источниковъ Лейкерскихъ водъ въ Швейцаріи, именно Лоренцъ, выноситъ ежегодно 400.000 пуд. гипса, что составитъ массу въ 6.000 куб. фут. Если при этомъ замѣтимъ, что въ нѣкоторыхъ мѣстахъ минеральные источники являются десятками и сотнями, то станетъ совершенно понятна ихъ громадная роль; такъ, на французскомъ склонѣ Пиренеевъ считается около 500 минеральныхъ источниковъ. У насъ въ одномъ Пятигорскомъ округѣ насчитывается до 50 источниковъ; въ Новой Зеландіи, въ Сѣверной Америкѣ и пр. гейзеры считаются сотнями.

Изъ всѣхъ минеральныхъ веществъ, выносимыхъ ключами на поверхность земли, самая важная въ экономическомъ отношеніи — поваренная соль. Она легче всѣхъ другихъ тѣлъ растворяется въ водѣ, и потому всѣ ключи, проходящіе по соляным слоямъ, насыщаются ею. По этой причинѣ, всѣ сколько-нибудь значительные соленые источники болѣе или менѣе эксплуатируются промышленниками. Массу соли, которая извергается ежедневно вмѣстѣ съ водою изъ глубины, считаютъ тысячами тоннъ. Источники Галлейнъ, стекающіе по сѣверному склону Зальцбургскихъ Альпъ и которые весьма тщательно задерживаются, доставляютъ ежегодно 15.000 тоннъ этого минерала. Соленыя воды въ Галлѣ, въ Пруссіи, даютъ ежегодно 10.000 тоннъ соли. Другія части Германіи доставляютъ также тысячи тоннъ соли, добываемой посредствомъ выпариванія изъ ключевой воды.

Недалеко отъ тѣхъ мѣстъ, гдѣ нѣкогда стояла Троя, находится долина Тузла-су, которая получила свое названіе (соленая вода) отъ безчисленныхъ соленыхъ ключей съ температурою около 100°. Главный ключъ бьетъ фонтаномъ не менѣе фута въ діаметрѣ и описываетъ дугу въ $1^1/_2$ м. высоты. Остальные источники, сливаясь съ главною струею, образуютъ кипящій и клокочущій потокъ. Изъ этихъ ключей легко было бы извлекать ежедневно огромное количество соли, но турецкое прави-

тельство, владѣющее долиною Тузла-су, по своей безпечности, добываетъ въ годъ только тысячу тоннъ.

У насъ извѣстны соленые разсолы въ Старой Руссѣ, ключи въ Псковской губ., во многихъ мѣстахъ Вологодской губ. и, особенно, въ Пермской губ., гдѣ ежегодно выпариваютъ до $14^1/_2$ милліоновъ пудовъ соли, а изъ всѣхъ соленыхъ источниковъ у насъ получается ежегодно около 70 милліоновъ пудовъ соли.

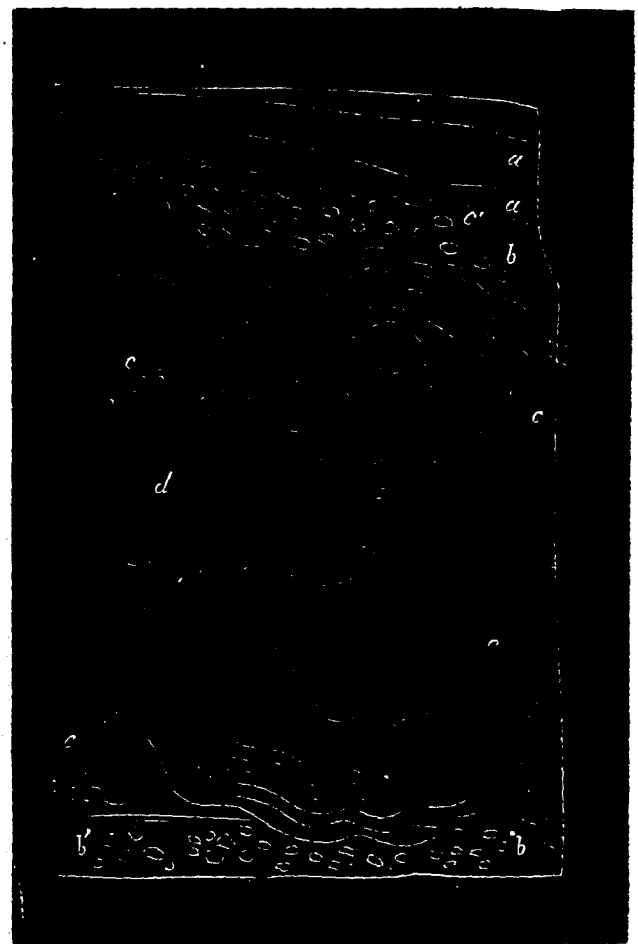
Но особенно большія отложенія образуютъ известковые и кремнистые источники. Углекислый кальцій находится почти во всѣхъ источникахъ въ разныхъ пропорціяхъ. Уже небольшое количество его дѣлаетъ воду жесткою, вредною для питья. Но многіе источники содержатъ такое обиліе углекислаго кальція, что осажденіемъ его быстро образуютъ цѣлыя горы: осадки эти называются туфомъ или травертиномъ.

Одинъ изъ самыхъ разительныхъ примѣровъ быстраго осажденія углекислой извести изъ горячихъ водъ встрѣчается въ Санъ-Виньонскомъ холмѣ въ Тосканѣ [104]), у подножія горы Аміаты, состоящей по большей части изъ вулканическихъ продуктовъ и глинистаго сланца съ змѣевикомъ. Отложеніе осадка близъ источника происходитъ такъ быстро, что на днѣ водоотводной трубы, проводящей воду въ бани и наклоненной подъ угломъ 30°, ежегодно образуется слой травертина въ полфута толщиною. Болѣе плотная порода образуется тамъ, гдѣ вода течетъ медленно. Говорятъ, что осадокъ, образующійся зимою, при наименьшемъ испареніи, обыкновенно бываетъ плотнѣе, но по количеству на одну четверть менѣе противъ лѣтняго. Осадокъ обыкновенно бѣлый; нѣкоторыя части его плотны и звенятъ подъ молоткомъ; другія ноздреваты и имѣютъ точно такія же полости, какія видны въ кремнистомъ жерновомъ камнѣ Парижскаго бассейна. Часть его, лежащая ниже деревни С.-Виньонъ, состоитъ изъ покрытыхъ накипью длинныхъ растительныхъ трубокъ и можетъ быть названа туфомъ.

Толстая масса травертина спускается съ холма въ томъ мѣстѣ, гдѣ выходитъ ключъ, и идетъ почти на полмили къ *O* отъ С.-Виньонъ. Слои его принимаютъ наклонъ холма почти въ 6°, и плоскости ихъ наслоенія совершенно параллельны. Одинъ пластъ, составленный изъ многихъ слоевъ, имѣетъ значительную плотность и до 15 ф. толщины. Онъ служитъ прекраснымъ строительнымъ матеріаломъ. Другая вѣтвь спускается къ *W* и имѣетъ въ длину 250 ф., при неодинаковой толщинѣ, которая иногда достигаетъ 200 ф. Потомъ она обрѣзывается маленькою рѣчкою Орсія, подобно тому, какъ нѣкоторые глетчеры въ Швейцаріи спускаются въ долину лишь до тѣхъ поръ, пока ихъ движеніе внезапно не останавливается поперечно-текущимъ потокомъ. Прекращеніе этой массы близъ Орсіи, гдѣ толщина ея нисколько не уменьшается, ясно показываетъ, что она протянулась бы гораздо далѣе, если бы не была остановлена этою рѣчкою, надъ которой она слегка наклоняется. Она не можетъ переступить черезъ русло Орсіи, будучи постоянно подмываема ею, такъ что ея твердые обломки разсыпаются между наноснымъ гравіемъ. Поэтому, какъ бы огромна ни показалась масса твердой горной породы, произведенная однимъ этимъ ключомъ, мы можемъ быть увѣрены, что она ничтожна по объему въ сравненіи съ той массой, которая была унесена въ море, со времени образованія источника.

На другомъ холмѣ, въ немногихъ миляхъ отъ вышеупомянутаго, находятся знаменитыя бани Санъ-Филиппо. Внизу залегающія горныя породы состоятъ изъ перемежающагося чернаго сланца, известняка и змѣевика. Здѣсь три горячихъ ключа, содержащихъ углекислую и сѣрнокислую известь и сѣрнокислую магнезію. Вода, которой снабжаются бани, втекаетъ въ прудъ, въ которомъ она отложила пластъ въ 30 ф. толщиною, въ теченіи 10 лѣтъ или около 1 ф. въ 4 мѣсяца, поэтому неудивительно образованіе толщи, спускающейся съ этого холма, которая въ длину тянется на $1^1/_4$ мили, въ ширину имѣетъ $^1/_3$ м., а толщина ея достигаетъ 250 ф. Нельзя предугадать, до какой длины могла бы протянуться она, ибо и здѣсь, подобно С.-Виньонскому травертину, ее пересѣкаетъ небольшой ручеекъ, при которомъ она внезапно оканчивается.

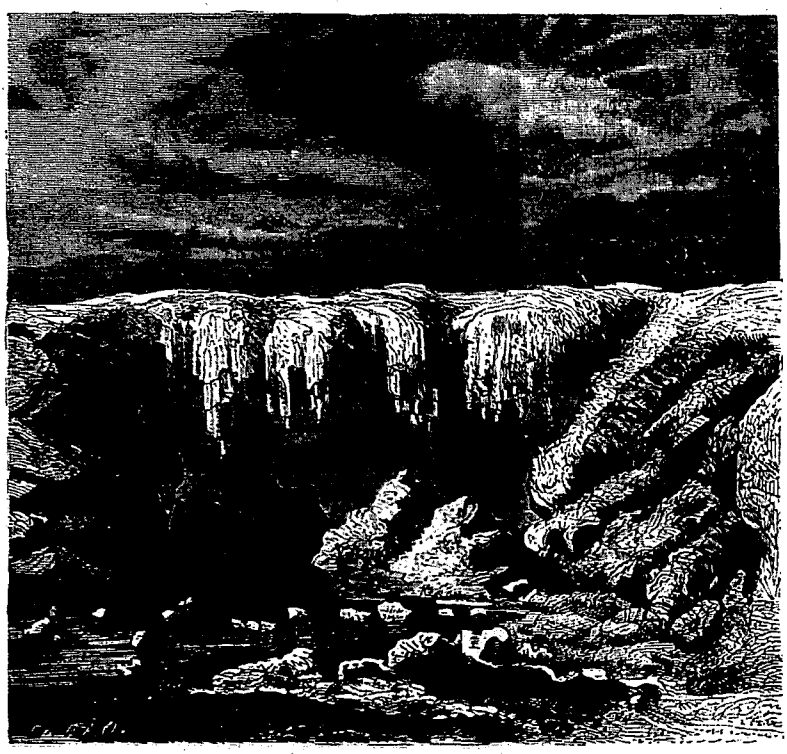
Строеніе травертина сферондально-листоватое и отдѣльные листики такъ тонки, что ихъ можно насчитать до шестидесяти въ слоѣ, толщина котораго не превышаетъ дюйма; но, несмотря на такіе признаки постепеннаго и послѣдовательнаго осажденія, при разрѣзахъ нерѣдко обнаруживается нѣчто похожее на правильныя сферы. Наклонность къ сосцеобразному и шарообразному сложенію происходитъ отъ легкости, съ которою известковое вещество осаждается почти въ равныхъ количествахъ на всѣ стороны какого-нибудь обломка раковины или дерева, или какой-нибудь неровности на поверхности насажденія, причемъ форма основного ядра легко передается черезъ всякое число послѣдовательно образующихся оболочекъ; поэтому, иногда, замѣчаются оолитовыя зерна, имѣющія шарообразную форму. Но большею частью сферы эти неправильны.



Фиг. 197.—a, a—твердый травертинъ и мягкій туфъ, b, b—пизолитъ; c, c—твердый травертинъ со сфероидами до 8 ф. въ діаметрѣ и съ включеніями аморфнаго туфа d. Разрѣзъ туфа Тиволи.

Лучшія зданія древняго и новаго Рима построены изъ травертина, добытаго въ каменоломняхъ Монте-Лукано. Въ этой же самой мѣстности известковыя воды р. Аніо покрываютъ накипью растущіе по берегамъ ея тростники; а пѣна Тиволійскаго водопада образуетъ прекрасные висячіе сталактиты. По бокамъ глубокой пропасти, въ которую низвергается каскадъ, видно накопленіе горизонтальныхъ слоевъ туфа и травертина, отъ 400 до 500 ф. въ толщину. Разрѣзъ, лежащій непосредственно подъ храмами Весты и Сивиллы, обнаруживаетъ, на обрывѣ въ 400 ф. вышиною, строеніе этихъ осадковъ. На рисункѣ (фиг. 197), изображающемъ около 14 ф. этого разрѣза, слои *aa* состоятъ изъ твердаго и мягкаго туфа; подъ ними лежитъ пизолитъ *b* съ шариками разной величины; далѣе — масса сплотившагося травертина *cc*, въ которомъ нѣкоторые изъ сфероидовъ имѣютъ необыкновенную величину, около 8 ф. въ діаметрѣ; мѣстами находится аморфный туфъ *d*, окруженный концентрическими слоями. Въ самомъ низу залегаетъ другой слой пизолита *b*, въ которомъ маленькіе шарики имѣютъ величину и форму бобовъ или орѣховъ и перемѣшаны съ мелкими оолитовыми зернами.

Источники Гаммамъ-Мескутинъ въ провинціи Константинъ (въ Алжирѣ), въ 80 килом. къ *SO* отъ Боны, также замѣчательны громаднымъ количествомъ своихъ осадковъ. Вода въ этихъ источникахъ имѣетъ 95° Ц., а потому надъ ея поверхностью постоянно поднимается высокій столбъ паровъ. Мѣсто выхода этихъ ключей изъ земли часто мѣняется по причинѣ огромныхъ слоевъ туфа, постепенно покрывающихъ почву. Большая часть этихъ осадковъ ослѣпительной бѣлизны, съ полосами яркихъ цвѣтовъ отъ окисловъ желѣза и бугорчатою поверхностью; въ другихъ мѣстахъ массы туфа, скопляясь понемногу около отверстій, приняли форму конусовъ, поднимающихся на 10 метр. въ высоту, подобно маленькимъ вулканамъ вокругъ главнаго кратера; наконецъ, по берегу самаго ключа тянется туфъ въ видѣ длинной стѣны. Среди плотнаго туфа нерѣдко встрѣчается пизолитъ, причемъ известковые шарики сцементированы арагонитомъ, вмѣстѣ съ которымъ найденъ



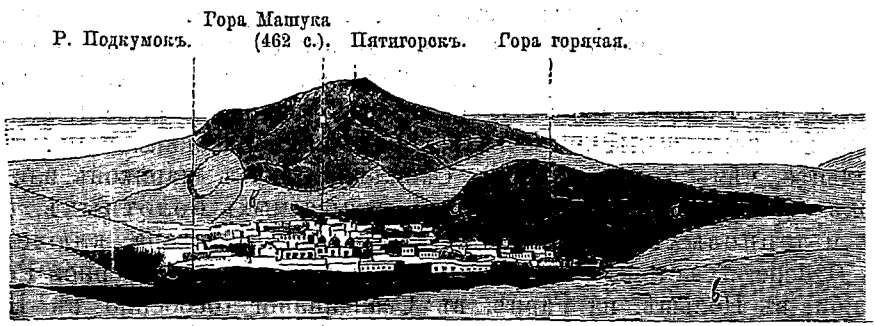
Фиг. 198.—Известковый туфъ Панбукъ-Келесси.

и стронціанитъ. Одна изъ этихъ стѣнъ, обрушившаяся въ нѣкоторыхъ мѣстахъ имѣетъ до 1.500 метр. длины, 20 метр. высоты и отъ 20 до 15 метр. средней толщины. По словамъ Чихачева [105]), слои туфа наростаютъ около 60 сант. въ годъ, т. е. въ 10 лѣтъ образуется слой въ 6 метр. толщины.

Тѣмъ не менѣе, теплые ключи Алжира уступаютъ по красотѣ и величинѣ источникамъ древняго іоническаго гор. Гіерополиса, которые протекаютъ по пустынной возвышенности „Панбукъ-Келесси“ [106]) (хлопчатый замокъ)—названіе, происшедшее отъ бѣлыхъ массъ туфа, похожихъ на хлопокъ. Подъѣзжая со стороны Смирны, путешественнику представляется какъ бы огромный водопадъ въ 100 метр. вышины и 4 версты ширины. На самомъ дѣлѣ водопадъ есть известковая стѣна, образованная водою, постепенно стекающею съ краевъ плоской возвышенности и сочащеюся по склонамъ. Нѣсколько выше расположены двѣ террассы, на которыхъ стояли, въ былыя времена, термы и кладбище Гіерополиса. Бѣловатыя массы покрываютъ теперь надгробные камни и заслоняютъ проходы между ними. Въ различныхъ направленіяхъ почва пересѣкается извилинами бывшихъ каналовъ, которые образовалъ ручей, безпрерывно загражда себѣ путь собственными осадками. Надъ высохшимъ русломъ самаго глубокаго канала возвышается арка великолѣпнаго натуральнаго моста, подобнаго алебастровому своду (фиг. 198), украшенному

безчисленными сталактитами. Трудно сказать, когда именно и въ теченіе сколькихъ вѣковъ образовалось это гранціозное сооруженіе. По словамъ Страбона, каналы Гіерапольскихъ купалень быстро превратились въ сплошную массу; Витрувій разсказываетъ, что окрестные землевладѣльцы, желая отгородить свои владѣнія, пропускали по границамъ ихъ потокъ воды и черезъ годъ на нихъ образовывались сами собою стѣны.

У насъ въ Россіи отложенія туфа, производимыя источниками, также достигаютъ громадныхъ размѣровъ, напримѣръ, около Гатчины, гдѣ, повидимому, они заполнили бывшее озеро; недалеко отъ Петергофа, у дер. Гостилицы, туфомъ занята долина, идущая вдоль берега Финскаго залива. Этотъ пористый туфъ для построекъ не годится, а разработывается у дер. Пудость, Вяхтелево и пр. для украшеній. Но особенно большія массы туфа, подобныя итальянскимъ травертинамъ, находятся въ округѣ Пятигорскихъ минеральныхъ водъ. По склонамъ горы Машука у г. Пятигорска (см. фиг. 199) толщи туфа достигаютъ 300 ф. мощности и залегаютъ на $^3/_4$ склоновъ Машука, т. е. тянутся верстъ на



Фиг. 199.—Видъ на Пятигорскъ и гору Машукъ съ горы Юцы; a—травертинъ, b—эоценовый мергель c—сеноманъ.

5—6 въ длину и версты $1^1/_2$ въ ширину. Мѣстами онъ образуетъ цѣлыя горы въ 300 ф. высоты, какъ, напримѣръ, Горячая гора, Лермонтовская гора и др.; онъ представляетъ плотную, ясно полосчатую массу, залегающую болѣе или менѣе правильными пластами; чаще же онъ тонко-слоистый, слои его мелко-волнисты, разнообразно изогнуты и образуютъ скорлупы на подобіе травертина Тиволи. Въ массѣ его нерѣдко попадаются листья, вѣтви современныхъ деревьевъ, гальки старыхъ породъ; гдѣ гальки эти мелки и равномѣрно сцементированы туфомъ, тамъ онъ переходитъ въ пуддингъ. Пятигорскій туфъ представляетъ прекрасный строительный матеріалъ, изъ котораго построенъ не только весь Пятигорскъ, но Желѣзноводскъ, Кисловодскъ и пр. Въ Желѣзноводскѣ туфъ красноватаго и желтоватаго цвѣта отъ примѣси солей желѣза. Въ Кисловодскѣ, Эссентукахъ, на горѣ Юцѣ и пр. также наблюдаются большія отложенія туфа. Известковые туфы вообще весьма часто бываютъ правильно оолитоваго или икрянаго сложенія, а потому способъ образованія ихъ объясняетъ намъ происхожденіе гороховыхъ и икряныхъ камней или вообще пизолитовъ. Вмѣстѣ съ известковымъ туфомъ, встрѣчаются: арагонитъ, копирситъ (разновидность известняка) [107]), баритъ аурипигментный, марганцевый шпатъ, напримѣръ, въ Карлсбадѣ, Виши, въ Нектэрѣ и др., а также слѣды свинца, цинка и киновари, напримѣръ, въ Калифорніи, Новой Зеландіи.

Кремнеземистые источники, или гейзеры, принадлежатъ къ самымъ замѣчательнымъ по своимъ свойствамъ и массѣ отлагаемаго кремнезема или кремнистаго туфа, или гейзерита, иногда вмѣстѣ съ опаломъ. Они отличаются весьма высокою температурою и находятся въ большомъ числѣ въ Исландіи, Новой Зеландіи, Сѣверной Америкѣ и др. мѣстахъ, преимущественно вблизи вулканическихъ образованій, какъ мы уже видѣли выше (см. стр. 254—263).

Кромѣ известковыхъ туфовъ съ арагонитомъ, стронціанитомъ, баритомъ и пр., кремнистыхъ туфовъ или гейзеритовъ съ опаломъ, источники отлагаютъ большія массы бураго желѣзняка, имѣющаго весьма важное практическое значеніе. Такъ, источники Лаахерскаго озера въ 1000 лѣтъ могутъ отложить слой бураго желѣзняка около 6 кв. кил. площадью и $^1/_3$ метра толщиною. Въ Вестфаліи у Нейзальцверка источникъ ежегодно выноситъ 376 куб. метр. известковаго туфа и 17 куб. метр. желѣзной охры, причемъ послѣдняя выдѣляется скорѣе и отлагается ближе къ устью источника, чѣмъ первая. Если источники, содержащіе углекислую или сѣрнокислую закись желѣза, впадаютъ въ озеро или болото, то они выдѣляютъ углекислоту, закись желѣза ихъ переходитъ въ гидратъ окиси и осаждается, иногда концентрическими слоями, на песчинкахъ, листочкахъ, оболочкахъ раковинъ и пр. и тѣмъ правильнѣе, чѣмъ растворъ жиже. Скопленіе такихъ шариковъ или пластинокъ образуетъ цѣлыя залежи такъ называемыхъ болотныхъ, озерныхъ и дерновыхъ желѣзныхъ рудъ или, вообще говоря, ключевыхъ рудъ (Quellerz), которыя имѣютъ широкое развитіе въ сѣверной Россіи, Германіи, въ Польшѣ, на Гарцѣ, въ Скандинавіи (особенно въ Шведскихъ провинціяхъ Småland, Oestergötland, Dalarne, Jemtland, Norrland) и пр. [108]). Залежи эти отличаются отсутствіемъ слоистости и небольшою толщиною, около $^1/_2$ м. и рѣдко 1 м.; хотя слои въ 10—15 см. считаются уже выгодными для разработки и возстановляются черезъ 15—30 лѣтъ, смотря по обилію источниковъ. Отложеніе озерныхъ рудъ начинается обыкновенно въ разстояніи около 10 метровъ отъ берега и распространяется до глубины около 10 метр., такъ что болѣе глубокія, центральныя части озеръ лишены ихъ. Сначала осаждается темносѣрый, бурый или зеленоватый охристый илъ съ большимъ содержаніемъ студенистаго кремнезема; при затвердѣніи же охристый илъ распадается на конкреціи въ видѣ маленькихъ шариковъ и чечевицъ (т. наз. копѣечная руда), образующихъ скопленія, аналогичныя оолитовымъ бурымъ желѣзнякамъ болѣе древнихъ формацій. Нерѣдко къ нимъ примѣшивается кварцевый песокъ, при увеличеніи количества котораго рудный слой превращается въ желѣзистый песчаникъ. Болотныя руды залегаютъ обыкновенно на тонкомъ пескѣ, песчанистой глинѣ или дерновомъ торфѣ, и ничѣмъ не прикрываются, или же иногда тонкимъ слоемъ чернозема, отличающимся полнымъ безплодіемъ. Руды эти почти всегда содержатъ небольшое количество фосфорной кислоты, происходящей отъ растеній (напр. водоросли Gallionella ferruginea) [109]), обладающихъ свойствомъ осаждать желѣзо изъ водныхъ растворовъ въ видѣ углекислыхъ и сѣрнокислыхъ солей; фосфорнокислыя соединенія иногда концентрируются, напр., въ видѣ землистаго вивіанита. Въ настоящее время фосфоръ не считается вред-

ною примѣсью, какъ думали раньше, а потому разработка болотныхъ рудъ значительно увеличилась, напр., только у насъ на сѣверѣ Россіи добывается болѣе 3 милл. пудовъ въ годъ.

Подобныя же образованія встрѣчаются не только въ озерахъ и болотахъ, но и въ прибрежной полосѣ морей; такъ, у береговъ Балтійскаго моря, напр., у Ревеля давно извѣстенъ особаго рода грунтъ, называемый изгарь, который по изслѣдованію оказался такою же конѣчною рудою, какъ болотная и озерная, но, повидимому, залегающей нѣсколько глубже; образцы ея находимы были на 20—30 метрахъ глубины. Бурый желѣзнякъ образуетъ такія же конкреціи, состоящія изъ концентрическихъ слоевъ [110]), какъ и въ болотахъ, а иногда только облекаетъ гальки гранита, песчаника и пр. ровными слоями; величина ихъ колеблется отъ 3 до 8 сант. въ діаметрѣ и отъ 3 до 7 мм. въ толщину. Ревельскій изгарь, содержащій фосфорную кислоту (3,15%) и углеродистыя вещества (1,21%) образуется вѣроятно на счетъ матеріала, заключающагося въ прилегающихъ кембрійскихъ песчаникахъ, въ которыхъ находятся мѣстами включенія сѣрнаго колчедана и углистыхъ веществъ. Колчеданъ окисляется и переходитъ въ бурый желѣзнякъ, а послѣдній подъ вліяніемъ продуктовъ гніенія растеній и особенно креновой кислоты возстановляется въ растворимыя соли закиси, которыя уносятся ручьями и источниками въ море, гдѣ и осаждаются въ видѣ конкрецій бураго желѣзняка. Очевидно, что распредѣленіе изгари не можетъ быть равномѣрнымъ, такъ какъ матеріалъ, образующій его, находится только мѣстами.

Образованіе изгари, какъ болотныхъ и озерныхъ желѣзныхъ рудъ, при посредствѣ источниковъ въ высшей степени поучительно въ томъ отношеніи, что наглядно показываетъ намъ, какъ природа при помощи весьма слабыхъ растворовъ собираетъ мелко разсѣянныя части и концентрируетъ ихъ въ большія залежи, а, вмѣстѣ съ тѣмъ, разъясняетъ намъ способъ происхожденія многихъ пластовыхъ мѣсторожденій желѣзныхъ рудъ различныхъ геологическихъ періодовъ и различнаго состава. Дѣло въ томъ, что бурый желѣзнякъ, будучи прикрытъ послѣдующими осадками и, слѣдовательно, защищенъ отъ доступа воздуха, превращается, даже при обыкновенной температурѣ, въ красный, а затѣмъ при болѣе высокой даже въ магнитный желѣзнякъ. Въ свою очередь, магнитный желѣзнякъ и желѣзный блескъ могутъ переходить въ бурый желѣзнякъ подъ вліяніемъ кислорода и воды.

Въ присутствіи гніющихъ органическихъ веществъ желѣзистые источники нерѣдко образуютъ сѣрный колчеданъ, напр., Нёггератъ около г. Бонна нашелъ въ аллювіальныхъ осадкахъ, на глубинѣ 2 м., въ болотистой почвѣ дер. Ройсдорфа, обломки кварца, покрытые тонкимъ, но блестящимъ слоемъ сѣрнаго колчедана; образованіе его объясняется тѣмъ, что кислый ключъ, выходящій здѣсь, между другими солями, содержитъ сѣрнокислый натръ и углекислую закись желѣза. Сѣрнокислый натръ возстановляется гніющими органическими веществами и выдѣляетъ сѣрнистый водородъ, который, приходя въ соприкосновеніе съ солью желѣза, образуетъ сѣрный колчеданъ. Подобное же явленіе наблюдалъ Форхгаммеръ на западномъ берегу о-ва Борнгольма; желѣзный ключъ, вытекая изъ нижняго оолита, впадаетъ въ бухту, гдѣ скопляется много

водорослей—Fucus vesiculosus. Всѣ обломки на днѣ моря покрыты блестящей коркой сѣрнаго колчедана. То же не разъ наблюдалось въ рудникахъ и пр.

Осадки желѣзной охры, происходящей изъ источниковъ, часто содержатъ небольшое количество марганца; впрочемъ, указываютъ примѣры, гдѣ марганецъ осаждался въ большихъ массахъ, напр., на мысѣ Доброй Надежды источникъ, въ 43° Ц., отлагаетъ на большомъ разстояніи толстый слой марганцовыхъ солей. Карстенъ описываетъ минералъ, очень похожій на манганитъ, отложившійся изъ источника въ 16° температуры, около Карлсбада.

Всѣ описанные ключевые осадки принадлежатъ къ внѣшнимъ, отлагающимся на поверхности земли; но кромѣ того существуютъ еще внутренніе, образующіеся, какъ выше замѣчено, внутри земной коры, гдѣ они заполняютъ разнообразныя пустоты и представляютъ большую сложность по составу и структурѣ. Минеральные источники представляютъ собою какъ бы подвижныя минеральныя жилы, такъ какъ въ тѣхъ и другихъ находятся почти одни и тѣ же химическія соединенія съ тою только разницею, что количество элементовъ въ источникахъ будетъ нѣсколько больше, чѣмъ въ жилахъ, потому что жильныя породы представляютъ выдѣленія болѣе устойчивыхъ или менѣе растворимыхъ соединеній, тогда какъ всѣ легко растворимыя уносятся водой, напр., щелочи, преобладающія въ источникахъ, почти не встрѣчаются въ жилахъ. Минеральныя воды, дѣйствуя на горныя породы, производятъ сложные химическіе процессы, результатомъ которыхъ являются различныя новообразованія, замѣщающія прежнія породы или заполняющія пустоты въ нихъ. Такіе процессы происходятъ у насъ на глазахъ и въ сравнительно короткое время, какъ показываютъ замѣчательныя изслѣдованія Добрэ [111]), произведенныя надъ древними бальнеологическими сооруженіями у источниковъ Пломбіеръ, Бурбоннъ-ле-Бэнъ и Бурбоннъ д'Аршамбо. Изслѣдованія Добрэ показали, что вода этихъ источниковъ можетъ, даже при невысокой температурѣ и обыкновенномъ давленіи, въ случаѣ соприкосновенія съ металлами, образовать нѣкоторыя руды и жильныя породы. Въ Бурбоннъ д'Аршамбо, напр., при дѣйствіи сѣрнокислыхъ щелочей, которыя въ присутствіи органическихъ веществъ возстановляются въ сѣрнистыя, мѣдныя римскія монеты дали: сѣрнистую мѣдь, мѣдный колчеданъ, пеструю мѣдную руду, блѣклую мѣдную руду, кирпичную мѣдную руду, хлористую и кремнекислую мѣдь. Свинецъ трубъ, подъ вліяніемъ тѣхъ же причинъ, превратился въ сѣрнокислый, углекислый и сѣрнистый свинецъ, а желѣзо перешло въ сѣрный колчеданъ окруженный сидеритомъ. Въ Пломбіерѣ, кромѣ того, въ кирпичахъ и цементѣ образовались различные цеолиты, опалъ, галлоизитъ, плавиковый и магнезіальный шпаты.

Пломбьерскіе источники вытекаютъ изъ трещинъ гранита, простирающихся къ NW; температура ихъ 70° Ц.; они содержатъ водный силикатъ глинозема, калія и фтористый кальцій, около 0,03 гр. на литръ; всѣ окрестныя трещины заполнены кварцемъ, плавиковымъ шпатомъ и галлоизитомъ, очевидно осадившимися изъ Пломбьерскихъ источниковъ. Громадные кварцевые слои въ сосѣдней долинѣ Рошъ точно также, вѣроятно, обусловлены Пломбьерскими источниками. Наконецъ, вліяніе ихъ отражается на древнихъ римскихъ сооруженіяхъ, предназначенныхъ для удержанія и собиранія воды и сложенныхъ изъ кирпича и песчаника на известковомъ це-

ментѣ. Отъ дѣйствія воды источника на стѣны образовались многіе минералы, особенно цеолиты. Добрэ различилъ: аппофиллитъ, ромбоэдры шабазита и кубы известковаго гармотома; вмѣстѣ съ ними находятся: опалъ, плавикъ, галлонзитъ и карбонатъ магнезіи. Причемъ, напр., аппофиллитъ находится только въ известковомъ цементѣ, а шабазитъ—въ кирпичахъ. Добрэ заключаетъ, что тѣ части цемента, которыя превращены въ цеолитъ, имѣютъ поразительное сходство съ нѣкоторыми базальтическими туфами.

Источники Бурбонъ-ле-Бэнъ, съ температурою отъ 58—68° Ц., выходятъ изъ глинъ и грубыхъ песчаниковъ, залегающихъ на гранитахъ; они содержатъ минеральныхъ веществъ до 8 гр. на литръ: хлористыя и сѣрнокислыя соли щелочей, кальція и магнія, отчасти бромистыя соли, карбонаты извести, желѣза, слѣды мышьяка, марганца, амміака, іода, бора, мѣди, стронція, цезія и рубидія. Нѣсколько лѣтъ тому назадъ, очищая одинъ старый римскій колодезь, нашли слѣдующее напластованіе сверху внизъ:

1) Черноватый илъ, съ осколками дерева, желудей и орѣховъ . .	0,30 м.
2) Сѣрый песокъ	0,15 »
3) Такой же илъ, содержащій предметы изъ бронзы, золота, свинца и до 4.700 шт. медалей, большею частью изъ бронзы и латуни, но 4 изъ золота и 265 серебряныхъ; онѣ принадлежатъ вѣку Августа	0,10 »
4) Сѣроватый песчаникъ, сцементированный кристаллическимъ веществомъ съ металлическимъ блескомъ	0,05 »
5) Сѣрый песокъ, залегающій на пестрой глинѣ	2 »

Добрэ изслѣдовалъ весьма интересныя измѣненія, которыя претерпѣли какъ стѣны колодца, такъ и особенно металлическія вещи подъ вліяніемъ минеральной воды источника. Сульфаты этой воды, возстановленные органическими веществами верхняго слоя, дѣйствуя на металлы, произвели цѣлый рядъ сѣрнистыхъ соединеній. Добрэ нашелъ: мѣдный колчеданъ,—блескъ,—окись, хлористыя и кремнекислыя соединенія мѣди; они выкристаллизовались или въ трещинкахъ песчаника 4-го слоя, или же образовали изъ него пуддингъ на подобіе пермскихъ въ Россіи; свинцовый блескъ, англезитъ и церусситъ. Изъ желѣзныхъ минераловъ онъ нашелъ пиритъ, бурый желѣзнякъ и силикаты желѣза; наконецъ, цеолиты: шабазиты и известковый гармотомъ или христіанитъ въ пустотахъ вмѣстѣ съ известковымъ шпатомъ и арагонитомъ; словомъ, около 24 минеральныхъ видовъ въ кристаллахъ получились подъ вліяніемъ минеральной воды источника.

Источникъ Бурбонъ-д'Аршамбо выходитъ изъ гнейса, съ температурою 52° и съ 2,94 гр. на литръ минеральныхъ веществъ, между которыми находятся: хлористый натрій, сѣрнокислыя и углекислыя соли щелочей и щелочныхъ земель, немного глинозема, окиси желѣза, кремнезема, фтора около 3 млгр., брома 7 млгр., мѣдь, іодъ, рубидій и стронцій; здѣсь точно также на римскихъ постройкахъ образовались: мѣдный колчеданъ,—блескъ и—купоросъ, пиритъ и желѣзный шпатъ.

Въ долинѣ Стимботъ, въ 12 вер. отъ Виргинія-сити въ Невадѣ, теплые источники заполняютъ близлежащія трещины кварцемъ, содержащимъ окислы желѣза, марганца, сѣрнистыя соединенія мѣди и даже слѣды золота. Подобныя же образованія наблюдаются въ пещерахъ и старыхъ рудникахъ, особенно въ большихъ массахъ въ видѣ облѣпленій, натековъ или такъ называемыхъ сталактитовъ и сталагмитовъ, состоящихъ изъ углекислаго кальція съ окислами желѣза, а также гипса и нѣкоторыхъ рудъ. Гипсъ отлагается или непосредственно, напр., въ Кунгурской пещерѣ, въ Десизъ въ Ніеврѣ и пр., или же является продуктомъ обмѣннаго разложенія между какимъ либо сѣрнистымъ металломъ и известнякомъ, напр., цинковая обманка въ известнякахъ часто переходитъ въ галмей и гипсъ. Галмей и цинкенитъ въ пещерахъ также иногда принимаютъ форму натековъ, напр., въ Сантандеръ найдены кости Elephas primigenius, покрытыя цинкенитомъ; въ округѣ Кракова (Joworsnow) кости нынѣ живущихъ летучихъ мышей были покрыты галмеемъ, тоже въ Брилонъ въ Вестфаліи, а въ Райблѣ въ Каринтіи свинцовымъ блескомъ, въ рудникахъ Альтглюкъ и Зильберзандъ у Майнца находили крѣпь, покры-

тую цинковой обманкой, а въ Блейбергѣ—бѣлой свинцовой рудой (церуситъ), которая мѣстами образовала даже сталактиты. Сѣрный колчеданъ и марказитъ встрѣчаются очень часто при такихъ же условіяхъ, а въ Верхнемъ Гарцѣ образуютъ сталактиты, называемые червеобразнымъ колчеданомъ (Madenkies). Мѣдь отлагается при такихъ же условіяхъ, напр., въ Ріо-Карэ (Астурія) пестрая мѣдная руда, малахитъ и мѣдная синь покрываютъ стѣнки пещеры, въ которой находятся кости птицъ и мамонта; въ Ріо-Тинто (Испанія) самородная мѣдь осаждается на деревянной крѣпи древнихъ римскихъ выработокъ. Кобальтовыя и никкелевыя руды цементируютъ обломки старыхъ закладокъ рудника Луизы, близъ Горгаузена и проч.

Всѣ эти факты, интересные сами по себѣ, вмѣстѣ съ тѣмъ, доказываютъ, что такимъ же способомъ образовалась бо́льшая часть рудныхъ жилъ, залегающихъ въ различныхъ породахъ и на различной глубинѣ внутри земной коры, т. е. путемъ выщелачиванія рудныхъ частицъ, находящихся въ мелко-разсѣянномъ состояніи въ породахъ, и концентрированіемъ ихъ въ готовыхъ трещинахъ; это подтверждается кромѣ того многими особенностями сложенія рудныхъ жилъ, напр., ихъ ленточнымъ и брекчіевиднымъ строеніемъ, составомъ и распредѣленіемъ рудъ, а также отношеніемъ ихъ къ окружающимъ породамъ. Зандбергеру удалось открыть небольшія количества мѣди, свинца, кобальта, никкеля, висмута, сурьмы и олова въ минералахъ, составляющихъ рудоносныя породы, напр., въ авгитѣ, роговой обманкѣ, слюдѣ и оливинѣ въ Шварцвальдѣ, Оденвальдѣ и др. рудныхъ округахъ. Чрезвычайно интересны, напр., отношенія, найденныя имъ между содержаніемъ металловъ въ слюдѣ гнейсовъ и гранитовъ Спессарта, Шварцвальда и въ разрабатываемыхъ тамъ рудныхъ жилахъ. Въ Шварцвальдѣ полевой шпатъ гнейсовъ, среди которыхъ часто встрѣчаются жилы тяжелаго шпата, содержитъ до 0,81% барита, тогда какъ въ гранитахъ при содержаніи барита только 0,22% жилъ барита гораздо меньше, а въ порфировидномъ гранитѣ, не содержащемъ барита, ихъ совсѣмъ нѣтъ. Такое же соотношеніе наблюдается въ Спессартѣ и Виттихенѣ, гдѣ въ слюдѣ гнейсовъ находятся: кобальтъ, мышьякъ, мѣдь, висмутъ, а въ жилахъ шпейсовый кобальтъ, блѣклая мѣдная руда, мѣдный колчеданъ, но нѣтъ свинца, который отсутствуетъ и въ слюдѣ; наоборотъ, гнейсы Шапбаха, заключающіе въ себѣ слюду со свинцомъ, имѣютъ жилы, содержащія свинцовый блескъ. Въ слюдѣ гранитовъ Виттихена находится мышьякъ и серебро и въ жилахъ тоже появляются мышьяковистыя серебряныя руды. Въ Лидвиллѣ, въ Америкѣ, залежи свинцово-серебряныхъ рудъ находятся подъ микрогранулитомъ, который въ полевомъ шпатѣ содержитъ слѣды свинца и серебра. Въ Комстокѣ (Невадѣ), гдѣ добывалось серебро и золото, въ авгитахъ окружающихъ діабазовъ находятся замѣтныя количества этихъ металловъ. Нѣкоторые андезиты С. Америки содержатъ отъ 0,0007 до 0,004% цинка.

Не менѣе важныя указанія въ этомъ отношеніи даютъ строеніе жилъ и распредѣленіе въ нихъ рудъ. Дѣло въ томъ, что трещины, заполняющіяся отложеніями минеральныхъ водъ и превращающіяся въ жилы, рѣдко являются результатомъ одного моментальнаго разрыва; напротивъ, процессы дислокаціи происходятъ медленно и повторяются въ одной и той

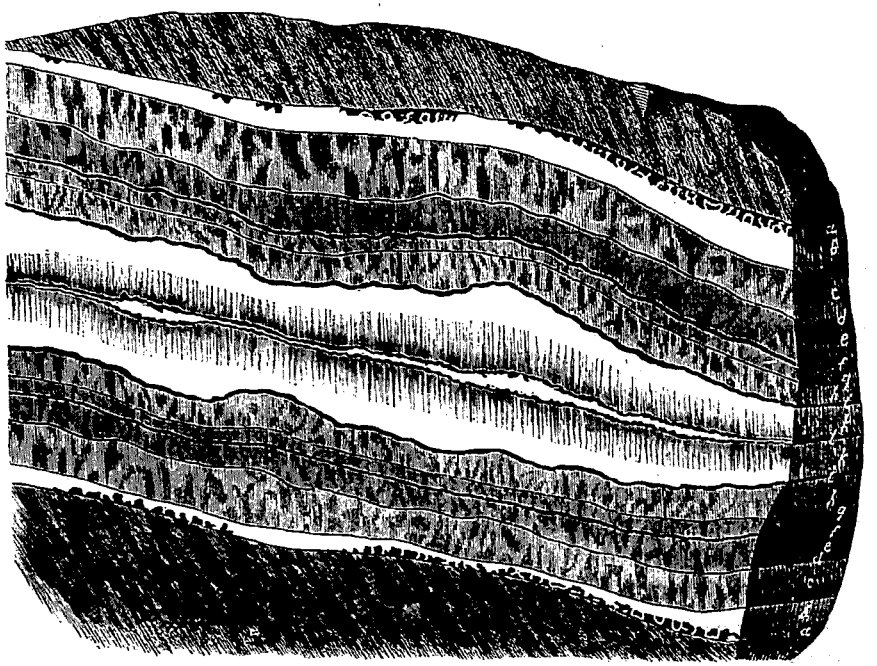
же области нѣсколько разъ; поэтому образовавшаяся жила можетъ дать трещины, которыя будутъ снова заполнятся растворами, и тогда одна жила будетъ состоять изъ комбинаціи нѣсколькихъ жилъ разной древности, напр. въ Корнвалисѣ извѣстна жила, состоящая изъ шести разновременныхъ жилъ, образовавшихся послѣ каждаго новаго разрыва между старою жилою и окружающею породою. Если позднѣйшія трещины образуются въ другомъ направленіи сравнительно съ прежними, то новыя жилы пересѣкаютъ старыя, что наблюдается не только въ большихъ разрѣзахъ, но даже въ отдѣльныхъ небольшихъ глыбахъ, напр., кварцевая жила *AA*, образовавшаяся по трещинѣ небольшаго сброса (фиг. 200), пересѣкается маленькою, но тоже кварцевою жилкою *B*. Въ случаѣ широкихъ трещинъ отложенія происходятъ одновременно на обоихъ бокахъ ихъ въ видѣ болѣе или менѣе симметричныхъ полосъ, которыя придаютъ жилѣ ленточное строеніе, напр., въ большихъ рудныхъ жилахъ Змѣиногорска на Алтаѣ, Фрейберга въ Саксоніи (фиг. 201) и др., гдѣ одинаковые пояса повторяются симметрично на обѣихъ сторонахъ жилы, при чемъ центральная часть ея нерѣдко имѣетъ пустоты, стѣнки которыхъ обыкновенно усѣяны красивыми друзами кристалловъ. Иногда трещины, до заполненія ихъ химическими осадками, загромождаются обломками породъ попадающими сверху или съ боковъ. Если обломки эти, состоятъ изъ твердыхъ породъ, то они сохраняютъ свою угловатость и просто цементируются жильнымъ выполненіемъ, образующимъ вокругъ каждаго изъ нихъ послѣдовательные пояса осадковъ, подобные вышеуказаннымъ—ню бокамъ жилы (см. фиг. 201); такое сложеніе жилы называется брекчіевиднымъ или кокардовымъ (см. т. I; г. IV. стр. 170 фиг. 113), смотря по характеру обломковъ и правильности облеканія ихъ, напр., Комстокъ въ Невадѣ, Саррабусы въ Сардиніи и др.; разумѣется, одиночные обломки производятъ только мѣстныя нарушенія въ составѣ жилы. Если же бока жилы состоятъ изъ мягкихъ сланцевъ, то куски ихъ, упавшіе въ трещину, раздробляются, превращаются въ пыль, которая смѣшиваясь съ водой образуетъ какъ бы глинистый илъ, среди котораго руда располагается или неправильными гнѣздами, или же въ видѣ чечевицъ.

Фиг. 200. — Пересѣченіе одной кварцевой жилы другою.

Наконецъ, минеральные осадки заполняютъ и всякія мелкія пустоты, подобно пещерамъ и трещинамъ, образуя миндалины, гнѣзда и жеоды

(см. т. 1, гл. IV на стр. 127 фиг. 45), иногда содержащія также металлы, напр., мѣдь въ мелафирахъ Верхняго оз., въ Америкѣ, но изученіе ихъ еще болѣе интересно въ томъ отношеніи, что оно опредѣляетъ послѣдовательность разложенія сложныхъ породъ и порядокъ отложенія минераловъ, какъ это уже разсмотрѣно выше.

Приведенные факты показываютъ съ достаточною убѣдительностью, что происхожденіе многихъ рудныхъ жилъ обязано минеральнымъ источ-



Фиг. 201.—Часть жилы съ симметрическимъ ленточнымъ сложеніемъ во Фрейбергѣ.

a—ц. обманка, b—кварцъ, c—плавиковый шпатъ, d—обманка, e—тяжелый шпатъ, f—сѣрный колчеданъ, g—тяжелый шпатъ, h—плавиковый шпатъ, i—сѣрный колчеданъ, k—известковый шпатъ, l—друзы кристаллич. изв. п.

никамъ, но, кромѣ того, въ пользу этого приводятъ еще нижеслѣдующіе доводы:

1. Въ жилахъ никогда не находили слѣдовъ плавленія.

2. Конкреціонный характеръ многихъ жилъ не совмѣстимъ съ огненнымъ происхожденіемъ.

3. Элементы выполненія жилъ сходны съ осадочными породами, такъ, напр., силикаты, столь характерныя для изверженныхъ породъ, почти не встрѣчаются въ жилахъ или только очень рѣдко, да и то ограничиваются минералами вторичнаго происхожденія, въ родѣ граната и цеолитовъ; тогда какъ кальцитъ, тяжелый и плавиковый шпаты, легко выкристализовывающіеся изъ водныхъ растворовъ, встрѣчается часто и, повидимому, не могутъ быть получены огненнымъ путемъ.

4. Металлы, часто встрѣчающіеся совмѣстно въ жилахъ, отличаются различною плавкостью.

Само собою разумѣется, что рудныя жилы и залежи воднаго происхожденія при всей обширности ихъ распространенія, однако нисколько не исключаютъ существованіе вулканическихъ жилъ, отличающихся особыми свойствами. Но какъ бы не происходили жилы, всѣ онѣ, также какъ и минеральные источники, требуютъ предварительнаго образованія трещинъ; а всѣ, сколько нибудь значительныя трещины, обусловливаются дислокаціею, которая наступала въ различныя эпохи и всегда вызывала вулканическія изверженія; слѣдовательно, въ областяхъ интенсивной дислокаціи должны совмѣстно находится вулканическія породы, жилы разнаго происхожденія и термо-минеральные источники; причемъ жилы должны имѣть наибольшее развитіе въ древнихъ, а источники въ новѣйшихъ областяхъ дислокаціи, гдѣ жилы еще не успѣли сформироваться или, все равно, трещины еще не заполнились осадками. Эта связь или, лучше сказать, зависимость жилъ отъ дислокаціи выяснена гораздо полнѣе, чѣмъ для термо-минеральныхъ источниковъ, такъ какъ изученіе геологическихъ условій первыхъ всегда вызывалось болѣе важнымъ практическимъ значеніемъ ихъ, нежели вторыхъ. По отношенію къ источникамъ долгое время довольствовались только опредѣленіемъ ихъ состава и температуры, т. е. такихъ качествъ, которыя указывали то или другое практическое примѣненіе ихъ, но очень мало заботились о выясненіи геологическихъ условій и генезиса ихъ; къ этимъ изслѣдованіямъ прибѣгали только въ случаѣ какой-либо опасности, напр. при изсяканіи источниковъ или рѣзкомъ измѣненіи ихъ минерализаціи. Къ счастію, въ послѣднее время (два-три десятилѣтія) геологическія изслѣдованія термо-минеральныхъ источниковъ на столько увеличились, по крайней мѣрѣ для Европы, что явилась возможность выяснить, хотя бы до нѣкоторой степени, условія географическаго распредѣленія ихъ. Первая и пока единственная попытка въ этомъ отношеніи недавно была сдѣлана Де-Лонэ [114]), который, разобравъ критически весь главнѣйшій матеріалъ по геологіи термо-минеральныхъ источниковъ, какъ европейскихъ, такъ и внѣевропейскихъ странъ, впервые выяснилъ болѣе или менѣе опредѣленно условія географическаго распредѣленія ихъ, къ разсмотрѣнію которыхъ мы теперь и перейдемъ.

Географическое распредѣленіе термо-минеральныхъ источниковъ. Прежде всего нужно оговориться, что разсмотрѣніе географическаго распредѣленія источниковъ мы ограничиваемъ исключительно только термо-минеральными въ собственномъ значеніи этого слова. Многочисленные холодные источники, прѣсные или минеральные (напр. холодные желѣзистые, сѣрнистые, известковистые, горькіе и соленые источники), не нуждаются въ подобномъ разсмотрѣніи, такъ какъ они представляютъ образованія поверхностныя, обусловленныя частными и мѣстными причинами, совершенно независящія отъ общихъ геологическихъ процессовъ и слѣдовательно непредставляющія существеннаго интереса для исторіи земли. Что же касается горячихъ источниковъ, то появленіе ихъ тѣсно связано съ общими измѣненіями земной коры, а потому географическое распредѣленіе ихъ имѣетъ такое же важное значеніе, какъ распредѣленіе вулкановъ, землетрясеній и пр. Изслѣдованія въ этомъ направленіи показали, что термо-минеральные источники, пріурочиваются главнымъ образомъ къ области новѣйшихъ дислокацій, представляющей вполнѣ опре-

дѣленный поясъ высокихъ новыхъ кряжей, недавнихъ крупныхъ провалovъ, многочисленныхъ вулкановъ и сильнѣйшихъ землетрясеній (см. т. I гл. VI фиг. 454*а* стр. 378). Различныя формы дислокаціи этого пояса относятся неодинаково къ проявленію горячихъ ключей; наиболѣе благопріятны для нихъ сдвиги и особенно сбросы, а наименѣе — правильныя и спокойныя складки. Складчатые районы съ неглубокими трещинами, параллельными гребню складокъ, безъ сбросовъ, взбросовъ и сдвиговъ одинаково бѣдны какъ горячими источниками, такъ и рудными жилами. Въ области сдвиговъ, особенно среди складокъ и даже древнихъ массивовъ число источниковъ и жилъ значительно возрастаетъ. Но наибольшее количество ихъ проявляется вдоль крупныхъ сбросовъ вмѣстѣ съ вулканическими изверженіями, высокая температура которыхъ способствуетъ нагрѣванію подземныхъ водъ. Въ этомъ отношеніи сбросы можно раздѣлить на слѣдующія три категоріи, отличающіяся своимъ положеніемъ относительно складчатости. Къ первой категоріи принадлежатъ сложные сбросы задней или внутренней стороны складчатыхъ кряжей, обусловливающіе большіе провалы, напр., котловины Средиземнаго, Адріатическаго морей и низменности Вѣны къ югу отъ Альпъ. Такіе переферическіе сбросы нерѣдко окружены поясомъ вулкановъ, въ связи съ которыми находятся многочисленные горячіе источники, не нуждающіеся въ глубокомъ залеганіи для полученія высокой температуры (см. т. I стр. 343 фиг. 417). Вторую категорію составляютъ поперечные сбросы, прорѣзывающіе складки перпендикулярно или подъ угломъ, напр. меридіальныя опусканія Атлантическаго океана, Эгейскаго моря или замѣчательный грабенъ Мертваго моря и восточной Африки, сопровождающійся вулканами и горячими источниками. Къ третьей категоріи относятся сбросы передней или внѣшней стороны складчатыхъ кряжей, производящіе сложные разломы между кряжемъ и предгорною страною, образуя различные горсты и грабены (см. т. I стр. 380 фиг. 455*а*). Эти сбросы сопровождаются горячими источниками, неимѣющими связи съ вулканами, но получающими высокую температуру, только благодаря значительной глубинѣ своего залеганія.

Само собой разумѣется, что всѣ эти заключенія о связи разновременной и разнохарактерной дислокаціи съ термо-минеральными источниками выведены главнымъ образомъ на основаніи изслѣдованій Европы, какъ наиболѣе изученнаго материка, и являются слѣдствіемъ постепеннаго формированія его. Дѣйствительно, геологическая исторія Европы, показываетъ, что земная кора подвергалась крупнымъ дислокаціямъ по крайней мѣрѣ въ четыре періода: въ гуронскій или докембрійскій, каледонійскій или додевонскій, герцинскій или допермскій или каменноугольный и альпійскій или дочетвертичный. Въ каждый изъ періодовъ великихъ перемѣщеній земной коры воздвигались складчатые горные кряжи, тѣмъ южнѣе, чѣмъ они новѣе (см. т. I стр. 379 фиг. 455). Промежуточные періоды между дислокаціями характеризуются прогрессивными измѣненіями въ органической жизни; такъ, послѣ образованія гуронскихъ кряжей появляются растенія, послѣ—каледонійскихъ развиваются рыбы, за герцинскими — появляются млекопитающія и, наконецъ, только послѣ альпійскихъ—возраждается человѣкъ. Каждая послѣдующая

складчатость, зарождавшаяся южнѣе предшествовавшей, производила въ этой послѣдней существенныя нарушенія въ видѣ сдвиговъ, сбросовъ или даже вторичной складчатости. Въ данномъ случаѣ, т. е. по отношенію къ горячимъ источникамъ наибольшее значеніе имѣетъ новѣйшая складчатость или альпійская, которая значительно нарушила правильность предыдущей герцинской и почти не отразилась на каледонійской или очень мало. Она обнимаетъ обширную область, состоящую изъ высокихъ кряжей и глубокихъ впадинъ новѣйшаго происхожденія, а именно: Пиренеи, Альпы съ цѣлою серіею горъ, окружающихъ впадину Средиземнаго моря (какъ то: Апеннины, Атласъ, Бетійскіе Кордильеры), Динарскіе Альпы по другую сторону Адріатическаго моря, Карпаты, окружающія Вѣнскую впадину, далѣе горы Крыма, Кавказъ и Гималаи. Всѣ эти извилистые кряжи, нерѣдко раздѣленные глубокими впадинами имѣютъ то общее свойство, что южные склоны отличаются вогнутостью и крутизною, тогда какъ сѣверные — выпуклостью и пологостью (см. т. I гл. VI стр. 395). На пологихъ сѣверныхъ склонахъ, даже внѣ оси кряжа, горячіе источники пріурочиваютъ къ большимъ сдвигамъ, напр. на французскихъ склонахъ Альпъ, Пиренеевъ, Швейцаріи, Тироля и пр. На южныхъ обрывистыхъ или внутреннихъ склонахъ, разбитыхъ сбросами источники проявляются то въ грабенахъ, напр. по окраинамъ Средиземной и Вѣнской впадинъ, то въ периферіи третичныхъ бассейновъ, напр. Богемія, Лиманъ и др.; тѣ изъ нихъ, которые совпадаютъ съ вулканами, отличаются обиліемъ свободной углекислоты, вблизи сольфатаръ они содержатъ сѣрнистыя соединенія, свободный сѣроводородъ, мышьякъ и борную кислоту, у сальзъ — углеводороды и пр. Въ самыхъ Альпахъ очень много горячихъ источниковъ, соотвѣтствующихъ сдвигамъ, но они получаютъ сильную минерализацію только тогда, когда прорѣзываютъ на своемъ пути соленосныя или гипсоносныя отложенія тріаса; въ противномъ случаѣ представляютъ такъ называемыя индиферентныя термы.

Далѣе къ сѣверу, въ области герцинской дислокаціи: испанская Мезета, центральное плато Франціи, Вогезы, Шварцвальдъ и Богемія, горячіе источники встрѣчаются только въ мѣстахъ нарушенія ея альпійскою дислокаціею. Бретань, куда альпійскія третичныя перемѣщенія уже недостигли, отличается поразительною бѣдностью термо-минеральныхъ источниковъ и въ этомъ отношеніи представляетъ контрастъ съ остальною Франціею. Наконецъ, еще сѣвернѣе, какъ въ области каледонійской дислокаціи (въ Шотландіи, Норвегіи) такъ и особенно на всемъ пространствѣ древней платформы Финляндіи и обширной русской равнины, горячихъ ключей совсѣмъ нѣтъ; почти нѣтъ ихъ и на Уралѣ, образованіе котораго относится къ герцинскому періоду дислокаціи, но за то на Кавказѣ, принадлежащемъ въ альпійской области дислокаціи, число ихъ снова значительно возрастаетъ. Такое же распредѣленіе горячихъ источниковъ наблюдается въ Азіи, гдѣ они проявляются въ Тянь-шанѣ, но особенно обильно на южной сторонѣ Гималаевъ, въ вулканической области острововъ Тихаго океана, на Камчаткѣ, въ Андахъ Америки, на вулканическихъ островахъ Атлантическаго океана и, наконецъ, въ области грабена восточной Африки и Мертваго моря, гдѣ они большею частью тѣсно связаны съ вулканическою дѣятельностью. Обширныя области сѣ-

верной Азіи и Америки, не подвергавшіяся альпійской дислокаціи, почти лишены горячихъ источниковъ.

Такимъ образомъ географическое распредѣленіе термо-минеральныхъ источниковъ исключительно обусловливается новѣйшею или альпійскою дислокаціею; внѣ ея границъ они встрѣчаются только весьма рѣдко. Количество же и разнообразіе ихъ состава значительно увеличиваются въ тѣхъ мѣстахъ альпійской дислокаціи, которыя отличаются проявленіемъ вулканической дѣятельности. Справедливость этого вывода подтверждается еще болѣе подробнымъ разсмотрѣніемъ районовъ термо-минеральныхъ источниковъ, особенно въ Европѣ, гдѣ они извѣстны лучше, чѣмъ въ какихъ-либо другихъ странахъ.

Болѣе подробное разсмотрѣніе географическаго распредѣленія термо-минеральныхъ источниковъ начнемъ съ сѣверной Европы, подвигаясь съ запада на востокъ, т. е. съ той области, которая не подвергалась альпійской дислокаціи; затѣмъ разсмотримъ среднюю полосу, гдѣ альпійская дислокація выразилась только въ нѣкоторомъ нарушеніи герцинской и, наконецъ — остальную область, гдѣ альпійская дислокація проявилась во всей своей мощности.

Великобританія, Скандинавія и Сѣв. и Ср. Россія съ Ураломъ почти лишены горячихъ источниковъ. На всемъ этомъ обширномъ пространствѣ извѣстенъ только одинъ термальный (47° Ц. известково-щелочный) источникъ Bath у Бристоля [115]), прославившійся еще съ XVIII ст. и залегающій въ районѣ герцинской дислокаціи. Всѣ другіе источники этой области принадлежатъ къ поверхностнымъ-холоднымъ, такъ, напр. въ Англіи и Шотландіи эксплуатируется цѣлый рядъ холодныхъ источниковъ, располагающихся преимущественно въ меридіанальной полосѣ triasa между Ньюкестлемъ и Эксетеромъ: Ashby, Ilkeston у Ноттингама, Droitwich въ Уорчестерѣ—соленый, Tunbridge Wells—желѣзистый, Buxton въ Дерби (съ углекислымъ кальціемъ) и др. [116]). Тоже въ Россіи, напр. соленые источники Старой Руссы [117]), Друскеники [118]), сѣрнистые—Кеммернъ [119]) и Бускъ [120]), Сергіевскіе [121]), желѣзистые Липецкіе [122]) и др.; словомъ все это мѣстные источники, представляющіе большею частью истоки грунтовой воды, минерализующейся въ зависимости отъ состава мѣстныхъ породъ и часто при помощи возстановительныхъ процессовъ подъ вліяніемъ органическихъ веществъ, напр. Липецкіе, Кеммернскіе, Сергіевскіе; другіе же при помощи непосредственнаго растворенія, напр., всѣ соляные источники

Къ югу отъ этой области въ западной Европѣ, а именно во французской Бретани, Нормандіи, въ бассейнѣ Парижа тоже встрѣчаются только холодные желѣзистые или известковистые источники, напр. Bagnoles, Enghien, Batignolles и другіе.

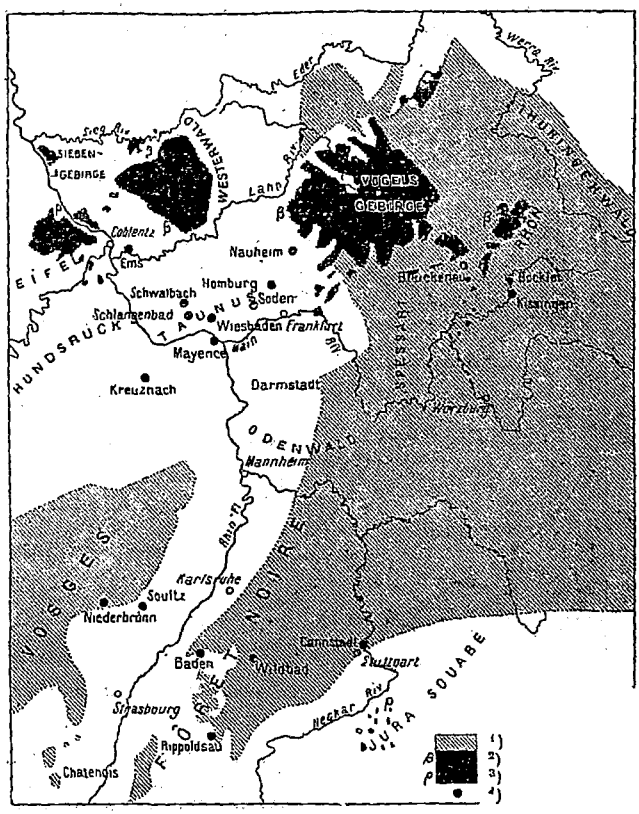
Въ Арденнахъ и Бельгіи, гдѣ уже нѣсколько отражается альпійская дислокація появляются вмѣстѣ съ холодными и термальные источники, напр. Chauffontaine (40° Ц.), Aix-la-Chapelle (55° Ц.) [123]), Спа (холодный). Но количество и разнообразіе ихъ значительно увеличивается съ приближеніемъ къ Рейну у Кельна, гдѣ впервые встрѣчается несомнѣнное вліяніе альпійской дислокаціи и вулканическихъ изверженій Таунуса, Вестервальда и Фогельсгебирге. Это такъ сказать Рейнская область источниковъ (фиг. 202), гдѣ находятся холодные углекислые, напр. Аполлинарисъ, холодные желѣзистые, напр. Пирмонтъ, Вильдунгенъ, теплые углекисло-щелочные, напр. Эмсъ, соленые—Крейцнахъ, Киссингенъ, горячіе соленые Висбаденъ (69° Ц.), Наугеймъ (см. выше фиг. 169) и др., расположеніе которыхъ въ зависимости отъ геологическаго строенія Рейнской термо-минеральной области видно на прилагаемой карточкѣ (фиг. 202) [124]). На Гарцѣ, богатомъ рудными жилами, термо-минеральныхъ источниковъ нѣтъ, или, лучше сказать, они находятся какъ бы въ окаменѣломъ состояніи; тоже отчасти наблюдается и въ Бельгіи.

Слѣдующій къ югу термо-минеральный поясъ можетъ быть названъ Предъальпійскимъ; онъ состоитъ изъ герцинскихъ кряжей, измѣненныхъ альпійскою дислокаціею, а именно, начиная съ запада: Мезета - древнее плато Испаніи, Центральное плато Франціи—Овернь, Вогезы, Шварцвальдъ, Богемія и Судеты. За нимъ къ югу слѣдуетъ собственно Альпійскій поясъ, состоящій изъ новыхъ складчатыхъ кряжей: Пиренеи, Альпы, Апеннины, Карпаты, Кавказъ и др. и наконецъ Заальпійскій поясъ громадныхъ сбросовъ и новыхъ вулкановъ. Разсмотримъ послѣдовательно эти пояса, начиная съ западнаго конца Предъальпійскаго пояса. Ме-

зета [125]) представляетъ гранито-гнейсовое плато Пиренейскаго полуострова, обнимающее испанскія провинціи Galice, Asturie, Léon, Estramadure и португальскія: Traz oz Montes, Beira и l'Alemtejo. Къ западу отъ нея залегаютъ третичные осадки съ вулканическими образованіями Лиссабона, а къ востоку третичный бассейнъ Эбро и Ветійскіе Кордильеры, которые хотя и относятся уже къ слѣдующему альпійскому поясу, но источники ихъ мы разсмотримъ совмѣстно съ Мезетой, чтобы не возвращаться къ Испаніи.

Наиболѣе извѣстная группа термальныхъ источниковъ залегаетъ на сѣверномъ склонѣ Кантабрійскихъ горъ, напр. Las Caldas de Besaya (47° Ц. съ хлор. натріемъ), la Hermida (61° Ц.), Bruyeres de Nava (25° Ц. извест.-мышьяк.) и Caldas de Oviedo; минерализація ихъ находится въ зависимости отъ тріасовыхъ и мѣловыхъ осадковъ; болѣе сѣрнистые источники встрѣчаются по линіямъ альпійскихъ изломовъ въ Galice и южнѣе и будутъ разсмотрѣны ниже.

Центральное плато Франціи и Морванъ представляютъ такія же части герцинской области, какъ и Мезета, но еще болѣе измѣненныя альпійскою дислокаціею и вулканическими изверженіями, которыя проявлялись здѣсь съ громадною силою. Центральное плато принадлежитъ къ самымъ замѣчательнымъ мѣстностямъ по обилію термо-минеральныхъ источниковъ, среди которыхъ, благодаря близости вулкановъ, преобладаютъ углекислые, хотя встрѣчаются хлористые и хлористо-углекислые. Всѣ углекислыя воды пріурочиваются къ той почти треугольной площади изверженныхъ породъ, которая ограничивается съ запада сбросомъ каменноугольныхъ бассейновъ отъ Мулена до Деказевилля, а съ востока поясомъ третичныхъ сбросовъ Роанна и Монбризона; этотъ треугольникъ заключаетъ не только почти всѣ французскіе углекислые источники, но и всѣ пункты базальтовыхъ изверженій [126]).



Фиг. 202. — Рейнская термо-минеральная область.

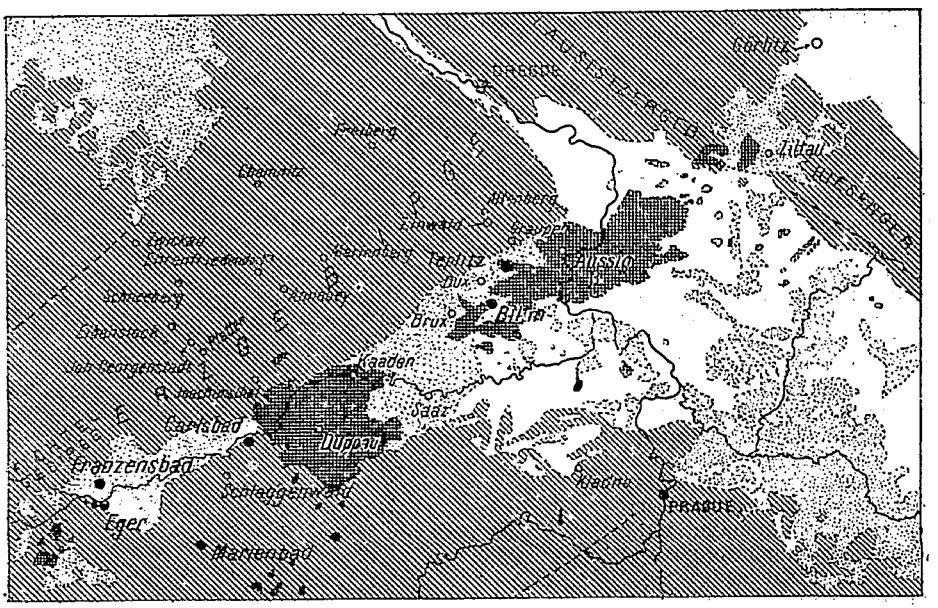
[1]) Тріасъ; [2]) известковыя горныя породы; [3]) ρ—современныя, β—базальтъ; [4]) термальные источники.

Изъ источниковъ наиболѣе извѣстны на западной окраинѣ Лиманя: Royat содержащій до 0,03 гр. литія, Châtelguyon, а на сѣверномъ продолженіе той же линіи, на системѣ сбросовъ Сансеррэ: Pougues и Fourchambault; на восточной окраинѣ: Châteldon, Виши, Bourbon-Lancy и Saint-Honoré, изъ которыхъ два послѣднихъ при содержаніи бикарбонатовъ нѣсколько солоноваты На западѣ за предѣлами Лиманя среди гранитовъ находятся почти прѣсные источники Neris и Evaux, Bourbon-l'Archambault, а вблизи вулканическихъ породъ знаменитый Бурбуль, Монъ-Доръ и С. Нектэръ. Въ Канталѣ источники Chaudes-Aigues, Châteauneuf и др. На южной границѣ Центральнаго плато — Виваре, Валь. Въ Монтань Нуаръ: Lamalou, Sylvanès, Gabian, Balaruc и др.; между ними Gabian содержитъ битуминозныя вещества.

Термальные источники пріурочиваются преимущественно къ трещинамъ третичныхъ сбросовъ, тогда какъ болѣе древніе сбросы Центральнаго плато заняты рудными и кварцевыми жилами, т. е. встрѣчается тоже соотношеніе между жилами и источниками, что и въ другихъ вышеупомянутыхъ мѣстахъ развитія

трещинъ разнаго возраста; слѣдовательно, здѣсь также жилы надо разсматривать, какъ окаменѣлые источники.

Вогезы и Шварцвальдъ составляютъ бока большого антиклинала, сводъ котораго въ періодъ альпійской дислокаціи превратился въ грабенъ, соотвѣтствующій долинѣ Рейна; такъ что оба эти хребта представляютъ горсты, нѣсколько усложненные изверженіями Кайзерштуля къ востоку отъ Кольмара. Въ Вогезахъ горячіе источники находятся вмѣстѣ съ холодными, но первые всегда пріурочены къ линіямъ разломовъ. Въ западномъ периферическомъ поясѣ тріасоваго известняка Вогезъ находятся горячіе соленые источники Bourbonnes-les-Bains и холодные известковистые: Martigny, Contrexéville и др. На востокъ отъ Вогезъ въ области нижняго тріаса тоже холодные: Chatenois, Niederbronn, Soultz-les-Bains и др., а по другую сторону Рейна на западномъ склонѣ Шварцвальда находятся знаменитые соленые источники Баденъ-Баденъ (67° Ц.) (см. выше фиг. 202). Кромѣ того въ Вогезахъ славятся еще индиферентные горячіе источники, выходящіе изъ гранитовъ въ сосѣдствѣ



Новыя изверженныя породы.

Архейскія и кристаллическія породы.

Третичная система.

Мѣловая система.

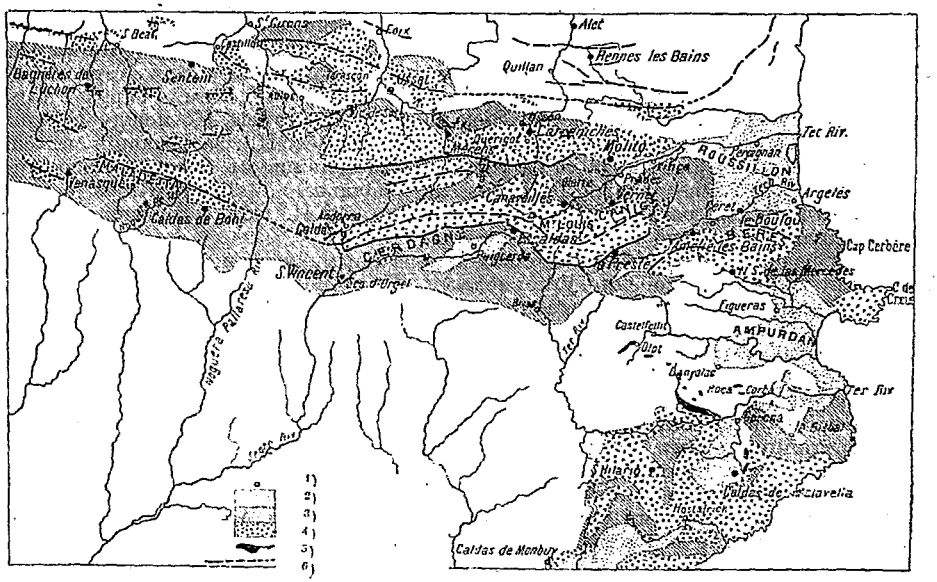
Линія складчатости.

Фиг. 203.—Геологическая карта термальныхъ источниковъ Богеміи.

кварцевыхъ жилъ, напр., Пломбіеръ (70° Ц.), Люксейль (56° Ц.) и др., наконецъ, углекислые холодные вблизи вулканическихъ выходовъ Кайзерштуля; Sultzbach и Sultzmatt въ долинѣ Рейна и Bussang въ Вогезахъ. Въ Шварцвальдѣ кромѣ соленыхъ источниковъ Баденъ-Бадена (до 70° Ц.) или Канштадта (20° Ц.) находятся еще углекислые желѣзистые: Риппольдзау и Вильдбадъ.

Богемія съ сосѣднимъ Эрцгебирге, отдѣляющимъ ее отъ Саксоніи, имѣетъ большое сходство въ геологическомъ отношеніи съ Центральнымъ плато Франціи; она также представляетъ отрывокъ герцинскихъ горъ, состоящій изъ гранита, гнейса и метаморфическихъ сланцевъ, прикрытыхъ мѣловыми и третичными осадками и значительно измѣненныхъ альпійскою дислокаціею (фиг. 203), сбросы и сдвиги которой вызвали вулканическія изверженія, закончившіяся въ концѣ пліоцена. Область эта отличается съ одной стороны обиліемъ прославленныхъ термоминеральныхъ источниковъ, а съ другой знаменитыми рудными жилами, разрабатывающимися уже нѣсколько вѣковъ. Рудныя жилы сосредоточиваются главнымъ образомъ на сѣверномъ склонѣ Эрцгебирге или Рудныхъ горъ, обращенномъ къ Саксоніи, напр. классическіе рудники Фрейберга, Альтенберга, Циннвальда, Граупена, Маріенберга, Аннаберга, Іохимсталя, Шнееберга и др.; тогда какъ минеральные источники преимущественно развиты на южномъ богемскомъ склонѣ Рудныхъ горъ, пріурочиваясь къ трещинамъ сбросовъ и сдвиговъ двухъ главныхъ направле-

ній NO 140° и NO 60°. при чемъ по первому часто проявляются кварцевыя жилы, а по второму выходы новыхъ изверженныхъ породъ (фиг. 203) [127]). Третичный бассейнъ Эгера, въ которомъ сосредоточиваются термальные источники, аналогиченъ бассейну Лиманя по условіямъ выхода источниковъ, которые начинаются у Эгера и Франценсбада, далѣе у Карлсбада, Брукса, Дукса, Теплица, Билина, Ауссига до Циттау и Гёрлица въ Саксоніи; на этомъ пространствѣ находятся всѣ знаменитые источники Богеміи. Составъ ихъ, также какъ въ Лиманѣ Центральнаго плато, обусловливается породами; причемъ вблизи вулканическихъ породъ они содержатъ много свободной кислоты. Въ горячихъ источникахъ съ глубокою системою корней преобладаютъ сѣрнокислыя и хлористыя соли, особенно натрія, такъ въ Карлсбадѣ на 5,45 гр. всѣхъ солей на литръ воды приходится 2,587 гр. сѣрнокислаго натрія, 1,262 гр. карбонатовъ и 1,038 гр. хлористаго натра; въ Маріенбадѣ—на 9,19 гр. всѣхъ солей приходится: 4,916 гр. сульфатовъ, 1,50 гр. хлористыхъ соединеній и 1,225 гр. карбонатовъ. Такое свойство воды богемскихъ источниковъ зависитъ отъ состава древнихъ массивно-кристаллическихъ породъ и обилія колчедановъ въ жилахъ ихъ. Въ третичной равнинѣ Саала составъ источниковъ измѣняется: количество углеки-



Фиг. 204. — Тектоническая карта Пиренеевъ.

[1]) Термальные источники; [2]) третичныя отложенія; [3]) палеозойскія отложенія; [4]) гранитъ и кристаллическіе сланцы; [5]) вулканическія породы; [6]) антиклиналы.

слоты уменьшается, а сульфаты и хлористыя соли еще болѣе увеличиваются, что обусловливается удаленіемъ отъ центровъ вулканическихъ изверженій и развитіемъ третичныхъ отложеній, напр. Stecknitz, Sadschitz и др.; съ приближеніемъ же къ окраинѣ третичной равнины и вмѣстѣ съ тѣмъ къ вулканическимъ центрамъ у Билина и Теплица снова появляются карбонаты въ водѣ источниковъ. Богемскіе источники представляютъ послѣднюю группу въ Предъальпійскомъ поясѣ, за которымъ уже слѣдуетъ собственно Альпійскій поясъ, состоящій изъ новыхъ выше перечисленныхъ кряжей; мы разсмотримъ его, также начиная съ западнаго конца, т. е. съ Пиренеевъ.

Пиренеи [128]) отличаются обиліемъ термо-минеральныхъ, преимущественно сѣрнистыхъ источниковъ, особенно на французскомъ склонѣ; только въ Каталоніи, гдѣ встрѣчаются выходы третичныхъ вулкановъ, попадаются углекислые источники; но кромѣ того въ области осадочныхъ третичныхъ отложеній находится много хлористыхъ или соленыхъ источниковъ.

На прилагаемой схематической карточкѣ Маржери и Шрадера (фиг. 204) видно, что восточная часть Пиренеевъ состоитъ изъ нѣсколькихъ антиклиналовъ въ гранитахъ и сланцахъ, разбитыхъ сбросами. Въ контактахъ кристаллическихъ массивовъ съ полеозойскими сланцами или въ гранулитовыхъ жилахъ, прорѣзывающихъ эти сланцы, сосредоточиваются всѣ главнѣйшіе сѣрнистые источники: Amélie-les-

Bains (до 62° Ц. дебитъ 353 литра въ минуту), Ах всего около 55 источниковъ, изъ нихъ Rossignol (77,5° Ц.), Bagnères de Luchon (на высотѣ 629 м. + 68° Ц.), Barèges (1232 м. высотою, 45° Ц.), Saint-Sauveur (22°), Cauterets (939 м. высотою, до 55° Ц.), Eaux-Chaudes и Eaux-Bonnes. Составъ ихъ характеризуется преобладаніемъ сѣрнистаго, хлористаго, а иногда углекислаго натра, присутствіемъ свободнаго сѣроводорода, кремнія и слѣдовъ бора и литія; такая минерализація обусловливается залеганіемъ ихъ въ контактѣ; при чемъ щелочи, боръ и литій очевидно выщелачиваются изъ гранитовъ и грануллитовъ, а сѣрнистыя соединенія изъ сланцевъ, въ которыхъ разсѣяны сѣрнистые металлы, особенно часто пиритъ. Высокая температура ихъ зависитъ отъ большой глубины, такъ какъ по сбросамъ въ контактахъ гранитовъ они выходятъ съ глубины 2000—3000 метровъ; кромѣ того они отличаются огромнымъ дебитомъ; нѣкоторые изъ нихъ доставляютъ до полумилліона литровъ въ сутки.

Кромѣ сѣрнистыхъ источниковъ центральной части Пиренеевъ, находятся еще соленые источники на второстепенныхъ параллельныхъ цѣпяхъ, называемыхъ Малыми Пиренеями, Корбьеръ и пр., сложенныхъ изъ мѣловыхъ и третичныхъ осадковъ. Въ Корбьерѣ извѣстны известковый источникъ Alet (32°) съ небольшимъ количествомъ свободной углекислоты, а также соленые источники: Rennes les Bains (46°), Campagne, Ginoles и холодные Salz, выходящіе изъ тріаса. Къ западу отъ Корбьера на сѣверномъ склонѣ изъ тріасовыхъ осадковъ выходятъ соленые источники Ussat и Aulus; изъ нихъ первые въ долинѣ Арьежъ въ 3 вер. къ югу отъ Тараскона съ t = 38° Ц. на высотѣ 450 м., а вторые—на высотѣ 776 м. въ долинѣ Гарбэ въ контактѣ со сланцами; далѣе желѣзистый Sentein и многіе другіе. Но между горячими солеными источниками славится Bagnères-de-Bigorre (51° Ц.), залегающій въ сланцахъ долины Адуръ при выходѣ ея на равнину. На испанскомъ склонѣ также много источниковъ, напр. известковый Bagnolas, магнезіальные Valle de Rivas, соленый Otalora, Molinar и др. различной температуры до 50° Ц. Объ источникахъ Бэтійскихъ Кордильеръ сказано выше (см. стр. 319).

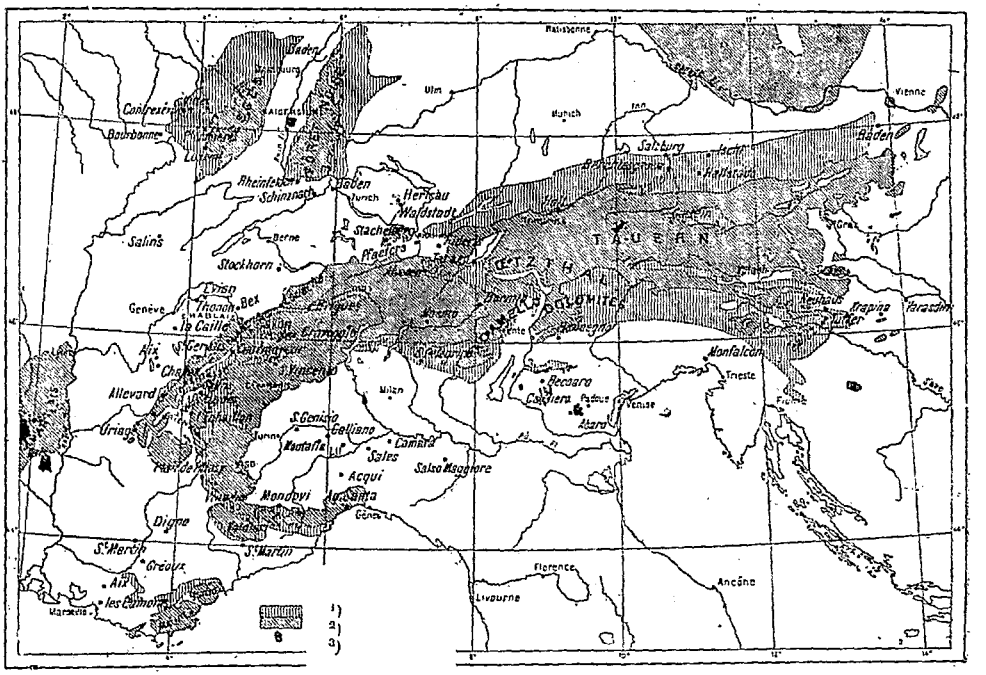
Альпы далеко не такъ богаты термо-минеральными источниками, какъ Овернь, Богемія или Пиренеи, особенно углекислыми. Подобно Пиренейскимъ источники Альпъ группируются преимущественно на сѣверномъ или внѣшнемъ склонѣ, отличающемся, какъ и въ Пиренеяхъ выпуклостью и пологостью въ противуположность внутреннему крутому и вогнутому южному склону, разбитому сбросами, но минерализація ихъ рѣзко отличается. Среди альпійскихъ источниковъ совершенно нѣтъ углекислыхъ, какъ въ Оверни или Богеміи, гдѣ, мы видѣли, они связаны съ вулканическими образованіями, которыхъ на сѣверномъ склонѣ Альпъ не происходило въ третичную эпоху. Также не встрѣчаются сѣрнистые источники Пиренейскаго нояса; но за то между ними преобладаютъ соленые, известковистые и магнезіальные источники, минерализующіеся въ тріасовыхъ отложеніяхъ, имѣющихъ широкое развитіе на сѣверномъ склонѣ Альпъ. Кромѣ того въ Альпахъ находятся еще горячіе индеферентные источники, получившіе большую популярность. Въ сосѣдней, исключительно складчатой, Юрѣ термальныхъ источниковъ почти нѣтъ. На южномъ склонѣ Альпъ, гдѣ происходили третичныя изверженія встрѣчаются углекислые источники, но за то соленыхъ почти нѣтъ. Для удобства разсмотрѣнія Альпійскіе источники можно раздѣлить на четыре группы: французскіе, швейцарскіе, тирольскіе и итальянскіе; первыя три сосредоточиваются преимущественно на западномъ и сѣверномъ склонѣ, а послѣдняя на южномъ и восточномъ.

На французскомъ склонѣ Альпъ, начиная съ юга прежде всего встрѣчаются источники Berthemont или Roquebillière (30° Ц.) и Saint-Martin-Lantosque (10°), подчиненные пермо-тріасовымъ образованіямъ Приморскихъ Альпъ (фиг. 205); они вмѣстѣ съ нижеприводимымъ Aix, представляютъ рѣдкіе и даже единственные для Альпъ примѣры сѣрнистыхъ источниковъ, хотя и довольно низкой температуры. Къ западу отъ нихъ находятся: Digne, Gréoulx, Saint-Martin, Castellane и др. соленые источники со слѣдами борной кислоты; къ сѣверу: Plan-de-Phazy, Monestier-de-Briançon, Uriage (27°) 12 кил. отъ Гренады, l'Echaillon, Allevard [140]) и др. соленые, вытекающіе изъ тріаса. Къ сѣверу отъ Allevard залегаетъ группа источниковъ Савойи: Saint-Gervais, La Caille, Bonneval и др., но самые знаменитые между ними сѣрнистые Aix-les-Bains, гдѣ два источника (45° и 47° Ц.) даютъ 30000 гектолитровъ въ сутки слабо минерализованной воды (0,49 гр. на литръ $CaCO_3$, $CaSO_4$, $MgSO_4$ и сѣроводорода), истекающей изъ мѣловыхъ породъ, прикрытыхъ ледниковыми наносами.

Въ Швейцарскихъ Альпахъ термальные источники также какъ во французскихъ тѣсно связаны съ тріасомъ, слабо минерализованы, большею частью соленые или даже индиферентные, напр. въ долинѣ Роны, выше Женевскаго озера: Bex, Lavey (46° Ц.), извѣстный каптажемъ шир. Франсуа, Saxon, Loueche и др.; далѣе въ Арговіи: Баденъ, Шинцнахъ, вытекающіе изъ кейпера, Wildegg—холодный источ-

никъ, содержащій іодъ и бромъ, Rheinfelden (10° Ц.) на правомъ берегу Рейна въ 17 кил. отъ Базеля. Tarasp (7°), залегающій на границѣ Швейцаріи и Тироля (1185 м. высоты), отличается содержаніемъ борной кислоты ($Na_2 Ba_2 O_4 = 0{,}172$), что доказываетъ возможность происхожденія ея не только изъ мофетъ, но и изъ осадочныхъ наносныхъ породъ тріаса. Особенно интересны индиферентные источники Пфефферсъ-Рагацъ на границѣ кантоновъ С. Галленъ и Граубюнденъ, вытекающіе изъ третичнаго флиша съ температурою 38,7° Ц.; они отличаются рѣзкими измѣненіями дебита въ зависимости отъ количества снѣговъ; временами дебитъ ихъ достигаетъ 57600 гектолитровъ въ сутки.

Въ Тиролѣ встрѣчаются тѣже два типа источниковъ, какъ и въ предыдущихъ частяхъ Альпъ, а именно одни мало минерализованные или индиферентные источники, какъ напр. Гаштейнъ, залегающій на высотѣ 1000 м. съ измѣняющеюся температурою (отъ 26 до 48° Ц.) и съ дебитомъ до 40000 гектолитровъ въ сутки; дру-



Фиг. 205. — Карта альпійскихъ термальныхъ источниковъ по отношенію къ геологическому составу Альпъ.

[1]) Тріасъ и ретъ; [2]) гранитъ, гнейсъ и палеозойскія образованія; [3]) извержепныя породы.

гіе же минерализуются въ соленосныхъ и гипсоносныхъ отдѣлахъ тріаса, напр. Hall, Berchtesgaden, Hallein, Ischl и др.

Итальянскій склонъ Альпъ содержитъ меньшее количество термальныхъ источниковъ, связанныхъ съ тріасомъ, т. е. соленыхъ и известковыхъ, но за то чаще встрѣчаются углекислые въ связи съ новыми вулканическими центрами, напр. въ Евганеяхъ, Рекоаро, Кальдіеро и др. Начиная съ запада извѣстны источники: Vinadio (32—63° Ц.) съ сѣрнистымъ и сѣрнокислымъ натріемъ, Courmayeur (12° Ц., на 1218 м. высоты) съ сѣрнокислымъ кальціемъ и углекислотою, тоже San-Vincenzo, Bormio (42° Ц. на высотѣ 1440 м.) известково-магнезіальный, San-Pellegrino (28° Ц.) известково-соленый съ углекислотой и др. Въ Ломбардіи находятся вышеупомянутые углекислые источники. Далѣе къ востоку въ Каринтіи, Штиріи, Истріи, Кроаціи, Далмаціи находятся источники Franz-Josefsbad на лѣвомъ берегу Санна у подножія Гамберга (37° Ц.) и сходные съ ними источники Neuhaus и Römerbad (36° Ц.); послѣдніе были извѣстны еще римлянамъ. Сѣрнистые Warasdin-Töplitz (57° Ц.) и Krapina-Töplitz (41.8° Ц.); далѣе Monfalcone и San-Stefano у Трieста (17° Ц.) соленый.

Карпаты и Венгерская равнина содержатъ разнообразные и многочисленные источники, изъ которыхъ одни углекислые, находящіеся въ зависимости отъ

вулканическихъ центровъ, другіе же соленые, минерализующіеся въ третичныхъ міоценовыхъ отложеніяхъ, особенно въ области распространенія т. наз. шлира, за-

Фиг. 206. — Гидротермальная карта Италіи.

[1]) Источники сѣрнистые, щелочные и известковые; [2]) источники сѣрнокисло-щелочные и щелочно-земельные; [3]) источники хлористые; [4]) источники углекислые; [5]) измѣненныя породы третичныя и современныя.

ключающаго большія залежи соли, напр. Величка и Бохнія. Нерѣдко вмѣстѣ съ солеными источниками въ тѣхъ же третичныхъ образованіяхъ встрѣчаются нефтяные источники, что свойственно не только Карпатамъ, но также Апеннинамъ и Кавказу. Въ бассейнѣ Вѣны, разбитомъ сбросами, находятся извѣстные сѣрнистые Baden (Aquae Pan-

nonicae), въ 15 кил. отъ Вѣны, аналогичные по составу Aix-la-Chapelle, съ температурою 40° и дебитомъ до 2000 куб. м. въ сутки; Vöslau—простыя термальныя воды. Въ области вулканическихъ породъ характеръ источниковъ такой же, какъ въ Центральномъ плато Франціи, напр. углекислые Budis, Dubowa и Tot-Prona на окраинѣ Ziargebirg, термы Baimotz у массива Магура и др. На юго-западъ отъ трахитоваго массива Шемница находятся желѣзный Vichnje (38° Ц.) и известковый Szkleno (50° Ц.), Eisenbach и др. Въ Буковинѣ углекислые источники вытекаютъ изъ контакта андезитовой брекчіи и осадочныхъ породъ. Въ знаменитыхъ рудныхъ работахъ Догнаска, Оравица и др. находятся много соленыхъ источниковъ и особенно Herkules fürdo (Thermae Herculis) у Мегадіа (46°—62° Ц.). Въ окрестностяхъ Будапешта также много соленыхъ и сѣрнистыхъ источниковъ отъ 28° до 77° Ц.; изъ нихъ самый знаменитый магнезіальный Hunyadi-Janos. Въ Румыніи углекислый и хлористый Slanic, соленый Govora, сѣрнистый Calimanesti и др.

Апеннины, Сицилія, Корсика и Сардинія принадлежатъ къ областямъ наиболѣе богатымъ термальными источниками. Весь Итальянскій полуостровъ отъ Лигуріи до Калабріи отличается весьма благопріятными условіями для проявленія термальныхъ источниковъ: многочисленные сбросы, сдвиги, складчатость, не только новые потухшіе вулканы, но и дѣйствующіе въ настоящее время, наконецъ, соленосные осадки—все это обусловливаетъ разнообразіе минерализаціи термальныхъ источниковъ, между которыми находятся: углекислые, соленые, сѣрнистые, сѣрнокислые, нефтяные и наконецъ, содержащіе борную кислоту, напр. суффіони Тосканы.

На прилагаемой гидротермальной картѣ Италіи (фиг. 206) видно, что на сѣверной сторонѣ Апеннинъ между Генуя и Туриномъ развиты преимущественно холодные соленые источники, не имѣющіе большого значенія и только одинъ изъ нихъ горячій—источникъ Acqui; они минерализуются въ міоценовыхъ и пліоценовыхъ отложеніяхъ сѣверной Италіи и сопровождаются мѣстами нефтеносными источниками, напр. Emilie между Болонья и Піаченца. Отъ Анконы къ югу на восточномъ склонѣ Апеннинъ термальныхъ источниковъ совсѣмъ нѣтъ, но на западномъ, отличающемся многочисленными проявленіями вулканизма, термальные источники разнообразны и обильны, особенно углекислые въ провинціяхъ Тосканы, Рима и Неаполя. Приведемъ главнѣйшіе изъ нихъ, начиная съ сѣвера, гдѣ холодные, соленые источники: San Genesio (12°), Montafia (12°), Calliano; вмѣстѣ съ нефтью Rivanazzano, Godiasco и др.; но самый важный между ними горячій Acqui (75° Ц.), находящійся въ 31 кил. къ юго-западу отъ Александріи. Въ Emilie замѣчательны нефтяные источники, доставляющіе до 1000 тоннъ нефти ежегодно; область эта славится также сальзами или грязевыми вулканами или bombi, напр. у Модены, Nirano и др. и, наконецъ горючими газами или такъ называемыми вѣчными огнями (см. выше стр. 256). Источники выходятъ по двумъ главнымъ линіямъ разлома, параллельнымъ простиранію Апеннинъ; по первой находятся напр. Velleia, Salsomaggiore, Medesano, Sassuolo и др., а по второй, лежащей ближе къ гребню Апеннинъ на высотѣ 1100 м., выходятъ, напр. Corniglio, Barigazzo, Porretta, Pietramala и др.

Южнѣе области соленыхъ и нефтяныхъ холодныхъ источниковъ залегаютъ горячіе источники, преимущественно на западномъ склонѣ Апеннинъ, напр. известковые Bagni di Lucca (35° Ц.), хлористые Monte Catini (30° Ц.), вблизи знаменитыхъ мѣдныхъ рудниковъ того же имени; сѣрнокисло- и углекисло-известковые San Giuliano у Пизы (39°), далѣе замѣчательная группа soffioni и lagoni Тосканы [129]), выходящихъ изъ лейяса вблизи вулканическихъ породъ съ температурою гейзеровъ, а пары и газы до 175° Ц.

На Кавказѣ не менѣе отчетливо, чѣмъ въ разсмотрѣнныхъ областяхъ, проявляется связь термальныхъ источниковъ съ новѣйшей дислокаціей и разнообразіе ихъ состава съ проявленіемъ вулканической дѣятельности. Представляя непосредственное продолженіе альпійской складчатости, Кавказскій хребетъ отличается характерной прямолинейностью своего простиранія отъ дугообразныхъ Альпъ и Карпатъ. Преобладающей чертой тектоники Большого Кавказа является вѣерообразная складчатость, захватывающая въ сѣверо-западной части хребта поясъ кристаллическихъ породъ, которыя дальше къ юго-востоку отъ меридіана Казбека совершенно скрываются подъ областью опусканія долины р. Куры. По обѣ стороны главной оси Кавказа кристаллическія породы покрываютъ опрокинутые слои такъ называемыхъ сланцевъ главнаго хребта, вѣроятнаго палеозойскаго возраста, и юрскихъ породъ. Съ сѣвера Главный хребетъ сопровождается поясомъ преимущественно известняковъ юрскаго и мѣловаго возраста, а съ юга такимъ же поясомъ, но съ породами менѣе известняковыми; изъ такихъ же юрскихъ и мѣловыхъ породъ сложена и юго-восточная часть Кавказа, гдѣ опрокинутость складокъ къ югу и развитіе крупныхъ синклиналей является наиболѣе характерной чертой строенія. Обширный поясъ складокъ третичныхъ породъ окаймляетъ съ юго-востока Кавказскій хребетъ,

простираясь почти безъ перерыва до береговъ Чернаго моря. Мощныя вулканическія образованія третичнаго и послѣтретичнаго возраста нарушаютъ правильность строенія сѣверо-западнаго Кавказа, достигая наибольшаго проявленія въ вулканическихъ горахъ Эльбруса и Казбека.

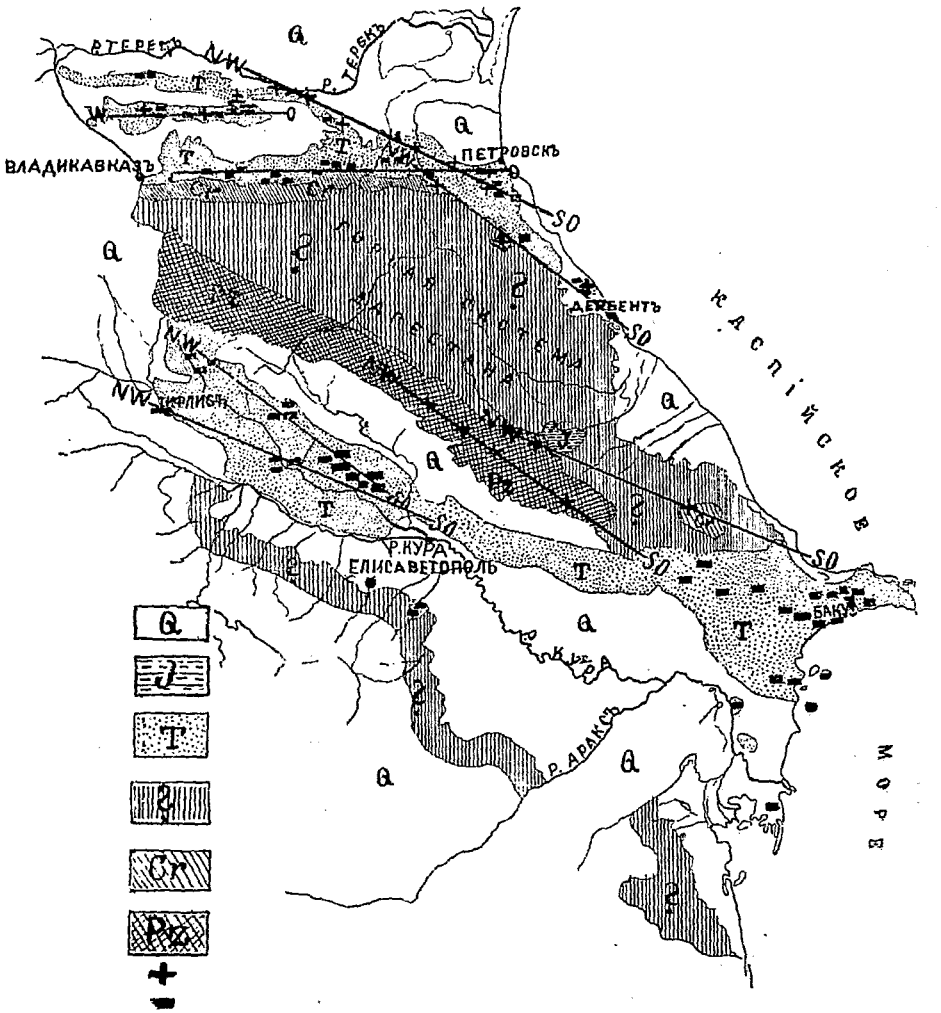
Образованіе этихъ гигантскихъ вулканическихъ конусовъ считаютъ однимъ изъ послѣдствій дислокаціи, связанной съ движеніями въ поясѣ вулканическаго нагорія Арменіи. Армянское плоскогоріе ограничивается орографически съ сѣвера такъ называемымъ Малымъ Кавказомъ, составляющимъ поясъ антиклинальной складчатости, параллельный складкѣ Большого Кавказа, но совершенно подавленный мощными изліяніями трахитовъ, андезитовъ и другихъ изверженныхъ породъ, достигающихъ своего максимальнаго развитія въ вуканическихъ горахъ Арменіи. Большой и Малый Кавказъ раздѣляются долинами рѣкъ Куры и Ріона, въ вершинахъ которыхъ высокій поперечный хребетъ Мескійскій или Сурамскій соединяетъ оба Кавказа.

Развитая складчатость Кавказа, однообразнаго простиранія NW — SO, мѣстами по окраинамъ его системы нарушается появленіемъ болѣе новой простиранія NO—SW, а въ сѣверо-западномъ Кавказѣ вулканическія образованія какъ центральнаго хребта, такъ и Малаго Кавказа и Мескійскихъ горъ, нарушая тектоническую простоту, оживляютъ орографическія линіи знаменитой своею красотою этой части Кавказа.

Безчисленное множество минеральныхъ и термо-минеральныхъ водъ Большого Кавказа распредѣляется между нѣсколькими областями, въ каждой изъ которыхъ группировка этихъ источниковъ подчиняется какъ бы нѣкимъ условіямъ. Въ средней части сѣверо-западнаго Кавказа, включая сюда Мескійскій хребетъ и частью отроги Малаго Кавказа, термо-минеральные источники сосредоточены какъ на сѣверномъ, такъ и на южномъ склонахъ Большаго Кавказа преимущественно вблизи областей вулканическихъ образованій. Въ юго-восточномъ Кавказѣ, гдѣ изверженныхъ породъ нѣтъ вовсе, за исключеніемъ небольшого пространства къ сѣверо-западу отъ Шемахи, термо-минеральные источники распредѣлены по обоимъ склонамъ главнаго хребта, и мѣстами въ серединѣ его, вдоль основныхъ тектоническихъ линій. Абихъ еще въ 1865 г. [130]) указывалъ тѣмъ не менѣе на неправильность заключенія о связи главнѣйшихъ группъ минеральныхъ водъ сѣверо-западнаго Кавказа съ колоссальными центрами прежней вулканической дѣятельности, именно группы Бештау (Пятигорская) съ Эльбрусомъ, а группы между Терекомъ и Сунжей (Грозненская) съ Казбекомъ. Послѣ изслѣдованія центральныхъ частей юго-восточнаго Кавказа Абихъ [131]) еще опредѣленнѣе настаивалъ на зависимости проявленія термальныхъ источниковъ только отъ продольной дислокаціи Кавказа, а группировки этихъ источниковъ отъ мѣстъ пересѣченія или сталкиванія линій простиранія главнѣйшихъ направленій складчатости и разломовъ; такими направленіями онъ считалъ NW—SO двухъ неодинаковыхъ румбовъ, затѣмъ O — W и NO — SW, даже NNO — SSW. Хотя дальнѣйшія изслѣдованія на Кавказѣ далеко не подтвердили такого разнообразія въ направленіи простиранія кавказской складчатости, но изслѣдованія Мушкетова [132]) Пятигорской группы и Коншина Терско-Сунженской группы [133]) въ общемъ показали, что выходы термальныхъ источниковъ подчинены новѣйшей дислокаціи сѣвернаго Кавказа и въ особенности мѣстамъ пересѣченія складчатости различнаго направленія, какъ это наглядно показано на прилагаемой схематической карточкѣ Коншина (фиг. 207). Соединеніе мѣстъ выхода термо-минеральныхъ источниковъ прямыми линіями, какъ этимъ пользовались для своихъ заключеній Абихъ и Коншинъ, является, конечно, въ значительной степени произвольнымъ; такъ на прилагаемой карточкѣ Коншина соединены по линіи однообразной дислокаціи источники Хиоускіе и Бумскіе, а между тѣмъ они расположены на различныхъ склонахъ Главнаго хребта; также произвольно соединены по линіи иного направленія источники Ахтинскіе и Халтанскіе, которые на самомъ дѣлѣ расположены на различныхъ сторонахъ Шахдагской синклинали мѣловыхъ породъ, составляющей главный тектоническій элементъ этой части юго-восточнаго Кавказа [134]). Если до нѣкоторой степени необходимо ограничить положеніе Абиха и Коншина о значеніи пересѣченія дислокаціонныхъ линій различнаго направленія, такъ какъ во многихъ случаяхъ мы имѣемъ дѣло не столько съ пересѣченіемъ различныхъ направленій, сколько съ дугообразными изгибами удлиненныхъ складокъ, тѣмъ не менѣе остается прочно установленнымъ самый фактъ зависимости проявленія термальныхъ и минеральныхъ источниковъ отъ линій крупнаго нарушенія залеганія слоевъ. Въ отдѣльныхъ случаяхъ, какъ это видно изъ работъ Мушкетова и Коншина, такая связь обнаруживается съ замѣчательнымъ постоянствомъ.

Въ Пятигорскомъ округѣ [135]), или группѣ минеральныхъ источниковъ Бештау, различаютъ четыре группы источниковъ, не считая другихъ еще не эксплоатируемыхъ: Пятигорская сѣрнистыхъ горячихъ источниковъ (отъ 26.2° до 47.8°C); Желѣзноводская горячихъ желѣзистыхъ источниковъ (съ температурой до 51°);

Эссентукская холодныхъ щелочныхъ и сѣрнисто-щелочныхъ и Кисловодская съ знаменитымъ углекислымъ (газовымъ) источникомъ Нарзаномъ; вода всѣхъ источниковъ отличается постояннымъ содержаніемъ углекислаго кальція. Изъ другихъ группъ заслуживаетъ вниманія еще Кумогорская сѣрно-щелочныхъ теплыхъ источниковъ. Источники Пятигорскіе, Кисловодскіе и Эссентукскіе выступаютъ изъ мѣловыхъ и третичныхъ породъ по трещинамъ обыкновенно направленія NO 25°; Желѣзноводскіе изъ трещинъ такого же направленія въ кварцевыхъ порфирахъ (микро-



Фиг. 207. Схематическая карта Коншина распространенія термо-минеральныхъ и нефтяныхъ источниковъ юго-восточнаго Кавказа.

Q—постліоценъ, J—юрскія отложенія, T—третичныя, ?—юрскія и мѣловыя по новымъ даннымъ, Cr—мѣловыя, Pz—палеозойскія (частью), + — термо-минеральные источники, ■ нефтяные источники.

гранулитахъ или трахитахъ по другимъ опредѣленіямъ), а Кумогорскіе изъ трещинъ въ мѣловыхъ и третичныхъ породахъ вблизи пересѣченія ихъ кварцевыми порфирами. Кварцевые порфиры представляютъ характерные лакколиты, время поднятія которыхъ относятъ къ третичной эпохѣ послѣ отложенія эоценовыхъ мергелей этого раіона. Направленіе выходовъ порфировыхъ жилъ отчетливо слѣдуетъ по простиранію NO 25—30° или до N — S; около нихъ выходовъ сосредоточены явленія сбросовъ и нарушеній правильности простиранія основной сѣверо-западной складчатости осадочныхъ породъ.

Постоянная связь минеральныхъ источниковъ съ дислокаціонными трещинами преимущественно сѣверо-восточнаго простиранія позволяетъ предполагать, что циркуляція термальныхъ водъ обусловлена образованіемъ разлома поперечнаго къ направленію склона этой части Кавказскаго хребта; расположеніе по линіи такого разлома лакколитовъ изверженныхъ породъ позволяетъ предполагать возможность генетической связи термальныхъ источниковъ съ этими глубокими подземными вулканическими пзліяніями.

Ни одна изъ Кавказскихъ группъ минеральныхъ источниковъ не представляетъ на сравнительно небольшомъ пространствѣ такого разнообразія минерализаціи, какъ Пятигорскій округъ. Весьма тщательное химическое изслѣдованіе минеральныхъ водъ этого округа показало вліяніе условій выхода на поверхность (грифоновъ) минеральной воды на измѣненіе ея минерализаціи; такъ доказано, что сѣрно-щелочные источники Эссентукской группы являются результатомъ смѣшенія чисто щелочныхъ водъ и сѣрнокислыхъ, частью грунтовыхъ (фреатическихъ). Не является единственнымъ въ этомъ раіонѣ и газовый источникъ Нарзана; извѣстенъ еще такъ называемый «теплый Нарзанъ» въ долинѣ р. Малки на сѣверо-восточномъ склонѣ Эльбруса на абс. высотѣ 7.854 ф. въ 70 вер. къ югу отъ Кисловодска. Эти источники образуютъ обильную водою группу ключей (температуры 22°С), выступающихъ изъ андезитовыхъ туфовъ главнаго массива Эльбруса. Коншинъ, описавшій эти замѣчательные источники, упоминаетъ между прочимъ, что сила, съ которой поднимается непрерывная струя газовой воды, замѣтно по временамъ мѣняется (источникъ пульспруетъ), очевидно, отъ колебанія въ выдѣленіи вообще огромнаго количества угольной кислоты. Только послѣ изслѣдованія надъ колебаніями въ дебитѣ, температурѣ и для газовыхъ источниковъ пульсаціи ихъ можно было бы приблизиться къ рѣшенію вопросовъ, въ какомъ отношеніи къ поверхностной циркуляціи водъ находятся минеральные источники и гдѣ область ихъ минерализаціи. До тѣхъ поръ отрицать возможность вліянія потухшей вулканической дѣятельности области Эльбруса едва ли возможно; въ особенности обильное выдѣленіе угольной кислоты Нарзановъ заставляетъ удерживаться отъ отрицательнаго отвѣта, категорически высказаннаго Абихомъ, который допускалъ вліяніе вулканизма только на тѣ минеральные источники, которые связаны съ дѣятельностью сольфатаръ на поверхности земли, какъ напр., нѣкоторыхъ источниковъ къ югу отъ Арарата (Тундурекъ) или на склонѣ вулкана Демавендъ въ Эльбурсѣ.

По южному склону сѣверо-западнаго Кавказа останавливаютъ на себѣ вниманіе области термальныхъ источниковъ Боржома и Абасъ-Тумана [136]).

Боржомская группа расположена въ верхнемъ теченіи р. Куры среди южныхъ отроговъ Месхійскихъ горъ и смежныхъ высотъ Малаго Кавказа. Источники находятся на размытой линіи разлома антиклинальной складки эоценовыхъ мергелей и песчаниковъ, перемежающихся съ андезитовыми туфами и перекрытыхъ мѣстами мощными покровами пористыхъ андезитовъ. По трещинѣ въ сводовой части антиклинали выступаютъ теплые углекисло-щелочные источники собственно Боржомской группы, Екатерининскій и Евгеніевскій. Боржомское плато отдѣляется съ юга хребтомъ Дикіанскимъ отъ вулканическаго Ахалкалакскаго нагорія; у подножія этого хребта находятся выходы нѣсколькихъ источниковъ: Либанскихъ и Цагверскихъ углекисло-щелочныхъ желѣзистыхъ и Цихисджварскихъ теплыхъ сѣрнистыхъ.

Дальше къ юго-западу отъ Боржома со стороны вулканическаго Ахалкалакскаго нагорія мощные потоки андезитовыхъ лавъ спускаются въ Ахалцыхскій бассейнъ, покрывая третичные известняки, глины и глинистые сланцы. Узкое ущелье Абасъ-Тумана (въ лѣвыхъ вершинахъ р. Куры) разсѣкаетъ южный склонъ Ахалцыхо-Имеретинскаго хребта, окаймляющаго съ сѣвера Ахалцыхскую котловину; осадочныя породы эоценоваго и олигоценоваго возраста (мергеля и песчаники) перемежаются съ андезитовыми туфами и разнообразно пересѣкаются какъ интрузивными, такъ и жильнаго характера толщами андезитовъ. По трещинамъ эпитермическаго характера въ одной изъ такихъ толщъ андезита, выступающаго по серединѣ Абасъ-Туманскаго ущелья, вытекаютъ горячіе (48.2°С) индиферентные источники (Богатырскій, Змѣиный, Золотушный). Свита осадочныхъ породъ вмѣстѣ съ андезитовыми туфами собрана въ складки; параллельно и поперекъ ихъ андезиты разбиты системою трещинъ, которыя не выходятъ изъ предѣловъ толщъ изверженныхъ породъ; осадочныя породы служатъ водоупорными слоями для минерализованныхъ водъ, циркулирующихъ по изверженнымъ. Къ сожалѣнію изъ описаній Коншина не видно дѣйствительнаго отношенія къ этой складчатости жилъ и массивныхъ толщъ андезита, изъ котораго выступаютъ минеральные источники какъ Абасъ-Туманскіе, такъ и холодные Зекарскіе на другой сторонѣ Зекарской гряды, ограничивающей Абасъ-Туманское ущелье съ сѣвера. Изъ описаній Симоновича и Сорокина [137]) и Абиха [138]) наоборотъ ясно, что толщи андезита пересѣкали и внѣдрялись въ слои осадочныхъ породъ, разнообразно метаморфизуя ихъ. Симоновичъ и Сорокинъ

указываютъ, что въ связи съ вулканическими явленіями въ области Ахалцыхскаго третичнаго бассейна и слѣдовавшими одновременно или позднѣе нарушеніями залеганія находится и проявленіе въ ней термальныхъ источниковъ. Грифоны источниковъ находятся или непосредственно въ массѣ вулканическихъ породъ или же появляются въ зонахъ соприкосновенія ихъ съ осадочными образованіями, или даже выходы на поверхность термо-минеральныхъ источниковъ расположены среди осадочныхъ породъ въ болѣе или менѣе значительномъ удаленіи отъ вулканическихъ породъ. Эти авторы указываютъ въ предѣлахъ Ахалцыхскаго бассейна кромѣ упомянутыхъ уже источниковъ еще слѣдующіе: холодные — желѣзисто-щелочные углекислые Шурдинскій, Уравельскій, Платенскій, Цагверскій (въ Горійскомъ уѣздѣ) и горько-соленые Ахалцыхскіе; горячіе—индиферентные Цинубанскіе, сѣрно-щелочные Аспиндзинскіе.

По разнообразію минеральныхъ водъ на ряду съ Пятигорскимъ раіономъ можно поставить только Боржомскій и Ахалцыхскій, и во всѣхъ этихъ раіонахъ минеральные источники находятся, дѣйствительно, или непосредственно въ областяхъ развитія изверженныхъ породъ, или вблизи ихъ. Часто изъ породъ петрографически однородныхъ появляются источники съ различнымъ характеромъ минерализаціи и наоборотъ изъ породъ совершенно различныхъ появляются термо-минеральныя воды существенно одинаковыя; лучшимъ примѣромъ послѣдняго могутъ служить Кисловодскій Нарзанъ и теплый Нарзанъ.

Съ удаленіемъ отъ областей развитія изверженныхъ породъ Эльбруса и Казбека какъ въ сѣверномъ, такъ и въ юго-восточномъ Кавказѣ нельзя не замѣтить, что минеральные источники замѣтно теряютъ въ своемъ разнообразіи, представляя преимущественно горячіе сѣрные и сѣрно-щелочные источники. Какъ исключеніе для сѣверо-западнаго Кавказа можно указать только въ 75 верстахъ къ юго-западу отъ Кисловодска холодные углекисло-щелочные источники Худесскіе.

Къ сѣверо-западу отъ Пятигорской группы мы встрѣчаемъ горячіе и холодные сѣрные и сѣрно-щелочные Псекупскіе (52.5°) источники къ югу отъ Екатеринодара. Обширная термальная область между Терекомъ и Сунжей состоитъ отъ NW къ SO изъ слѣдующихъ группъ: Слѣпцовская (отчасти щелочно-соляные 69.5°), Мамакай-юртовская (79°), Истисуйская, Горячеводская (сѣрнощелочные 89°) и Брагуновская (до 92.5°C),—горячихъ преимущественно сѣрныхъ источниковъ и нѣсколькихъ группъ теплыхъ сѣрныхъ источниковъ—Ачулухскіе, Мамакаевскіе. Горячіе сѣрные и сѣрно-щелочные источники Чирь-юртовской (до 70°) (еще въ Терской области) и Темиргоевской (45°) группъ (въ Дагестанѣ), еще далѣе къ юго-востоку по Дагестану горячіе сѣрные источники Талгинской или Петровской группы, горячіе сѣрные источники Каракайтагской группы (до 50°) около Дербента и такіе же Гильярскіе (35°) на Самурѣ—составляютъ продолженіе непрерывнаго периферическаго пояса горячихъ источниковъ сѣверо-восточнаго склона Кавказа. Въ Дагестанѣ соотвѣтственно правильной складчатости горъ можно отмѣтить параллельно периферическому термальному поясу источниковъ, выступающихъ среди третичныхъ отложеній, другой поясъ термо-минеральныхъ и минеральныхъ источниковъ среди первой юрской зоны; таковы горячіе сѣрные источники Рычала (37°) и холодные желѣзистые источники Хпега (въ Кюринскомъ округѣ Дагестана); ближе къ главной оси хребта намѣчается еще рядъ источниковъ, горячихъ сѣрныхъ Ахтинскихъ (51°) и холодныхъ углекислыхъ около селеній Кюлютль и Хрюхъ; наконецъ, источники Хноускіе (49°) и на южномъ склонѣ горячіе сѣрные Елисуйскіе (42°) (Закатальскій округъ) и Бумскіе (39°) (Нухинскій уѣздъ) расположены на такихъ же параллельныхъ дислокаціонныхъ линіяхъ. Хноускіе источники относятся къ горячимъ углекисло-щелочнымъ, быть можетъ, Боржомскаго типа. Исключительное преобладаніе сѣрныхъ источниковъ можно отмѣтить и дальше къ юго-востоку какъ среди пояса мѣловыхъ породъ (Халтанскіе горячіе) сѣвернаго склона, такъ и третичныхъ и мѣловыхъ (горячіе около Джебаны близъ Шемахи, холодные около сел. Хана-гэ въ Геокчайскомъ уѣздѣ) южнаго склона. Можно снова указать на независимость минерализаціи источниковъ отъ петрографическаго характера поверхностныхъ породъ, что обнаруживается наглядно на сѣрныхъ источникахъ периферическаго пояса и пояса юрскихъ и мѣловыхъ породъ Дагестана, и на источникахъ Хноускихъ, Ахтинскихъ и селеній Кюлютль и Хрюхъ—различнаго состава изъ породъ петрографически тождественныхъ. Горячіе источники Джебаны вытекаютъ изъ третичныхъ породъ, а холодные Хана-гэ изъ базальтовъ и базальтовыхъ туфовъ. Какъ ни слабо еще изучена тектоника этой части Кавказа, но можно и теперь уже утверждать, что термо-минеральные источники связаны съ линіями продольной дислокаціи, причемъ температура источниковъ, повидимому, не зависитъ отъ положенія грифоновъ относительно превышенія надъ ними области возможнаго поверхностнаго питанія. Послѣднему условію Абихъ, авмѣстѣ съ нимъ и Коншинъ придавали большое значеніе, предполагая возможнымъ даже вычислять исходную глубину термо-мине-

ральныхъ источниковъ, согрѣвающихся при циркуляціи поверхностной воды по глубокимъ геоизотермическимъ поверхностямъ.

Въ пользу заключенія о зависимости разнообразія минерализаціи отъ развитія вулканическихъ образованій можно было бы указать еще на источники Душетскаго уѣзда: Трусовскіе теплые сѣрно-щелочные и Кобійскіе холодные углекисло-желѣзистые, тѣ и другіе находятся вблизи выходовъ трахитовыхъ туфовъ Казбека, хотя выступаютъ изъ породъ свиты сланцевъ Главнаго хребта. Скорѣе противъ такого заключенія могло бы говорить значительное разнообразіе минеральныхъ водъ Черноморскаго побережья, хотя и такое возраженіе было бы неспѣшно.

Де-Лонэ, разобравъ критически, какъ мы видѣли, географическое распространеніе термо-минеральныхъ источниковъ и выяснивъ связь цѣлыхъ термальныхъ зонъ съ поясами вулкановъ и дислокаціонными линіями, объясняетъ такую зависимость общими тектоническими причинами; источникомъ подземныхъ водъ онъ считаетъ единственно поверхность земли, инфильтрацію поверхностныхъ водъ, минерализуемыхъ дѣйствіемъ газообразныхъ выдѣленій потухающихъ и дѣйствующихъ вулкановъ или въ зависимости отъ состава мѣстныхъ породъ. Въ послѣднее время снова выдвигается возможность происхожденія нѣкоторыхъ термо-минеральныхъ водъ не инфильтраціей съ поверхности земли, а притокомъ съ недосягаемыхъ глубинъ.

Опредѣленіе области питанія и области минерализаціи термо-минеральныхъ источниковъ представляетъ одну изъ труднѣйшихъ геологическихъ задачъ, для разрѣшенія которой только въ простѣйшихъ случаяхъ имѣется достаточно фактическаго матеріала. При тщательномъ сравненіи химическаго состава источниковъ одной какой либо области можно замѣтить вліяніе геологическаго строенія на измѣненіе такого состава; примѣръ этого мы видѣли въ Эссентукахъ, а въ особенности подробно это прослѣжено въ Карлсбадѣ (см. стр. 321). Въ особенности соленые источники представляютъ одинъ изъ наиболѣе простыхъ случаевъ минерализаціи въ зависимости отъ состава породъ. Если температура источниковъ при этомъ не поднимается выше средней годовой даннаго мѣста, то при постоянствѣ характера минерализаціи на площади распространенія извѣстной группы породъ можно съ большой вѣроятностью указать какъ область питанія, такъ и область минерализаціи источниковъ (см. напр., стр. 318 и 323). Такіе источники образуютъ вполнѣ опредѣленную группу, близкую по условіямъ своего возникновенія къ источникамъ обыкновенной питьевой воды.

Къ группѣ источниковъ, минерализація которыхъ зависитъ только отъ мѣстнаго появленія особыхъ типовъ горныхъ породъ, напр., соленосныхъ, известковистыхъ, магнезіальныхъ, желѣзистыхъ, могутъ относиться слѣдовательно различные источники по приведеннымъ выше классификаціямъ, какъ это указано на стр. 296 и 316. Однимъ изъ отличій всѣхъ такихъ источниковъ поверхностнаго, такъ называемаго вадозоваго (неглубокаго), происхожденія служитъ зависимость ихъ дебита отъ временъ года.

Рядомъ съ такой группой вадозовыхъ источниковъ можетъ быть и другая вадозоваго же происхожденія, но высокой температуры, пріобрѣтаемой водой ихъ при циркуляціи по глубокимъ горизонтамъ высокихъ геоизотермъ. Область питанія такихъ источниковъ залегаетъ значительно выше мѣста ихъ выхода; при опусканіи такихъ водъ въ земные слои все болѣе высокой температуры онѣ нагрѣваются до степени, обусловливаемой величиной мѣстнаго геотермическаго градуса и глубиной проникновенія. Необходимо предполагать, что на извѣстныхъ глубинахъ такія нисходящія воды встрѣчаются непосредственно или покрайней мѣрѣ вступаютъ въ соединеніе съ массами воды, постоянно пребывающими въ условіяхъ температуры соотвѣтствующихъ геоизотермъ. Дѣйствительно, прямая циркуляція опускающейся и поднимающейся затѣмъ воды до появленія ея въ видѣ источника едва ли была бы достаточной для нагрѣванія воды до высокой температуры. Вода такихъ горизонтовъ должна находиться подъ напоромъ, величина котораго зависитъ отъ колебаній количества воды въ области питанія, т. е. отъ поднятія водъ, напр, во время таянія снѣга или опусканія ихъ въ сухое время года. Слѣдовательно, дебитъ такихъ горячихъ источниковъ можетъ измѣняться при сохраненіи постоянной температуры; дебитъ ихъ возрастаетъ отъ увеличенія истеченія воды такихъ глубокихъ горизонтовъ подъ вліяніемъ увеличенія гидростическаго давленія при скопленіи, напр., весеннихъ водъ. Если бы не было такого резервуара воды постоянной температуры, то въ сухое время года температура такихъ источниковъ должна бы возрастать, а съ увеличеніемъ дебита понижаться. Впрочемъ, такое колебаніе температуры можетъ дѣйствительно происходить, если струя воды постоянной высокой температуры соединяется гдѣ либо въ концѣ своего пути съ непостоянной струей обыкновенной поверхностной воды. Минерализація такихъ вадозовыхъ водъ глубокихъ подземныхъ горизонтовъ, казалось бы, можетъ быть, весьма различной, и до сихъ поръ, боль-

ницство геологовъ, какъ мы видѣли, приписываетъ термо-минеральнымъ источникамъ именно такое происхожденіе.

Изслѣдованія послѣднихъ лѣтъ одной изъ наиболѣе замѣчательныхъ группъ горячихъ источниковъ, именно Карлсбада (см. стр. 247—248), показали, что дебитъ ихъ не соотвѣтствуетъ возможной области питанія на поверхности и совершенно не зависимъ отъ колебаній атмосферныхъ осадковъ, что огромныя количества углекислаго кальція и натрія въ водѣ шпруделя не могутъ происходить изъ гранитовъ, залегающихъ въ возможной области поверхностнаго питанія этихъ источниковъ. Ежегодно шпрудель выноситъ 5.88 милліоновъ килограммовъ твердыхъ составныхъ частей, а признаковъ образованія пустотъ, какія должны бы возникнуть вслѣдствіе его вѣковой дѣятельности, до сихъ поръ не извѣстно. Наконецъ, положеніе Карлсбадскаго шпруделя, температура котораго 729°.С, слѣдовательно по разсчету на геотермическій градусъ вода его истекаетъ изъ очень значительныхъ глубинъ, не соотвѣтствуетъ возможному здѣсь гидростатическому давленію. Если ни область питанія, ни область минерализаціи Карлсбадскихъ источниковъ не могутъ быть указаны на поверхности, то остается предположить, говоритъ Зюссъ [139]), что вода ихъ происходитъ изъ недосягаемыхъ глубинъ земли и представляетъ послѣдній слѣдъ вулканической дѣятельности этой области. Подобно тому какъ часть химическихъ соединеній (SO_2, HCl и другія), выдѣляемыхъ при вулканическихъ изверженіяхъ, есть только результатъ окислительныхъ процессовъ въ очагѣ вулкана (см. т. I, стр. 433), а первичнымъ источникомъ этихъ соединеній служатъ газообразныя вещества, поглощенныя расплавленной массой въ огненножидкій періодъ жизни земли, также и водяной паръ, выдѣляемый при вулканическихъ изверженіяхъ, появляется какъ таковой впервые только на поверхности земли. Словомъ, не фильтрація поверхностной воды можетъ служить источникомъ водяного пара извергающихся магмъ, а наоборотъ каждое вулканическое изверженіе увеличиваетъ количество поверхностныхъ водъ. Возможность инфильтраціи поверхностныхъ (вадозовыхъ) водъ къ очагамъ вулкановъ Зюссъ отрицаетъ, указывая на необыкновенно высокую температуру газовъ, расплавляющихъ полузастывшую лаву въ кратерахъ вулкановъ; процессъ вулканическаго изверженія и заключается въ постепенномъ разогрѣваніи и расплавленіи лавы поднимающимися газами, подобно тому какъ процессъ изверженія гейзеровъ заключается въ постепенномъ перегрѣваніи воды поднимающимся снизу перегрѣтымъ паромъ. Газы вулканическихъ изверженій являются источникомъ тепла, расплавляющаго лаву въ кратерѣ вулкана; слѣдовательно, они происходятъ изъ температурнаго пояса на глубинѣ земли, гдѣ температура близка или выше плавленія горныхъ породъ, гдѣ слѣдовательно не можетъ быть уже ни трещиноватости, ни пористости горныхъ породъ и также инфильтраціи вадозовыхъ водъ. Если водяной паръ и газы, напр. CO_2, вулкановъ не могутъ происходить отъ инфильтраціи вадозовыхъ водъ, то необходимо разсматривать ихъ за продуктъ выдѣленія газовъ (Entgasung) тѣломъ земли; это выдѣленіе началось при первомъ затвердѣваніи ея массы и продолжается до сихъ поръ, хотя не повсюду, а только въ опредѣленныхъ мѣстахъ и по опредѣленнымъ линіямъ земной поверхности.

Возвращаясь такимъ образомъ къ прежнимъ представленіямъ о причинѣ вулканическихъ изверженій (Чермака, Рейера), Зюссъ предлагаетъ отмѣтить всѣ вещества, появляющіяся какъ таковыя впервые только на поверхности земли, а не происходящія отъ инфильтраціи съ земной поверхности, названіемъ ювенилевыя, т. е. юныя или дѣвственныя, въ отличіе отъ вадозовыхъ. Можно говорить объ ювенилевой угольной кислотѣ, сѣрнистомъ газѣ и т. д. и объ ювенилевой водѣ.

Газы, выдѣляющіеся изъ очага вулкана состоятъ главнѣйше изъ водянаго пара, хлора, сѣрнистаго газа и угольной кислоты; въ ихъ появленіи замѣчается послѣдовательность (см. т. I, стр. 431—433), но всѣ фумаролы уже въ самомъ очагѣ вулкана, повидимому, вмѣстѣ съ другими газами заключаютъ и воду. Фукэ показалъ, что продукты низшихъ фумаролъ, т. е. холодныхъ и кислыхъ, находятся въ высшихъ фумаролахъ, т. е. сухихъ, какими являются фумаролы съ температурой больше 500° на потокахъ лавы, состоящія главнымъ образомъ изъ хлористыхъ соединеній (HCl, NaCl и друг.); по мѣрѣ пониженія температуры фумаролъ вещества, испаряющіяся при болѣе высокой температурѣ, постепенно исчезаютъ; дольше продолжается выдѣленіе SO_2, еще дольше CO_2, хотя присутствіе угольной кислоты доказано и въ наиболѣе горячихъ сухихъ фумаролахъ. Различные газообразные продукты часто можно видѣть выдѣляющимися одновременно изъ различныхъ отверстій вулкана; выдѣленія угольной кислоты и водянаго пара обыкновенно дальше всего отъ очага и выдѣленіе ихъ продолжается дольше всего; CO_2 продолжаетъ выдѣляться въ видѣ мофеттъ еще долго послѣ охлажденія излившихся массъ.

Съ этой точки зрѣнія гейзеры, вообще кипящіе источники, являются фазой потухающаго вулканизма, переходной къ слѣдующей фазѣ—выдѣленія CO_2 и горя-

чихъ источниковъ (см. т. I, стр. 435). Что гейзеры относятся къ ювенилевымъ источникамъ, доказываетъ ихъ прямая связь съ областями потухающаго вулканизма, а также ихъ періодическія изверженія или пульсація, свидѣтельствующая, что истеченіе ихъ не зависитъ отъ гидростатическаго давленія. Въ водѣ гейзеровъ и другихъ горячихъ источниковъ, напр. Исландіи, находятся соединенія бора, сѣры и щелочей; замѣчено, что щелочные источники появляются позднѣе чѣмъ сѣрнистые, нерѣдко выходы щелочныхъ окружены отложеніями сѣры, какъ продукты болѣе древней фазы ихъ дѣятельности. Такую послѣдовательность и надо ожидать, судя по извѣстному порядку выдѣленія газовъ фумаролъ. Въ Іеллоустонскомъ паркѣ нѣкоторые источники выдѣляютъ сѣру и мышьякъ, которые совершенно нельзя объяснить вадозовымъ выщелачиваніемъ. Замѣчательно, что съ 1901 года тамъ обнаружилось общее для всѣхъ источниковъ ослабленіе термальной дѣятельности.

Гейзеры и горячіе источники, напр. Исландіи, можно разсматривать, слѣдовательно, какъ продуктъ выдѣленія газовъ и охлажденія изверженной магмы на нѣкоторой глубинѣ подъ поверхностью земли; этихъ выдѣленій недостаточно, чтобы вызвать настоящее вулканическое изверженіе. Само собою разумѣется, что при ослабленіи вулканической энергіи происходитъ все болѣе глубокое проникновеніе вадозовыхъ водъ и смѣшеніе ихъ съ ювенилевой водой такой области; вадозовыя воды, слѣдовательно, могутъ нарушить правильность циркуляціи ювенилевой воды, но сущность процесса дѣятельности этихъ послѣднихъ, какъ „подачи изъ глубины", остается неизмѣнной.

Всѣ эти соображенія, подкрѣпляемыя давно уже подмѣченной связью между термо-минеральными источниками и рудными и минеральными жилами, заставляютъ усомниться въ справедливости представленія о круговоротѣ вадозовой воды, какъ исключительной причинѣ минерализаціи и высокой температуры термо-минеральныхъ источниковъ.

Возвращаясь къ Карлсбадскимъ источникомъ, можно отмѣтить, что угольная кислота ихъ вѣроятно ювенилеваго происхожденія, какъ слѣдъ послѣдней фазы вулканическихъ выдѣленій, именно базальтовъ этой области. Химическій составъ воды показываетъ и слѣды болѣе раннихъ фазъ; такъ хлоръ, фторъ, боръ и фосфоръ, открытые въ водѣ источниковъ, относятся къ газообразнымъ продуктамъ наиболѣе ранней фазы вулканической дѣятельности и совершенно не извѣстны въ гранитахъ окрестностей Карлсбада; сѣра, мышьякъ и даже цинкъ показываютъ на выдѣленіе слѣдующей фазы сѣрнистыхъ фумаролъ. Относительно другихъ элементовъ, какъ Na, K, Li, Ca, Mg и друг., труднѣе рѣшить, насколько въ минерализаціи ихъ принимали участіе и граниты, въ которыхъ эти элементы также находятся. Наконецъ, источники расположены непосредственно по выходамъ минеральныхъ роговиковыхъ жилъ.

На основаніи такого химическаго состава, высокаго содержанія свободной и связанной угольной кислоты и общихъ геологическихъ условій Зюссъ относитъ Карлсбадскій шпрудель къ ювенилевымъ источникамъ.

Съ точки зрѣнія развиваемыхъ имъ взглядовъ Зюссъ выдѣляетъ такимъ образомъ слѣдующія группы источниковъ:

1. Обыкновенныя питьевыя воды, вадозового происхожденія.

2. Вадозовые источники температуры равной средней годовой мѣста и минерализаціи въ зависимости отъ мѣстнаго геологическаго состава.

3. Вадозовой циркуляціи горячіе источники, съ значительной разницей высотъ между областью питанія и грифонами; обыкновенно слабой минерализаціи индиферентныя воды (Wildbäder).

4. Ювенилевые источники; различной температуры отъ средней годовой мѣста до точки кипѣнія и различной минерализаціи.

5. Кипящіе источники, гейзеры; составляютъ переходъ къ вулканамъ въ состояніи спокойной періодической дѣятельности (стромболеобразной).

Такое геологическое дѣленіе источниковъ вполнѣ оправдывается теоретическими соображеніями и частью подтверждается фактами. Къ ювенилевымъ источникамъ четвертой группы кромѣ Карлсбада, Маріенбада и Теплица Зюссъ относитъ Пломбіерскіе въ Вогезахъ, Бурбонъ-д'Аршамбо, Evaux и другіе центральнаго французскаго плато. Однако далеко не всегда можно провести границу между четвертой группой ювенилевыхъ источниковъ и второй и третьей вадозовыхъ.

Въ простѣйшихъ случаяхъ опредѣленіе области питанія и области минерализаціи источниковъ второй группы не трудно. Но задача значительно усложняется, если холодный минеральный источникъ имѣетъ рѣзко выраженный локализированный характеръ; необходимо допустить присутствіе на глубинѣ спеціальнаго типа породъ, или, если это исключается геологическимъ составомъ мѣстности (въ горныхъ мѣстностяхъ, принимая въ соображеніе геотермическій градусъ, нетрудно отвѣтить на такой вопросъ), притокъ съ глубины воды иного состава, т. е. смѣшеніе водъ вадо-

зовыхъ и ювенилевыхъ. Наконецъ, холодный источникъ можетъ быть исключительно ювенилеваго происхожденія, и къ такимъ въ особенности могутъ относиться щелочные и углекисло-щелочные; дѣйствительно, щелочныя воды представляютъ послѣднюю наиболѣе продолжительную фазу потухающей вулканической дѣятельности и наиболѣе удаленную отъ первоначальнаго очага; постоянство дебита такихъ источниковъ, независимое отъ измѣненія гидростатическаго давленія поверхностныхъ водъ по временамъ года, можетъ показать ихъ ювенилевое происхожденіе.

Еще труднѣе провести границу между источниками третьей и четвертой группъ. Признаками третьей группы служатъ значительное превышеніе области питанія надъ грифонами, достаточное для объясненія высокой температуры воды, и періодическое измѣненіе дебита въ зависимости отъ условій гидростатическаго давленія въ области питанія; такимъ признакамъ удовлетворяютъ, напр., индиферентные источники Пфефферъ-Рагацъ, Гаштейна. Въ мѣстности орографически сложной въ особенности трудно опредѣлить область питанія, и возможно, что при значительныхъ гипсометрическихъ различіяхъ грифоновъ и вершинъ горъ источники питаются всетаки ювенилевой водой, хотя въ тоже время они обнаруживаютъ и періодическое измѣненіе дебита; напр., въ Теплицѣ ювенилевыя воды періодически измѣняютъ количество отъ давленія вадозовыхъ грунтовыхъ водъ Слѣдовательно, только всестороннее изслѣдованіе минеральнаго источника, его химическаго состава, геологическихъ условій проявленія, отношенія его къ минеральнымъ или руднымъ жиламъ, дебита и температуры можетъ позволить приблизиться къ рѣшенію вопроса о вадозовомъ или ювенилевомъ происхожденіи источника. При объявленіи минеральнаго источника имѣющимъ общественное значеніе важно, чтобы мѣропріятія, направленныя къ его охранѣ, не ложились напраснымъ бременемъ на другія стороны, часто не менѣе важныя, народной жизни; для правильной оцѣнки такихъ мѣропріятій и необходимо знать геологическій генезисъ источника.

Для Кавказа, конечно, слишкомъ еще мало данныхъ, чтобы провести такое геологическое дѣленіе его источниковъ. Нельзя не обратить вниманія, что разнообразіе минерализаціи вблизи областей вулканическихъ породъ не всегда можно объяснить только разнообразіемъ выщелачиваемыхъ породъ; изъ совершенно одинаковыхъ породъ выступаютъ теплые Боржомскіе источники углекисло-щелочные и теплые же Цихисджварскіе сѣрные; тоже можно замѣтить въ Ахалцыхскомъ бассейнѣ. Для иныхъ, какъ горько-соленые Ахалцыхскіе, желѣзистые Желѣзноводска и другіе незначительные въ юго-восточномъ Кавказѣ, можно указать на зависимость ихъ отъ поверхностнаго выщелачиванія и участья несомнѣнно вадозовой воды. Необыкновенное распространеніе горячихъ сѣрнистыхъ и сѣрно-щелочныхъ источниковъ можетъ служить подтвержденіемъ замѣчанія Де-Лонэ, что такія воды являются преимущественно горячими, слѣдовательно вообще глубокой циркуляціи. Эти воды въ особенности ясно обнаруживаютъ цѣлые термальные поясы; будутъ ли онѣ относиться къ вадозовымъ или ювенилевымъ? Замѣчательная связь периферическаго пояса этихъ водъ на сѣверномъ склонѣ (Грозненскій, Петровскій, Дербентскій раіоны), отчасти и на южномъ (около Тифлиса) съ выходами нефти, часто при полномъ отсутствіи источниковъ питьевой воды (Грозненскій раіонъ), едва ли говоритъ въ пользу вадозоваго происхожденія этихъ водъ. Въ центральной части юго-восточнаго Кавказа по линіямъ глубокихъ разломовъ и складчатости расположены выходы горючихъ углеводородовъ и колчеданисто-кварцевыя жилы; въ зонѣ юрскихъ породъ сѣверо-восточнаго склона извѣстны жильныя выдѣленія киновари частью вблизи горячихъ сѣрнистыхъ источниковъ. Все это признаки скорѣе въ пользу ювенилеваго происхожденія такихъ источниковъ. Замѣчательное періодическое увеличеніе дебита теплаго источника Большаго Провала въ Пятигорскѣ показываетъ вѣроятное вліяніе гидростатическаго давленія вадозовой воды; къ сожалѣнію о колебаніяхъ температуры и количества воды термо-минеральныхъ водъ Кавказа не имѣется пока почти никакихъ свѣдѣній. Присутствіе бора въ водѣ Екатерининскаго источника въ Боржомѣ можетъ быть сопоставлено съ присутствіемъ этого элемента въ водѣ шпруделя, какъ одно изъ доказательствъ ея ювенилеваго происхожденія.

Словомъ, вѣроятно, что на Кавказѣ можно отличить источники какъ второй и третьей, такъ и четвертой группы Зюсса. Преобладаніе горячихъ сѣрнистыхъ и сѣрно-щелочныхъ источниковъ внѣ областей развитія изверженныхъ породъ показываетъ болѣе однообразное состояніе глубокихъ массъ остывающей магмы, съ которыми можетъ быть связана область такихъ источниковъ. Нѣтъ ничего удивительнаго также, что области развитія изверженныхъ породъ въ предѣлахъ Большаго Кавказа имѣютъ источники или холодные, или теплые, а горячіе температуры въ общемъ даже ниже, чѣмъ источники внѣ такихъ областей. Наиболѣе горячіе источники сосредоточены по сѣверному склону Кавказа въ обѣ стороны отъ Пятигорскаго раіона. Едва ли можно считать вулканы за пути непрерывнаго сообщенія поверхности земли съ очагами магмы; актъ вулканическаго изверженія выражается,

по мнѣнію Штюбеля, въ изліяніи на поверхность земли опредѣленнаго количества магмы; часто такимъ актомъ изверженія исчерпывается весь вулканическій очагъ, а въ другихъ случаяхъ нерѣдко новыя изверженія слѣдуютъ по новымъ путямъ гдѣ либо рядомъ. Слѣдовательно, такія потухшія вулканическія массы, какъ Эльбрусъ, Казбекъ или Ахалкалакское нагорье съ его отрогами къ Ахалцыху и Боржому могутъ представлять болѣе древнія фазы вулканической энергіи, чѣмъ тѣ глубинныя массы, которыя могутъ обнаруживать свою дѣятельность въ непрерывной подачѣ ювенилевыхъ горячихъ водъ вдоль всего Большаго Кавказа. Появленіе въ центральной части Кавказа около Хноу горячихъ углекисло-щелочныхъ источниковъ и такихъ же холодныхъ къ сѣверу отъ Ахты, также болѣе низкая температура сѣрнистыхъ источниковъ этой части Кавказа сравнительно съ источниками сѣверной части периферическаго пояса показываетъ или большее охлажденіе магматическаго очага, или большее его удаленіе отъ поверхности въ юго-восточномъ Кавказѣ, чѣмъ къ сѣверо-востоку и сѣверо-западу отъ области Казбека и Эльбруса. Пока не будетъ доказана зависимость источниковъ, напр., Грозненскаго раіона отъ гидростатическаго давленія поверхностныхъ водъ ихъ предполагаемой области питанія, до тѣхъ поръ такое предположеніе о происхожденіи ихъ высокой температуры имѣетъ такія же основанія, какъ и мнѣніе Абиха и Коншина о вліяніе геоизотермическихъ поверхностей. Новыя идеи Зюсса о генезисѣ горячихъ источниковъ, удовлетворяя уже значительной суммѣ фактовъ, связываютъ въ одну непрерывную цѣпь геологическихъ явленій катастрофическія изверженія вулкановъ и цѣлебныя воды, которыя отыскиваются съ такой жадностью. И тѣ, и другія могутъ представлять слѣдствія до сихъ поръ не законченнаго выдѣленія газовъ тѣломъ земли.

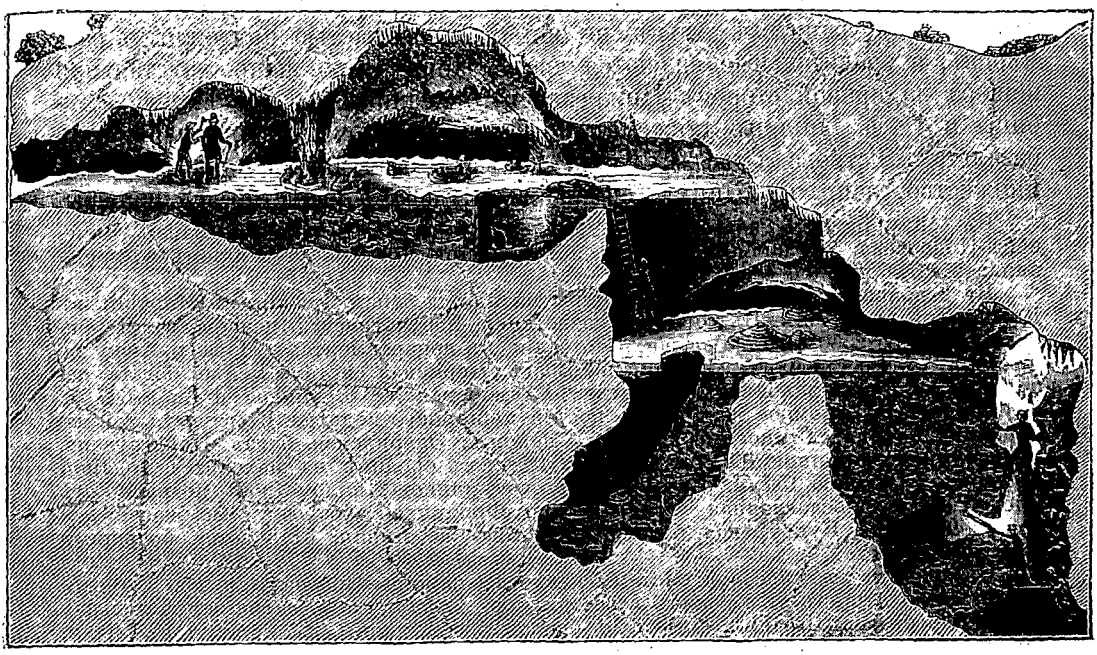
Пещеры.

Уже предыдущее описаніе огромныхъ и разнообразныхъ массъ, отлагаемыхъ минеральными источниками на поверхности земли, указываетъ, что на мѣстѣ вынесенныхъ веществъ должны образоваться громадныя пустоты внутри коры земной. Эти то пустоты и даютъ начало происхожденію пещеръ.

Пещерами называются болѣе или менѣе обширныя пространства внутри земной коры, совершенно пустыя или же заполненныя отчасти водой, известковымъ туфомъ и механическими наносами съ различными палеонтологическими остатками. Пещеры издавна привлекали къ себѣ вниманіе людей. Первобытный, доисторическій человѣкъ, подобно нѣкоторымъ животнымъ, пользовался ими какъ жилищами, гдѣ онъ располагался со всѣмъ своимъ скарбомъ. Въ позднѣйшія времена таинственность пещеръ, возбуждая фантазію, порождала почти у всѣхъ народовъ поэтическія легенды о нихъ и ихъ обитателяхъ: то о фавнахъ и силенахъ, то о драконахъ и феяхъ, то о коварныхъ и богатыхъ кобольтахъ, то, наконецъ, о зломъ и грозномъ Змѣѣ-Горынычѣ. Въ наше время пещеры представляютъ громадный научный интересъ, съ одной стороны, какъ видные результаты мощной дѣятельности подземной воды, съ другой—какъ мѣста, гдѣ происходятъ интересныя физическія явленія, и съ третьей—какъ богатыя сокровищницы остатковъ доисторическаго человѣка и окружавшаго его міра.

Пещеры исключительно воспроизведены размывающею и растворяющею дѣятельностію подземной воды. Атмосферныя воды, просачиваясь мелкими струйками чрезъ безчисленныя трещины въ пластахъ горныхъ породъ, соединяются при благопріятныхъ условіяхъ въ маленькій потокъ, направленіе котораго опредѣляется стратиграфическими условіями пластовъ и расположеніемъ въ нихъ трещинъ. Подземный потокъ постепенно образуетъ въ породахъ каналъ, который расширяется и углубляется не

только механическимъ дѣйствіемъ, то-есть прямымъ размывомъ воды, но, главнымъ образомъ, химическимъ дѣйствіемъ, т.-е. растворѐніемъ породы. Когда каналъ достаточно расширился и доступъ атмосферныхъ водъ сдѣлался возможнымъ въ большихъ количествахъ, тогда въ болѣе слабыхъ частяхъ канала тѣ же процессы производятъ значительное расширеніе, или пещеру. Разумѣется, такихъ расширеній по пути канала можетъ быть одно или нѣсколько; въ послѣднемъ случаѣ, образуются цѣлыя системы пещеръ, располагающіяся нерѣдко ступенями на разныхъ уровняхъ, напр. Гайленрейтерская пещера во Франконіи (фиг. 208). Когда притокъ воды въ пещеры очень великъ, то въ нихъ образуются рѣки и даже съ водопадами. Если же отверстія, выводящія воду изъ пещеры, засари-



Фиг. 208.—Гайленрейтерская пещера во Франконіи.

ваются, то въ пещерѣ образуются озера различной величины, напр. въ пещерахъ Карста и особенно въ графствѣ Эдмондсонъ, въ южной части Кентукки, гдѣ все подземное царство съ цѣлою системою озеръ и рѣкъ занимаетъ обширное пространство, около 650 кв. километровъ.

Отверстіе пещеръ большею частью выходитъ на дневную поверхность и залегаетъ или на уровнѣ моря, какъ въ Фингаловой пещерѣ, въ Голубомъ гротѣ, на островѣ Капри, или же высоко на склонахъ долинъ, напр. у пещеръ Гайленрейтеръ, Трофонія, близъ Ливадіи, и пр. Если пещера лежитъ неглубоко, имѣетъ потолокъ въ видѣ свода и широкій выходъ, то получаетъ названіе грота.

Хотя, согласно съ Гумбольдтомъ, всѣ пещеры по ихъ формѣ раздѣляютъ на три типа: 1) трещинообразныя пещеры; 2) канало или туннелеобразныя пещеры,—т. е. сквозныя, напр. у Торгаттена, на западномъ берегу Норвегіи, въ 1000 ф. длиною и 3) сводовыя пещеры,—тѣмъ не

менѣе большинство пещеръ смѣшаннаго типа, т. е. представляютъ отдѣльныя, значительной величины пустоты съ сводчатыми потолками, соединяющіяся крутыми или даже отвѣсными каналами, такъ что переходить изъ одной пустоты въ другую возможно только при помощи лѣстницы.

Что касается величины пещеръ, то она крайне разнообразна и зависитъ, при другихъ одинаковыхъ условіяхъ, отъ большей или меньшей растворимости породы. Между породами, принимающими существенное участіе въ образованіи земной коры, наиболѣе растворимы въ водѣ: доломитъ, известнякъ и гипсъ; поэтому въ нихъ и находится наибольшее количество и наибольшей величины пещеры въ самыхъ разнообразныхъ системахъ, начиная отъ древнѣйшей и кончая третичной. Въ породахъ трудно растворимыхъ хотя и попадаются пещеры, напр. хрустальные погреба въ гранитахъ Альпъ, но они большею частью ничтожныхъ размѣровъ, а значительные являются чрезвычайно рѣдко, напр. хрустальная пещера на правой сторонѣ Нижнеаарскаго ледника имѣетъ 120 ф. глубины и 18 ф. ширины, также въ Дофинэ, Савойѣ, Фингалова пещера въ базальтахъ острова Стаффа. Тогда какъ въ осадочныхъ породахъ ихъ множество, напр. въ однихъ германскихъ Альпахъ извѣстно 73 пещеры.

Въ силурійскихъ известнякахъ извѣстны Залучскія пещеры близъ Каменецъ-Подольска, служившія еще въ историческія времена убѣжищемъ во время нападенія турокъ.

Въ девонскихъ известнякахъ пещеры находятся близъ Брюнна въ Моравіи, въ Девонширѣ въ Англіи. Въ горномъ известнякѣ Кэстльтонская пещера въ Дербиширѣ, длиною 2550 ф., въ Бельгіи, Вестфаліи, въ департаментахъ Мэнъ и Анжу во Франціи, въ Россіи близъ Сызрани на Волгѣ. Пермская система менѣе богата пещерами; на Гарцѣ знаменитыя пещеры: Бауманская 768 ф. длиною и Биля 647 ф., обѣ содержатъ огромное количество костей пещернаго медвѣдя. Въ гипсахъ той же формаціи находится много обширныхъ пещеръ: Эльрихская, близъ Нордгаузена, длиною 90 м., шириною 80 м. и высотою 48 м.; въ срединѣ ея находится водяной бассейнъ, глубиною 15,5 м.; Виммельсбургская, длиною 6 километровъ, недалеко отъ Эйслебена и прославленная легендой про Фридриха-Барбароссу Киффгейзеръ у Франкенгаузена. Кунгурская, близъ города того же имени, отличается большими скопленіями льда.

Въ доломитахъ тріасовой системы извѣстны пещеры Эйзенахъ и др. Но особенно много пещеръ въ юрскихъ известнякахъ; между ними самая замѣчательная Адельсбергская въ Крайнѣ, имѣющая около 2500 м. длины, да, кромѣ того, 1400 м. побочныхъ ходовъ; отличается замѣчательно мощными и красивыми известковыми натеками. Киркдельская пещера въ Іоркширѣ въ Англіи замѣчательна обиліемъ костей пещерной гіены. Во Франціи пещеры нах. около Бельфора, Безансона. Въ Крыму пещеры Чатыръ-дага, Оріандова и Мипъ-башъ-каба, т.-е. тысячеголовая, замѣчательна многочисленными и причудливыми капельниками, отъ которыхъ и получила свое названіе. Пещеры въ юрскихъ известнякахъ—Ойцово и Олькушъ.

Въ доломитахъ юрской формаціи находятся слѣдующія замѣчательныя пещеры: Гайленрейтерская, Муггендорфская, Либенштейнская и др. Антипароская пещера на островѣ Антипаросъ, длиною 1300 ф., шириною 100 ф. и вышиною 80 ф.

Многочисленныя пещеры Карста въ Далмаціи принадлежатъ известнякамъ мѣловой формаціи. Бахчисарайскія пещеры въ Крыму находятся въ третичныхъ известнякахъ. Изъ этихъ немногихъ примѣровъ, однако, видно уже, что пещеры не пріурочиваются къ какой-либо опредѣленной системѣ, а находятся во всѣхъ.

Въ Россіи, кромѣ упомянутыхъ, находятся еще пещеры въ Илецкой Защитѣ, отличающіяся накопленіями льда, Барнукова въ Нижегородской губ., на Уралѣ около дер. Сухой Логъ по р. Пышмѣ, гдѣ вмѣстѣ съ костями животныхъ находятся и орудія доисторическаго человѣка. На Кавказѣ—около г. Кутаиса. Въ Туркестанѣ извѣстна глубокая Араванская пещера, въ Ферганѣ—недалеко отъ г. Ошъ. На Алтаѣ Чарышъ и Ханхаръ замѣчательны по обилію ископаемыхъ костей; въ Восточной Сибири—Нижнеудинская пещера.

Въ Америкѣ, Африкѣ, Австраліи, Новой Зеландіи и пр. также извѣстно множество пещеръ огромныхъ размѣровъ, напр. гроты Дарахъ въ Алжирѣ до того обширны, что въ нихъ помѣщалось цѣлое племя Уладъ-ріахъ съ своими стадами;

въ долинѣ Веллингтона въ Австраліи пещеры содержатъ множество остатковъ сумчатыхъ; но самыя замѣчательныя по величинѣ—пещеры Америки; въ Южной Америкѣ пещера Гуачаро или Корипе въ провинціи Кумани имѣетъ до 1500 м. въ длину и особенно Мамонтова пещера въ Кентукки на Зеленой рѣкѣ, между гг. Луисвилль и Нешвиль. Она еще не изслѣдована на всемъ своемъ протяженіи, потому что это—цѣлый подземный міръ, съ системою озеръ и рѣкъ, съ цѣлою сѣтью безчисленныхъ галлерей, которыя перекрещиваются и образуютъ этажи въ глубинѣ земли. Отъ главнаго входа до конца пещеры считается около 16 верстъ, а 200 галлерей въ совокупности составляютъ не менѣе 250 верстъ, наибольшая высота ея 30 м.

Изслѣдованіе пещеръ, быстро подвинувшееся въ особенности за послѣднее десятилѣтіе, показало, что процессъ образованія ихъ вызывается различными причинами и что едва ли одной какой нибудь теоріей можно объяснить всѣ явленія, связанныя съ образованіемъ пещеръ. Краусъ [140]) предложилъ наиболѣе естественную группировку пещеръ, сближающую всѣ пещеры независимо отъ формы ихъ и способа образованія: 1) первоначальныя пещеры, 2) вторичныя и 3) искусственыя. Первыя двѣ группы можно раздѣлить дальше въ зависимости отъ формъ или способа происхожденія. Краусъ предлагаетъ слѣдующее раздѣленіе:

1) Первоначальныя пещеры, возникшія одновременно съ горными породами, среди которыхъ онѣ расположены.

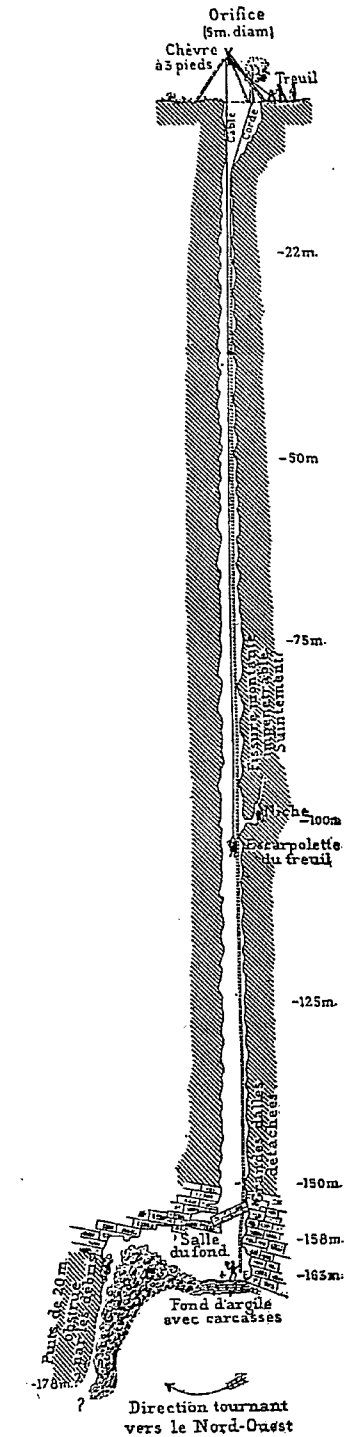
а) Въ кристаллическихъ горныхъ породахъ, какъ первоначальныя пустоты, напр., хрустальные погреба въ гранитахъ Альпъ, лавовыя пещеры и другія пузыристыя пустоты въ вулканическихъ породахъ; какъ крайняя форма этой группы являются незначительныя пузыристыя пустоты, вторично заполненныя, т. е. такъ называемое миндалекаменное строеніе.

в) Въ кластическихъ горныхъ породахъ: пещеры горизонтальныя и вертикальныя, такъ называемыя Klippenbrunnen среди коралловыхъ рифовъ. Одни изслѣдователи объясняютъ такія пещеры неравномѣрнымъ ростомъ коралловъ, а другіе—мѣстными разрушеніями колоніи. Дарвинъ описалъ такія пещеры на берегахъ Бразиліи. Вальтеръ [141]) особенно энергично защищаетъ мнѣніе о первоначальномъ происхожденіи такихъ пещеръ, опираясь на свои изслѣдованія коралловыхъ рифовъ Синайскаго полуострова и Цейлона и на прежнія данныя Дэна, Семпера, Нельсона, Крюммеля, и другихъ. Противъ этого мнѣнія высказывается въ послѣднее время Вертъ [142]), который, не отрицая существованія различныхъ первоначальныхъ пустотъ въ массѣ коралловыхъ построекъ, приписываетъ образованіе пещеръ въ ископаемыхъ коралловыхъ постройкахъ послѣдующей химической и механической дѣятельности воды.

Въ осадочныхъ горныхъ породахъ, вслѣдствіе способа ихъ происхожденія, едва ли можно допустить возникновеніе первоначальныхъ пещеръ, которыя тѣмъ не менѣе могутъ образоваться при процессѣ усыханія породъ въ видѣ незначительныхъ пустотъ, впослѣдствіи расширенныхъ, и представляютъ слѣдовательно какъ бы переходъ къ слѣдующей группѣ.

2) Вторичныя пещеры по способу происхожденія могутъ быть раздѣлены на: а) возникшія изъ трещинъ разлома, в) возникшія путемъ размыва и коррозіи, с) отъ перекрытія существовавшихъ трещинъ, разломовъ и т. под.

Къ первому подъ-отдѣлу относятся пещеры, возникшія вслѣдствіе различныхъ тектоническихъ причинъ, при землетрясеніяхъ, складчатости или отъ обрушенія части горы, вслѣдствіе, напр. подмыва.


Orifice
(5m. diam)
Chèvre
à 3 pieds
Treuil
Cable
Corde
-22m.
-50m
-75m.
Cheminée d'équilibre
Cascade souterraine
Entonnoir
Cascade
-100m
Marmite
Marmite
Marmite

можно проникнуть на лодкѣ, такія особаго названія не имѣютъ; другія совершенно заполнены водой и называются въ Греціи—képhalovrysis, въ Севеннахъ—foux, въ Перигорѣ—doux, въ Бургондіи douix или bîmes. Одни изъ такихъ источниковъ относятся къ перемежающимся, другіе—постоянные (pérenne—perannum).

3. Abîmes, gouffres—во Франціи называютъ естественные колодцы различной формы и размѣровъ; они проводятъ дождевую воду къ потокамъ подземной воды. Отношеніе ихъ къ подземной водѣ впрочемъ различно, такъ нѣкоторыя являются настоящими гулями, другіе наоборотъ служатъ мѣстомъ выхода источниковъ, отличіемъ ихъ (фиг. 209) является вообще вертикальность и значительная глубина (отъ 10 до 320 метровъ). Въ различныхъ мѣстахъ Франціи ихъ называютъ крайне разнообразно—avens въ Арденнахъ и въ Воклюзѣ (отъ знаменитаго источника fontaine de Vaucluse происходитъ и названіе всѣхъ источниковъ—vauclusiennes, которые вытекаютъ изъ гротовъ или щелей у подножія известковыхъ скалъ, см. выше стр. 241); entonnoirs и emposieux въ Юрѣ, embuts—въ Провансѣ; въ Моравіи—Schlotten, въ Истріи, Крайнѣ и Далмаціи—Doline, Iama, Schacht; въ Черногоріи, Албаніи, Турціи—Ponor; въ Англіи—pot-holes; въ Ирландіи—sluggas, въ Соед. Штатахъ—sink holes. Объ этихъ явленіяхъ проваловъ и земляныхъ воронокъ сказано будетъ дальше.

Вода, производя такіе громадные вымывы внутри земной коры, вмѣстѣ съ тѣмъ образуетъ въ тѣхъ же пещерахъ разнообразныя отложенія, вслѣдствіе чего стѣны и потолки пещеръ почти всегда покрыты осадками, которые, впрочемъ, различнаго характера. Одни изъ нихъ представляютъ осадки химическіе, происшедшіе изъ растворовъ, другіе же занесены механически; первые облекаютъ не только дно, но потолокъ и стѣны пещеръ, вторые же—только дно.

Первые образованы минеральными водами, проникающими въ пещеры. Чаще всего образуются натеки углекислаго кальція. Если вода проникаетъ медленно, то часть углекислаго кальція выдѣляется прежде, чѣмъ капля успѣетъ упасть съ потолка пещеры, и образуетъ натекъ въ формѣ ледяныхъ сосулекъ, называемыхъ сталактитами; капли, упавшія на дно, выдѣляютъ остальную известь и образуютъ сосульки, ростущія кверху, называемыя сталагмитами. Сталактиты и сталагмиты, постепенно наростая, увеличиваясь, представляютъ чрезвычайно эффектныя фигуры, а нерѣдко соединяются и образуютъ красивыя колонны, занавѣсы и пр., напр. знаменитая Адельсбергская пещера въ Крайнѣ. При благопріятныхъ условіяхъ роста они раздѣляютъ пещеру на нѣсколько камеръ или даже совершенно выполняютъ ее; слѣдовательно то, что вода размыла, то снова заполняетъ. Кромѣ известковыхъ, такіе же натеки образуетъ арагонитъ, напр. въ пещерахъ Антипароса (фиг. 210), и гораздо рѣже сѣрнистые металлы. Осадки свинцоваго блеска, сѣрнаго колчедана, цинковой обманки и известковаго шпата представляютъ перемежающіеся слои въ пещерахъ силурійскаго известняка въ верховьяхъ Миссисипи. Тѣ же минералы попадаются въ видѣ сталактитовъ, напр. сѣрный колчеданъ и марказитъ въ Верхнемъ Гарцѣ; свинцовый блескъ и цинковая обманка въ Райблѣ въ Каринтіи, въ Вестфаліи, въ Испаніи и пр.

Въ хрустальныхъ погребахъ такимъ же путемъ образуются щетки горнаго хрусталя, напр. въ пещерахъ Вимерталь и Натерсъ; въ кантонѣ Валлисъ кристаллы кварца бываютъ болѣе метра толщиною.

Но особенно интересно образованіе порошковатаго, необыкновенно чистаго гипса въ известняковыхъ пещерахъ. Происхожденіе гипса уже давно замѣчено Мурчисономъ и объяснено Бонженомъ вліяніемъ теплыхъ водъ или паровъ, содержащихъ сѣроводородъ, который, дѣйствуя на известнякъ, окисляется прямо въ сѣрную кислоту, безъ промежуточ-

ной сѣрнистой; сѣрная кислота даетъ съ кальціемъ известняка—гипсъ; такъ Бонженъ наблюдалъ въ минеральныхъ водахъ въ Э въ Савойѣ, даже въ ванныхъ зданіяхъ. То же Гауеръ описалъ въ гротѣ Краусъ при Гифлау въ Штейермаркѣ [145]). Подобныя же образованія нашелъ г. Федоровъ [146]) въ Кунгурской пещерѣ—ледникѣ, гдѣ, впрочемъ, по мнѣнію Федорова, гипсъ образуется изъ воднаго раствора, окристаллизовавшагося въ снѣгъ и затѣмъ испарившагося.

Дёлль полагаетъ, что сѣрный колчеданъ, разлагаясь, образуетъ желѣзный купоросъ и свободную сѣрную кислоту, которая, соединяясь съ

Фиг. 210. — Антипароская пещера съ сталактитами и сталагмитами.

кальціемъ известняка, даетъ гипсъ, а купоросъ переходитъ въ бурый желѣзнякъ. Онъ приписываетъ настолько большую роль этому процессу, что думаетъ объяснить имъ карстовыя явленія [147]).

Что касается механическихъ осадковъ, то они состоятъ изъ слоевъ глинистаго ила, песка и галекъ, въ которыхъ залегаютъ, нерѣдко въ огромномъ количествѣ, облѣпленныя известковымъ натекомъ, цѣльныя и сломанныя кости различныхъ животныхъ, человѣка и его орудія. Такъ что пещеры являются какъ бы естественными палеонтологическими музеями. Изслѣдованіе этихъ костяковъ показало, что нѣкоторыя пещеры были населены животными, особенно хищными: гіенами, медвѣдями, волками и пр., отъ которыхъ сохранились полные скелеты; другія же были

обитаемы доисторическимъ человѣкомъ, отъ котораго, кромѣ скелетовъ, остались еще различныя каменныя или костяныя орудія, очаги и проч.

Вмѣстѣ съ полными скелетами какъ животныхъ, такъ и человѣка, часто попадаются отдѣльныя, различно раздробленныя кости другихъ животныхъ, которыя служили пищею пещернымъ обитателямъ и приносились извнѣ. По способу сохраненія раздробленныхъ костей иногда можно опредѣлить, кѣмъ онѣ занесены въ пещеру, т.-е. человѣкомъ или животнымъ. Человѣкъ, очевидно, приносилъ домой не все животное, пойманное имъ на охотѣ, а только тѣ части, которыя были ему особенно пригодны для ѣды или для приготовленія орудій; напр. и въ настоящее время у дикарей мозгъ костей считается лакомствомъ,—не удивительно, что и пещерный человѣкъ разбивалъ черепа и большія кости, чтобы воспользоваться мозгомъ, тогда какъ поздреватыя кости и хрящевыя сочлененія оставлялъ нетронутыми. Хищныя животныя, напротивъ, поѣдали и раздробляли эти послѣднія, а съ большими костями справиться имъ было не подъ силу. Если же нѣкоторыя животныя, какъ грызуны, дикобразы, добывая мозгъ, раздробляли кости, то во всякомъ случаѣ слѣды ихъ зубовъ, оставшіеся на костяхъ, нѣсколько отличаются отъ обработки костей ножемъ и долотомъ человѣка.

Въ нѣкоторыхъ пещерахъ всѣ эти костяки нагромождены ихъ обитателями; въ другихъ же, напротивъ, они снесены потоками воды, напр. въ Гайленрейтерской пещерѣ (фиг. 208), состоящей изъ нѣсколькихъ этажей, недоступныхъ животнымъ, и гдѣ этотъ сносъ доказывается сортировкой матеріала.

Наблюденія послѣдняго времени доказали, что въ нѣкорыхъ пещерахъ находятся отложенія только одной какой либо эпохи, и тогда всѣ слои костеносной глины, перемежающіеся со слоями натечнаго известняка содержатъ кости однихъ и тѣхъ же животныхъ, тогда какъ въ другихъ пещерахъ въ этихъ слояхъ можно распознать нѣсколько горизонтовъ, принадлежащихъ различнымъ эпохамъ и содержащихъ остатки различныхъ животныхъ.

Въ гротѣ гіенъ въ долинѣ Лессе [148]) найдены слѣдующіе слои сверху внизъ: 1) растительная земля, состоящая преимущественно изъ снесенныхъ листьевъ, съ костями лисицъ, барсуковъ, гусей и куръ. 2) Мощный пластъ желтой глины съ осколками костей оленя, лошади и кремневыми орудіями человѣка. 3) Тонкій слой натечнаго известняка. 4) Желтовато-сѣрая, песчанистая, нѣсколько слоистая глина съ валунами и осколками породъ, принадлежащихъ потолку грота. Въ ней залегали многочисленныя кости безъ всякаго порядка, но самыя крупныя внизу; чаще другихъ попадались кости гіены, носорога и лошади, рѣже—пещернаго медвѣдя, мамонта, оленя и двухъ, трехъ родовъ рогатыхъ. На длинныхъ костяхъ замѣтны ясные слѣды зубовъ хищнаго животнаго, между тѣмъ кости гіенъ не обглоданы; слѣдовательно эти послѣднія занесли въ пещеру кости другихъ животныхъ. Значитъ, прежде всего пещеру населяли хищныя животныя и особенно гіены. Затѣмъ наступилъ періодъ покоя, когда отложился капельникъ. Послѣ того, какъ показываетъ второй слой, жилъ въ этой пещерѣ человѣкъ и, наконецъ, судя по характеру верхняго слоя, пещеру заняли лисицы и барсуки, принадлежащіе нашей эпохѣ.

Въ Россіи богатая ископаемая фауна добыта изъ упомянутыхъ пещеръ Алтая, Нижнеудинской и Торгашинской противъ Красноярска. Нижнудинская пещера была подробно изслѣдована Черскимъ [149]), который различаетъ въ исторіи развитія ея современныхъ особенностей слѣдующіе моменты:

1. Система щелей, пересѣкавшихъ неслоистый палеозойскій известнякъ, въ которомъ располагается пещера, размывалась и расширялась проточною водою, оставившей слѣды размыва на стѣнахъ и террасы; но вода врывалась черезъ отверстіе настолько незначительное, что куски сосѣднихъ породъ не могли попасть въ пещеру, и она совершенно лишена отложенія галекъ.

2. При измѣнившихся условіяхъ послѣдовало осажденіе мощнаго пласта ила, отмученнаго и чистаго, безъ какихъ либо ископаемыхъ остатковъ.

3. Періодъ осушенія пещеры и отложеніе сталагмитовъ.

4. Пониженіе температуры мѣстности, вызвавшее мерзлоту почвы; наполненіе пещеры остатками млекопитающихъ, въ особенности мелкихъ.

4. Новое наводненіе пещеры и наполненіе стволами деревьевъ, носящими слѣды продолжительнаго сплавливанія ихъ рѣкою. Одновременно произошло разрушеніе сталагмитовой коры и размывъ древняго сланцеватаго ила, превращеннаго въ грязь.

6. Открылся доступъ изъ главнаго корридора пещеры къ узкой, ниже расположенной ея вѣтви (Проклятая дыра), куда вода сносила вмѣстѣ съ грязью остатки млекопитающихъ животныхъ, куски дерева, камни съ потолка пещеры и части сталагмитовой коры, образовавъ неправильное неслоистое отложеніе ила Проклятой дыры. Этотъ наносъ и доставилъ богатый остеологическій матеріалъ.

7. Осушеніе пещеры безъ образованія новой сталагмитовой коры и вновь пониженіе температуры до образованія мерзлоты.

8. Углубленіе долины р. Уды и размывъ, такъ что известнякъ, заключающій пещеру, остался въ видѣ незначительнаго утеса (Пещерный) на высотѣ 700 фут. надъ уровнемъ р. Уды. Современные входы въ пещеру являются уже позднѣйшими образованіями въ связи съ размывомъ и обвалами склона. Температура пещеры осталась ниже 0°, а въ наиболѣе глубокой ея части (Проклятой дырѣ) температура остается безъ измѣненія—4 . 8° С. Благодаря такимъ условіямъ на костяхъ животныхъ сохранились еще мягкія части и кожа.

Матеріалъ Нижнеудинской пещеры вмѣстѣ съ другими коллекціями послѣтретичныхъ млекопитающихъ послужилъ Черскому для въ высшей степени интересныхъ и важныхъ выводовъ о ходѣ климатическихъ измѣненій Сибири въ послѣтретичную эпоху. Черскій является однимъ изъ ученыхъ, отрицающихъ ледниковый покровъ въ Сибири, и говоритъ, что при условіяхъ охлажденія въ теченіе ледниковой эпохи „возраставшая влажность воздуха въ Сибири, въ степени недостаточной для образованія ледниковаго покрова, могла дѣйствовать не иначе, какъ умѣряющимъ и смягчающимъ образомъ на общій ходъ явленій, клонившихся къ ухудшенію прежнихъ (доледниковыхъ) климатическихъ условій". Въ Сибири по мнѣнію Черскаго процессъ общаго охлажденія и ухудшенія условій растительной и животной жизни въ послѣтретичный періодъ совершался наиболѣе правильнымъ и постепеннымъ образомъ, вслѣдствіе отсутствія тамъ ледниковаго покрова.

Изслѣдованіе пещеръ, уже трудное само по себѣ, затрудняется еще болѣе подземными потоками, обвалами и пр., которые нерѣдко перемѣшиваютъ разновременные осадки между собою, и потому, при изученіи ихъ, необходимо соблюдать педантическую аккуратность, чтобы получить раціональные выводы; съ этою цѣлью составлены подробныя инструкціи, напр., на русскомъ языкѣ, инструкція проф. Щуровскаго. *Изученіе пещеръ хотя и трудно, но плодотворно*, въ разныхъ отношеніяхъ, особенно для опредѣленія и точнаго разграниченія различныхъ горизонтовъ послѣ-третичныхъ образованій и для знакомства съ доисторическимъ человѣкомъ. Этимъ объясняются значительные успѣхи, сдѣланные въ послѣднее время въ изслѣдованіи пещеръ.

Мартель [150]) и Краусъ [151]) даютъ полезныя указанія для пріемовъ труднаго и нерѣдко опаснаго изслѣдованія пещеръ. Въ Австріи, Богеміи существуютъ спеціальные кружки, *преслѣдующіе цѣли научнаго изслѣдованія пещеръ*. Мартель [152]), давшій двѣ наиболѣе крупныя работы по изслѣдованію пещеръ, указывая на разнообразное значеніе такихъ изслѣдованій, предложилъ названіе спелеологія (spélaeologie) для особой науки, имѣющей цѣлью методическое изученіе пещеръ и явленій, связанныхъ съ ними, и давно уже стремился къ основанію общества (société spélaeologique), которое объединило бы въ будущемъ всѣ отдѣльныя работы въ этомъ направленіи.

Кромѣ того пещеры интересны еще потому, что въ нихъ совершаются въ высшей степени оригинальныя термическія явленія. Большинство пещеръ имѣетъ температуру, равную средней годовой температурѣ мѣстности; но существуютъ немногія пещеры, какъ рѣдкое исключеніе, особенность которыхъ заключается въ весьма низкой температурѣ, *гораздо ниже средней годовой мѣстности*, и въ скопленіи въ нихъ въ большемъ или меньшемъ количествѣ льда. Такія пещеры называются ледяными или пещерами-ледниками (фиг. 211). Хотя нѣкоторыя изъ этихъ пещеръ были извѣстны давно, напр. объ Илецкихъ, Кунгурской пещерахъ-ледникахъ упоминаютъ еще путешественники XVIII столѣтія, но собственно изученіе ихъ, можно сказать, только-что началось, и въ настоящее время изслѣдовано немного болѣе десяти такихъ пещеръ.

Пещера Скериазора находится въ Трансильваніи, гротъ la Baume у Безансона во Франціи, Фрауенмауеръ въ Штиріи въ Австріи съ температурою—2°, Унтербергеръ у Зальцбурга въ Австріи, Сциличе въ Венгріи высотою 20 м., дно покрыто льдомъ только весною; Добшау и Деманово въ Венгріи; изъ нихъ первая (фиг. 211), находящаяся въ Геммерскомъ Комитатѣ, отличается громаднымъ скопленіемъ льда; весь объемъ ледяной массы составляетъ 120.000 куб. метровъ; поверхность, покрытая льдомъ, равна 7171 кв. м. и нѣкоторыя ледяныя стѣны достигаютъ 15 м. высоты. Въ Россіи пещеры-ледники находятся въ Крыму у Чатырь-дага, *Илецкія пещеры и Индерскія — въ Оренбургской губ.*; въ недавнее время онѣ по-

дробно изслѣдованы г. Листовымъ, а Кунгурская пещера въ Пермской губ. изслѣдована уже давно г. Киттары, а въ послѣднее время горнымъ инженеромъ Федоровымъ.

Разумѣется, происхожденіе этихъ пещеръ такое же, какъ и всѣхъ другихъ, но главный интересъ ихъ заключается въ образованіи льда.

Многіе ученые пытались разъяснить такъ или иначе это явленіе, но нельзя сказать, чтобы попытки эти были удачными, не исключая и позднѣйшаго объясненія проф. Швальбе, который полагалъ, что причину низкой температуры нужно искать въ проникновеніи въ пещеры-ледники воды, охлажденной ниже 0°. Причина этихъ неудачъ заключалась, главнымъ образомъ, въ недостаткѣ термическихъ наблюденій. Пробѣлъ этотъ недавно пополненъ русскимъ изслѣдователемъ г. Листовымъ [153]), который произвелъ многочисленныя и точныя термическія наблюденія въ Илецкихъ пещерахъ и на основаніи ихъ пришелъ къ раціональному объясненію накопленія льда въ нихъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ выяснилъ условія образованія вообще пещеръ-ледниковъ. По его мнѣнію, насколько петрографическія условія необходимы

Фиг. 211. — Добшауэрская пещера-ледникъ.

для образованія пещеръ, настолько же климатическія и топографическія условія нужны для накопленія въ нихъ льда. Ледъ въ пещерахъ можетъ образоваться только въ такихъ мѣстностяхъ, гдѣ температура въ теченіе продолжительнаго времени опускается значительно ниже 0°, чтобы массивъ горы, заключающій пещеру, могъ достаточно охладиться. Съ другой стороны, лѣтняя температура должна быть сравнительно высокая, чтобы сдѣлать возможно тягу+или вытеканіе холоднаго воздуха изъ горы внутрь пещеры. Вообще говоря, чѣмъ холоднѣе зима и жарче лѣто, тѣмъ климатическія условія благопріятнѣе для образованія пещеръ-ледниковъ. Такимъ образомъ вездѣ, гдѣ годовая температура колеблется между 0° и + 10°, температура іюля между + 17° и + 25, а января между 0° и — 20°, т. е. въ полосѣ приблизительно между 45° и 55° с. ш. могутъ чаще встрѣчаться пещеры-ледники. Географическое распредѣленіе выше перечисленныхъ пещеръ вполнѣ подтверждаетъ выводъ г. Листова. Процесъ образованія и количество льда зависятъ также отъ доступности весеннихъ и лѣтнихъ вѣтровъ въ пещеру; чѣмъ менѣе они будутъ проникать въ пещеру, тѣмъ больше скопится льда въ ней. Наконецъ, гора, заключающая пещеру, должна быть болѣе или менѣе изолированною. Главнымъ условіемъ накопленія льда является тяга+и—, смѣняющіяся по сезонамъ. Весною, лѣтомъ и частью осенью происходитъ тяга+, т. е. изъ устья трещинъ, изъ горы внутрь пещеры вытекаетъ струя холоднаго воздуха. Въ октябрѣ тяга почти пре-

кращается—это моментъ равновѣсія, а послѣ того начинается тяга—, т. е. изъ пещеры черезъ трещины внутрь горы вытекаетъ струя холоднаго воздуха. Въ февралѣ снова начинается тяга-+-и т. д. Какъ тяга -+- лѣтомъ, такъ и тяга — зимою охлаждаютъ пещеры-ледники. Всасываніе устьями трещинъ въ пещерахъ-ледникахъ осенью и зимою холоднаго наружнаго воздуха, а весною, лѣтомъ и раннею осенью вытеканіе изъ устьевъ трещинъ холоднаго воздуха,—эти явленія въ связи съ значительною теплоемкостью и дурною теплопроводностью гипса, известняка, являются главною причиною низкой температуры пещеръ-ледниковъ; всѣ другія условія играютъ только второстепенную роль.

Образованіе льда въ пещерахъ ледникахъ, вслѣдствіе разнообразія физическихъ условій самихъ пещеръ, едва ли можно объяснить одной универсальной теоріей, какъ правильно полагаютъ Краусъ и Лёманъ [154]). Тѣмъ не менѣе объясненіе Листова, хотя приложенное имъ къ одному ряду явленій, можетъ имѣть мѣсто и въ другихъ случаяхъ, быть можетъ, съ нѣкоторыми измѣненіями. Главнымъ факторомъ по объясненію Листова является двойная тяга воздуха, вызывающая особое распредѣленіе температуры въ массѣ гипсовой горы, охлаждаемой за зиму (въ ея нижней части) и согрѣваемой лѣтомъ, причемъ онъ отрицаетъ совершенно вліяніе охлажденія отъ испаренія влаги.

Различныя наблюденія въ пещерахъ-ледникахъ, свѣдѣнныя Фуггеромъ, показываютъ по мнѣнію Крауса, что нельзя отрицать такого охлаждающаго вліянія испаренія, равно какъ нельзя отрицать въ иныхъ случаяхъ и переохлажденія воды, просачивающейся по волоснымъ трещинамъ (теорія Швальбе). Обѣ эти причины, вслѣдствіе климатологическихъ и петрографическихъ условій Илецкихъ пещеръ-ледниковъ тамъ не имѣютъ мѣста, а въ другихъ случаяхъ при существованіи перемѣнныхъ тягъ воздуха, на которыя указываетъ и Краусъ, эти причины могутъ имѣть рѣшающее значеніе.

Гюнтеръ [155]) на основаніи новѣйшихъ работъ Крамера приходитъ къ заключенію, давно уже высказанному Листовымъ, что принципіальнаго различія между пещерами только холодными и пещерами ледниками нѣтъ. Переходъ между ними составляютъ такія, въ которыхъ въ одни годы ледъ остается въ теченіе всего года, а въ другіе онъ освобождается отъ льда совершенно. Съ другой стороны онъ приписываетъ рѣшающее значеніе условіямъ, благопріятствующимъ застою холоднаго воздуха въ пещерахъ, согласно изслѣдованіямъ Фуггера и Крамера, т. е. приходитъ къ совершенно противоположному выводу, чѣмъ Листовъ и отчасти Краусъ, также Терляндэй [156]).

Какъ другой особый случай пещеръ слѣдуетъ упомянуть о такихъ, температура которыхъ гораздо выше средней годовой даннаго мѣста; такія пещеры заставляютъ подозрѣвать ихъ связь съ термами, какъ, напр., нѣкоторыя пещеры въ сѣверной Богеміи, въ Евганеяхъ и въ Тосканѣ (Monsummano).

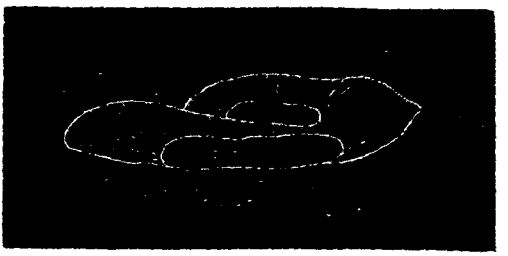
Вліяніе подземной воды на рельефъ и стратиграфію.

Подземная вода своею дѣятельностью измѣняетъ до нѣкоторой степени рельефъ поверхности на небольшихъ, впрочемъ, пространствахъ. Съ одной стороны, источники, отлагая осадки, нагромождаютъ цѣлыя горы, которыя уже выше разсмотрѣны; съ другой стороны, выщелачивая породы, подземная вода образуетъ частныя пониженія или опусканія почвы, напр. провалы, оползни, обвалы и пр., слѣдствіемъ чего измѣняется до нѣкоторой степени не только рельефъ, но даже характеръ залеганія породъ. Разсмотримъ вкратцѣ эти явленія,

Провалы стоятъ въ тѣсной связи съ пещерами. Гдѣ пещеры свободны отъ какихъ-либо осадковъ и особенно отъ известковыхъ натековъ, тамъ стѣны все болѣе и болѣе разрушаются проточной водой и размѣры ихъ увеличиваются. Расширеніе пещеръ продолжается постепенно до тѣхъ поръ, пока потолокъ не перестанетъ выдерживать груза лежащихъ на немъ породъ и не провалится вмѣстѣ съ ними.

Если обвалъ происходитъ близко отъ поверхности, то на ней образуются разнообразныя углубленія, носящія у насъ названіе проваловъ,

земляныхъ воронокъ, въ Греціи—катовотровъ, въ Венгріи—доллинъ (фиг. 212), въ С. Америкѣ (sinks)—зинкъ, во Франціи—амбю (embuts), на Юрѣ—эмпозьё (emposieux) (см. выше стр. 339). Сюда же принадлежитъ такъ-называемыя слѣпыя долины, т.-е. не имѣющія выхода на поверхность, и карстовыя явленія (Karsterscheinung) (фиг. 213) въ Крайнѣ, Истріи, Богеміи, Далмаціи и Кроаціи, которыя придаютъ поверхности совершенно своеобразный ландшафтъ и еще недавно возбуждали полемику между австрійскими учеными относительно своего образованія. Титце [157]) считаетъ ихъ за результатъ подземныхъ обваловъ, а Мойсисовичъ [158]) образованіе ихъ до нѣкоторой степени ставитъ въ связь съ происхожденіемъ дислокаціи. Въ упомянутыхъ мѣстностяхъ они настолько распространены, что, по вычисленію Гуттенберга [159]), на нихъ живутъ 1.100.000 жителей въ Цеслейтаніи и 340.000 въ Трансслейтаніи. Наибольшіе изъ нихъ достигаютъ 700 м. въ діаметрѣ. Провалы также часты въ области Тевто-



Фиг. 212. — Dolline Карста.

Фиг. 213. — Карстовый ландшафтъ въ окрестностяхъ Тріеста.

бургскаго лѣса, Гаара, на известковомъ плато департаментовъ Дубсъ, Верхней Саоны и Юры во Франціи, въ области распространенія мѣла въ Сѣв. Ютландіи, — горнаго известняка въ Миссури и пр. Многіе провалы часто наполняются водой и превращаются въ озера. Таковыми считаютъ озера у Штеренберга въ Бранденбургѣ, Чертовы дыры на южной окраинѣ Гарца, озера Эйслебена, Королевское озеро у восточной подошвы Ватсмана глубиною болѣе 200 м.

Карстовыя явленія, связанныя съ распространеніемъ на поверхности или на незначительной глубинѣ породъ легко растворимыхъ и проницае-

мыхъ водою, не имѣютъ широкаго, регіональнаго, развитія, въ отличіе отъ другихъ формъ поверхности, обусловливаемыхъ, напр., климатическими причинами. Карстовый ландшафатъ создается сочетаніемъ различныхъ формъ рельефа, къ которымъ относятся подземныя рѣки, аномальныя озера (періодически наполняющіяся водой), провалы и слѣпыя долины. Различныя изъ этихъ формъ встрѣчаются часто, какъ было упомянуто, но, какъ показываетъ и самое названіе, наиболѣе отчетливо эти явленія выражены въ области известковаго нагорія Карста (по итальянски carso), т. е. части Австро-Венгріи, между Тріестомъ и Лайбахомъ и продолжающейся черезъ юго-восточную Крайну, Истрію, Карнтію въ предѣлы Далмаціи, Босніи и Герцеговины и Греціи. Географическое распространеніе карстовыхъ явленій въ различныхъ частяхъ свѣта [160]) показываетъ, что съ какой либо опредѣленной геологической системой они не связаны, подчиняясь лишь петрографическому характеру и условіямъ залеганія горныхъ породъ съ одной стороны и дѣятельности метеорной воды съ другой.

Основнымъ процессомъ служитъ размывающая и растворяющая дѣятельность воды [161]). Вода, просачивающаяся повсюду равномѣрно въ рыхлыхъ проницаемыхъ породахъ, среди породъ твердыхъ устремляется въ опредѣленныя мѣста по трещинамъ или въ поверхностныя углубленія. Если этотъ процессъ происходитъ среди породъ растворимыхъ, и трещиноватыхъ, какъ известнякъ и доломитъ или гипсъ, вода просачивается книзу по трещинамъ, а съ поверхности края такого углубленія или первоначальной трещины постепенно расширяются, и возникаетъ воронкообразная форма углубленія, которую въ южныхъ славянскихъ земляхъ отмѣчаютъ названіемъ «доллина». Вода, собирающаяся по трещинамъ, на своемъ пути расширяетъ, разрушая механически и химически, стѣны и дно своего ложа; если количество воды, принимающей такое подземное теченіе, значительно, какъ въ случаѣ такъ называемыхъ катавотръ, поноръ и т. под., то могутъ возникнуть глубокія и узкія пропасти, имѣющія видъ естественныхъ колодцевъ или шахтъ. Съ теченіемъ времени отъ разрушенія стѣнокъ такія вертикальныя углубленія преобразуются также въ воронки. Первоначальныя трещины, по которымъ продолжается подземная циркуляція воды, расширяются въ пещеры, принимающія вертикальное, горизонтальное или болѣе или менѣе наклонное положеніе въ зависимости отъ направленія трещинъ.

Такія пещеры постепенно расширяются не только отъ дѣятельности циркулирующей въ нихъ воды, но также отъ обрушенія ихъ потолка и стѣнъ, и наконецъ весь сводъ пещеры можетъ обрушиться отъ дѣйствія тяжести или землетрясенія, или можетъ открыться при постепенномъ размывѣ сверху, и на поверхности земли образуется снова воронкообразное углубленіе.

Исключительно механическая работа поверхностныхъ водъ, которая воспроизводитъ, напр. такъ называемые „исполиновые котлы“, оставляетъ настолько ясные слѣды въ самой формѣ воронокъ, естественныхъ колодцевъ и т. п., что значительное участіе ея покрайней мѣрѣ въ расширеніи первоначальныхъ трещинъ не можетъ подлежать сомнѣнію. Рядомъ съ размывающей и растворяющей дѣятельностью подземныхъ водъ и механической дѣятельностью поверхностныхъ и также провалами несомнѣнно значительную роль въ образованіи карстовыхъ феноменовъ играетъ и химическая дѣятельность поверхностныхъ водъ, какъ на это указывали Мойсисовичъ, Динеръ и Чвижикъ (Cvijic').

По мнѣнію Мойсисовича правильная форма воронокъ противорѣчитъ происхожденію ихъ отъ проваловъ; присутствіе на днѣ проваловъ въ Карстовой области красной глины (Terra rossa) подтверждаетъ его мнѣніе о происхожденіи воронокъ путемъ вывѣтриванія, подобно такъ называемымъ „геологическимъ органамъ", т. е. цилиндрическимъ или неправильнымъ углубленіямъ въ известнякѣ, доломитѣ или гипсѣ подъ вліяніемъ растворяющей работы атмосферной воды (см. стр. 175—176). Правильность воронкообразныхъ углубленій впрочемъ не можетъ служить доказательствомъ противъ возможности образованія ихъ путемъ проваловъ; такъ въ Тульской губ. можно наблюдать искусственные провалы правильной воронкообразной формы [162]).

Для явленій какъ подземнаго размыва, такъ и проваловъ большое значеніе имѣетъ характеръ залеганія породъ. Появленіе трещинъ и расположеніе ихъ зависитъ отъ дислокаціонныхъ причинъ; наклонное положеніе слоевъ нерѣдко облегчаетъ сбросы и оползни, слѣдовательно образованіе пещеръ и послѣдующее измѣненіе ихъ въ провалы и воронки. Въ областяхъ съ горизонтально расположенными пластами, напр., известняковъ Прибалтійскихъ губерній, большая часть воды уходитъ въ глубину по трещинамъ; если же тектоническіе процессы нарушили связность породъ на большихъ протяженіяхъ сбросами и складками, воды пользуются предпочтительно сбросами при проникновеніи ихъ въ глубину, и дѣйствительно воронки, пещеры и тому под. формы пріурочиваются, какъ показали изслѣдованія Рейера и Мойсисовича, главнымъ образомъ къ линіямъ сбросовъ. Въ особенности обнаруживается зависимость между тектоникой и образованіемъ такъ называемыхъ слѣпыхъ долинъ, или польевъ (Poljen, blinde Thäler, vallées sans issue); подъ такими названіями понимаютъ узкія, извилистыя замкнутыя долины, часто занимаемыя періодически наполняющимися озерами.

Въ карстовыхъ областяхъ проникновеніе воды по трещинамъ происходитъ настолько широко, что обыкновенныя рѣки образуются тамъ сравнительно рѣдко. Часто воды рѣки при вступленіи ея въ карстовую область начинаютъ исчезать въ трещины, и въ руслѣ рѣки появляются поглотительныя воронки, которыя и называютъ тогда понорами, катавотрами и гулями; вслѣдствіе размыва и новыхъ проваловъ такія воронки часто перемѣщаются въ ту или другую сторону, чаще вверхъ, и образуются часто долины замкнутыя въ верхней или нижней части; если участокъ долины явственно замкнутъ въ нижней и верхней части, возникаетъ слѣпая долина. Такія долины образуются также, если надъ частью подземнаго теченія рѣки кровля пещеръ обрушивается, причемъ нерѣдко сохраняются естественные мосты, свидѣтельствующіе о такихъ провалахъ, напр., въ короткой долинѣ Ракбаха у С. Канціана. Среди мощныхъ известняковыхъ массъ при такомъ исчезновеніи рѣкъ характеръ ландшафта рѣзко измѣняется: онъ подчиняется исключительно тектоническимъ линіямъ, не нарушаемымъ дѣятельностью проточныхъ водъ. Въ карстовыхъ областяхъ складчатыхъ горъ при этомъ возникаютъ котловинообразныя замкнутыя впадины (Wannen), которыя и называются славянами Карста „польями"; эти широкія впадины съ крутыми стѣнами располагаются обыкновенно параллельно простиранію слоевъ, группируясь по линіи складокъ и сбросовъ.

Такъ какъ стокъ воды изъ такихъ котловинъ происходитъ посредствомъ поглощающихъ отверстій и системы трещинъ, то въ зависимости отъ притока воды и емкости такихъ поглотительныхъ каналовъ, иногда ничтожныхъ размѣровъ, происходитъ превращеніе котловинъ въ временныя озера. Полья, расположенныя на болѣе возвышенныхъ мѣстахъ, труднѣе заполняются водой; наоборотъ, расположенныя въ низменныхъ мѣстахъ, получаютъ болѣе богатое питаніе и долго остаются заполненными водою.

Полья распространены въ области восточнаго Карста, на Балканскомъ полуостровѣ, въ Греціи и ея островахъ напр., Іоническихъ. Особенно типичны большія озера Албаніи и Македоніи (Охрида, Презба, Маликъ), озеро Копаидское на Бэотійской равнинѣ въ Греціи и Цирхницкое озеро въ Крайнѣ.

Въ Австріи заботятся о томъ, чтобы переполненіе такихъ періодическихъ озеръ не вызвало наводненій, а въ Греціи, гдѣ такія озера очень мелки (оз. Копаидское 3 м. глубиною), онѣ являются источникомъ лихорадокъ, и тамъ принимаются мѣры къ искусственному осушенію ихъ [163]).

Карстовыя области Австріи отличаются безплодіемъ и пустынностью, стоящими въ зависимости отъ труднаго возстановленія растительности, прежде покрывавшей эти области густыми лѣсами. Терминъ «Verkarstung» среди лѣсничихъ служитъ синонимомъ безплодія и безлѣсія.

Итакъ, совершенно подобныя формы поверхности, какъ провалы, воронки, естественные колодцы, аномальныя озера и т. п. могутъ возникать

различнымъ образомъ, причемъ можно различить три процесса: 1) размывающая и растворяющая дѣятельность подземной воды по трещинамъ и тектоническимъ сбросовымъ линіямъ; 2) размывающая и растворяющая дѣятельность воды на поверхности; 3) образованіе проваловъ надъ подземными пустотами. Въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ иногда бываетъ возможно отличить тотъ или иной процессъ, преобладавшій при возникновеніи такихъ формъ. Такъ нахожденіе массы обломковъ боковыхъ породъ на днѣ воронки или прямыя указанія на образованіе провала на памяти людей, позволяютъ сдѣлать заключеніе о происхожденіи воронки путемъ провала надъ пустотой.

Вертикальность колодцевъ или наоборотъ распространеніе подземныхъ пустотъ горизонтально и наклонно часто въ нѣсколько ярусовъ, показываютъ на размывающую и растворяющую дѣятельность воды, причемъ труднѣе отличить роль подземной и поверхностной воды; такъ однѣ изслѣдователи полагаютъ, что всѣ поверхностныя карстовыя явленія зависятъ исключительно отъ подземной работы воды и вызываются ею, а другіе, какъ Мартель [164]), считаютъ наоборотъ главной причиной карстовыхъ явленій дѣятельность водъ съ поверхности.

Мартель между прочимъ указываетъ, что нерѣдки „долины“ безъ подземныхъ рѣкъ подъ ними, и считаетъ это за доказательство ихъ образованія съ поверхности. Но слѣдуетъ замѣтить, что вопросъ о распространеніи къ поверхности земли обрушеній кровли надъ пустотами, имѣющій большое значеніе въ горной практикѣ, не можетъ считаться окончательно разрѣшеннымъ. Существуетъ нѣсколько теорій на этотъ счетъ; одни полагаютъ, что осѣданіе поверхности происходитъ по вертикальному направленію; другіе (теорія Гоно) принимаютъ, что трещины и осѣданіе почвы происходитъ по нормали къ плоскостямъ напластованія; третьи (теорія Шпарре) думаютъ, что осѣданіе происходитъ не по отвѣсу и не по нормальной, а по промежуточному между ними направленію; наконецъ, по теоріи Ржиха слѣдуетъ различать собственно обрушеніе или паденіе и изломъ горныхъ породъ, т. е. собственно обрушившееся пространство и концентрически окружающую его сферу разрыва. Осѣданіе почвы, во всякомъ случаѣ, представляетъ явленіе сложное, зависящее какъ отъ глубины обрушенія, такъ и условій залеганія породъ, причемъ въ случаѣ наклонныхъ слоевъ распространеніе обрушенія по уклону слоевъ (по паденію или по возстанію) въ большинствѣ случаевъ не соотвѣтствуетъ ни отвѣснымъ, ни нормальнымъ направленіямъ [165]).

Нельзя не согласится съ Неймайромъ и Краусомъ, что характерная особенность известняковыхъ равнинъ въ томъ и заключается, что механическая дѣятельность воды на поверхности выражена слабо, что вода просачивается или устремляется цѣлыми потоками въ глубину, гдѣ и сосредоточивается ея размывающая дѣятельность; конечно, при образованіи отдѣльныхъ формъ карстоваго ландшафта могутъ принимать участье одновременно различные процессы. Краусъ опредѣляетъ какъ поверхностную эрозію такую, при которой смываніе и перемѣщеніе происходитъ только на поверхности; какъ только поверхностныя воды теряются подъ землею, гдѣ онѣ продолжаютъ свою размывающую работу, механическую и химическую, возникаетъ подземный размывъ. Очевидно, что при такомъ опредѣленіи устраняются всѣ недоразумѣнія относительно объясненія карстовыхъ явленій, которыя характеризуютъ подземный размывъ.

Фиг. 214 представляетъ систему р. Лайбахъ, въ верхнемъ теченіи извѣстной подъ названіемъ р. Пойка. Пойкъ вступаетъ близъ Адельсберга въ Карстовую область, скрываясь подъ землею; снова выходитъ наружу подъ именемъ Унца и затѣмъ появляется въ долинѣ Крайны подъ именемъ

Лайбаха. Изъ общей ея длины въ 85 клм. на подземное теченіе приходится 20.

Въ области подземнаго теченія Пойка всѣ болѣе значительныя пещеры, какъ, напр., знаменитый Адельсбергскій гротъ, въ настоящее время сухія, лежатъ къ востоку отъ современнаго теченія рѣки. Происхожденіе системы подземныхъ галлерей Адельсберга объясняется тѣмъ, что онѣ служили прежде русломъ рѣки, которая постепенно отступала къ западу, вслѣдствіе обваловъ и загроможденія подземнаго русла на старомъ теченіи. Наклонъ слоевъ къ западу, по мнѣнію Мартеля, объясняетъ такое направленіе отступанія рѣки. Многія изъ «долинъ» въ системѣ Пойка образовались вслѣдствіе обвала кровли пещеръ; прямымъ доказательствомъ такого образованія «долинъ» служитъ нахожденіе въ пещерахъ подъ ними остатковъ разрушеннаго свода. Примѣромъ такого образованія «долинъ» можетъ служить «Стара Апленка» (Stara Arpenka), расположенная надъ большимъ полемъ обломковъ между Тартарской вѣтвью Адельсбергскаго грота и пещерой Оттокъ (фиг. 215). При обрушеніи кровли, если вода не могла преодолѣть препятствія, вслѣдствіе, напр., плотности породъ, она ищетъ себѣ другого выхода по боковымъ трещинамъ, по которымъ и образуются боковыя вѣтви подземнаго пути.

Фиг. 214. — Система р. Лайбахъ.—Пунктиръ означаетъ подземное теченіе р. Пойка.

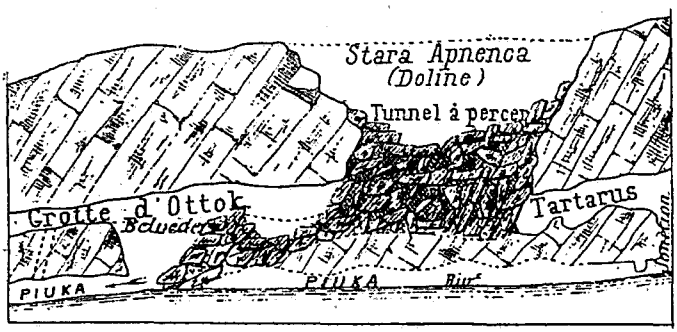
Въ Европейской Россіи провалы также многочислены, напр. въ Псковской, Рязанской, Нижегородской губерніяхъ и пр. На Ергеняхъ круглыя воронки, діаметромъ до 50 м., происшедшія отъ выщелачиванія штоковъ гипса, отличаются замѣчательно правильною круглою формою. Въ Пермской и Уфимской губ. ихъ также много. Около Кунгура, между р. Шаквою и Сылвою, провалы часто заполнены водой и превращены въ озера и пр. Въ Туркестанѣ провалы развиты въ огромномъ количествѣ и необыкновенно правильной формы, напр. въ гипсахъ третичной системы въ восточной части Алая.

Одной изъ наиболѣе обширныхъ карстовыхъ областей Россіи является Двинско-Онежскій водораздѣлъ [166]), гдѣ земляныя воронки и такъ называемыя «опади», представляющія поверхность шарового сегмента, и озера, наполняющіяся водой только весною, очень распространены и находятся въ связи съ подземными потоками и

провалами надъ ними. Сокрытіе рѣкъ, напр. р.р. Междуворъ и Тихманьга, и всѣ эти явленія карстового характера вызываются здѣсь развитіемъ доломитизированныхъ известняковъ, часто гипсоносныхъ въ верхнихъ горизонтахъ (каменноугольнаго возраста). Въ Смоленской губерніи одна изъ скрывающихся рѣчекъ носитъ названіе Поникли, какъ ныряющая подъ землю [167]). Въ Нижегородской губерніи провальныя озера тѣсно связаны съ распространеніемъ пермскихъ (цехштейновыхъ) известняковъ; интересно, что нѣкоторыя воронки въ такихъ озерахъ даютъ восходящіе источники, называемые по мѣстному «вокленами».

Въ Олонецкомъ краѣ среди озеръ, зарастающихъ и періодически исчезающихъ, нѣкоторыя рѣки прерываются такъ называемыми «пучинами», соотвѣтствующими французскимъ гулямъ, въ которыя поглащается часть воды [168]). Въ Тульской губерніи провалы и воронки въ области каменноугольныхъ и девонскихъ известняковъ съ теченіемъ времени превращаются въ озера и моховыя болота.

Дѣятельность подземной воды заслуживаетъ особеннаго вниманія при производствѣ различныхъ техническихъ работъ, напр., желѣзнодорожнаго полотна; достаточно припомнить уфимскія воронки около города Уфы [169]). Желѣзнодорожное полотно проходитъ тамъ по крутому косогору плато-образной возвышенности между рѣками Бѣлой и Уфой; плато сложено изъ нижней красноцвѣтной пермской толщи, въ составъ которой входятъ

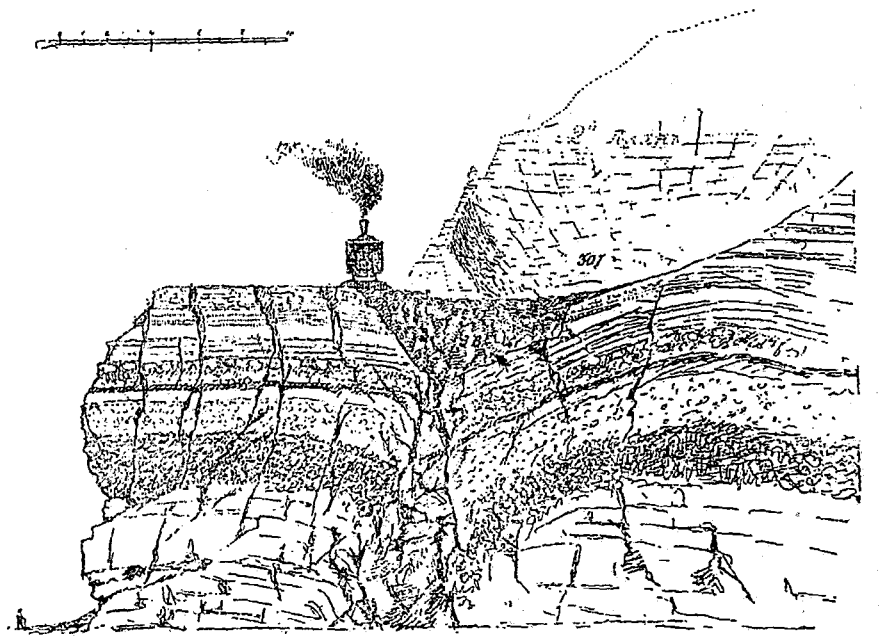


Фиг. 215. — «Стара Апненка» (вертикальный разрѣзъ.)

песчаники, рухляки, известняки и мощныя отложенія гипса; верхнія толщи также гипсоносны и подвергаются вмѣстѣ съ пластами гипса усиленному выщелачиванію, что влечетъ за собой обвалы, воронкообразные провалы и осѣданіе болѣе или менѣе значительныхъ площадей. Фиг. 216 показываетъ разрѣзъ черезъ одну изъ такихъ воронокъ, искусственно забитыхъ при постройкѣ. Неустойчивость полотна при такихъ геологическихъ условіяхъ является неопреодолимой; безопасность движенія обезпечивается только самымъ тщательнымъ наблюденіемъ надъ сомнительной частью пути. Примѣръ Уфимскаго косогора показываетъ, какъ важно при желѣзнодорожныхъ изысканіяхъ обращать вниманіе на геологическій составъ мѣстности и на такіе съ перваго взгляда ничтожныя явленія, какъ «опади», иногда занятыя уже торфяниками.

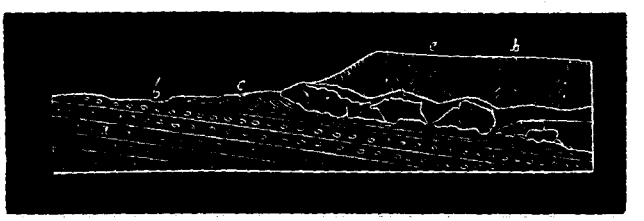
Если обвалъ кровли пещеры совершается глубоко подъ поверхностью, то послѣдствіемъ его бываютъ землетрясенія, которыя, въ свою очередь, вызываютъ новые провалы, трещины и пр. Съ другой стороны, отъ подземныхъ обваловъ можетъ происходить частное измѣненіе стратиграфіи породъ. Въ этомъ отношеніи поучительный примѣръ представляютъ окрестности Эйслебена [170]). Въ этой мѣстности геологическое

строеніе слѣдующее (фиг. 217): на конгломератѣ краснаго лежня (a) налегаетъ согласно и правильно мѣдистый сланецъ (b) мощностью отъ 2 до 3 м. Выше лежатъ пласты цехштейна (c) съ большими штокообразными массами гипса. Цехштейнъ покрытъ пестрымъ песчаникомъ (d) который, въ противоположность мѣдистому сланцу и вообще нижнимъ горизонтамъ, отличается весьма неправильнымъ пластованіемъ: пласты на



Фиг. 216. — Разрѣзъ черезъ одну изъ Уфимскихъ воронокъ.

небольшихъ разстояніяхъ то согнуты, то стоятъ на головахъ, то сдвинуты или разломаны; на поверхности образовались провалы (e). Причина такого нарушеннаго пластованія пестраго песчаника заключается въ залежахъ гипса, выщелачиваніе которыхъ образовало пещеры, а обвалы въ нихъ нарушили правильное пластованіе. Можетъ быть, пласты песчаника не потерпѣли бы такого нарушенія, еслибы гипсъ при образованіи изъ ангидрита не увеличился въ объемѣ и не произвелъ бы трещины, которыя, такъ сказать, подготовили породу къ послѣдующимъ обрушеніямъ. Такого рода факты имѣютъ иногда важное практическое значеніе, въ особенности при развѣдкахъ въ области осадочныхъ породъ, подвергающихся дѣйствію воды.



Фиг. 217. — Дислокація отъ подземныхъ обваловъ въ пестромъ песчаникѣ Гюнсбурга у Эйслебена.

Оползни и обвалы (Bergbruch oder Bergrutsch und Bergsturz). Провалы чаще происходятъ въ породахъ съ горизонтальнымъ пластованіемъ, тогда какъ въ наклонныхъ пластахъ чаще бываютъ оползни и

обвалы, которые точно также представляютъ движеніе почвы, но по наклонной плоскости. Оползнемъ называютъ такое явленіе, когда часть пластовъ породы отрывается—не опрокидываясь, сравнительно спокойно сползаетъ внизъ по склону къ подошвѣ горы. Это, такъ сказать, поверхностный сдвигъ. Обвалъ же отличается отъ оползня тѣмъ, что оторвавшаяся масса породы не сползаетъ по склону, а, опрокидываясь, быстро низвергается къ подошвѣ. Мы уже упоминали (гл. III), что въ горахъ обвалы часто обусловливаются совмѣстнымъ дѣйствіемъ вывѣтриванія и размыва. Но въ большинствѣ случаевъ это явленіе зависитъ отъ размывающей дѣятельности подземной воды. Напримѣръ, представимъ себѣ, что какая-нибудь мѣстность сложена изъ водонепроницаемыхъ породъ, среди которыхъ лежитъ порода, легко пропускающая воду, напр. песокъ; если при этомъ пласты имѣютъ хотя бы небольшой уклонъ, то вода, протекая по песчаному слою, постоянно размываетъ его, частицы песка выносятся, а на мѣстѣ ихъ остается пустота; кровля, лишаясь подпорки, опускается. Если подъ пескомъ залегаетъ водонепроницаемая скользкая глина, то опустившаяся кровля скользитъ по ней внизъ,—и получается оползень; если же пласты падаютъ круто и подмывъ происходитъ на склонѣ горы, то опусканіе кровли идетъ быстро—и получается обвалъ. Разумѣется, въ каждомъ частномъ случаѣ характеръ оползней и обваловъ весьма разнообразенъ и зависитъ отъ оро-геологическаго свойства мѣстности, т. е. отъ петрографическихъ, стратиграфическихъ и орографическихъ условій.

Геймъ [171]), наблюдая разнообразные обвалы и оползни, группируетъ ихъ въ слѣдующія шесть категорій: 1) Оползни осыпей (Schuttrutschungen, напр. Гердернъ, Фетомъ). 2) Оползни скалъ (Felsschlipfe, напр. Гольдау). 3) Обвалы осыпей (Schuttstürze, напр. Бильтенъ, Зонненбергъ). 4) Обвалы скалъ (Felsstürze, напр. Плюрсъ, Эльмъ). 5) Смѣшанные обвалы (Gemischte Bergstürze, напр. Бріенцъ, Вицнау). 6) Особенные обвалъ (Besondere Einstürze), происходящіе отъ подмыва береговъ рѣкою или моремъ, т. е. отъ внѣшняго размытія.

Въ горахъ развиты всѣ роды этихъ явленій; но у насъ, въ странѣ ровной, сложенной изъ породъ или мало наклонныхъ, или даже горизонтальныхъ, преобладаютъ оползни.

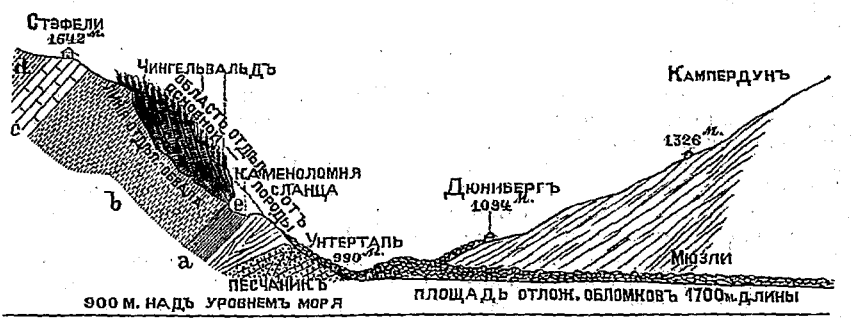
При каждомъ обвалѣ различаютъ слѣдующія части: во-первыхъ, область отдѣленія отъ основной породы (Abrissgebiet), во-вторыхъ, путь обвала (Sturzbahn) и, въ-третьихъ, площадь отложенія оторвавшихся обломковъ (Ablagerungsgebiet).

Для примѣра приведемъ нѣкоторые наиболѣе замѣчательные обвалы въ горахъ; такъ, въ 1818 г. обвалъ около дер. Плюрса и Шиляна въ Бергелѣ погубилъ 2430 человѣкъ; въ 1806 г. обвалилась часть горы Росберга у Гольдау. Цѣлая толща пластовъ въ 320 м. ширины, 32 м. толщины и 1500 м. длины, всего масса около 15 мил. куб. м. оторвалась, разбилась на обломки разной величины и засыпала большую часть долины оз. Ловецера, причемъ погибло 457 человѣкъ, разрушено 111 домовъ, 2 церкви и 220 сараевъ и пр. Еще значительнѣе былъ обвалъ въ долинѣ Зерифъ, въ Гларусѣ въ Швейцаріи, на склонѣ горы Чингель около Эльма 11 сентября 1881 г. (фиг. 218 и 219), которому отчасти содѣйствовали неправильныя работы въ каменоломнѣ на крутомъ склонѣ у Платтенберга. По словамъ Геймa, здѣсь оборвалась масса породы въ 10 мил. куб. м. и скатилась по склону въ 70° крутизны съ такою силою, что многіе обломки взлетѣли на противоположный склонъ съ уклономъ въ 25°, на высоту до 100 метр., другіе же отлетѣли на разстояніе 1500 м. —

все это случилось менѣе, чѣмъ въ двѣ минуты. Площадь, опустошенная этимъ обваломъ, равняется 895.000 кв. метрамъ, или $89^1/_2$ гектарамъ, причемъ засыпано 115 человѣкъ и разрушено 83 строенія. Въ долинѣ Кокъ-су, притокѣ Кашгарской Кызылъ-су обвалъ 1878 г., по приблизительному разсчету, далъ массу осыпи около

Фиг. 218. — Обвалъ у Эльма.

12 мил. куб. м., обломки заняли площадь около 1 кв. версты. Въ моментъ обвала, происшедшаго съ террассы горнаго известняка, возвышавшейся надъ дномъ долины футовъ на 400—500, громадныя глыбы, саженъ 5 и болѣе въ діаметрѣ, перелетали на другую сторону долины Кокъ-су и, ударяясь о скалы, разсыпались въ каменный



Фиг. 219. — Схема обвала у Эльма.

дождь. Иногда породы, подготовленныя вывѣтриваніемъ, производятъ обвалы отъ самыхъ небольшихъ причинъ, напр. отъ животныхъ и человѣка. Обвалы, бывшіе у Кауба въ долинѣ Рейна въ 1876 г. или около Зальцаха выше Ленда въ 1875 г., произведены неосторожнымъ проведеніемъ туннелей [172]). Въ Крыму извѣстенъ обвалъ около деревни Кучукъ-кой, который, по словамъ Палласа, увлекъ въ море многіе дома и сады.

Нерѣдки обвалы на Кавказѣ; напр., въ Ноябрѣ 1898 года въ Дальскомъ ущельѣ р. Кодоръ въ Сухумскомъ округѣ произошелъ обвалъ части горы, образовавшій

запруду въ 70 саж. вышиною и задержавшій теченіе быстрой рѣки; громадное озеро выше запруды держалось нѣсколько недѣль. Громадные оползни на Кавказѣ распространены въ области юрскихъ сланцевъ и мѣловыхъ мергелистыхъ породъ, напр., въ юго-восточномъ Кавказѣ около Дибрарскаго хребта [173]).

У насъ оползни часто встрѣчаются по берегамъ многихъ рѣкъ, напр, по нагорному берегу Днѣпра, Волги, Дона, Міаса и др. Въ долинѣ Міаса въ 1862 г. сползла внизъ по пологому западному склону Ильменскихъ горъ масса земли съ лѣсомъ около $^1/_2$ кв. версты на разстояніи 200—300 саж. Въ 1865 г. у г. Симбирска на берегу Волги оползень разрушилъ много домовъ; оползень повторился въ 1902 г. [174]). У Нижняго Новгорода большой оползень, происшедшій 18-го іюня въ 1587 г., заставилъ даже перенести извѣстный Печерскій монастырь на другое мѣсто. Небольшое землетрясеніе, чувствовавшееся въ Нижнемъ въ 1807 г., когда „посуда ходила

Фиг. 220. — Оползень Соколовой горы у г. Саратова (1884 г.).

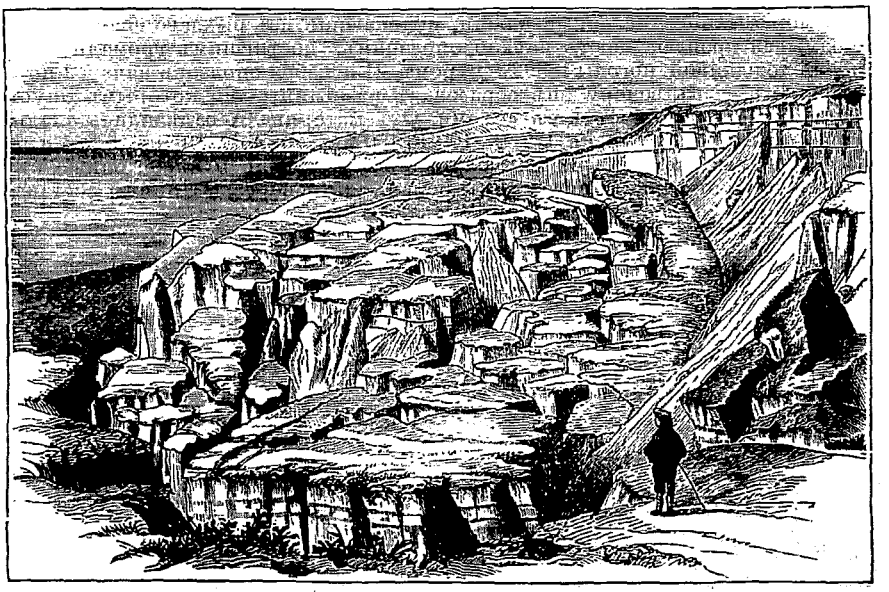
ходуномъ", приписываютъ также обваламъ. Многочисленные бугры и естественные бастіоны, разсѣянные по всему побережью Волги и Оки, обязаны своимъ происхожденіемъ оползнямъ и обваламъ [175]).

Въ 1884 г., 20 сентября, у г. Саратова на склонѣ Соколовой горы, гдѣ помѣщается предмѣстье Затонъ, оползень произвелъ большія разрушенія и совершенно измѣнилъ конфигурацію берега. Такъ какъ оползень происходилъ медленно, то люди успѣли спастись, и почти никто не пострадалъ (фиг. 220).

Задолго до наступленія оползня образовались трещины на поверхности склона Соколовой горы; жители очевидно знали предупредительный смыслъ этихъ трещинъ, потому что оползни здѣсь происходили и прежде, но, вмѣсто заявленія, тщательно скрывали ихъ, чтобы во время сбыть свое имущество. Собственно оползень начался въ 12 час. 20 сентября и продолжался до утра 21 сентября. Масса сползшей земли составляла около $^1/_2$ вер. въ длину и 20 саж. высоты. Причина Саратовскихъ оползней заключается въ томъ, что Соколова гора состоитъ изъ нижнемѣловыхъ глинъ, прикрытыхъ верхнемѣловыми рыхлыми и водопроницаемыми песчаниками. Вода, проникая до горизонта глинъ, скатывается по нимъ и образуетъ на склонѣ множество источниковъ, которые, размывая песчаники, производятъ постоянные сдвиги и оползни; но изъ нихъ обращаютъ на себя вниманіе только наибольшіе, какъ въ 1884 г., да бывшіе лѣтъ 16 тому назадъ.

У г. Кіева на берегу Днѣпра почти ежегодно случаются оползни, причиняющіе большой вредъ населенію. По изслѣдованіямъ проф. Ѳеофилактова [176]), они обу-

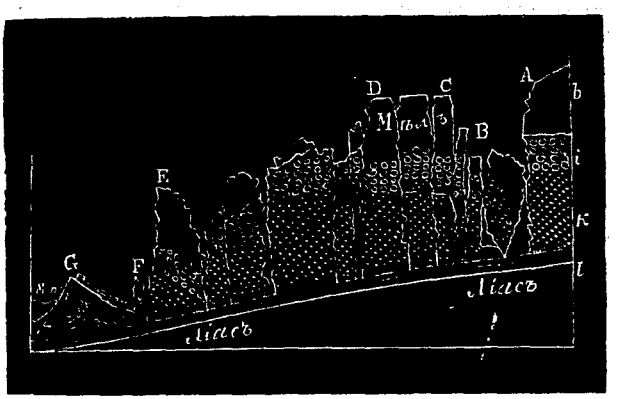
словливаются присутствіемъ двухъ водоносныхъ горизонтовъ, изъ которыхъ нижній соотвѣтствуетъ спондилувой глинѣ, а верхній—пестрой третичной глинѣ; надъ послѣдней залегаютъ водопроницаемые валунные осадки—около 30 ф. и лессъ около 70 ф. толщиною. Всѣ породы залегаютъ горизонтально. Атмосферная вода, проникая дилювіальныя породы, задерживается пестрыми глинами и выходитъ потомъ на по-



Фиг. 221. — Оползень у Ляймъ-реджиса.

верхность. При выходѣ она подмываетъ валунную толщу, которая вмѣстѣ съ лессомъ постепенно осядаетъ и производитъ оползни, достигающіе иногда значительныхъ размѣровъ. Нижній спондилувый горизонтъ даетъ болѣе рѣдкіе и менѣе опасные оползни.

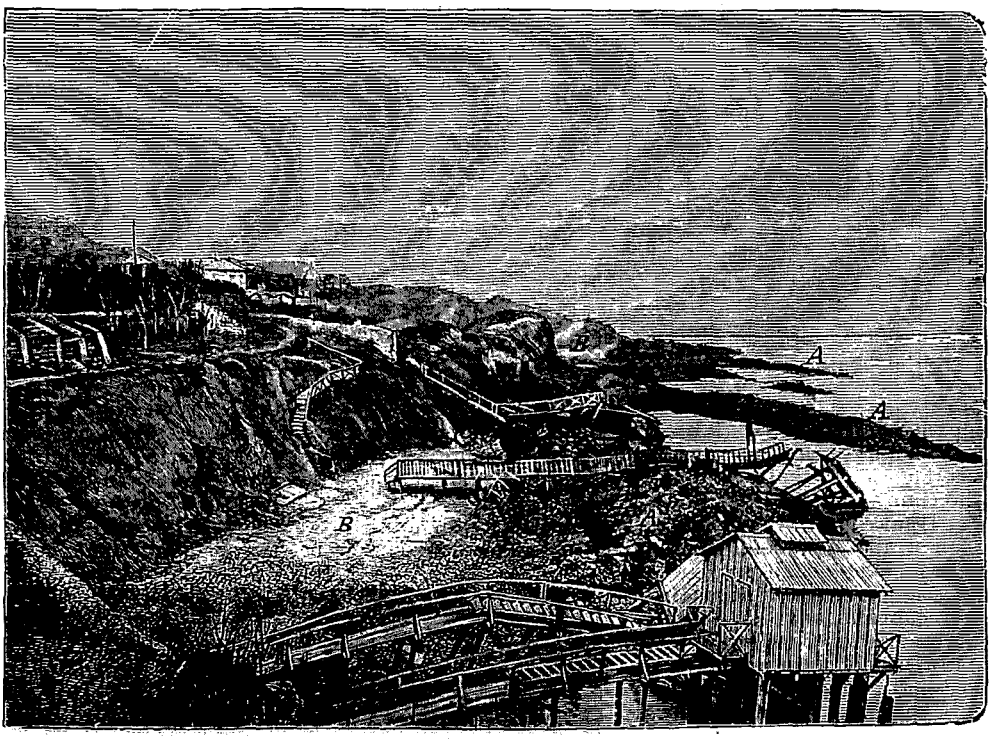
Практика на нѣкоторыхъ изъ нашихъ дорогъ, напр. на Оренбургской, Сызранской и др., доказала какъ нельзя лучше необходимость, при выборѣ направленія *желѣзной дороги*, руководствоваться не одною орографіею, но геологическимъ строеніемъ мѣстности и особенно условіями циркуляціи подземныхъ водъ. На Сызранской дорогѣ у Батраковъ, на 490-й — 492-й верстѣ условія оползней выяснены В. И. Меллеромъ, а на Оренбургской на 138-й — 139-й верстѣ — г. Зенкевичемъ [177]). Въ томъ и другомъ случаѣ оползни производятъ большія разрушенія въ насыпяхъ и на ремонтъ дороги тратятъ огромныя суммы, которыя могли бы быть употреблены на болѣе полезное дѣло, если бы при выборѣ направленія желѣзныхъ дороъ обращали вниманіе на геологическое строеніе мѣстности и зависящій отъ него характеръ подземныхъ водъ.



Фиг. 222. — Разрѣзъ берега у Ляймъ-реджиса.

Какъ по берегамъ рѣкъ, такъ и по берегамъ озеръ и морей происходятъ отъ тѣхъ же причинъ громадные оползни, которые значительно способствуютъ дѣятельности моря въ разрушеніи береговъ. Типичнымъ примѣромъ такихъ оползней могутъ служить береговые оползни въ Дорсетширѣ (Англія) при Ляймъ-реджисѣ и Аксмутѣ и у насъ на берегу Чернаго моря, у г. Одессы. Особенно замѣчателенъ оползень—

24 декабря 1839 г. между Аксмутомъ и Ляймъ-реджисомъ, описанный Коніберомъ. Слѣдующіе рисунки (фиг. 221—222) даютъ понятіе о характерѣ оползня и геологическомъ составѣ берега. По словамъ Ляйэлля [178]), холмистая полоса земли, идущая вдоль берега, состоитъ изъ мѣла (b), подстилающагося песчаникомъ съ кремнемъ (i), ниже котораго залегаетъ рыхлый песокъ (k) яруса зеленыхъ песчаниковъ мѣловой системы; породы эти налегаютъ на водонепроницаемыя лейясовыя глины (l), склоняющіяся къ морю. Многочисленные ключи, вытекающіе изъ рыхлаго песка (k), увлекая его и подмывая кровлю, даютъ начало оползнямъ, достигшимъ громадныхъ размѣровъ послѣ дождливой погоды 1839 г.; утромъ 24 декабря оползень начался потрясающимъ трескомъ, а къ вечеру онъ образовалъ разсѣлины, по которымъ опустились большія массы породъ вмѣстѣ съ домами. Отъ материка A отдѣлились скалы C, D и образовался глубокій оврагъ B (отъ 100 до 150 ф. глубиною, 240 шириною и $^1/_4$ мили длиною). Подобныя же разсѣлины и опусканія произошли и ниже, ближе къ морю, гдѣ, напр., пирамидальная скала F, противъ Кульверголь-Пойнта, составлявшая



Фиг. 223.— Оползень у города Одессы (1897 г.).

видный береговой знакъ, понизилась съ высоты 70 ф. до 20 ф., а большой утесъ E, отстоявшій отъ F болѣе чѣмъ на 50 ф., пришелъ съ нимъ въ соприкосновеніе. Весьма интересно, что давленіе сползавшихъ массъ выдвинуло со дна моря гребень G (до 1 мили въ длину и 40 ф. высоты), покрытый глыбами оторвавшихся породъ, а также морскими водорослями, кораллами, раковинами, морскими звѣздами и другими продуктами моря. Гребень этотъ, произведенный давленіемъ оползня, представляетъ въ настоящее время передовой рядъ береговыхъ утесовъ.

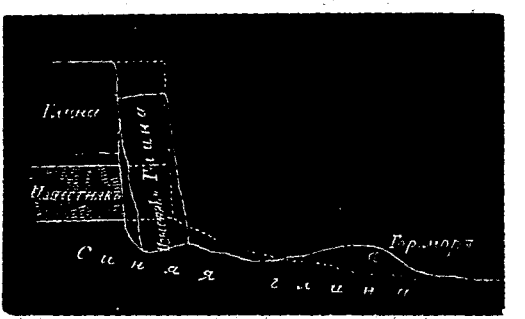
Подобные же процессы, но въ меньшихъ размѣрахъ происходятъ на берегу Чернаго моря у г. Одессы. Они давно уже обратили на себя вниманіе и въ послѣднее время подробно изучены проф. Синцовымъ [179]). Не входя въ дальнѣйшія объясненія, такъ какъ составъ берега и характеръ оползней видны на приложенныхъ рисункахъ (фиг. 223—226), замѣчу только, что хотя породы одесскаго берега принадлежатъ къ другой, болѣе новой системѣ, чѣмъ породы берега у Аксмута, а именно къ третичной, но петрографическій характеръ почти тотъ же, что у Аксмута и Ляймъ-реджиса,—отсюда одинаковость явленій; но, съ другой стороны, толщина породъ различна, а слѣдовательно и величина оползней неодинакова; при малой толщинѣ одесскихъ песковъ и известняковъ, оползни не достигаютъ такихъ размѣ-

ровъ, какъ у Ляймъ-реджиса,—значитъ, не производятъ такого громаднаго давленія на прилегающее дно моря и не образуютъ такихъ большихъ гребней, какъ G, а только сравнительно небольшія волны (a, *A*) въ подводной глинѣ.

Иногда мелкіе, обыкновенно незамѣчаемые, оползни имѣютъ большое значеніе для различныхъ сооруженій, напр. дія мостовъ, желѣзнодорожныхъ насыпей и пр., а потому съ ними необходимо считаться. Однимъ изъ примѣровъ такого рода могутъ служить затрудненія, возникшія на Лозово-Севастопольской желѣзной дорогѣ,

Фиг. 224. — Оползень у города Одессы (1897 г.).

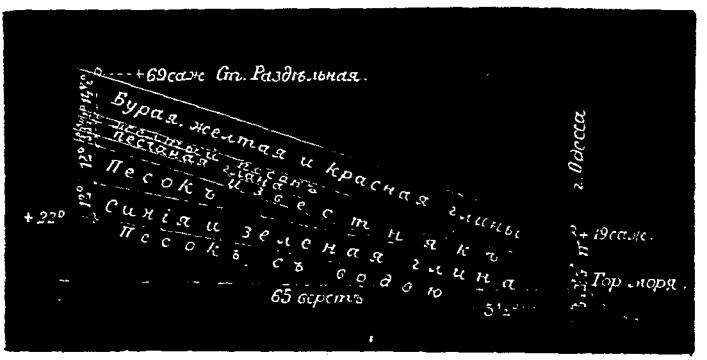
гдѣ обнаружилось перемѣщеніе одного изъ устоевъ моста черезъ Графскую балку, опасное для прочности всего сооруженія [180]). Замѣченное перемѣщеніе происходило вслѣдствіе скольженія грунта по наклонному, временами сильно намокающему, прослою глины среди слежавшагося и уплотнившагося матеріала осыпей, образующихъ склоны балки и принятыхъ за коренную породу; послѣдними являются міоценовые известняки и эоценовые мергели, которые образуютъ лишь карнизы надъ осыпями, совершенно заполняющими балку. Вслѣдствіе неправильнаго заложенія мостового устоя, опущеннаго на осыпь, пришлось впослѣдствіи замѣнить Графскій віадукъ насыпью. Принимая даже вторичный грунтъ за коренной, можно было заранѣе предвидѣть явленія перемѣщенія почвы, если бы обратили должное вниманіе на характеръ циркуляціи подземной воды.



Фиг. 225.—Поперечный разрѣзъ оползня у г. Одессы.

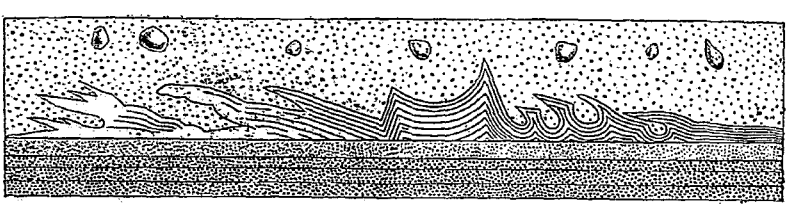
Въ рыхлыхъ осыпяхъ или въ неслоистыхъ наносахъ оползни и обвалы происходятъ чаще, но они не достигаютъ такихъ громадныхъ размѣровъ, какъ оползни и обвалы въ твердыхъ породахъ и рѣже получаютъ катастрофическій характеръ. Постепенное сползаніе или скольженіе рыхлыхъ массъ по склону обнаруживается на поверхности маленькими террасами или ступенями, которыя придаютъ лѣстницеобразный видъ склону. Въ вязкихъ глинистыхъ слояхъ, залегающихъ среди песка или валуновъ, оползни производятъ мѣстныя

стратиграфическія измѣненія: напр., совершенно горизонтальные слои ихъ, благодаря оползнямъ, становятся неправильно складчатыми, перегнутыми, опрокинутыми и пр., какъ представлено на фиг. 227. Сдвинутые слои валунныхъ глинъ, залегающихъ среди ледниковаго наноса, наблюдались во многихъ мѣстахъ Сѣв. Германіи, Австріи и пр.; изогнутіе и неправильную складчатость ихъ, согласно съ Креднеромъ, обыкновенно объясняютъ давленіемъ или напоромъ надвигающагося ледниковаго покрова или ледниковъ, что для нѣкоторыхъ случаевъ вполнѣ справедливо, но далеко не для всѣхъ. Наблюденія Пенка въ Баварскихъ горахъ, Неймайра къ югу отъ Ганновера и др. [181]) показали, что нерѣдко подобная частная или мѣстная дислокація глинистыхъ пластовъ не имѣетъ никакой связи съ ледниковыми явленіями и обусловливается только оползнями и напоромъ, производимымъ ими.



Фиг. 226. — Разрѣзъ пластовъ, слагающихъ побережье Чернаго моря около Одессы.

Оползни и обвалы относятъ къ разряду явленій, которыя Пенкъ [182]) называетъ массовымъ движеніемъ, т. е. вызываемымъ вліяніемъ силы тяжести безъ посредства какой-либо особенной транспортирующей силы. Въ отличіе отъ такихъ явленій движенія другія, которыя обусловливаются какой-либо транспортирующей силой (вѣтеръ, проточная вода, море, ледники), называютъ массовымъ перемѣщеніемъ или переносомъ. Сила тяжести дѣйствуетъ не только на почву, поддерживающую какую-нибудь массу, но также и въ боковомъ направленіи; если въ этомъ направленіи нѣтъ достаточнаго сопротивленія, масса приходитъ въ движеніе. Слѣдовательно, всѣ условія, способствующія ослабленію тренія между отдѣльными частями такой массы и силы сцѣпленія между ними, благопріятствуютъ возникновенію оползней, обваловъ и осыпей. Если, какъ это было указано, прослои пластической массы способствуютъ сползанію болѣе твердыхъ массъ, то и обратно возможны случаи, когда сползаютъ относительно пластическія массы поверхъ твердыхъ и прочныхъ; такія движенія возникаютъ не только отъ подрыванія или подмыва, но также вслѣдствіе насыщенія пластическихъ массъ водою, причемъ ослабляется треніе и сцѣпленіе между отдѣльными частицами и въ то же время повышается вѣсъ всей массы, пока она не придетъ въ движеніе. Такія явленія называютъ оплывинами; наконецъ, когда вода при этомъ начинаетъ принимать уже активное участіе въ перемѣщеніи массъ, возникаютъ явленія грязевыхъ потоковъ, или Muhrgänge.

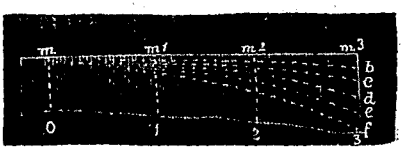


Фиг. 227.—Сдвинутыя диловіальныя отложенія въ копи у Конневица.

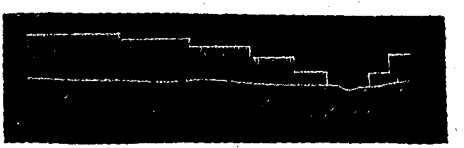
Части, которыя можно различить при каждомъ обвалѣ, оползнѣ и оплывинѣ,

именно область отдѣленія, путь и площадь отложенія, представляютъ характерныя формы поверхности. Очертанія области отдѣленія зависятъ отъ поверхностей наименьшаго сцѣпленія въ горныхъ породахъ, т. е. плоскостей напластованія, трещинъ, сланцеватости и отдѣльностей, а также тектоническихъ плоскостей, каковы плоскости сбросовъ. Въ зависимости отъ сочетанія такихъ плоскостей различнаго направленія въ горахъ подъ вліяніемъ обваловъ, оползней и осыпей развиваются обѣ крайнія формы склоновъ, т. е. болѣе или менѣе отвѣсныя стѣны и гребни съ противоположно наклонными склонами. Въ Баваріи склоны неправильнаго очертанія, возникшаго при обвалахъ и оползняхъ, называютъ пляйками (Plaicken). Массовыя движенія принимаютъ существенное участіе въ моделировкѣ формъ поверхности въ горахъ, напр., въ процессѣ пониженія водораздѣловъ, выработкѣ конфигураціи склоновъ и т. п., причемъ подземная дѣятельность воды, работа проточной воды и сила тяжести направляются къ конечной цѣли денудаціонныхъ процессовъ, т. е. къ умепьшенію радіуса земной поверхности, въ частности же разнообразятъ до безконечности формы поверхности.

Если почвенная вода проникаетъ въ какой-нибудь мощный слой водопроницаемой породы, толщиною въ нѣсколько сотъ футовъ, залегающей на наклонномъ основаніи и въ какомъ-нибудь мѣстѣ круто обрывающейся, то она получаетъ двоякое движеніе [183]). Во-первыхъ вода будетъ двигаться вертикально сверху внизъ, а во-вторыхъ, будетъ стекать по наклонной плоскости до выхода. Первое движеніе очень медленно и меха-



Фиг. 228.



Фиг. 229.

ническій эффектъ его весьма малъ; онъ заключается только въ выщелачиваніи легко растворимыхъ частей. Второе движеніе, встрѣчая постоянныя препятствія, также будетъ медленно, и хотя механическій эффектъ его также небольшой, но онъ постепенно увеличивается по мѣрѣ приближенія къ обрывистому выходу. Такъ, при *o* (фиг. 228), вода только начинаетъ проникать въ *m*, при 1 она уже дѣйствуетъ на пространствѣ mm', при 2—на mm^2 и т. д. На нижней плоскости двигающаяся масса воды должна увеличиваться по мѣрѣ удаленія отъ водораздѣла *m*; при двойномъ удаленіи—ея будетъ вдвое больше, при тройномъ—втрое и т. д. Но такъ какъ размывающая и переносящая сила воды увеличивается въ большей пропорціи при увеличеніи массы воды, то механическій эффектъ въ *b* будетъ больше, чѣмъ вдвое, нежели при *a*, а при *c* больше, чѣмъ втрое, поэтому опусканіе всей породы, а слѣдовательно и поверхности при *c* будетъ больше, чѣмъ при *b*, при *b* больше, чѣмъ при *a*, и такъ какъ переходы постепенны, то въ результатѣ получимъ постепенно спускающійся, пологій склонъ, который будетъ опускаться по линіямъ *ma*, *mb* и т. д., пока не дойдетъ до *mf*. Такое закругленіе склоновъ можетъ быть и безъ водонепроницаемаго основанія, напр. въ случаѣ плоскихъ водораздѣловъ въ почвенной водѣ, какъ указано на стр. 225. Закругленіе и опусканіе склоновъ происходитъ всегда въ сторону стока воды и выхода ея на поверхность. Только такимъ дѣйствіемъ подземной воды возможно объяснить существованіе плоско-волнистой поверхности, характерной для многихъ низменностей, состоящихъ изъ новѣйшихъ рыхлыхъ

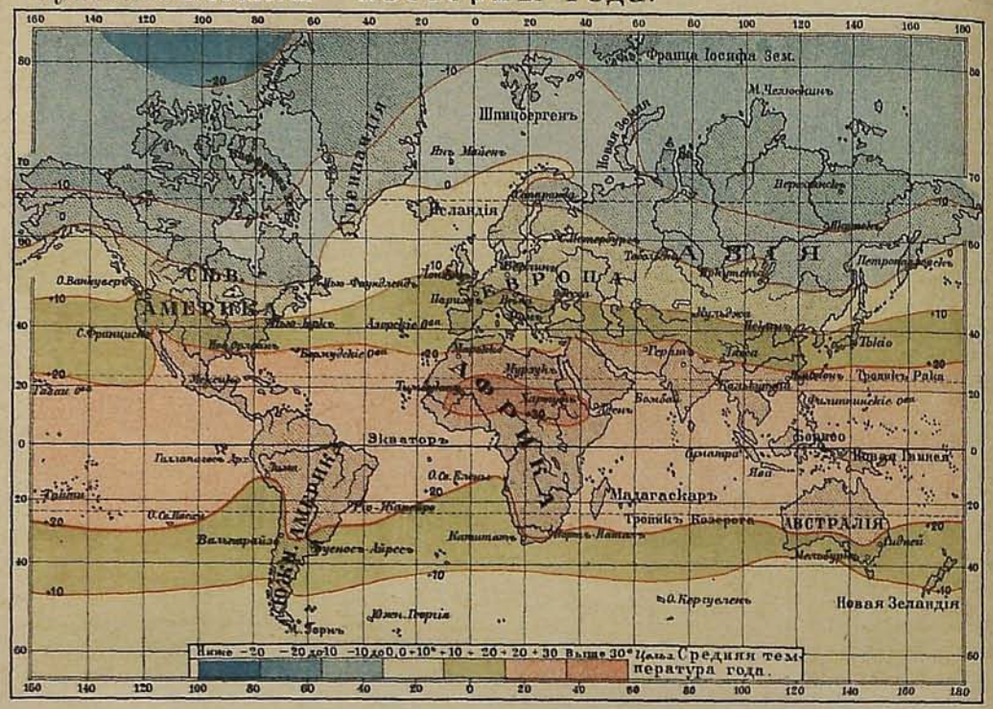
наносовъ и въ которыхъ наибольшія колебанія въ высотѣ между водораздѣломъ и уровнемъ проточныхъ водъ не превосходятъ нѣсколько сотъ футовъ. Размывъ поверхностными потоками не объясняетъ такихъ формъ рельефа, потому что поверхностныя воды собираются и прорываютъ обыкновенно опредѣленное ложе.

Такое дѣйствіе подземной воды яснѣе всего проявляется въ породахъ, обладающихъ свойствомъ давать вертикальные обрывы, напр. въ лёссѣ. Гдѣ развитъ лёссъ, тамъ, подъ вліяніемъ дѣятельности подземныхъ токовъ, вмѣсто постепенно спускающихся закругленныхъ склоновъ, которые образуетъ эта порода, располагаясь обыкновенно въ плоскихъ мульдахъ, получается, благодаря наклонности лёсса къ вертикальной отдѣльности, цѣлый рядъ небольшихъ террасъ (фиг. 229, см. также гл. II, фиг. 94, стр. 139), которыя, по мѣрѣ возвышенія къ водораздѣлу, становятся болѣе широкими, но менѣе высокими и, наконецъ, переходятъ почти въ совершенно ровный водораздѣлъ. Происхожденіемъ такихъ террасъ объясняется тотъ лабиринтовидный ландшафтъ, который свойственъ лёссовымъ областямъ, напр. въ Ферганѣ, на Бадамѣ, Ангренѣ и др. многихъ мѣстностяхъ Туркестана и Китая.

Закончивъ разсмотрѣніе подземной дѣятельности воды, мы видимъ, что она весьма разнообразна. Съ одной стороны она измѣняетъ породы, производитъ огромныя пустоты, съ другой — заполняетъ эти пустоты и нагромождаетъ цѣлыя горы на поверхности. Измѣняя породы, она обусловливаетъ движеніе ихъ и тѣмъ самымъ производитъ измѣненіе дислокаціи породъ, и оказываетъ непосредственное вліяніе на рельефъ мѣстности. Словомъ, подземная вода, преобразовывая внутренность земной коры, вмѣстѣ съ тѣмъ нерѣдко совершенно измѣняетъ внѣшній видъ отдѣльныхъ частей земной поверхности.

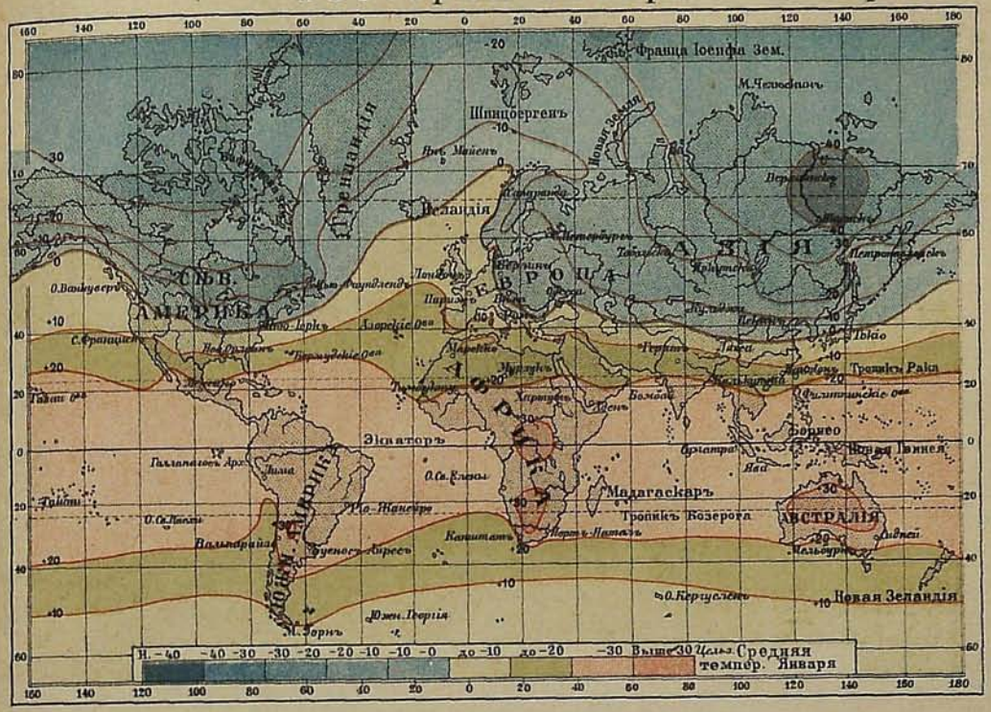
Мушкетовъ. Ф. Геологія

Изотермы года.

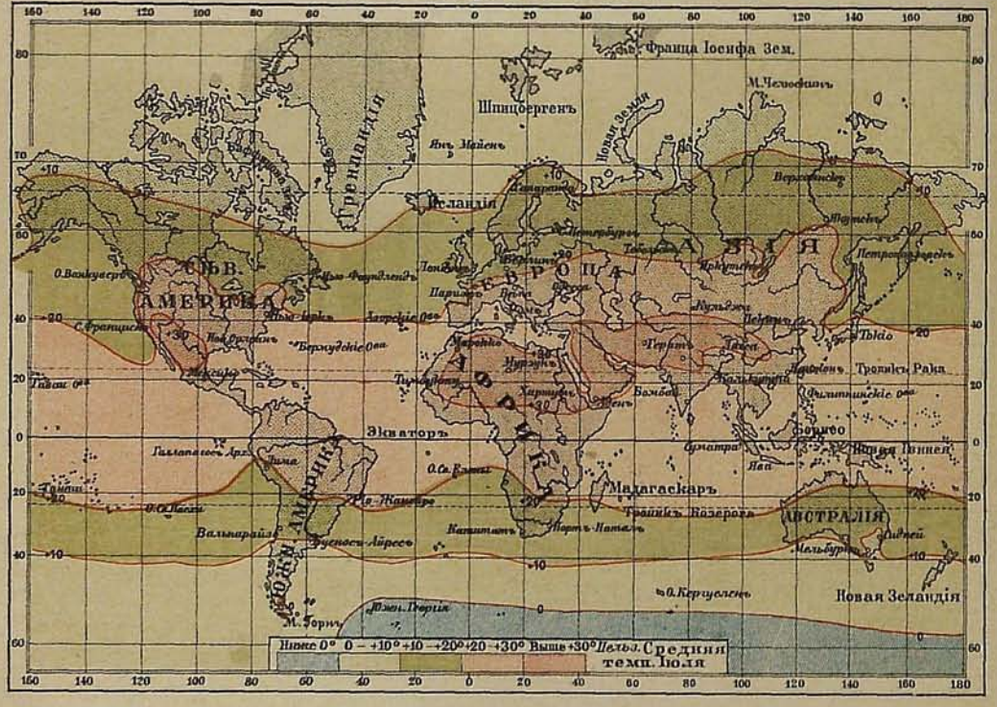


Изотермы Января.

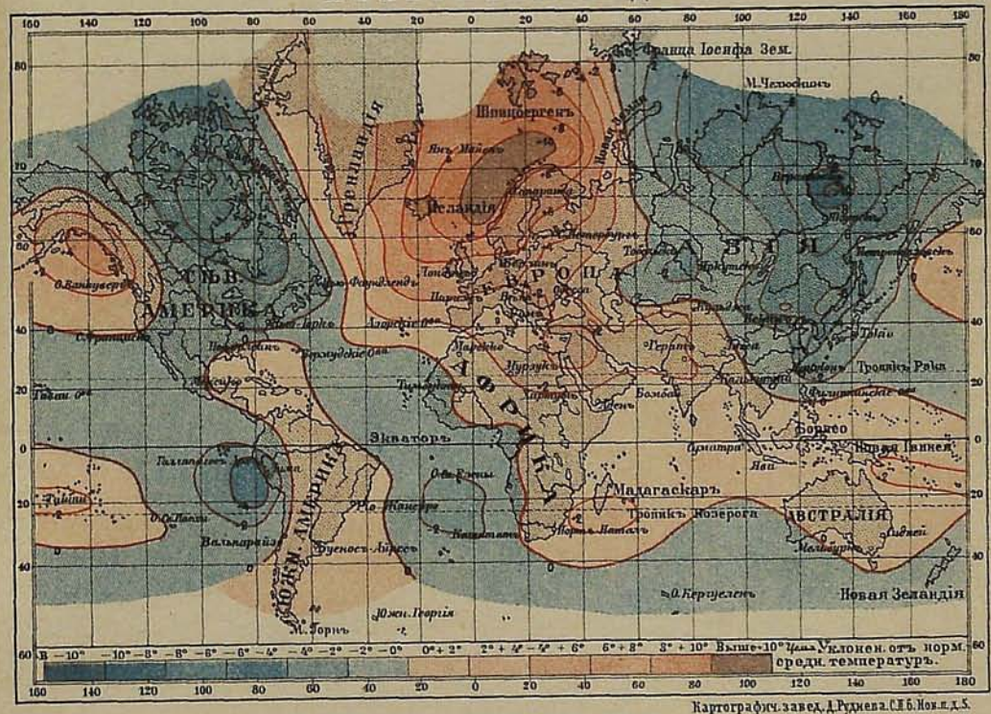
Карта № I.



Изотермы Іюля

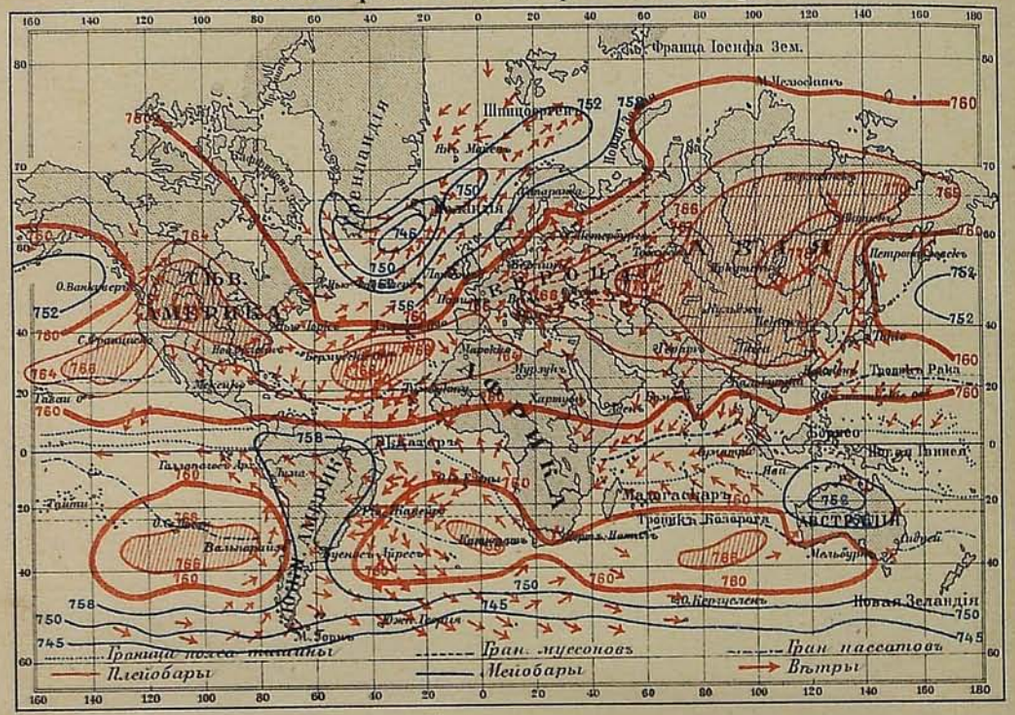


Изаномалы года.

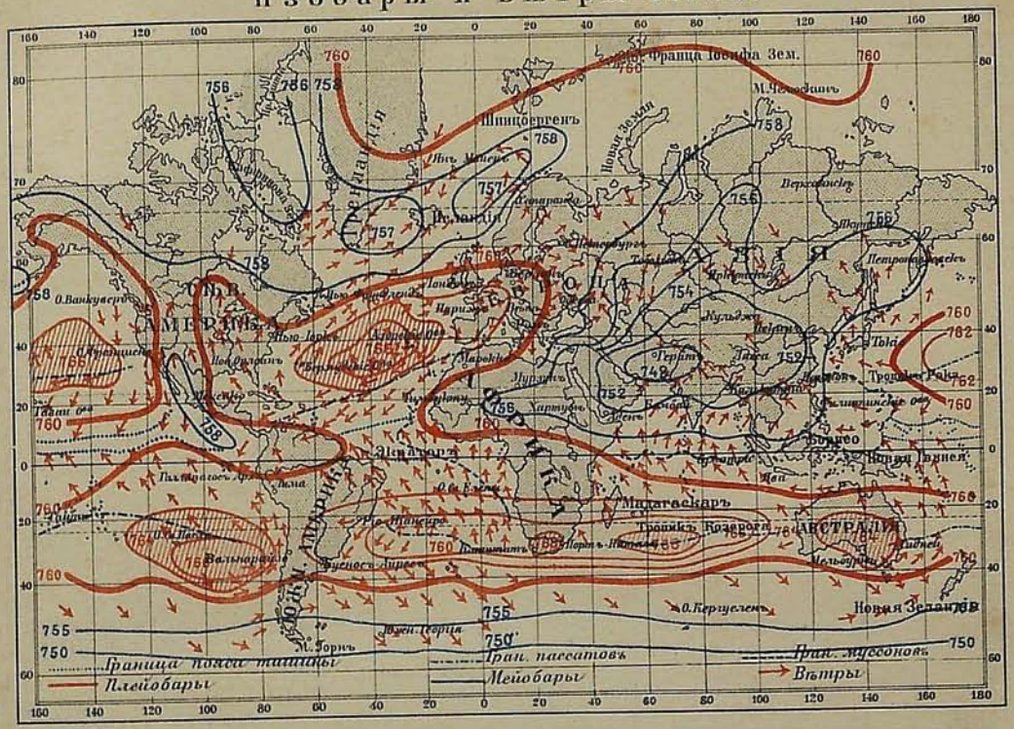


Картографич. завед. Д. Рудиева. С.Пб. Моск. п. д. 5.

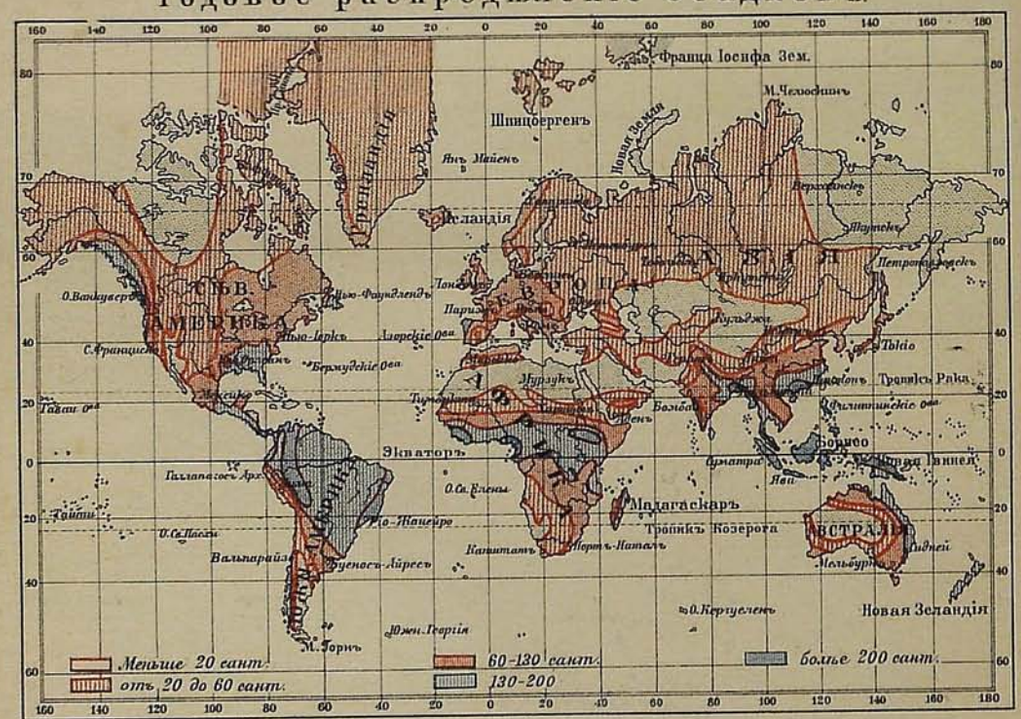
Изобары и вѣтры Января.



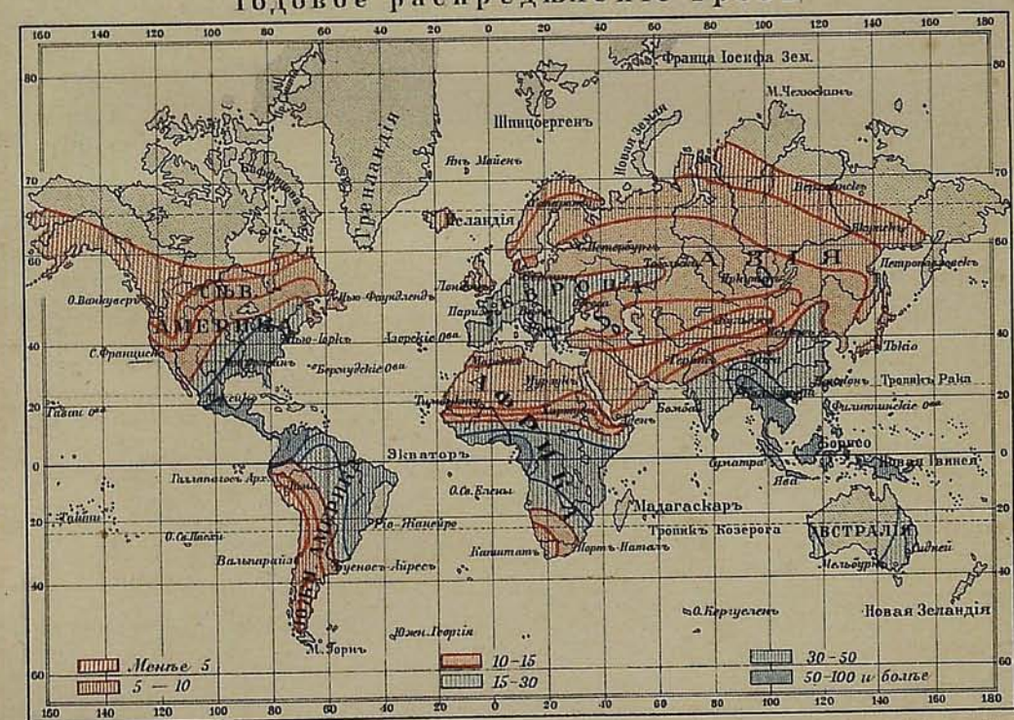
Изобары и вѣтры 1юля.



Годовое распредѣленіе осадковъ.



Годовое распредѣленіе грозъ.



Картографич. зав. Д. Ружева. Спб. Новолер. д. 5.

СХЕМАТИЧЕСКАЯ ПОЧВЕННАЯ КАРТА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССІИ.

Масштабъ
360 верстъ въ дюймѣ или 1: 1,500,000.

ОБЪЯСНЕНІЕ ЗНАКОВЪ.

1. Свѣтлобурыя почвы сухихъ степей; суглинки, супеси и глинистые пески.
2. Каштановыя земли и Черноземъ шоколадный.
3. Черноземъ обыкновенный и Черноземъ пухлый съ 10% гумуса.
4. Сѣверный (средне-русскій) черноземъ. Лѣсостепные и лѣсные суглинки. Деградированный черноземъ.
5. Дерновыя и подзолистыя почвы сѣверной и средней Россіи, съ преобладаніемъ то суглинистой, то супесчаной.
6. Песчаныя почвы слабоглинистые, хрящеватые, боровые дюнные, барханные (наносовеетскіе) пески.

ОБЪЯСНЕНІЕ ЗНАКОВЪ.

- Глинистая, Песчанистая и Торфяная тундра.
- Болота.
- Солонцы.
- Каменистыя почвы.
- Аллювіальныя почвы (поименно различнаго происхожденія).
- Южная граница морениыхъ наносовъ.

Картографич. завед. Д. Ушакова СПБ. Изд. т-ва

КАРТА
НОВѢЙШИХЪ ОБРАЗОВАНІЙ
(Grund und Boden).

I.
Эоловіальныя образованія–44% суши.
- Преобладающая глина.–18%.
- Осыпи и розсыпи въ горахъ.–1%
- Латеритъ.–25%.

II.
Равновѣсіе въ разрушеніи и удаленіи–4%.

III.
Преобладающія обнаженія 11%.
(Каменистая почва).
- Эоловыя или развѣваніе – 6%.
- Ледниковыя или выпахиваніе – 5%.

IV.
Преобладающія отложенія–42%.
- Лёссъ – 4%.
- Мелкоземныя отл. степей 17%
- Соленосная почва.

Осадки на днѣ океановъ.
- Континентальныя отложенія (песокъ, синій и зеленый илъ, вулканическіе продукты). 42 милл. кв. кил.
- Коралловый песокъ. – 7 милл.
- Діатомеевый илъ. — 28,3.
- Глобигериновый илъ. – 128,8.
- Птероподовый илъ. – 1.
- Радіоляріевый илъ. – 5,9.
- Красная глина (клуб. м.) – 133,4 милл.

- Ледниковыя отл. – 8%
- Моренія накопленія.
- Рѣчныя и оз. отл. – 5%.
- Летучій песокъ – 7%.
- Вулканическія накопленія – 1%.

Карт. зав. Д. Руднева Новый пер. д. 5 СПБ

Изданіе Института Инженеровъ Путей Сообщенія Императора Александра I.

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГІЯ.

Томъ II.

ДЕНУДАЦІОННЫЕ ПРОЦЕССЫ.

Выпускъ II.

(ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДѢЯТЕЛЬНОСТЬ ПРОТОЧНОЙ ВОДЫ, ОЗЕРЪ, МОРЯ И ЛЬДА).

ВТОРОЕ ИЗДАНІЕ,

ЗНАЧИТЕЛЬНО ПЕРЕДѢЛАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ.

И. В. Мушкетовъ,

Профессоръ Горнаго Института Императрицы Екатерины II.

ПЕРЕРАБОТАЛЪ И ДОПОЛНИЛЪ

К. И. БОГДАНОВИЧЪ,

Преподаватель Института Инженеровъ Путей Сообщенія Императора Александра I и бывшій профессоръ Горнаго Института.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая, № 9.
1905.

Печатано по распоряженію Института Инженеровъ Путей сообщенія Императора АЛЕКСАНДРА I.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

стр.

Глава V. Дѣятельность проточной воды на поверхности земли. 361

Смываніе . . . 366

Размываніе . . . 369

Вліяніе различныхъ особенностей потоковъ и рѣкъ на размываніе . . . 387

Движеніе и скорость воды въ рѣкахъ . . . —

Переносъ матеріала рѣками . . . 390

Вліяніе геологическаго строенія на размываніе . . . 397

Размываніе въ массивныхъ, горизонтальныхъ или мало наклоненныхъ породахъ . . . 398

Овраги . . . 400

Водопады . . . 404

Размываніе въ породахъ съ нарушеннымъ пластованіемъ . . . 417

Вліяніе трещинъ на размываніе . . . 424

Вліяніе процессовъ дислокаціи, перемѣнъ климата и поверхности геоида на размываніе . . . 426

Отложеніе . . . 430

Коническіе наносы и каменныя поляны . . . —

Внезапные или бурные потоки . . . 431

Отложеніе въ руслѣ рѣкъ . . . 440

Рѣчныя террасы . . . 446

Дельты . . . 452

Озерныя дельты . . . 453

Морскія дельты . . . 455

Характеръ и свойство поверхности дельтъ . . . 458

Мощность и составъ отложеній въ дельтахъ . . . 460

Древность дельтъ . . . 466

Условія географическаго распредѣленія дельтъ . . . 468

Развитіе рѣчныхъ системъ и связанныя съ этимъ нѣкоторыя формы рельефа земной поверхности . . . 471

Вліяніе пассивное тектоническихъ причинъ . . . 472

Циклы эрозіи . . . 474

Пенепленъ . . . 476

Активное вліяніе тектоническихъ условій . . . 477

Активное вліяніе орогеническихъ причинъ . . . 478

Послѣдовательность цикловъ эрозіи . . . 480

Разнообразіе гидрографическихъ системъ (генетическая классификація) . . . 483

Глава VI. Стоячія воды суши. Озера . . . 489

Плотинныя озера . . . 493

Котловинныя озера . . . 497

Кара-бугазъ . . . 508

стр.

Составъ озерной воды и нѣкоторыя ея физическія свойства . . 511
Русскія соленыя озера и отложенія въ нихъ 516
Крымскія озера 519
Озера Каспійской области 523
Отложеніе солей 527
Мертвое море 531
Большое соляное озеро 532
Геологическое значеніе соленыхъ озеръ . . . . . —
Временность существованія озеръ 533

Глава VII. Дѣятельность моря 535
Свойства морской воды 536
Температура 537
Соленость 541
Плотность 545
Цвѣтъ и прозрачность 546
Движеніе морской воды 547
Морскія волны . . . . . —
Приливы и отливы 549
Морскія теченія 554
Механическая дѣятельность прибоя волнъ и теченій 559
a) Разрушеніе дѣятельностью прибоя волнъ . . . . . —
b) Разрушеніе, производимое приливными теченіями 570
Намываніе 572
Вліяніе поднятія и опусканія суши на механическую дѣятельность моря 584
Вліяніе поднятія . . . . . —
Вліяніе опусканія (абразія) 585
Образованіе подводныхъ долинъ. Фіорды 589
Берега типа ріасъ 592
Типъ далматскій 593
Вѣроятное разрушеніе береговъ дѣятельностью моря . . . . . —
Отложенія оставляемыя моремъ 594
Отложенія верхней береговой зоны . . . . . —
Прибрежныя отложенія (осадки мелководнаго и болѣе глубокаго моря). Терригеновыя 596
Песчаная зона 597
Континентальная зона иловъ 598
Составъ иловъ 599
Пелагическія отложенія 601
Органическіе илы . . . . . —
Красная глина глубокаго моря 604
Общія замѣчанія о геологической дѣятельности моря 610
Разнообразіе матеріала морскихъ отложеній . . . . . —
Разнообразіе синхроническихъ морскихъ отложеній 612
Распространеніе терригеновыхъ отложеній среди геологическихъ образованій 614
Постоянство материковыхъ массивовъ и океаническихъ впадинъ . 615
Скорость образованія осадочныхъ породъ 616
Химическая дѣятельность моря 617
Испареніе морской воды 618
Залежи каменной соли . . . . . —
Новыя данныя объ испареніи морской воды 626
Различныя мѣсторожденія каменной соли 631

стр.

Цементація и образованіе доломита 632
Образованіе нефти по Оксеніусу 633

Глава VIII. Дѣятельность льда 635
Почвенный ледъ . . . . . —
Рѣчной и озерный ледъ 637
Донный ледъ 640
Вскрытіе и замерзаніе рѣкъ и озеръ 641
Дѣятельность рѣчного льда 642
Наледи или тарыны 647
Морской ледъ 649
Ледяныя поля . . . . . —
Ледяныя горы 652
Снѣгъ 654
Снѣговая линія 655
Лавины 661
Ледники 664
Формы ледниковъ или типы оледенѣнія 665
Альпійскій типъ . . . . . —
Типъ внутреннихъ ледниковыхъ покрововъ 671
Типъ ледника Маляспина 674
Условія развитія и географическаго распространенія ледниковъ 674
Орографическія условія . . . . . —
Климатическія условія 675
Климатъ полярныхъ областей 681
Примѣры ледниковыхъ областей 683
Альпы . . . . . —
Пиренеи . . . . . —
Кавказъ 684
Тянь-шань, Памиръ, Сибирь 685
Каракорумъ и Гималай 687
Ледниковыя области Америки 690
Новая Зеландія 692
Скандинавія 693
Исландія 695
Гренландія 696
Новая Земля 701
Южная около-полярная область . . . . . —
Образованіе ледниковъ 702
Снѣгъ высокихъ областей 703
Фирнъ . . . . . —
Фирновая граница 707
Ледъ ледниковъ 708
Зернистость льда . . . . . —
Полосчатость льда; огивы 713
Температура льда ледниковъ 715
Движеніе ледниковъ 717
Измѣненіе скорости отъ краевъ къ серединѣ 719
Измѣненіе движенія въ продольной профили ледника 723
Миграція центра 724
Боковое движеніе. Линіи движенія 725
Вліяніе наклона . . . . . —

стр.

Вліяніе поперечнаго сѣченія 726
Измѣненіе скорости движенія ледника на глубинѣ 728
Заключеніе 729
Трещины 730
Слоистость и полосчатость 736
Ложкообразное расположеніе полосчатости 738
Явленія полосчатости и слоистости на ледникахъ типа внутренняго покрова 738
Причины и слѣдствія убыли ледниковъ 742
Верхняя убыль . . . . . —
Нижняя и внутренняя убыль 745
Айсберги 747
Механическая дѣятельность ледниковъ 749
Морены 750
Матеріалъ моренъ . . . . . —
Подледниковое вывѣтриваніе 751
Перемѣщаемыя морены 754
Отложенныя морены 764
Особенные случаи морены 768
Флювіогляціальныя образованія 770
Ледниковое выпахиваніе 773
Колебаніе ледниковъ 782
Годовыя колебанія 783
Крупныя періодическія колебанія 784
Вліяніе орографическихъ условій на колебанія ледниковъ 788
Ледниковыя катастрофы 790
Теоріи движенія ледниковъ 793
I. Теоріи самостоятельнаго движенія 794
II. Теоріи тяжести 795
Теоріи пластичности 796
a) Теорія Форбса 797
b) Теорія разжиженія Томсона 799
c) Теорія разжиженія Кролля . . . . . —
d) Теорія режеляціи Тиндаля 800
Современные взгляды на причину движенія ледниковъ 801
Теорія пластичности льда 802
Теорія Финстервальдера 807
Теорія разжиженія Дригальскаго 812
Теорія Крамера 815
Мнѣнія Чэмберлена и другихъ американскихъ и англійскихъ гляціалистовъ 815
Мнѣніе Рихтера 819

Глава VIII (продолженіе). Ледниковая эпоха 822
Общій характеръ ледниковой эпохи 823
Ледниковыя отложенія Альпъ 825
Комплексы и серіи ледниковыхъ отложеній . . . . . —
Другіе слѣды прежняго распространенія ледниковъ въ Альпахъ . 828
Кары . . . . . —
Корытообразныя долины 829
Альпы въ эпоху оледенѣнія 830
Сѣверно-европейская (скандинаво-русская) область оледенѣнія . . 832
Ледниковыя отложенія . . . . . —

стр.

Моренныя 832
Флювіогляціальныя и другія отложенія изъ воды 834
Доказательства ледниковаго происхожденія валунной глины и части слоистыхъ образованій сѣверно-европейской области 835
Вліяніе оледенѣнія на подпочву . . . . . —
Основная морена 837
Мѣстныя фаціи валунной глины и нарушенія залеганія ея рыхлаго основанія 838
Формы рельефа, опредѣляемыя ледниковыми отложеніями . . 839
Моренный ландшафтъ и моренная равнина . . . . . —
Ландшафтъ конечныхъ моренъ 844
Стратиграфическія отношенія ледниковыхъ отложеній сѣверной области оледенѣнія 850
Происхожденіе различныхъ формъ поверхности, опредѣляемыхъ ледниковыми отложеніями 858
Моренный ландшафтъ и моренная равнина . . . . . —
Конечныя морены 861
Друмлины 862
Щебневые холмы 863
Озы 864
Полыя формы рельефа 866
Впадины и озера . . . . . —
Диловіальныя рѣчныя долины 867
Географическое распространеніе древнихъ ледниковыхъ областей . . . . . —
Область Тимано-Уральскаго ледника . . . . . —
Кавказъ 868
Пиренеи 869
Азія . . . . . —
Сѣверная Америка 872
Тропическій поясъ и Южное полушаріе 874
Плювіальный періодъ 876
Заключеніе 877
Причины ледниковой эпохи (геологическіе климаты) 878
Методы возстановленія палеотермальныхъ условій 879
Вѣроятныя климатическія измѣненія въ послѣдовательные геологическіе періоды 883
Однообразіе въ распредѣленіи тепла въ теченіе палеозойской и мезозойской эръ . . . . . —
Ледниковая эпоха конца палеозоя 885
Измѣненія климатическихъ условій въ концѣ мезозойской эры. 887
Обособленіе климатическихъ широтныхъ поясовъ въ кенозойскую эру 889
Общія замѣчанія 891
Гипотезы, которыми объясняютъ колебанія климата земли . . 893
Астрономическія . . . . . —
Космическія 894
Теллурическія 897
Практическое приложеніе геологіи ледниковыхъ отложеній . . 900
Нѣсколько замѣчаній о приложеніи геологіи къ инженерному дѣлу 904

ГЛАВА V.

Дѣятельность проточной воды на поверхности земли.

Проточныя воды на земной поверхности питаются прежде всего тою частью атмосферныхъ осадковъ, которая не успѣла испариться или проникнуть внутрь земной коры, кромѣ того—водою, происходящею отъ таянія снѣга и льда, и, наконецъ, источниками, выходящими на дневную поверхность послѣ подземной циркуляціи. Получая питаніе на значительной площади, проточныя воды появляются сначала въ видѣ безчисленнаго множества мелкихъ ручейковъ, которые, въ силу закона тяжести, стремятся изъ высоколежащихъ мѣстъ въ самыя низкія. Мелкіе ручейки, постепенно соединяясь между собою, образуютъ небольшіе потоки или рѣчки, а послѣднія, слѣдуя тому же закону, составляютъ большіе потоки или рѣки. Главная рѣка со всѣми составляющими ее притоками называется рѣчной системой, а площадь, занимаемая ею, рѣчнымъ бассейномъ. Рѣки, стремясь въ самыя низменныя части земной поверхности, достигаютъ моря или безъисточнаго материковаго озера, или же теряются въ рыхлой почвѣ, напр., въ пескахъ, что̀ и дало поводъ еще К. Риттеру раздѣлить рѣки на океаническія и континентальныя. Такимъ образомъ изъ множества отдѣльныхъ потоковъ, въ концѣ концовъ, получается сравнительно небольшое число главныхъ водяныхъ жилъ, при посредствѣ которыхъ атмосферныя воды снова возвращаются въ свой первоначальный питомникъ, т.-е. въ океанъ.

Рѣки, питаясь главнымъ образомъ, атмосферою, могутъ быть разсматриваемы, какъ продуктъ климата. При другихъ равныхъ условіяхъ страна будетъ тѣмъ богаче текучими водами, чѣмъ обильнѣе въ ней осадки, чѣмъ менѣе испареніе и просачиваніе въ почву, а слѣдовательно, наоборотъ, въ странахъ мало изслѣдованныхъ по количеству, величинѣ рѣкъ и по періодичности ихъ разлива можно судить о количествѣ осадковъ и времени ихъ выпаденія, если только рѣки не питаются таяніемъ снѣга и льда. Въ силу такой связи нѣкоторые метеорологи раздѣляютъ рѣки на нѣсколько главныхъ группъ въ зависимости отъ климата.

Нашъ извѣстный метеорологъ А. И. Воейковъ [1]) различаетъ слѣдующіе главные типы рѣкъ въ зависимости отъ климата:

А. — Рѣки получаютъ воду отъ таянія снѣга на равнинахъ и на невысокихъ горахъ, до 1000 метровъ. Хотя въ чистомъ видѣ этотъ типъ не существуетъ, но приближеніе къ нему представляютъ рѣки Сѣверной Сибири и Америки.

В.—Рѣки получаютъ воду отъ таянія снѣга въ горахъ; также въ чистомъ видѣ находятся рѣдко: лучше всего онѣ проявляются въ Азіи, напр. рр. Сыръ-дарья, Аму-дарья, Таримъ, Верхній Индъ и др.

C.—Рѣки, получающія воду отъ дождей и имѣющія половодье въ лѣтнее время. Сюда принадлежатъ рѣки въ странахъ съ тропическими дождями и дождями муссоновъ, напр. Оринноко, отчасти Амазонка, Нилъ, Гангъ и Брамапутра, Голубая рѣка, Амуръ и др.

D.—Рѣки, имѣющія половодье вслѣдствіе таянія снѣга весной или въ началѣ лѣта, причемъ, однако, значительная часть водъ рѣки доставляется дождями. Это типъ странъ съ суровой и съ снѣжной зимой, напр. сюда принадлежатъ Сѣверная и Западная Сибирь, вся Европейская Россія, Скандинавія, Восточная Германія, сѣверная часть Соединенныхъ Штатовъ. Въ этой полосѣ находится много озеръ, которыя вліяютъ на характеръ рѣкъ. Въ Южномъ полушаріи этотъ типъ не встрѣчается.

E.—Вода въ рѣки доставляется дождями; она выше въ холодные мѣсяцы года, но правильное періодическое измѣненіе невелико. Этотъ типъ преобладаетъ въ Средней и Западной Европѣ, напр. Везеръ, Маасъ, Шельда, Сена, часть Луары, Эльбы, Рейна

F.—Вода доставляется дождями; она выше въ холодное время года, чѣмъ лѣтомъ, и разница значительна. Этотъ типъ преобладаетъ въ Южной Европѣ, частью Средней Азіи, Персіи, Сиріи, въ Сѣверной Африкѣ, Калифорніи, Западной Австраліи.

H и G.—Періодически существующія рѣки и рѣки совершенно отсутствуютъ; въ сухихъ странахъ съ ничтожнымъ количествомъ атмосферныхъ осадковъ.

J.—Рѣки замѣняются ледниками съ ихъ подледниковыми водотеками.

О. Пешель [2]) раздѣляетъ рѣки на продольныя и поперечныя въ зависимости отъ положенія ихъ относительно горныхъ кряжей. Э. Реклю [3]) различаетъ рѣки въ зависимости отъ конфигураціи и климатическихъ особенностей материковъ и т. д. Всѣ эти подраздѣленія, разумѣется, имѣютъ то или другое значеніе, но ни одно изъ нихъ не можетъ претендовать на роль сколько-нибудь совершенной классификаціи, потому что всѣ они основаны, на какихъ-нибудь единичныхъ частныхъ признакахъ, а не на суммѣ ихъ, обусловливаемой генезисомъ рѣкъ.

Нѣкоторые ученые пытались опредѣлить, хотя бы приблизительно, количество воды, обращающейся во всѣхъ рѣкахъ земного шара, но результаты, полученные ими, далеки еще отъ желаемой точности.

Въ слѣдующей таблицѣ [4]) сведены данныя Кейтъ Джонсона, Э. Реклю и А. И. Воейкова.

	Количество рѣчной воды: въ куб. метр. въ 1″.	въ куб. килом. въ годъ.	Стокъ съ □ метра.	Соотвѣтствующее количество осадковъ въ годъ — въ сантим.
Джонсонъ . .	2.000.000	56,000	58	232
Реклю . . .	1.000,000	26,000	29	118
Воейковъ . .	600,000	16,800	17,4	69,6

Эти числа весьма рѣзко разнятся между собою; наименьшее изъ нихъ—Воейкова, какъ основанное на болѣе точныхъ данныхъ, ближе къ истинѣ; тѣмъ не менѣе самъ авторъ считаетъ его преувеличеннымъ, т.-е. дѣйствительное количество рѣчной воды, стекающей въ годъ,—менѣе, чѣмъ 16,800 куб. килом. Неточность въ опредѣленіи общаго количества рѣчной воды зависитъ отъ того, что до сихъ поръ весьма немного рѣкъ на земномъ шарѣ, особенно изъ самыхъ большихъ, изучены съ достаточною полнотою; громадное большинство совершенно не подвергалось изслѣдованію, и сужденіе о количествѣ проносимой ими воды можетъ быть только весьма приблизительное. Чтобы опредѣлить характеръ рѣки и омываемой ею долины, а также выяснить существенныя особенности дѣятельности ея, необходимо прослѣдить исторію развитія ея и сдѣлать многочисленныя наблюденія надъ количествомъ воды въ разное время, въ разныхъ частяхъ рѣки въ горизонтальномъ и вертикальномъ направленіи. Только тогда можно судить обо всѣхъ измѣненіяхъ, происходящихъ въ рѣкѣ, и о количествѣ работы ея.

Работа текучей воды хотя и основана на весьма простыхъ законахъ, но результаты ея весьма разнообразны и зависятъ отъ весьма сложныхъ условій, кроющихся, какъ въ характерѣ самихъ потоковъ, такъ въ физическихъ особенностяхъ, геологическомъ составѣ мѣстности и, наконецъ, въ измѣненіяхъ, которымъ съ теченіемъ времени подвергаются тѣ и другіе

Въ геологическомъ отношеніи дѣятельность проточной воды имѣетъ громадное значеніе, потому что она обусловливаетъ не только оконча-

тельную моделировку рельефа поверхности, но и перемѣщеніе громадныхъ массъ минеральнаго матеріала. Если дѣятельность подземной воды, какъ мы видѣли, выражается, главнымъ образомъ, въ химическихъ измѣненіяхъ породъ, то проточныя воды на поверхности преимущественно производятъ механическія разрушенія; химическое вліяніе ихъ несравненно меньше механическаго, которое отличается и силою, и разнообразіемъ.

Каждая частица текучей воды, упавшая изъ атмосферы на поверхность земли, обладаетъ потенціальною силою, которая теоретически эквивалентна работѣ, производимой этою частицею, при свободномъ паденіи съ извѣстной высоты атмосферы до уровня моря; съ другой стороны, сила эта равна работѣ солнечныхъ лучей, поднявшихъ частицу въ атмосферу. Сила эта распредѣляется неравномѣрно, потому что атмосферная вода возвращается въ океанъ не свободнымъ паденіемъ, а по наклонной плоскости поверхности земли. Если бы она при своемъ теченіи не преодолѣвала никакого сопротивленія, то она скатывалась бы равномѣрноускорительно, даже въ тѣхъ случаяхъ, если бы наклонъ не измѣнялся на весьма большомъ протяженіи; но такъ какъ она встрѣчаетъ разнообразныя сопротивленія, на преодолѣніе которыхъ должна затрачивать извѣстную работу, въ различныхъ мѣстахъ разную, въ зависимости отъ паденія, то она двигается равномѣрно. При переходѣ черезъ отвѣсную стѣну или обрывъ, она слѣдуетъ закону свободнаго паденія тѣлъ и вся работа ея концентрируется при подошвѣ стѣны; въ противномъ случаѣ работа эта распредѣляется на большемъ или меньшемъ пространствѣ: въ каждомъ данномъ мѣстѣ проточная вода обладаетъ механическою силою, пропорціональною ея массѣ и квадрату скорости. Если сопротивленіе встрѣчающихся на пути твердыхъ тѣлъ будетъ меньше ея силы, то тѣла эти приводятся въ движеніе и уносятся проточной водой до тѣхъ пунктовъ, гдѣ уменьшеніе паденія не ослабитъ механической силы проточной воды; тамъ твердыя частицы, сопротивленіе которыхъ превыситъ уменьшенную силу воды, осядутъ на дно; гдѣ паденіе проточной воды, а слѣдовательно и движеніе ея, равно нулю, тамъ будутъ осѣдать всѣ захваченныя на пути твердыя частицы, хотя съ различною быстротою.

Проточная вода, захватывая твердыя частицы, разумѣется, затрачиваетъ на перенесеніе ихъ съ одного мѣста на другое нѣкоторую работу и тѣмъ самымъ ослабляетъ свою силу, но вмѣстѣ съ тѣмъ захваченныя твердыя частицы увеличиваютъ ея разрушительную силу, такъ какъ при посредствѣ ихъ текучая вода можетъ оказывать несравненно большее истирающее вліяніе на породы; это легко понять изъ сравненія напора на берега волнъ чистой воды или воды съ плавающими льдинами или даже деревьями; во второмъ случаѣ разрушительное дѣйствіе напора будетъ несравненно сильнѣе. При посредствѣ твердыхъ частицъ, какъ удѣльно тяжелѣйшихъ, текучая вода истираетъ и даже шлифуетъ самыя плотныя породы и образуетъ еще болѣе оригинальныя скалы, нежели, какъ мы видѣли, истирающая сила вѣтра.

Изъ этого видно, что механическая работа воды весьма разнообразна и можетъ быть подраздѣлена на четыре категоріи:

1) Разрушеніе (Ablation oder Löslösung) прямымъ дѣйствіемъ текучей воды; напр., это отчетливо наблюдается при выпаденіи каждаго дождя на рыхлую почву или въ быстрыхъ горныхъ потокахъ, которые отрываютъ большія глыбы твердыхъ породъ и образуютъ въ нихъ бо́льшія или меньшія рытвины.

2) Переносъ (Transport) разрыхленнаго матеріала въ видѣ химически связанныхъ или механически примѣшанныхъ къ текучей водѣ твердыхъ частицъ.

3) Обтачиваніе и шлифованіе (Corrasion) твердыми частицами дна и боковъ русла. Оно, кромѣ того, доставляетъ водѣ новый матеріалъ для переноса.

4) Отложеніе (Ablagerung) унесенныхъ твердыхъ частицъ въ другихъ мѣстахъ, болѣе или менѣе удаленныхъ отъ мѣста размыва.

Первоначально первый и третій родъ дѣятельности воды часто не различали и обозначали общимъ терминомъ размыванія (Erosion).

Теперь, какъ мы говорили, подъ этимъ терминомъ понимаютъ совокупность первыхъ трехъ процессовъ.

Четыре упомянутые рода дѣятельности проточной воды были впервые оттѣнены Рихтгофеномъ (Führer etc., 1886), какъ отдѣльные факторы механической работы воды. Установленному имъ термину абляція съ тѣхъ поръ стали придавать различное значеніе. Вальтеръ (Lithogenesis der Gegenwart, 1894) расширилъ это понятіе, придавъ ему чисто теоретическое значеніе, какъ момента отдѣленія вывѣтрѣлыхъ частицъ отъ всей массы породы подъ вліяніемъ живой силы какого-нибудь транспортирующаго фактора (вѣтра, проточной воды, моря, ледника). Результаты такого отдѣленія или убыли на поверхности земли можно видѣть лишь послѣ того, какъ наступитъ и переносъ (транспортъ) такого разрыхленнаго матеріала, поэтому онъ и разсматриваетъ абляцію совмѣстно съ переносомъ, который въ то же время сопровождается явленіями обтачиванія, истиранія и разрушенія горныхъ породъ передвигаемыми частицами, т. е. корразіей. Совокупность трехъ нераздѣльныхъ стадій, какъ абляція, транспортъ и корразія, одного общаго процесса Вальтеръ и предлагаетъ называть денудаціей. Онѣ составляютъ фазы новообразованія горныхъ породъ или литогенезиса, полная схема котораго по Вальтеру имѣетъ слѣдующій видъ:

1. Вывѣтриваніе (механическое, химическое, органическое)
2. Абляція (убыль)
3. Переносъ (транспортъ)
4. Корразія (разрушеніе)

денудація:
- I. Вѣтромъ—дефляція (развѣваніе).
- II. Проточной водой—эрозія (размываніе).
- III. Ледниками—экзарація (выпахиваніе).
- IV. Моремъ—абразія.

5. Отложеніе.
6. Діагенезисъ.
7. Метаморфизмъ.

Новообразованіе горной породы не всегда обнимаетъ всѣ эти фазы; оно можетъ закончиться и на вывѣтриваніи (элювіальныя образованія), можетъ начаться съ переноса и закончиться отложеніемъ (лава), можетъ начаться съ отложенія и закончиться діагенетическимъ измѣненіемъ (коралловый известнякъ и доломитъ); наиболѣе полно схема выражается въ образованіи измѣненныхъ метаморфизмомъ обломочныхъ породъ, напр.

глинистаго сланца, когда процессъ начинается съ вывѣтриванія какихъ-нибудь древнѣйшихъ породъ, продолжается денудаціей, отложеніемъ, измѣненіемъ иловатаго осадка діагенезисомъ въ твердую массу (частью молекулярное, частью химическое измѣненіе) и заканчивается развитіемъ кливажа подъ вліяніемъ механическаго давленія при тектоническихъ процессахъ. Если бы мы захотѣли выразить въ числахъ равновѣсіе между денудаціей, напр., дѣйствіемъ проточной воды, и отложеніемъ то должны были бы сказать, что денудація равная отложенію = убыли на поверхности земли (абляція) + корразія рѣчныхъ руселъ; слѣдовательно, если бы мы могли выразить въ числахъ, къ чему геологія и стремится, убыль поверхности земли въ предѣлахъ, напр., рѣчной системы выше горизонта воды въ рѣкахъ, то эта убыль выразила бы только одно изъ слагаемыхъ отложенія. Значитъ, нельзя отождествлять абляцію и денудацію.

Пенкъ (Morphologie der Erdoberfläche, 1894) терминy абляція придалъ нѣсколько иное значеніе, отождествляя его, частью согласно съ Рихтгофеномъ, съ денудаціей дѣйствіемъ дождя, т. е. непостоянныхъ потоковъ воды (pluviale Denudation). Разрыхленный матеріалъ на поверхности горныхъ породъ только при извѣстныхъ углахъ наклона можетъ начать перемѣщаться подъ вліяніемъ силы тяжести, отчего возникаютъ явленія осыпей и обваловъ, или массоваго движенія, какъ опредѣляетъ Пенкъ. При болѣе пологихъ углахъ наклона вода каждаго дождя, каждой струйки отъ таянія снѣга прилагаетъ свою живую силу къ такому матеріалу, который, предоставленный самому себѣ, только въ силу тяжести, не способенъ еще ни скользить, ни скатываться. Вода увлекаетъ при этомъ не только всѣ мелкія частицы, но способствуетъ движенію также и болѣе крупнаго матеріала, подмывая его. Этотъ родъ передвиженія рыхлаго матеріала уже подъ вліяніемъ совмѣстно живой силы воды и силы тяжести имѣетъ огромное геологическое значеніе, подготовляя матеріалъ для перемѣщенія его рѣками. Онъ является какъ бы переходнымъ между массовымъ движеніемъ и массовымъ переносомъ и названъ Пенкомъ смываніемъ (Abspülung, Ablation, также degradation по Дэна).

При такомъ опредѣленіи смыванія, оно понимается, какъ самостоятельный геологическій процессъ, который можетъ сопровождаться и корразіей, и отложеніемъ. Онъ отличается отъ размыванія рѣками только своимъ распространеніемъ въ ширину, подобно явленіямъ осыпей; работа же рѣкъ и ручьевъ, т. е. постоянныхъ или временныхъ, но сосредоточенныхъ водныхъ потоковъ развивается въ глубину. Смываніе дѣйствуетъ на поверхность земли какъ напилокъ, а рѣки, какъ пила. Такъ какъ для дѣятельности проточной воды, на всемъ ея пути отъ выпаденія въ видѣ атмосфернаго осадка до устья въ море, убыль съ поверхности земли подъ вліяніемъ этой работы выражается главнымъ образомъ, какъ результатъ смыванія, то до нѣкоторой степени и можно отождествлять смываніе съ абляціей. При такомъ вполнѣ конкретномъ представленіи о процессѣ абляціи, этотъ терминъ теряетъ широкое значеніе, какое ему старался придать Вальтеръ; очевидно, что въ дѣятельности вѣтра, моря, ледниковъ нельзя отличить процесса абляціи въ смыслѣ, устанавливаемомъ Пенкомъ. Если же понимать подъ терминомъ абляція собственно

разрушеніе или убыль горныхъ породъ дѣйствіемъ развѣванія, абразіи и выпахиванія, какъ это изложено въ общемъ обзорѣ денудаціонныхъ процессовъ (стр. 1—14), то понятіе о денудаціи вполнѣ покрываетъ такое представленіе объ абляціи, ибо денудація и выражается въ извѣстной убыли, непосредственно заканчиваясь отложеніемъ. Абляція въ смыслѣ Вальтера не есть и отдѣльная фаза литогенетическаго процесса; такими фазами можно считать дѣйствительно вывѣтриваніе, перемѣщеніе, отложеніе, діагенезисъ и метаморфизмъ, т. е. такія явленія, которыя представляютъ извѣстныя видоизмѣненія массы или вещества. Обособленіе одной стороны явленія переноса въ отдѣльную стадію литогенезиса только напрасно затемняетъ этотъ процесъ. Было бы правильнѣе въ схемѣ этого процесса отказаться отъ понятія абляціи, а въ геологической дѣятельности проточной воды различать размываніе (эрозію), какъ денудацію рѣками и ручьями, и смываніе (Abspülung), какъ геологическую дѣятельность несосредоточенныхъ и временныхъ водъ, избѣгая термина абляція. Англійскіе (Ляйэлль, Гики, Text-Book of Geology, 1903) и французскіе (Лаппаранъ, Traité de Geologie, 4 éd., стр. 159) геологи прямо и различаютъ геологическую дѣятельность дождя, т. е. непостоянныхъ водъ, и геологическую дѣятельность ручьевъ и рѣкъ; французы называютъ eaux sauvages воды, въ началѣ своего стока не имѣющія еще постояннаго русла, въ отличіе отъ eaux courantes, которыя занимаютъ постоянно или временно, но опредѣленныя русла, такъ называемые тальвеги. Терминъ корразія, введенный также Рихтгофеномъ, часто замѣняется неправильно (напр., Пенкомъ) словомъ коррозія; это послѣднее выраженіе слѣдуетъ лучше примѣнять только для явленій химическаго растворенія и разъѣданія породъ или минераловъ (напр. корродированные вкрапленники въ порфировыхъ породахъ); слѣдовательно коррозія есть химическая корразія.

При такомъ опредѣленіи подъ денудаціей текучими водами слѣдуетъ понимать сносъ суши, какъ конечную геологическую работу рѣкъ совмѣстно съ смываніемъ.

Смываніе (Abspülung, ruissellement). *)

Процессъ смыванія зависитъ прежде всего отъ количества осадковъ въ данной странѣ: чѣмъ менѣе осадковъ, тѣмъ смываніе менѣе способствуетъ перемѣщенію рыхлаго матеріала, тѣмъ круче могутъ быть склоны, на которыхъ рыхлый матеріалъ продолжаетъ еще оставаться въ покоѣ. Наиболѣе крутые склоны можно наблюдать, слѣдовательно, въ пустыняхъ. Естественно, что на смываніе оказываетъ вліяніе и распредѣленіе осадковъ; чѣмъ значительнѣе масса воды, выпадающая за одинъ разъ, тѣмъ рѣзче должно проявляться смываніе; такъ на южной сторонѣ Альпъ, отличающейся болѣе сильными дождями, смываніе сильнѣе, чѣмъ на сѣверной. Также въ странахъ съ болѣе значительными колеба-

*) Лаппаранъ (Traité etc. стр. 159) опредѣляетъ ruissellement какъ стокъ атмосферныхъ водъ по поверхности земли непосредственно къ опредѣленнымъ русламъ безъ промежуточной стадіи образованія подземныхъ водъ.

ніями въ высотахъ смываніе обнаруживается интенсивнѣе, чѣмъ въ слабо волнистыхъ странахъ. Гдѣ замѣчается сильное таяніе снѣговъ, тамъ всегда сильнѣе и смываніе; слѣдовательно времена таянія снѣга сопровождаются и усиленіемъ смыванія; въ высокихъ горахъ—лѣтомъ, на низменностяхъ—весною.

Горныя породы водопепроницаемыя должны подвергаться дѣйствію смыванія сильнѣе, чѣмъ водопроницаемыя, легко поглощающія воду. Глинистыя породы и массивно-кристаллическія сильнѣе подвергаются смыванію, чѣмъ песчаники и известняки, жадно поглощающіе воду, выпадающую на ихъ поверхность. Глинистыя породы, вовсе не пропускающія воды, теряютъ при явленіи смыванія не только часть своей вывѣтрѣлой поверхности, но и сами разрушаются, коррадируются дѣйствіемъ стекающей воды и тѣмъ сильнѣе, чѣмъ мягче порода. Растворимыя породы относятся къ смыванію иначе, чѣмъ нерастворимыя. Глинистая и иловатая породы при продолжительномъ выпаденіи дождя насыщаются водой, превращаются нерѣдко въ полужидкую массу, и благопріятствуютъ оползнямъ, давая иногда оплывины (см. стр. 358).

Растительность въ значительной степени предохраняетъ поверхность земли отъ смыванія, скрѣпляя рыхлую землю своими корнями, а при сплошномъ покровѣ, препятствуя стоку воды и замедляя его. Земля медленно насыщается водою, напр., въ лѣсахъ и на тундрахъ, и смыванія почти не происходитъ. Временный растительный покровъ, какъ травянистый въ степяхъ или на пашняхъ, такого предохранительнаго вліянія уже не оказываетъ.

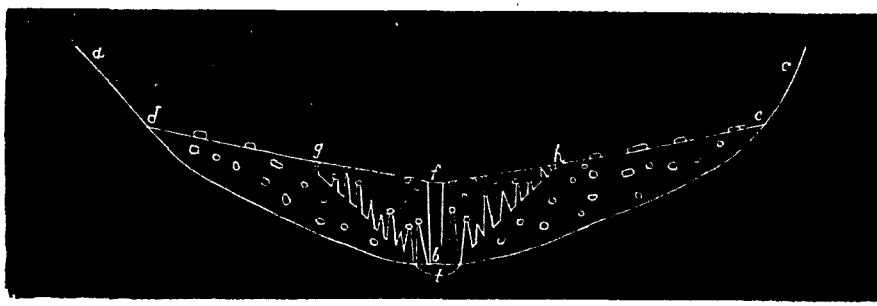
Вода, временно стекающая по отлогимъ склонамъ отдѣльными незначительными струйками и производящая работу перемѣщенія тонкаго, а иногда и болѣе крупнаго, матеріала, не всегда имѣетъ достаточно силы, чтобы перемѣстить этотъ матеріалъ до русла ближайшей рѣки. Затрачивая силу для преодоленія различныхъ препятствій своему движенію, а частью и теряясь въ почву при ея достаточной водопроницаемости, она начинаетъ отлагать перемѣщаемый матеріалъ. При сочетаніи такихъ условій, какъ незначительное количество выпадающихъ осадковъ и отлогость склоновъ, увеличивающая путь струекъ воды до рѣки, возможно себѣ представить, что, повторяясь безконечное число разъ, такое отложеніе оставитъ на склонѣ новую массу осадковъ, постепенно уменьшающихъ крутизну и безъ того отлогаго склона; эти накопленія не будутъ слоистыми, такъ какъ отложеніе не происходитъ подъ слоемъ воды, по удѣльному вѣсу, а какъ бы насыпается, мѣстами больше, мѣстами меньше. Иногда эти отложенія состоятъ изъ тончайшаго матеріала, а временами къ нимъ примѣшивается и болѣе крупный. Очевидно, такіе продукты отложенія дождевыхъ водъ представляютъ не что иное, какъ делювій (см. стр. 209—211), согласно опредѣленію этого термина проф. Павловымъ. Нельзя оспаривать, что такой процессъ отложенія при смываніи можетъ повести къ накопленію тонкаго матеріала лёссовиднаго характера и лёсса, какъ это развиваетъ проф. Армашевскій (О происхожденіи лёсса, Тр. Геол. Ком., т. XV, № 1, 1903) для лёсса южной Россіи, называя самый процессъ намывомъ, что равнозначуще аккумуляціи или отложенію.

Процессъ смыванія естественно усиливаетъ и способствуетъ образо-

ванію всѣхъ тѣхъ формъ поверхности, которыя были разсмотрѣны выше въ III главѣ (стр. 188 и дальше). Смываніе, удаляя продукты вывѣтриванія горныхъ породъ, очищаетъ формы рельефа, обусловленныя вывѣтриваніемъ, въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ невозможно было бы перемѣщеніе такихъ продуктовъ только силою тяжести; такъ и возникаютъ разсмотрѣнные выше *розсыпи, моря скалъ, шиообразные гребни, зубчатыя вершины*, террассовидные склоны, карры или шратты, и т. п.

Но особенно оригинальныя формы рельефа происходятъ подъ вліяніемъ смыванія нетолстыхъ горныхъ осыпей, ледниковыхъ отложеній (моренъ) или обваловъ.

Такъ какъ осыпи состоятъ изъ обломковъ весьма разнообразной величины, отъ самыхъ мелкихъ до величины нѣсколькихъ метровъ въ діаметрѣ, то, при дѣйствіи на нихъ атмосферныхъ водъ, мѣста, занятыя большими глыбами, остаются неразмытыми, въ то время какъ кругомъ ихъ образуются многочисленныя дождевыя рытвины. При продолжительномъ размываніи мѣста эти, оставаясь нетронутыми, выступаютъ въ



Фиг. 230. — Схема земляныхъ пирамидъ.

видѣ отдѣльныхъ столбовъ, на вершинѣ которыхъ всегда имѣется защищающая ихъ отъ размытія большая глыба; такого рода образованія называются земляными пирамидами (Erdpyramiden, pyramides de terre, earth pillars) (фиг. 230). Онѣ покрываютъ иногда всю поверхность осыпи и придаютъ ей значительное расчлененіе; но главнымъ образомъ онѣ образуются на крутыхъ склонахъ осыпей. Земляныя пирамиды по своей формѣ, съ одной стороны, напоминаютъ каменный лѣсъ, а съ другой — эоловые столбы, но составъ и мѣстонахожденія ихъ совершенно другіе. *Земляныя пирамиды на осыпяхъ краснаго порфира около* Ботцена въ Тиролѣ достигаютъ до 100 фут. высотою. Въ большихъ размѣрахъ подобное явленіе наблюдается въ верховьяхъ рѣки Алабуга въ Среднемъ Тянь-шанѣ, гдѣ земляныя пирамиды располагаются красивымъ амфитеатромъ на крутыхъ и высокихъ известково-сланцевыхъ осыпяхъ; тоже въ нѣкоторыхъ мѣстахъ долины Зеравшана, Ягнау, гдѣ, напр. у Анзоба, онѣ достигаютъ 40 ф. высоты (фиг. 231) и пр. Иногда формы, подобныя земляным пирамидамъ, образуются на поверхности старыхъ моренъ, на озерныхъ и рѣчныхъ отложеніяхъ и на вулканическихъ рыхлыхъ продуктахъ, особенно если они состоятъ изъ кусковъ различной величины; на Ріо-Гранде въ Америкѣ земляныя пирамиды въ трахитовомъ туфѣ достигаютъ 300 ф. высоты.

Земляныя пирамиды преимущественно развиваются въ мѣстностяхъ, подвергающихся неравномѣрному выпаденію осадковъ съ сильными проливными дождями; какъ показываетъ географическое распространеніе этихъ формъ (см. Пенкъ, Morphologie, I), въ условіяхъ влажнаго климата онѣ не встрѣчаются. Быстрый стокъ воды, собирающейся въ рытвинки, благопріятствуетъ образованію пирамидъ, и при одинаковомъ составѣ склоновъ онѣ появляются преимущественно на крутыхъ. Эоловые столбы и земляныя пирамиды, подвергшіяся уже механической переработкѣ вѣтромъ, отличаются отъ нормальныхъ земляныхъ пирамидъ появленіемъ съуженій при основаніи.

Образованіе земляныхъ пирамидъ показываетъ, какъ подъ вліяніемъ случайныхъ препятствій работа смыванія становится неравномѣрной.

Фиг. 231. — Земляныя пирамиды въ долинѣ Ягнау въ Когистанѣ.

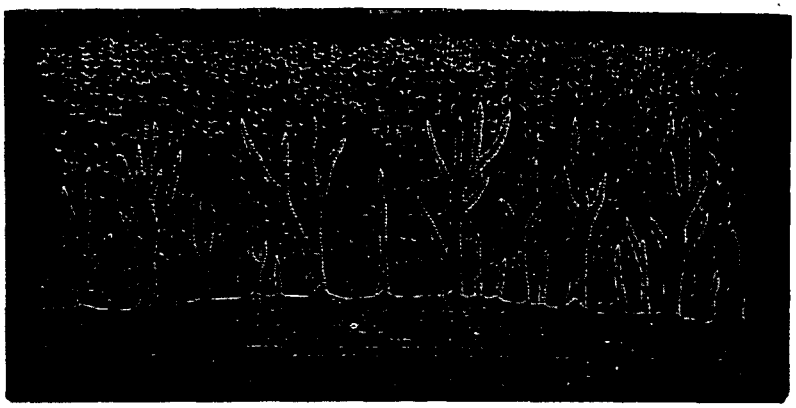
Первое препятствіе въ видѣ маленькаго камня можетъ раздѣлить стекающую по склону воду на струйки, сосредоточивая смываніе по опредѣленнымъ путямъ, т. е. дождевымъ рытвинамъ или бороздамъ.

Каждая такая рытвина, въ которой собирается вода и продолжаетъ свою работу перемѣщенія матеріала и корразіи, представляетъ простѣйшую схему размыванія, на которой лучше всего можно изучить законы развитія бороздъ размыва, а слѣдовательно и рѣкъ, какъ въ горизонтальномъ, такъ и въ вертикальномъ направленіи.

Размываніе.

На равномѣрно наклонной поверхности въ тончайшемъ и однородномъ матеріалѣ выпадающая дождевая вода распредѣляется по рытвинамъ,

тѣсно расположеннымъ, параллельнымъ другъ другу и постепенно углубляющимся книзу. Напр., на плоскихъ морскихъ берегахъ, сложенныхъ изъ однородныхъ рыхлыхъ наносовъ, расположеніе рытвинъ отличается замѣчательной правильностью (фиг. 232); тоже въ большомъ видѣ наблюдается въ расположеніи баранкосъ, расходящихся лучеобразно отъ вершины къ подошвѣ по склонамъ нѣкоторыхъ вулкановъ какъ описано въ первомъ отдѣлѣ курса, напр. на вулканѣ Мербабу, Сумбингъ и др. Всякая неравномѣрность въ сложеніи породъ, въ уклонѣ склоновъ или даже въ распредѣленіи осадковъ, вызываетъ ту или другую неправильность въ характерѣ и распредѣленіи дождевыхъ бороздъ или рытвинъ, напр., на пологихъ берегахъ оз. Елтона (фиг. 233). Для примѣра совершенно неправильнаго расположенія дождевыхъ бороздъ въ массивныхъ породахъ приведемъ крутой гранитный склонъ (фиг. 234) одного изъ африканскихъ плоскогорій [5]). Подобныя же борозды наблюдаются на склонахъ нѣкоторыхъ каньоновъ въ Ютахъ въ С.-Америкѣ, напр., въ Сальтъ-Крикѣ.

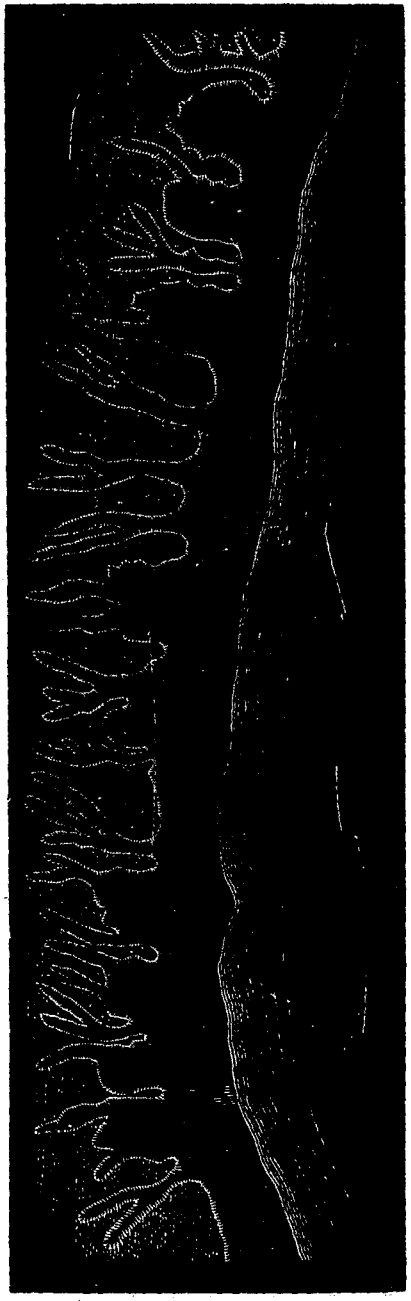


Фиг. 232.— Правильная рытвина размытія на однородномъ берегу моря.

Въ породахъ осадочныхъ, гдѣ различные пласты имѣютъ неодинаковое сложеніе, или при перемежаемости песчаниковъ съ конгломератами, или даже въ толщѣ конгломераторовъ на крутыхъ склонахъ получаются оригинальныя рытвинки (фиг. 235) въ видѣ коническихъ углубленій, обращенныхъ широкою стороною то вверхъ, то внизъ, напр. въ конгломератовыхъ отложеніяхъ долины Кокарта въ Ферганѣ.

Чѣмъ больше препятствій размыванію, тѣмъ запутаннѣе и сложнѣе распредѣленіе и преобразованіе рытвинокъ въ горизонтальной проекціи. Рядомъ съ этимъ рытвинки измѣняютъ свой видъ и въ вертикальной проекціи. Положимъ, что *mn* (фиг. 236)—вертикальная проекція первоначальнаго тока воды на склонѣ изъ болѣе или менѣе однороднаго матеріала, *ma* область соединенія рытвинокъ или сборный бассейнъ ихъ, *b* пунктъ соединенія двухъ большихъ рытвинъ и *no* плоская равнина, прилежащая къ склону, въ которой сборный токъ впадаетъ въ рѣку *o*; при этомъ очевидно, что въ части *ma* будетъ наименьшее количество воды, въ *ab* больше и наибольшее въ части *bno*; соотвѣтственно съ количествомъ воды, до тѣхъ поръ пока склонъ не измѣнится, распредѣляется сила ея. Протекающая вода стремится расширить и углубить

свой каналъ выше n, не производя отложенія унесеннаго матеріала. Въ любомъ пунктѣ x (фиг. 237) можно прослѣдить послѣдовательныя стадіи этой работы, которая тотчасъ отражается на вышележащихъ пунктахъ рытвины и производитъ перемѣщеніе ея въ $bx'n'$; въ то же время при n, вслѣдствіе уменьшенія паденія, начинаютъ осаждаться вынесенныя водою твердыя частички: крупныя ближе, а мелкія дальше; онѣ образуютъ конусъ или область накопленія.



Фиг. 233. — Рытвины размытія на берегу оз. Элтоны.

Вслѣдствіе осадковъ почва при n возвышается и точка устья перемѣщается въ n', а одновременно въ вышележащихъ частяхъ сила размыва увеличивается благодаря увеличенію паденія. Размывъ отъ b переходитъ на a (фиг. 236) и далѣе, но сила его пропорціональна количеству воды, которое какъ выше замѣчено, уменьшается кверху. Въ концѣ концовъ потокъ раздѣляется на нѣсколько частей. Рихтгофенъ [6]) различаетъ слѣдующія части: 1) Самая верхняя часть ma—сборный бассейнъ, составляющійся изъ множества рытвинокъ. 2) Постепенно углубляющійся каналъ ab', въ которомъ происходитъ только слабое размытіе. 3) Область наибольшаго паденія $b'b^2$, въ которой происходитъ наисильнѣйшее размытіе. Все это область концентраціи или питанія (bassin de reception по Сюрреллю [7]). 4) Часть b^2b^3, залегающая между высокими склонами; въ ней не происходитъ ни размыванія, ни осажденія. Послѣднюю часть Сюррель называетъ областью стока (canal d'écoulement); этой области иногда совсѣмъ нѣтъ, но вообще она тѣмъ длиннѣе, чѣмъ уклонъ меньше. 5) Часть передъ выходомъ долины изъ горъ, въ которой осаждаются только крупные осадки. 6) Область осажденія $n'o$ по выходѣ изъ горъ или, по Сюррелю, lit de déjection. Разумѣется, эта часть отсутствуетъ, если потоки начинаются у подошвы склона горъ и выносятъ съ собою размытый матеріалъ. Размытіе, все болѣе и болѣе преобразовывая рытвину, придаетъ ей, наконецъ, характеръ долины размытія съ уклономъ въ видѣ $mpp's$, а so — область осажденія размытаго матеріала. Въ дѣйствительности окончательный профиль долины размыва представляетъ всегда опредѣленную правильную кривую,

а не ломаную линію; отдѣльныя части долины сходятся подъ угломъ только тогда, когда еще долина не совершенно сформирована.

Хотя вертикальный размывъ образуетъ въ сущности рытвину, шириною равную ширинѣ русла, но собственно такая форма долины сохраняется временно и только въ нѣкоторыхъ частяхъ ея, потому что атмосферные агенты тотчасъ преобразовываютъ склонъ и придаютъ поперечному разрѣзу долины размыва форму V. Въ области отложенія, напротивъ, вода расширяетъ бока долины, и поперечный разрѣзъ ея

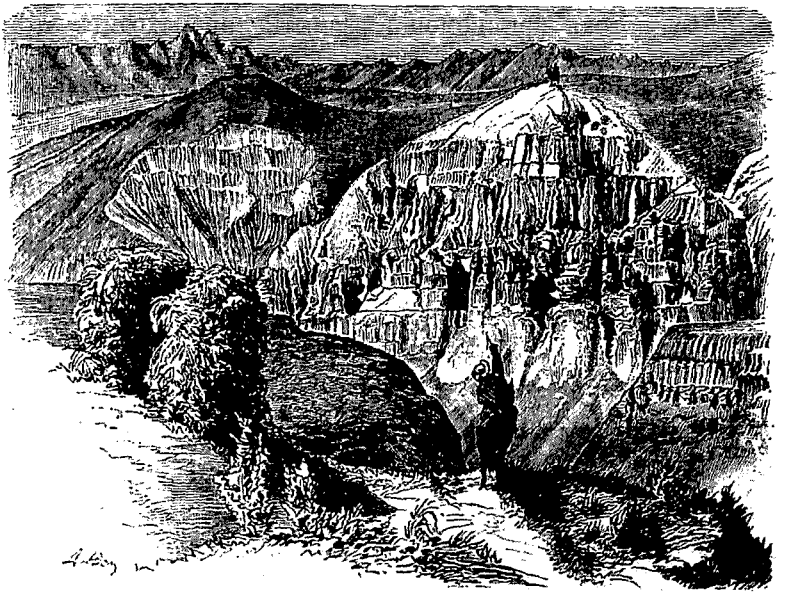
Фиг. 234. — Дождевыя рытвины размытія въ гранитѣ на склонѣ Столовыхъ горъ въ Южной Африкѣ.

представляетъ форму _/. Въ области питанія, наконецъ, долина получаетъ иногда форму полуворонки или даже болѣе, чѣмъ полуворонки.

Въ части mm^1m^2 ручьи хотя немноговодны, но при крутомъ паденіи или даже при вертикальномъ сильно размываютъ породы и сносятъ ихъ къ m^2, гдѣ начинается общій каналъ, хотя съ болѣе пологимъ паденіемъ, но многоводный; здѣсь размытіе производится одновременно отрываніемъ, или разрушеніемъ и истираніемъ.

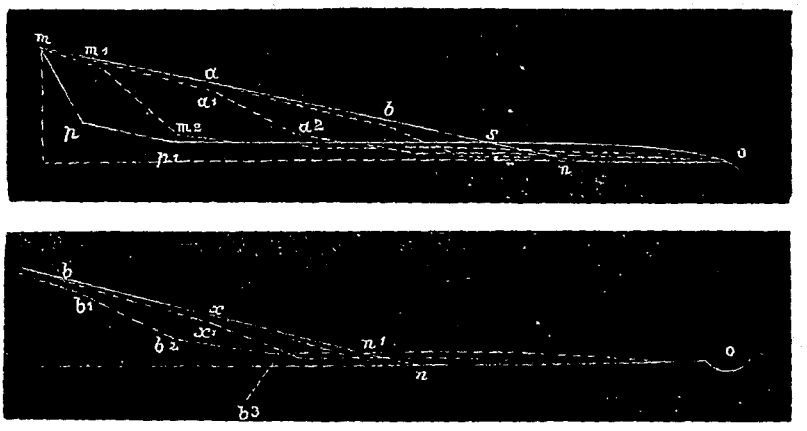
Описанный процессъ размытія въ самомъ чистомъ видѣ наблюдается въ плоско-холмистыхъ мѣстностяхъ, состоящихъ изъ однородныхъ и рыхлыхъ породъ, но съ тѣми или другими варіаціями находится на каждомъ горномъ склонѣ. Повсюду можно видѣть размытіе и отступаніе къ сборному бассейну, углубленіе рытвинъ, образованіе воронокъ, возвышеніе и перемѣщеніе отложеній въ нижней части потоковъ.

Въ каждую большую рытвину размытія впадаютъ съ боковъ мѣньшія второго порядка, а въ эти послѣднія—еще мѣньшія третьяго порядка и т. д. Во всѣхъ боковыхъ притокахъ происходятъ тѣ же процессы, при-



Фиг. 235. — Дождевыя рытвины въ конгломератахъ долины Когарта.

водящіе къ той же основной формѣ долины размытія. Въ большомъ масштабѣ подобныя явленія происходятъ въ вулканическихъ туфахъ, гдѣ конечный профиль *mpp'o* достигается въ сравнительно непродолжитель-

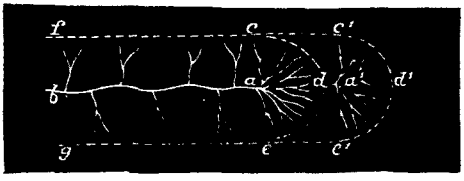


Фиг. 236 и 237. — Схема размытія въ глубину.

ное время; тоже на крутыхъ окраинахъ плоскогорій и столовыхъ горъ, гдѣ часть ma' (фиг. 236) получаетъ большое развитіе, и отъ a^1 потоки нерѣдко образуютъ водопады; въ пунктѣ a^2 потоки текутъ на большой глубинѣ. Область отложенія въ низменностяхъ имѣетъ обыкновенно вѣерообразную форму.

Сформировавшіеся потоки не заканчиваютъ на этомъ свою дѣятельность, но при благопріятныхъ условіяхъ, особенно при постоянномъ значительномъ питаніи, они стремятся образованныя ими долины съ одной стороны удлинить, а съ другой расширить.

Удлиненіе потока при помощи размытія происходитъ отступаніемъ сборнаго бассейна вверхъ и успѣшность этого зависитъ отъ крутизны склоновъ, отъ количества воды и отъ интенсивности углубленія русла ниже пункта соединенія потоковъ въ одинъ главный. Если изобразимъ, согласно съ Рихтгофеномъ, схематически сборный бассейнъ такъ, какъ представлено на фиг. 238, то съ окраинъ воронки *cde* будетъ стекать множество струекъ, которыя, разрушая склоны, образуютъ въ *a* огромныя накопленія валуновъ, сглаживающія почву воронки. Струйки, углубляя свои русла, стремятся сдѣлать нижнюю часть склоновъ круче, нежели верхнюю; хотя въ частныхъ случаяхъ, напр. при рыхлыхъ, водопроницаемыхъ породахъ, изъ которыхъ къ склонамъ вытекаетъ много источниковъ, производящихъ обвалы, верхнія части склоновъ также бываютъ круты и обрывисты. Вообще говоря на склонахъ воронки происходитъ весьма энергичное разрушеніе, тѣмъ болѣе, что въ высокихъ горахъ этому чрезвычайно сильно способствуетъ выдѣтриваніе породъ. Постоянное разрушеніе склоновъ и углубленіе русла ниже *a* постепенно подвигаетъ всю систему сборнаго бассейна вверхъ въ $c'd'e'$, главный потокъ удлиняется и *a* перемѣщается въ a'.



Фиг. 238. — Схема отступленія потока вверхъ.

Какъ раньше на пространствѣ *ab* боковые притоки стремились углубить свои русла до уровня главнаго, такъ теперь та же работа начинается на пространствѣ aa'. Отступаніе вверхъ можетъ идти или прямо по линіи ad', если породы равномѣрно разрушаются, или же, если породы неодинаковы, отступаніе въ рыхлыхъ породахъ будетъ идти быстрѣе и отклонится въ сторону развитія этихъ породъ; долина изъ прямолинейной сдѣлается извилистой.

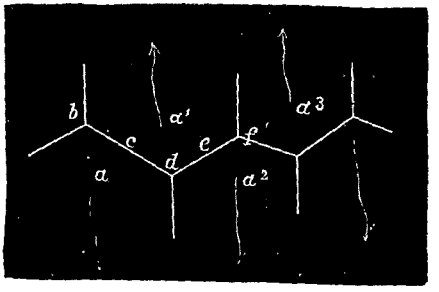
Если такого рода процессы происходятъ по обоимъ склонамъ какого-нибудь водораздѣла, съ котораго потоки сбѣгаютъ въ противоположныя стороны, то между ними всегда образуется острый зубчатый или тупой гребень; чѣмъ больше паденіе, чѣмъ многоводнѣе и чѣмъ большій періодъ времени дѣйствуютъ потоки, тѣмъ гребень, будетъ острѣе, расчлененнѣе и типичнѣе. Каждый изъ каналовъ стремится размыть гребень, но результаты будутъ различны, смотря по тому, одинаковы ли потоки и ихъ сборные бассейны, или нѣтъ; лежатъ ли они противъ или нѣтъ. Джильбертъ, описывая западные притоки Миссури, размывающіе рыхлыя породы, указываетъ что они придали зигзагообразное направленіе главному гребню, какъ указано на фиг. 239. Боковые гребни сходятся съ главнымъ подъ угломъ, при чемъ пункты соединенія ихъ соотвѣтствуютъ наибольшимъ вершинамъ, между которыми находятся пониженныя сѣдловины. Это зависитъ отъ того, что въ *a*, a', a^2, a^3 находятся сборные бассейны и разстоянія ae, $a'e$, $a'e$ a^2e короче, чѣмъ ab, ad, $a'd$, $a'f$, а потому въ *c* и *e* пониженіе наступитъ скорѣе и больше, нежели въ *b*, *d* и *f*. Если всѣ потоки *a*, a', a^2, a^3 равной силы паденія и залегаютъ на одинаковой высотѣ, то пониженіе гребня идетъ только до извѣстныхъ предѣловъ, а затѣмъ, когда потоки сформируютъ нормальную кривую, то размытіе останавливается и гребень дѣлается постояннымъ водораздѣломъ до тѣхъ поръ, пока не измѣнятся физико-геологическія условія данной мѣстности. Если же потоки неодинаковой силы и если предположимъ, что *a* лежитъ значительно глубже, чѣмъ a' (фиг. 240), то въ *a* размытіе будетъ

происходить энергичнѣе и отступаніе сборнаго бассейна быстрѣе; тогда a дойдетъ до a', прорѣзывая водораздѣлъ или, лучше сказать, отодвигая его; если, дойдя до a', потокъ a все-таки будетъ глубже, то онъ, подвигаясь еще дальше, постепенно дойдетъ до m, т.-е. до пункта, гдѣ a' впадаетъ въ рѣку, протекающую на высшемъ уровнѣ, нежели вся система a. Рѣчная система *pom* соединится съ a, и рѣка, протекавшая отъ o и p по направленію къ n, теперь будетъ начинаться у n.

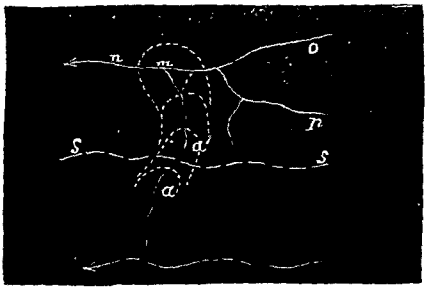
Изъ этого видно, что отступаніе потока вверхъ можетъ прорѣзывать водораздѣлы и, слѣдовательно, производить значительныя измѣненія какъ въ распредѣленіи текучихъ водъ, такъ и въ рельефѣ горъ.

Перемѣщеніе водораздѣла въ сторону медленнѣе размывающей рѣки можетъ повести за собою поглощеніе этой рѣки другой, сильнѣе размывающей: рѣки углубляющіяся быстрѣе, развиваются такъ сказать на счетъ сосѣднихъ болѣе слабыхъ.

Мы уже говорили, что проточная вода, увлекая съ собою твердыя частицы, затрачиваетъ на механическую работу перенесенія этого матеріала нѣкоторую часть своей живой силы. Отсюда вытекаетъ нѣсколько положеній. Если эта живая сила только достаточна на перенесеніе матеріала такъ или иначе попавшаго въ рѣку, то русло рѣки сохраняетъ свои нормальныя качества, зависящія также отъ другихъ условій, главнѣйше различной скорости воды въ различныхъ мѣстахъ продольной и



Фиг. 239. — Схема зигзагообразнаго гребня.



Фиг. 240. — Схема прорыва водораздѣла.

поперечной профилей русла; русло въ такомъ случаѣ покрыто правильно распредѣленными глубинами и банками песка и гальки, т. е. мелями. Если живая сила воды больше, чѣмъ это необходимо для переноса матеріала, то въ такомъ случаѣ рѣка не только уноситъ этотъ матеріалъ, но и расходуетъ избытокъ своей силы на увлеченіе новаго матеріала со дна и боковъ своего русла, причемъ оно увеличивается наступающимъ такимъ образомъ размываніемъ. Наконецъ, если живая сила рѣки меньше, чѣмъ это необходимо для перенесенія даннаго матеріала, то происходитъ отложеніе избытка этого матеріала на днѣ русла. На различныхъ участкахъ рѣки могутъ имѣть мѣсто различные случаи; размываніе и отложеніе чередуются въ каждой рѣкѣ, но въ нормальныхъ случаяхъ оба процесса находятся въ равновѣсіи. Если оно нарушается въ ту или другую сторону, наступаетъ общее размываніе или общее отложеніе.

Рѣки отлагающія характеризуются, какъ увидимъ дальше, развѣтвленіемъ русла и часто поднятіемъ его посредствомъ плотинъ, отложенныхъ дѣятельностью самихъ рѣкъ; блуждающія русла Тарыма около Лобъ-нора и другихъ рѣкъ пустыни служатъ примѣромъ такихъ отлагающихъ рѣкъ. Наоборотъ рѣки размывающія сосредоточиваютъ свое русло, причемъ нужно отличать размываніе въ глубину и размываніе боковое.

Всякое мѣстное уменьшеніе количества воды или ея паденія, т. е.

уменьшеніе живой силы рѣки, ведетъ къ отложенію и обратно. Боковые притоки увеличиваютъ количество воды въ рѣкѣ и вмѣстѣ съ тѣмъ количество матеріала, который рѣка должна перемѣстить; слѣдовательно, не всегда увеличеніе количества воды влечетъ за собою и усиленіе размыванія. Наоборотъ, уменьшеніе количества воды, рѣдко сопровождаемое уменьшеніемъ и перемѣщаемаго матеріала, всегда вызываетъ отложеніе; напр., степныя рѣки всегда относятся къ числу отлагающихъ.

Непрерывное углубленіе русла рѣки влечетъ за собою и уменьшеніе паденія, ибо понижается и уровень воды въ рѣкѣ; уменьшеніе паденія вызывается и боковымъ размываніемъ, такъ какъ оно увеличиваетъ пробѣгъ воды. Слѣдовательно, если размываніе усиливается увеличеніемъ паденія, то непрерывное размываніе въ концѣ концовъ приводитъ къ устраненію этой причины. Но колебанія уровня воды на одномъ какомъ либо участкѣ рѣки отражаются непосредственно на участкѣ смежномъ вверхъ по теченію. Если на какомъ либо участкѣ уровень воды понизится, то этимъ увеличивается паденіе на смежномъ участкѣ выше по рѣкѣ, и тамъ наступаетъ усиленіе размыванія въ глубину; постепенно размываніе въ глубину передается такимъ образомъ вверхъ по теченію. То же самое происходитъ и при отложеніи; оно поднимаетъ дно русла, слѣдовательно уменьшаетъ паденіе на участкѣ смежномъ выше и такимъ образомъ передаетъ причину, вызывающую отложеніе все выше. Словомъ, состояніе каждой части русла рѣки опредѣляетъ собою развитіе части русла смежнаго вверхъ по теченію. Также ни одинъ участокъ рѣки не можетъ быть настолько углубленъ, чтобы паденіе его поверхности сдѣлалось равнымъ нулю, т. е. ни одинъ участокъ рѣки не можетъ быть углубленъ сколько-нибудь существенно сравнительно съ участкомъ ниже по рѣкѣ. Съ другой стороны, если какой-либо участокъ русла не углубляется или углубляется очень медленно, то онъ останавливаетъ и задерживаетъ углубленіе русла на участкѣ смежномъ вверхъ по рѣкѣ, хотя бы на лицо тамъ и были другія условія для увеличенія размывающей силы, и избытокъ этой силы устремляется не на углубленіе русла, а на подмываніе береговъ, т. е. на боковое размываніе.

Можно указать не мало примѣровъ этихъ двухъ главныхъ правилъ дѣятельности рѣкъ. Каждое, напр., искусственное спрямленіе или укороченіе теченія рѣки усиливаетъ ея паденіе и вызываетъ размываніе въ глубину. Рѣка Кандеръ, послѣ того какъ была направлена посредствомъ туннеля прямо въ озеро Тунеръ (въ Бернскомъ Оберляндѣ) въ 1714 г., углубила свое русло въ томъ мѣстѣ, гдѣ началось отклоненіе, до 45 м., и углубленіе распространилось на 9 км. вверхъ по теченію. Съ 23 окт. 1878 г. по 14 февр. 1885 г. дно Изара понизилось послѣ спрямленія русла на пространствѣ 5 км. на 1.443 м., или на 0.228 мм. въ теченіе года, причемъ было вынесено 22.775 куб. м. гравія. Теченіе Рейна на протяженіи средне-рейнской низменности было укорочено, вслѣдствіе урегулированія рѣки, съ 353.6 км. до 272.8 км., т. е. на 23%, и дно рѣки понизилось между Рейнвейлеромъ и Нейенбургомъ болѣе чѣмъ на 2 м., а между Вейсвейлемъ и Максау болѣе чѣмъ на 1 м.

Паденіе рѣки опредѣляется двумя точками, высшей точкой истока и

низшей точкой устья. Въ обѣихъ точкахъ живая сила рѣки равняется нулю; въ первой потому, что вода тамъ впервые только собирается, а во второй потому, что паденіе равняется нулю. Размываніе и отложеніе регулируютъ паденіе рѣки такимъ образомъ, что каждая нижняя часть русла не можетъ имѣть паденія большаго, чѣмъ верхняя часть. При постоянствѣ другихъ условій продольная профиль рѣки отъ истока до устья располагается по кривой, паденіе которой постепенно уменьшается отъ истока къ устью, по такъ называемой кривой нормальнаго паденія (profil d'équilibre). Состояніе такого постояннаго равновѣсія опредѣляется условіемъ, чтобы повсюду сопротивленіе движенію воды, т. е. треніе возбуждаемое дномъ и боками ложа, равнялось силѣ протекающей воды. Всѣ части поверхности земли, поднимающіяся выше кривой, рѣка размываетъ, а расположенныя ниже—заполняетъ своими отложеніями. Съуженныя части, долины, представляютъ мѣста усиленнаго размыванія, а широкія равнины—области отложенія, не ограничивающіяся только руслами рѣкъ, но распространяющіяся и на смежныя пространства.

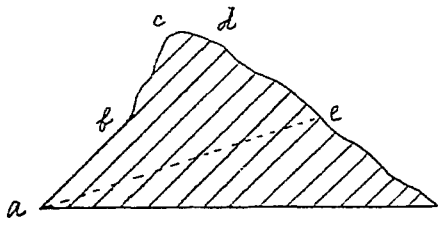
Въ каждой рѣкѣ, близкой къ своему нормальному паденію, можно различить часть выше устья, на которой происходитъ отложеніе въ то время, когда выше идетъ размываніе. Первая часть называется нижнимъ теченіемъ, вторая верхнимъ; между ними расположено среднее, гдѣ временами рѣка размываетъ, временами отлагаетъ, гдѣ нѣтъ слѣдовательно ясныхъ признаковъ ни общаго отложенія, ни общаго размыванія.

Рѣки, которыя не достигли въ своемъ развитіи кривой нормальнаго паденія, имѣютъ уступообразное паденіе; такія рѣки обнаруживаютъ иногда многократное чередованіе участковъ съ признаками верхняго, средняго и нижняго теченія. Онѣ нерѣдко имѣютъ пороги или водопады около самаго устья, а около истоковъ онѣ имѣютъ самое ничтожное паденіе; иногда около истоковъ рѣки обнаруживаютъ уже блуждающій характеръ, т. е. раздѣленіе на многочисленные притоки. Эти особенности зависятъ отъ геологическихъ условій; напр., таковы истоки рѣкъ Волги, Руны, Куди бассейна Волги въ заболоченныхъ котловинахъ моренаго ландшафта. По словамъ С. Н. Никитина (Бассейнъ Волги, Тр. Эксп. для изсл. источн. главн. рѣкъ Евр. Россіи, 1899) нельзя указать точнаго пункта начала рѣки, и теченіе въ различную пору года начинается въ совершенно различныхъ мѣстахъ этой верховой неоформленной части долины; сама рѣка кажется въ одно время значительнымъ потокомъ, исчезающимъ совершенно въ другое время года. Многочисленныя озера задерживаютъ на различныхъ высотахъ большую часть живой силы рѣчекъ и ослабляютъ всѣ явленія размыванія. Въ области сравнительно слабаго размыва находятся и истоки Днѣпра, въ противоположность, напр., истокамъ р. Оки и ея притоковъ, показывающихъ господство эрозіонныхъ процессовъ.

Нормальная кривая не есть постоянная линія; по достиженіи ея рѣка не прекращаетъ своей механической работы; наступаетъ лишь время сосредоточенія размыванія вверху и отложенія внизу. Положеніе истока постепенно понижается, положеніе устья перемѣщается впередъ, общая длина рѣки возрастаетъ, а паденіе уменьшается. Конечной цѣлью дѣятельности рѣки является такимъ образомъ кривая возможно малаго паденія, доступнаго еще для непрерывнаго скатыванія воды.

Очевидно что процессъ смыванія продолжается только до уровня рѣки, которая служитъ для него базисомъ и называется нижнимъ или дѣйствительнымъ денудаціоннымъ уровнемъ. Если смываніе заканчивается уровнемъ рѣки, то съ другой стороны оно постепенно, какъ указано выше, расширяется до водораздѣловъ, понижая послѣдніе, при чемъ процессъ подвигается назадъ вслѣдствіе увеличенія крутизны склоновъ выше предѣла такой крутизны и усиленія явленій обрушенія, осыпей и обваловъ.

Процессъ смыванія самъ по себѣ не можетъ понизить водораздѣла, такъ какъ строго говоря на водораздѣлѣ механическая работа смыванія равна нулю, ибо тамъ только зарождается эта работа. Но благодаря смыванію болѣе крутые склоны постепенно перемѣщаются ближе къ водораздѣлу, такъ какъ въ нижнихъ частяхъ теченія потока смываніе постепенно уменьшаетъ крутизну склоновъ. Склоны въ отношеніи ихъ крутизны можно раздѣлить согласно съ Пенкомъ на пологіе, нормальные и ненормально крутые (übersteiles Gehänge). Первые (фиг. 241) — если уголъ наклона склона меньше, чѣмъ уголъ паденія плоскостей наименьшаго сопротивленія въ породѣ, въ частности, напр., плоскостей напластованія или развитой отдѣльности (*ae*); нормальные—если углы эти равны (*bd*), и ненормально крутые, если крутизна склона больше угла паденія плоскостей наименьшаго сопротивленія (*bc*). Въ послѣднемъ случаѣ по такимъ плоскостямъ легко возбуждается движеніе, и возникаютъ явленія оползней и обваловъ, понижающихъ склоны до нормальной крутизны. Слѣдовательно, ненормально крутые склоны нигдѣ не могутъ существовать долго. Точка водораздѣла перемѣщается благодаря такимъ обваламъ и обрушеніямъ; притомъ прямо по вертикальной линіи, если явленія, обрушенія зависящія также и отъ углубленія руселъ потоковъ, происходятъ равномѣрно по обѣимъ сторонамъ водораздѣла. Если же эти явленія происходятъ только на одной сторонѣ или съ неодинаковой напряженностью, то происходитъ перемѣщеніе точки водораздѣла по наклонной плоскости въ сторону, на которой нѣтъ обрушеній или онѣ слабѣе. Если склоны рѣчной долины смыты уже настолько, что въ области водораздѣла возникаютъ ненормально крутые склоны, то устанавливается извѣстная зависимость между рѣками и водораздѣломъ между ними. Водораздѣлъ между двумя параллельными рѣками не можетъ превзойти нѣкоторой опредѣленной высоты, которая приблизительно въ среднемъ въ $3^1/_2$ раза менѣе разстоянія между рѣками. Дѣйствительно, склоны такихъ рѣкъ вслѣдствіе обрушенія и обваловъ стремятся принять наклонъ въ 30° (наибольшей крутизны); эти склоны сближаются другъ съ другомъ до тѣхъ поръ, пока не пересѣкутся; это наступаетъ, когда высота водораздѣла (t) сдѣлается равной высотѣ равнобедреннаго трехугольника съ основаніемъ d, т. е. разстояніемъ между рѣками, и прилежащими углами въ 30°; тогда $t = \frac{d}{2} tg\ 30° = \frac{d}{3.5}$. Такъ какъ склоны, подвергающіеся постоянному



Фиг. 241.—Схема различныхъ склоновъ (по Пенку).

смыванію, обыкновенно значительно положе такой максимальной крутизны, то это выраженіе для высоты водораздѣла представляетъ максимальный предѣлъ. Величина d обусловливается количествомъ осадковъ и петрографическими свойствами породъ. Чѣмъ болѣе осадковъ и чѣмъ менѣе водопроницаема почва, тѣмъ плотнѣе другъ къ другу могутъ развиться рѣчныя системы и тѣмъ ниже водораздѣлъ между ними. Высота водораздѣла надъ опредѣленной рѣчной системой въ каждой странѣ опредѣляется ея геологическими и климатическими условіями. Если такія условія распредѣлены равномѣрно, то и высоты водораздѣловъ не мотутъ обнаруживать значительныхъ колебаній. Водораздѣлы колеблются около опредѣленнаго гипсометрическаго горизонта, который называется Пенкомъ верхнимъ денудаціоннымъ уровнемъ.

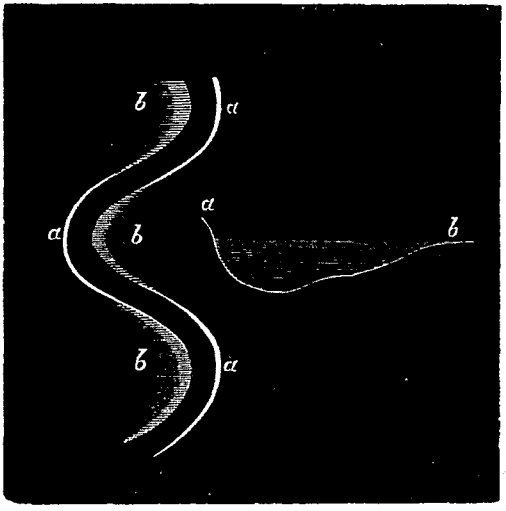
Положеніе всякой рѣчной системы опредѣляется силой и продолжительностью дѣятельности рѣкъ и суммой препятствій, которыя рѣки должны преодолѣвать. Однимъ изъ такихъ препятствій являются, какъ увидимъ дальше, тектоническія причины, которыя могутъ вызвать относительное перемѣщеніе отдѣльныхъ частей рѣчной системы. Различные результаты могутъ быть получены въ зависимости отъ того, сильнѣе ли такія перемѣщенія или работа размыванія рѣкъ. Такъ какъ каждое поднятіе въ предѣлахъ рѣчной системы увеличиваетъ паденіе части рѣки ниже, то теоретически каждая рѣка въ концѣ концовъ можетъ пересѣчь всякое вновь возникающее поднятіе въ предѣлахъ рѣчной системы; слѣдовательно, водораздѣлы всякой рѣчной системы не могутъ быть подняты выше извѣстнаго предѣла какъ абсолютной, такъ относительной высоты, неодинаковой для различныхъ странъ въ зависимости отъ распредѣленія силъ денудаціонныхъ и дислокаціонныхъ, но болѣе значительной въ странахъ сухихъ, чѣмъ влажныхъ,—въ областяхъ дислоцированныхъ, чѣмъ въ устойчивыхъ. Области наибольшей дислокаціи, какъ наиболѣе приподнятыя, въ то же время подвержены и наиболѣе энергичному размыванію; наибольшія высоты горныхъ хребтовъ опредѣляютъ абсолютный верхній денудаціонный уровень, выше котораго не можетъ подниматься ни одна вершина.

Очевидно, что море является абсолютнымъ нижнимъ денудаціоннымъ уровнемъ, такъ какъ конечная дѣятельность рѣкъ, смыванія и обрушенія стремится понизить страну до этого предѣла; дѣятельность смыванія и обрушенія оканчивается, когда страна между рѣками совершенно выравнена.

Для всякой рѣки мѣсто впаденія ея въ другую составляетъ базисъ эрозіи (niveau de base), спуститься ниже котораго она не можетъ; конечнымъ эрозіоннымъ базисомъ всякой системы и всѣхъ рѣкъ является уровень моря. Всякое измѣненіе этого уровня отражается раньше или позже на всей системѣ и на водораздѣлѣ.

Расширеніе долины или боковое размываніе можетъ зависѣть не только отъ состоянія продольной профили рѣки, но также и отъ неодинаковаго распредѣленія силы потока на обѣихъ сторонахъ его русла, что составляетъ необходимое слѣдствіе отклоненія направленія потока отъ прямой линіи или изогнутія его. Тогда теченіе вблизи вогнутаго берега несравненно сильнѣе, чѣмъ на выступающемъ или на выпукломъ, а слѣ-

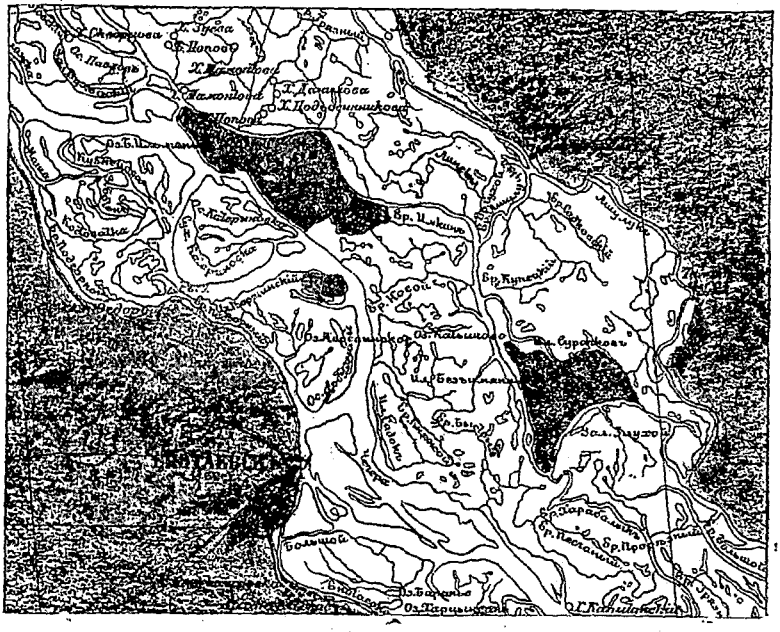
довательно разрушеніе породъ и истираніе или вообще размытіе на вогнутомъ берегу будетъ сильнѣе, равно какъ и углубленіе русла; на выпукломъ—движеніе воды медленное или при выступающихъ скалахъ образуется отраженное, обратное теченіе, водоворотъ, который будетъ способствовать накопленію или отложенію осадковъ. Въ бурныхъ горныхъ потокахъ механическая работа на вогнутыхъ берегахъ особенно сильна и обусловливаетъ происхожденіе глубокихъ омутовъ. Чѣмъ медленнѣе теченіе рѣки, тѣмъ больше будетъ препятствій, а слѣдовательно изгибовъ, а чѣмъ породы однороднѣе, тѣмъ они правильнѣе. Такъ что направленіе рѣки получаетъ змѣевидную форму (фиг. 242, или образуетъ такъ называемыя излучины Mäander, Meander), какъ это наблюдается, напр., во всѣхъ небольшихъ рѣкахъ южной Россіи, Туранской низменности и пр., а русло—неравномѣрный наклонъ (фиг. 242); у вогнутаго берега находится наибольшая глубина, а у выпуклаго мель [8]). Подмывая вогнутыя части берега *aa*, вода постепенно уменьшаетъ разстояніе между ними и, наконецъ, при разливахъ совершенно прорываетъ перешеекъ, образуя островъ среди двухъ рукавовъ рѣки, и вмѣстѣ съ тѣмъ выпрямляетъ свое русло. По новому пути, какъ по кратчайшему, вода устремляется съ бо́льшею силою, а старое русло постепенно замираетъ, оживляясь только во время половодья, и образуетъ слѣпой рукавъ, называемый старицею (Altwasser). Такъ какъ теченіе въ старицѣ медленнѣе, то въ пунктѣ отдѣленія ея отъ рѣки нерѣдко накопляются осадки, приносимые рѣкою, которые слагаютъ плотину, совершенно отгораживающую старицу отъ рѣки. Не получая питанія или получая его только въ ничтожныхъ размѣрахъ и временно (въ половодье), старицы превращаются въ рѣчныя озера. Подобныя явленія наблюдаются на каждомъ шагу въ рѣкахъ низменностей, протекающихъ медленно по рыхлымъ почвамъ, напр. на р. Миссиссипи въ С. Америкѣ, у насъ въ Россіи на рр. Донъ, Волга, Ока, Десна, Ветлуга и пр. На рѣкѣ Миссиссипи у г. Новый-Карѳагенъ, прекрасно видны всѣ эти элементы измѣненія рѣки, т.-е.. змѣевидная форма главнаго русла, острова на рѣкѣ, старицы, еще существующія и уже окончательно превращенныя въ озера. Еще лучше всѣ эти элементы наблюдаются въ долинѣ р. Волги, напр., у г. Енотаевска (фиг. 243) или еще отчетливѣе у Владиміровки, гдѣ долина Волги, заключенная между невысокими, но рѣзко очерченными, обрывистыми древними берегами, состоящими изъ каспійскихъ осадковъ, представляетъ чрезвычайно сложную сѣть руселъ, старицъ, озеръ, болотъ, острововъ и пр., какъ это видно на фиг. 244, предста-



Фиг. 242. — Схема змѣевидной формы потока и профиль дна.

вляющей вдвое уменьшенную копію съ подробной и прекрасной карты проф. Богуславскаго [9]) (масштабъ: 1 верста въ 0,01 саж.).

Если извѣстная рѣка начинаетъ углублять свое русло, и развиваются высокіе берега, то излучины теряютъ свою подвижность и закрѣпляются въ относительно неизмѣнномъ положеніи. Такія излучины мало подвижныя Ноэ и Маржери [Noé et E. de Margerie, Les formes du terrain, 1888] предложили называть глубокими (méandres encaissés) въ отличіе отъ блуждающихъ (divagants). При углубленіи русла вогнутый берегъ подмывается сильнѣе, чѣмъ выпуклый, и русло прижимается къ первому; вслѣдствіе этого углубленіе русла происходитъ нѣсколько наклонно въ сторону вогнутаго берега, а не отвѣсно, и выпуклый берегъ

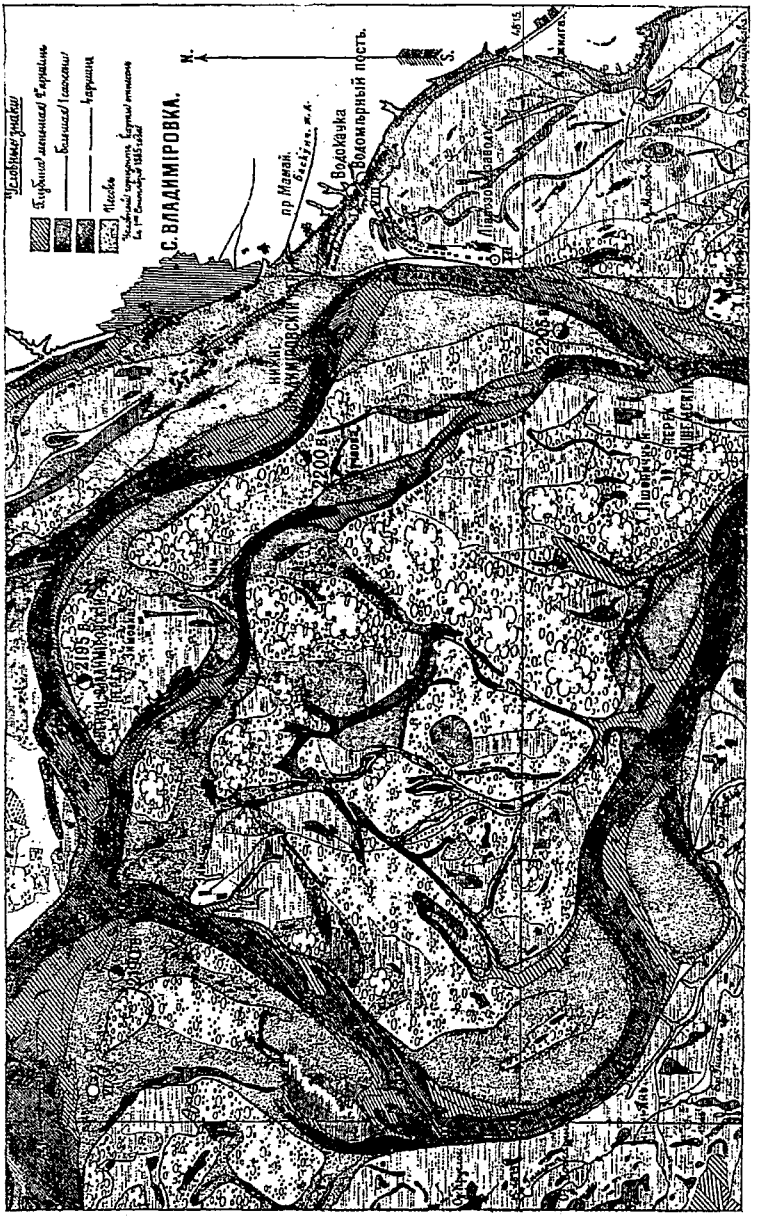


Фиг. 243. — Часть долины Волги у г. Енотаевска. (Масштабъ 10 верстъ въ 1 д.).

принимаетъ значительно меньшую крутизну, чѣмъ вогнутый. При развитіи такихъ глубокихъ излучинъ одновременно происходитъ какъ размываніе въ глубину, такъ и боковое; это явленіе возникаетъ повсюду, гдѣ эрозіонная сила рѣки не можетъ расходоваться цѣликомъ только на размываніе въ глубину. Подобныя условія осуществляются, напр., если рѣка протекаетъ по простиранію полого-падающихъ пластовъ неодинаковаго сопротивленія размыванію; если слабые слои составляютъ висячій бокъ твердыхъ, то рѣка, отклоняясь въ сторону слабыхъ слоевъ, въ то же время скользитъ книзу по поверхности твердыхъ слоевъ. Это явленіе моноклинальнаго смѣщенія, по выраженію Джильберта (monoclinal shifting) имѣетъ большое значеніе въ горныхъ областяхъ, какъ увидимъ дальше.

Не безъинтересно указать нѣкоторые термины, употребляемые на нашей главной рѣкѣ Волгѣ для обозначенія различныхъ элементовъ рѣки. Заимствуемъ ихъ изъ извѣстнаго сочиненія проф. Богуславскаго [10]). Крутой берегъ Волги называется

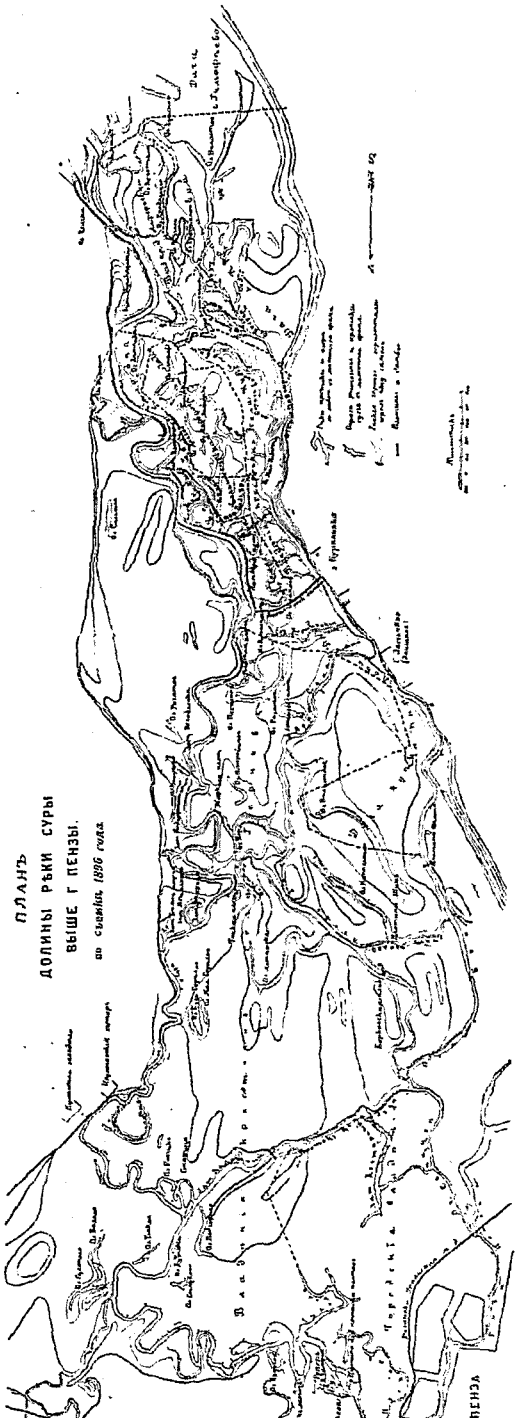
яромъ, а пологій называется пескомъ. Узкая горизонтальная площадка у подножія яра, представляющая естественный бичевникъ, называется заплескомъ. На пологомъ берегу-пескѣ, въ нѣкоторомъ разстояніи отъ русла, находится небольшое возвышеніе въ видѣ маленькаго яра, называемое бровкою; за бровкою или перегибомъ разстилается лугъ, розливъ, пойма или займище, идущее до кряжа долины,



Фиг. 244. — Часть долины Волги у Владиміровки.

т.-е. древняго берега. На сторонѣ „песка", обращенной къ водѣ, часто находятся многочисленныя и правильныя рытвины и впадины, общее направленіе которыхъ косвенно къ теченію рѣки. Гребни, раздѣляющіе эти впадины, нерѣдко выступаютъ въ видѣ косъ или мысовъ, называемыхъ застругами. Правый берегъ Волги называется нагорнымъ, а лѣвый—луговымъ; песокъ и яръ появляются на обоихъ берегахъ. Песокъ и яръ одного и того же берега иногда постепенно сливаются между

собой, иногда же между ними находится бо́льшей или меньшей величины заливъ называемый *затономъ*; затонъ представляетъ естественную гавань. Если яръ разрушается, или, какъ говорятъ, его начинаетъ *рвать или мыть, то на* счетъ размытаго матеріала или наростаетъ противоположный берегъ, или образуются невысокіе *островки* по срединѣ рѣки, называемые *осередки*, или же, наконецъ, песчаная коса, прилегающая къ тому же яру и образующая новый затонъ. Осередки наростаютъ въ нижней части, считая по теченію, и эта часть называется *ухвостье*, а верхняя часть, обыкновенно размываемая, называется *приверхъ*; осередки зарастаютъ *тальникомъ*. Осередки раздѣляютъ рѣку на рукава называемую *волож*ками, въ отличіе отъ главнаго русла или собственно Волги; проливы между рукавами называются *проранами или проносами*. Наибольшая скорость теченія находится у яровъ, гдѣ проходитъ и фарватеръ. *При переходѣ* отъ одного яра къ другому, противоположнаго берега, рѣка имѣетъ меньшую глубину, и такія мѣста называются *перевалами*, а если глубина ихъ ничтожна, то называются *перекатами или мелями*, въ которыхъ болѣе глубокія части называются *плёсами*, а мелкія, опасныя для судовъ — *шалыгами*. Въ половодье всѣ эти разнообразные элементы *скрываются* подъ водою, которая въ это время производитъ наибольшее размываніе и расширеніе долины. Хотя у насъ нѣтъ точныхъ цифровыхъ данныхъ, тѣмъ не менѣе по нѣкоторымъ наблюденіямъ можно думать, что мѣстами, напр. въ Макарьевскомъ уѣздѣ между дер. Юркино и Исады, долина Волги претерпѣла значительныя измѣненія даже въ послѣднія 450 лѣтъ; Докучаевъ [11]) *по этому* поводу говоритъ, что „существованіе на южной поймѣ чрезвычайно рѣзко очерченнаго *древняго берега* (Юркино, Богомолово, Лысково, Исады), масса и направленіе имѣющихся здѣсь старицъ и озеръ (особенно характернаго затона противъ Исадъ) несомнѣнно свидѣтельствуютъ, что когда то Волга дѣлала изгибъ (на Ю.-З.) отъ Юркина къ Богомолову и протекала затѣмъ у подножія упомянутаго древняго берега, причемъ рр. Сундовикъ и Валава отдѣльно вливались въ нее близъ *Лыскова*; очевидно, тогда р. Сундовикъ была верстъ на 4—5 короче теперешняго, а лѣвый *притокъ* р. *Керженецъ длиннѣе* версты на три, и русло Волги лежало

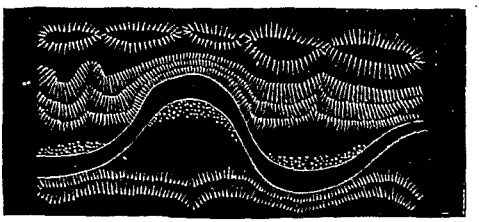


Фиг. 245.

версты на 2—3 южнѣе". Рѣка Ветлуга около села Троицкаго укоротила свое теченіе верстъ на пять и т. д. Интересную исторію развитія рѣки даетъ Никитинъ въ описаніи долины р. Суры (Долина р. Суры выше и ниже г. Пензы, ея вѣковыя и современныя измѣненія. Изв. Геол. Комитета, XIX, 1900), которая представляетъ не менѣе интересныя, чѣмъ на Волгѣ, измѣненія своего русла (фиг. 245) и постепенное расширеніе своей долины.

Боковое размываніе одно изъ могущественныхъ средствъ, при посредствѣ котораго рѣки расширяютъ свои долины до очевидной несоразмѣрности съ живымъ сѣченіемъ. Выпрямленіе русла извилистой рѣки имѣетъ большое значеніе для судоходства, а потому человѣкъ пользуется указанными свойствами рѣкъ и производитъ такія выпрямленія искусственно, ускоряя, такъ сказать, естественный процессъ.

Разумѣется, работа извилистой рѣки будетъ несравненно труднѣе, если она течетъ не по ровной мѣстности, а между высокими грядами [12]) (фиг. 246). Откладывая матеріалъ къ выпуклой сторонѣ, она постепенно размываетъ и врѣзывается попеременно то въ ту, то въ другую гряду. Можетъ случиться, что слабѣйшая изъ грядъ будетъ прорвана, и рѣка соединится съ системою другой рѣки. Въ зависимости отъ орографическихъ условій и отъ характера соединившихся рѣкъ, онѣ или сольются и образуютъ одну рѣчную систему, или же каждая изъ нихъ будетъ существовать самостоятельно, соединяясь только протоками; въ послѣднемъ случаѣ это явленіе называется бифуркаціею рѣкъ; правда, бифуркація можетъ происходить не только отъ бокового размытія, но и отъ вертикальнаго, какъ выше указано; примѣромъ бифуркаціи могутъ служить: р. Кассиквіари, соединяющая Ориноко и Амазонку; р. Модрахъ соединяетъ Менамъ и Комбоджу, р. Кеть



Фиг. 246. — Схема развитія въ холмахъ.

няетъ Ирравади и Силуенъ, р. Аннамъ почти соединяетъ Обь и Енисей и т. д.

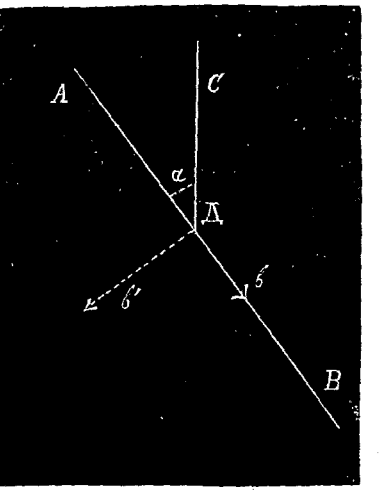
Такимъ образомъ боковое размытіе не только расширяетъ долину рѣки, но обусловливаетъ образованіе новыхъ элементовъ: неравномѣрность русла, береговъ и профиль водораздѣла, что̀ ведетъ за собой большія измѣненія въ жизни и дѣятельности потоковъ, а потому нельзя не указать еще на одинъ факторъ, оказывающій весьма существенное вліяніе на неравномѣрность бокового размытія, а слѣдовательно и на расширеніе долины. Этотъ факторъ заключается во вращеніи земли. Вліяніе вращенія земли на боковое отступаніе рѣкъ впервые указано нашимъ ученымъ К. Бэромъ [13]), и потому оно извѣстно подъ именемъ закона Бэра. Онъ состоитъ въ томъ, что вслѣдствіе неодинаковой скорости вращенія земли подъ разными широтами меридіанальныя рѣки въ сѣверномъ полушаріи отклоняются вправо, размывая энергичнѣе правый берегъ, а въ южномъ полушаріи—влѣво.

Извѣстно, что скорость вращенія земли уменьшается отъ экватора къ полюсамъ; подъ экваторомъ она наибольшая (5.400 г. м. въ сутки), подъ 60° широты—уже вдвое меньше, а у полюсовъ равна нулю. Частицы воды въ рѣкахъ сѣвернаго полушарія, направляющихся отъ полюса къ экватору, напр. Волга, Донъ, Уралъ и пр., переходятъ изъ широтъ съ меньшею линейною скоростью въ широты съ большею скоростью, а потому частицы эти, удерживая нѣкоторое время скорость, сообщенную имъ въ предыдущихъ широтахъ, будутъ отставать отъ движенія земли въ послѣдующихъ широтахъ; а такъ какъ тѣ же частицы, катясь по наклонной плоскости, уже обладаютъ нѣкоторою силою, то, слѣдовательно, онѣ направятся по равнодѣйствующей двухъ силъ и будутъ напирать на правый берегъ, въ данномъ случаѣ западный,—результатомъ чего будетъ болѣе энергичное размытіе праваго, или западнаго, берега.

Въ рѣкахъ, текущихъ въ обратномъ направленіи, т.-е. отъ экватора къ полюсу, частицы воды, переходя изъ широтъ съ большею скоростью вращенія земли въ широты съ меньшею скоростью, будутъ опережать движеніе земли и, слѣдовательно, тоже направятся по равнодѣйствующей и будутъ размывать правый берегъ или вос-

точный. Легко понять, что въ южномъ полушаріи, въ силу того же вліянія, меридіанальныя рѣки энергичнѣе размываютъ лѣвый берегъ. Величина этого отклоненія пропорціональна синусу географической широты. Если, согласно съ Бабинэ, чрезъ a обозначимъ скорость вращенія земли, чрезъ b—скорость сообщеннаго движенія, частицамъ воды, w — географическую широту, то величина линейнаго уклоненія x выразится формулой $x = ab \sin w$, а углового $y = a \sin w$.

Бо́льшее размытіе праваго берега въ силу закона Бэра наблюдается на многихъ рѣкахъ сѣвернаго полушарія; напр. Волга между Казанью и Сарептою постепенно уклоняется или, такъ сказать, перемѣщается вправо къ западу; вслѣдствіе этого много городовъ (до 23) и селеній, построенныхъ на западномъ берегу, были разрушены домъ за домомъ. Городъ Черный-Яръ въ Астраханской губ. еще въ 1625 г. былъ перенесенъ на новое мѣсто, дальше отъ рѣки, но въ настоящее время Волга снова подступила къ нему и угрожаетъ потопить. Съ другой стороны, селенія лѣваго берега Волги все болѣе удаляются отъ рѣки: напр., Казань, нѣкогда находившаяся у самой рѣки, теперь отстоитъ отъ нея въ разстояніи около трехъ верстъ. По словамъ Ибнъ Фоэлана, древніе Болгары находились на берегу Волги еще въ X ст., а теперь отстоятъ на 8 верстъ отъ нея. То же наблюдается на Дону, Днѣпрѣ, Днѣстрѣ, Оби, Енисеѣ, Ленѣ, Аму-Дарьѣ. Евфратъ, Индъ, Миссиссипи, Гангъ уклоняются къ западу, Нилъ—къ востоку; въ южномъ полушаріи Лаплата подмываетъ лѣвый берегъ и т. д.



Фиг. 247.—Схема размытія по Клокманну.

Этотъ законъ уклоненія потоковъ, вслѣдствіе вращенія земли, обнаруживается также во всѣхъ атмосферныхъ и морскихъ теченіяхъ, напр. въ пассатныхъ вѣтрахъ, въ неравномѣрномъ размытіи береговыхъ проливовъ, напр. въ Татарскомъ проливѣ, въ проливѣ, соединяющемъ моря Черное и Мраморное, и пр., равно какъ въ движеніи пушечныхъ ядеръ, поѣздовъ желѣзныхъ дорогъ, соскакивающихъ иногда съ рельсовъ по этой причинѣ. Для рѣчныхъ долинъ онъ имѣетъ весьма важное значеніе потому, что нерѣдко объясняетъ громадное развитіе долины въ ширину.

Нѣкоторые ученые полагаютъ, что законъ Бэра проявляется не только на меридіанальныхъ рѣкахъ, но также и на широтныхъ, а потому придаютъ ему слишкомъ универсальное значеніе, тогда какъ другіе совершенно отрицаютъ вліяніе его. Истина, какъ всегда, заключается въ срединѣ. Отрицать значеніе закона Бэра невозможно, ибо оно слишкомъ очевидно и подтверждается многочисленными фактами. Ничтожная сила, которая при этомъ развивается и которая представляетъ главное основаніе для отрицателей закона Бэра, производитъ весьма разнообразные результаты въ зависимости отъ геологическаго строенія береговъ; мѣстами она проявляется слабо, но мѣстами весьма сильно: такъ у г. Черный-Яръ ничтожное размытіе дѣйствуетъ главнѣйше на рыхлый песчаный слой незначительной толщины, но, благодаря его подмыву, происходятъ обвалы милліоновъ пудовъ вышележащихъ породъ, которыя, низвергаясь въ рѣку, постепенно ею размываются и уносятся.

Съ другой стороны, не всегда крутые берега рѣкъ можно объяснять вліяніемъ закона Бэра. Г. Стефановичъ [14]) для объясненія высокихъ береговъ многихъ рѣкъ Австріи приводитъ цѣлый рядъ причинъ, между которыми важную роль играетъ вѣтеръ, способствующій неравномѣрному размытію береговъ или дѣйствіемъ прибоя волнъ, или наносомъ песка изъ ближайшей песчаной области, а съ другой стороны засореніе рѣчного ложа растеніями въ мѣстахъ спокойнаго теченія. Г. Клокманнъ [15]) доказалъ, что неравномѣрная крутизна береговъ многихъ сѣверо-германскихъ рѣкъ обусловливается исключительно орографическимъ характеромъ мѣстности, т.-е. ближайшая причина крутыхъ склоновъ рѣки заключается во взаимномъ отношеніи направленія самаго потока и простиранія прорываемыхъ имъ гребней. Эти два направленія могутъ быть: 1) параллельны, 2) перпендикулярны и 3) встрѣчаться подъ какимъ-нибудь угломъ. Оставляя первые два случая, какъ наиболѣе простые и понятные, разсмотримъ третій случай. Допустимъ, что AB представляетъ линію простиранія гряды (фиг. 247), CD—направленіе потока, составляющее съ AB уголъ α; силу, дѣйствующую по направленію CD, можно разложить на двѣ составляющихъ: Db параллельную AB и Db'—перпендикулярную AB; изъ этихъ двухъ силъ наибольшее размывающее дѣйствіе на гряду имѣетъ Db', т.-е. перпендикулярная къ направленію ея; она-то и обусловливаетъ подмывъ берега

и его крутизну. Нетрудно замѣтить, что нормальная составляющая сила Db' относится къ той сторонѣ потока, на которой уголъ α — острый; отсюда можно вывести слѣдующее правило: болѣе крутой берегъ находится всегда на той сторонѣ потока, на которой направленіе послѣдняго составляетъ съ направленіемъ простиранія размываемой гряды острый уголъ α. Это правило вполнѣ приложимо къ плоскимъ низменностямъ съ однообразными сглаженными увалами, состоящими изъ болѣе или менѣе однородныхъ рыхлыхъ породъ. Клокманнъ провѣрилъ это на отдѣльныхъ участкахъ многихъ рѣкъ сѣверо-германской низменности, какъ-то: Эльбы, Одера, Вислы и др. Нѣкоторыя исключенія изъ этого правила объясняются тѣмъ обстоятельствомъ, что, по изслѣдованію Берендта, рѣки эти образовались изъ ледниковыхъ потоковъ, протекавшихъ когда то въ направленіи обратномъ современному теченію ихъ. Такимъ образомъ и въ данномъ случаѣ, какъ во многихъ другихъ, сходныя явленія могутъ зависѣть отъ различныхъ причинъ. Указанныя частныя причины крутизны правыхъ береговъ рѣкъ нисколько не умаляютъ значенія закона Бэра; напротивъ, новѣйшія изслѣдованія Джильберта, Байна, Фонтэ и др. доказываютъ разнообразныя вліянія его. Джильбертъ [16]) обращаетъ вниманіе на то, что при изогнутіи потока развивается центробѣжная сила, которая, вслѣдствіе различной скорости теченія въ одномъ и томъ же поперечномъ разрѣзѣ рѣки, вызываетъ размываніе на внѣшнемъ и отложеніе на внутреннемъ берегу; вліяніе вращенія земли также измѣняется въ зависимости отъ скорости теченія, и какъ бы оно ни было мало, но въ связи съ центробѣжною силою оно въ нѣкоторыхъ случаяхъ пріобрѣтаетъ большое значеніе. Если при изогнутіи потока выпуклый берегъ находится на правой сторонѣ (въ сѣв. полушаріи), то размываніе его будетъ происходить энергично, благодаря суммѣ вліяній центробѣжной силы и вращенія земли; если же на лѣвой, то размываніе будетъ слабѣе, такъ какъ въ данномъ случаѣ будетъ имѣть мѣсто не сумма, а разность вліяній упомянутыхъ двухъ факторовъ. Обозначая черезъ R — сумму, а черезъ L — разность вліяній обоихъ факторовъ, Джильбертъ нашелъ, что $\frac{R}{L} = \frac{V_r + V_s + 2\rho n \sin w}{V_r + V_s - 2\rho n \sin w}$, гдѣ V_r—наибольшая, V_s—наименьшая скорость теченія, ρ—радіусъ кривизны рѣки, n—угловая скорость вращенія земли, w—широта. Принимая, что скорости V_r и V_s распредѣляются симметрично, предыдущее выраженіе можно изобразить такъ: $\frac{R}{L} = \frac{V + \rho n \sin w}{V - \rho n \sin w}$. Для нѣкоторыхъ мѣстъ р. Миссисипи Джильбертъ получилъ, что $\frac{R}{L} = 1{,}09$, откуда видно, что вращеніе земли оказываетъ значительное вліяніе на степень изогнутія потоковъ; то же вліяніе Джильбертъ подтвердилъ наблюденіями на ручьяхъ и рѣкахъ южной стороны Long Island'a. Г. Байнъ [17]) указываетъ на то, что вліяніе вращенія земли отражается нетолько на поверхности потоковъ, но и на всей глубинѣ. Вслѣдствіе вращенія земли поверхность воды въ рѣкахъ сѣв. полушарія должна возвышаться къ правому берегу, что вызываетъ обратный токъ справа налѣво, противодѣйствующій вліянію вращенія земли. На поверхности потоковъ, гдѣ скорость больше, это противодѣйствіе почти незамѣтно, но у дна, гдѣ скорость уменьшается, этотъ обратный токъ отъ праваго берега къ лѣвому обусловливаетъ накопленіе осадковъ у лѣваго берега и размытіе праваго даже въ совершенно прямолинейныхъ меридіанальныхъ рѣкахъ сѣв. полушарія. Одно это обстоятельство можетъ вызвать извилины въ направленіи потоковъ. Фонтэ [18]) подтверждаетъ еще положительнѣе такое значеніе вращенія земли въ измѣненіи направленія потоковъ. Такимъ образомъ вращеніе земли оказываетъ вліяніе не только на боковое размытіе, но также на скопленіе рѣчныхъ наносовъ, на характеръ направленія потоковъ и пр.; слѣдовательно какъ бы ни казалась ничтожна сила этого фактора, значеніе его въ размывающей дѣятельности потоковъ отрицать невозможно.

До сихъ поръ мы ограничивались только разсмотрѣніемъ общихъ процессовъ; теперь же изслѣдуемъ разнообразныя измѣненія, обнаруживающіяся въ размывающей дѣятельности воды и зависящія какъ отъ перемѣнной силы потоковъ, такъ и отъ свойства размываемаго матеріала и другихъ условій.

Теоретическое положеніе, что сила потока зависитъ отъ паденія и количества воды, въ дѣйствительности имѣетъ много ограниченій. Съ одной стороны, эта сила можетъ значительно увеличиваться внѣшними обстоятельствами, напр. постояннымъ вѣтромъ, который производитъ

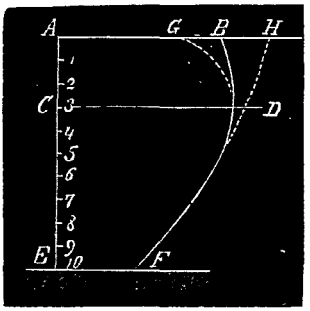
сильное теченіе даже въ потокѣ съ малымъ паденіемъ или даже въ бассейнѣ безъ уклона; размывающій эффектъ можетъ увеличиться вслѣдствіе механически-примѣшанныхъ къ водѣ потока частицъ. Съ другой стороны, сила эта уменьшается вслѣдствіе того, что она затрачивается на преодолѣніе тренія о стѣнки и дно потока, на уничтоженіе препятствій, на переносъ твердыхъ веществъ и пр.; вслѣдствіе этого скорость движенія потока весьма неравномѣрна въ разныхъ частяхъ въ горизонтальномъ и вертикальномъ направленіи, т. е. въ глубину и ширину. Тончайшія частицы, уносимыя водою, распредѣляются въ потокѣ болѣе или менѣе равномѣрно и проносятся дальше всего; болѣе крупныя, уносимыя однѣми частями потока, отлагаются, попадая въ другія части его, еще болѣе крупныя могутъ только перекатываться по дну, производя истираніе его. Очевидно, что знаніе всѣхъ этихъ условій весьма важно для пониманія работы проточной воды.

Вліяніе различныхъ особенностей потоковъ и рѣкъ на размываніе.

Движеніе и скорость воды въ рѣкахъ. Движеніе воды въ рѣкѣ происходитъ подъ вліяніемъ силы тяжести и представляетъ паденіе по наклонной плоскости. Если бы это паденіе совершалось безъ всякаго сопротивленія, то все ускореніе, сообщаемое тяжестью на протяженіи паденія выражалось бы увеличеніемъ скорости теченія, и скорость возрастала бы отъ истоковъ къ устью, согласно выраженію $v = \sqrt{2gh}$, гдѣ h величина паденія въ единицахъ длины. Въ дѣйствительности вода не имѣетъ скорости, соотвѣтствующей только величинѣ паденія, такъ какъ вода при своемъ движеніи испытываетъ сопротивленіе отъ тренія о стѣнки и дно русла; кромѣ того она испытываетъ нѣкоторое треніе о воздухъ, вызывающее явленіе вѣтра по теченію надъ быстрыми рѣками, и наконецъ внутреннее треніе между частицами воды, имѣющими неодинаковую скорость и различное направленіе движенія. Живая сила воды, равная половинѣ произведенія массы (M) на квадратъ скорости (v), т. е. $\frac{Mv^2}{2}$, при движеніи тратится главнымъ образомъ на работу перемѣщенія матеріала, и эта работа поглощаетъ наиболѣе значительную часть скорости воды, такъ что при устьѣ рѣки скорость воды значительно меньше, чѣмъ въ верхнемъ теченіи.

Вслѣдствіе тренія о стѣнки и дно русла, скорость движенія воды въ разныхъ мѣстахъ одного и того же поперечнаго разрѣза рѣки будетъ различна; вообще вблизи береговъ и дна скорость гораздо меньше, нежели въ серединѣ; въ глубокихъ частяхъ больше, нежели въ мелкихъ. Наименьшая скорость находится вблизи дна, наибольшая — на нѣкоторой глубинѣ отъ поверхности надъ самой глубокой ложбиной рѣки, такъ называемомъ тальвегомъ (Thalweg). Обыкновенно полагаютъ, что средняя скорость рѣки составляетъ, по крайней мѣрѣ для большихъ рѣкъ, $^4/_5$ наибольшей скорости у поверхности, а скорость у дна не превышаетъ половины средней скорости. Фиг. 248 показываетъ измѣненіе скорости въ продольномъ разрѣзѣ рѣки. Частицы воды A, C, E, первоначально

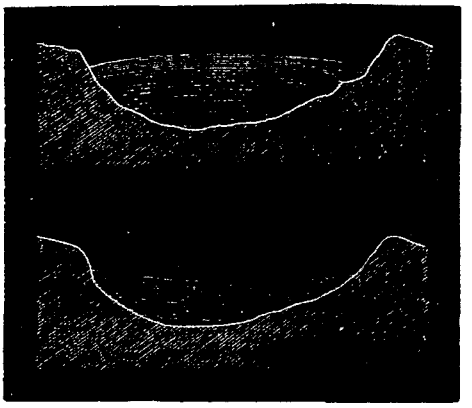
расположенныя вертикально одна надъ другой, по мѣрѣ движенія воды располагаются по кривой *BDF*. Наибольшая скорость приходится нѣсколько ниже поверхности воды въ серединѣ рѣки, при симметричной формѣ русла, и значительно глубже подъ поверхностью воды около береговъ. Если соединить на поперечномъ сѣченіи всѣ точки съ одинаковой скоростью линіями, такъ называемыми изотахами, то получимъ нѣсколько слоевъ воды съ разною скоростью. Средняя скорость воды, помноженная на величину площади поперечнаго сѣченія, опредѣляетъ массу воды, проходящей въ секунду, или расходъ воды.



Фиг. 248.

Если опредѣлить на послѣдовательныхъ поперечныхъ профиляхъ мѣста наибольшей скорости воды на поверхности и соединить эти потоки, то получимъ такъ называемый стержень (Stromstrich). Если рѣка изгибается, то изгибается и стержень, но еще круче, приближаясь къ вогнутому и удаляясь отъ выпуклаго берега. Скорость теченія на поворотахъ значительнѣе, чѣмъ на прямыхъ.

Первоначально принимали, опираясь на расположеніе воды въ поперечной профили слоями различной скорости, что водяные слои прямо скользятъ другъ надъ другомъ, причемъ имѣющіе бо́льшую скорость опережаютъ слои съ меньшей скоростью. Такая теорія движенія воды въ рѣкахъ (Laminartheorie) теперь, благодаря изслѣдованіямъ Томсона (James Thomson), Мёллера и другихъ замѣнена ученіемъ о движеніи воды по спиралямъ. Кромѣ движенія воды по теченію она испытываетъ еще другое въ поперечномъ направленіи, какъ это видно по увлеченію льдинъ или даже пловца отъ береговъ къ серединѣ рѣки. Поверхностныя частицы воды уносятся отъ береговъ къ стержню, что вызываетъ обратное движеніе частицъ воды около дна и боковъ русла.


Фиг. 249. — Схема выпуклости и вогнутости поверхности рѣки.

Частицы воды движутся, слѣдовательно, не прямолинейно, а по вытянутымъ спиралямъ двумя системами по обѣ стороны стержня. Движеніе въ поперечномъ направленіи объясняется треніемъ о берегъ, которое вызываетъ подпоры воды, отчего уровень рѣки нѣсколько приподнимается отъ береговъ, и вода на поверхности скатывается къ серединѣ рѣки. Но такое движеніе воды замѣчается только при низкомъ уровнѣ ея въ рѣкѣ; наоборотъ въ половодье горизонтъ воды на стержнѣ лежитъ выше (фиг. 249), чѣмъ около береговъ, и спиральное движеніе частицъ воды происходитъ въ обратномъ направленіи.

Кромѣ такого движенія по спиралямъ постоянно возникаютъ восходящіе и нисходящіе водовороды, имѣющіе общее поступательное движе-

ніе; такіе водовороты образуются на границѣ водяныхъ слоевъ, движущихся съ различной скоростью или въ различномъ направленіи. Эти водовороты выводятъ медленнѣе движущуюся воду дна на поверхность, а поверхностную воду возвращаютъ на глубину; они какъ бы выравниваютъ скорость воды въ различныхъ точкахъ, и благодаря этому наибольшая скорость, по мнѣнію Джемса Томсона, находится не на водной поверхности, къ которой постоянно притекаютъ снизу слои съ меньшей скоростью, а нѣсколько ниже. Движеніе воды, такимъ образомъ, не прямолинейное, а непостоянное, или вращательное (sinuous or unsteady, rollende, по Томсону и Рейнольдсу).

Кромѣ поступательныхъ водоворотовъ замѣчаются еще постоянные, вызываемые неровностями русла, которые обусловливаютъ постоянныя встрѣчныя теченія.

Если въ какомъ нибудь мѣстѣ препятствія такъ велики, что ускоренія, сообщаемаго водѣ тяжестью, не хватаетъ на ихъ преодолѣніе, треніе поглощаетъ часть ускоренія, слѣдовательно уменьшается скорость теченія. Но вслѣдствіе этого уменьшается и треніе, такъ какъ оно тѣмъ больше, чѣмъ быстрѣе движеніе воды. Обыкновенно принимаютъ, что при медленномъ и прямолинейномъ движеніи треніе пропорціонально скорости, а при скорости выше нѣкотораго предѣла (критическая скорость), когда движеніе начинаетъ происходить по спиралямъ, какъ обыкновенно въ рѣкахъ, треніе приблизительно пропорціонально уже квадрату скорости. Если, напротивъ, треніе мало, такъ что на преодолѣніе его затрачивается только часть ускоренія, сообщаемаго тяжестью водѣ въ данной точкѣ, то скорость теченія увеличивается; вмѣстѣ съ этимъ увеличивается и треніе, такъ что вскорѣ снова наступаетъ состояніе равновѣсія между треніемъ и ускореніемъ. Такимъ образомъ, ускореніе и треніе постоянно регулируютъ скорость теченія, и рѣка можетъ сохранять на значительныхъ протяженіяхъ приблизительно одну и ту же скорость. Такъ какъ ускореніе зависитъ отъ паденія, а треніе отъ поперечнаго сѣченія русла, то можно сказать, что скорость теченія рѣки зависитъ отъ ея паденія и величины и формы поперечнаго сѣченія (т. е. живого сѣченія) русла.

Зависимость отъ паденія, или уклона—прямая, т. е. чѣмъ оно больше, тѣмъ больше и скорость. Зависимость отъ поперечнаго сѣченія гораздо сложнѣе.

Чѣмъ менѣе подводный периметръ при одинаковой площади живого сѣченія, слѣдовательно, чѣмъ менѣе отношеніе $\frac{p}{q}$ (см. стр. 390, выноску), тѣмъ выгоднѣе фигура русла для уменьшенія тренія; наименьшимъ отношеніемъ $\frac{p}{q}$, периметра къ площади, обладаетъ кругъ, а изъ прямоугольныхъ фигуръ квадратъ. Слѣдовательно, русло въ формѣ полуквадрата, т. е. сравнительно узкое и глубокое, представляетъ треніе меньшее, чѣмъ русло широкое и мелкое.

Имѣетъ значеніе и величина живого сѣченія. Хотя съ увеличеніемъ живого сѣченія возрастаетъ и подводный периметръ, но только въ ариѳметической прогрессіи при увеличеніи площади живого сѣченія въ геометрической. Поэтому чѣмъ больше площадь живого сѣченія, тѣмъ менѣе относительное вліяніе на треніе подводнаго периметра. При подоб-

ныхъ поперечныхъ сѣченіяхъ скорость значительнѣе въ большомъ, чѣмъ въ маломъ. Такъ какъ величина живого сѣченія рѣки зависитъ отъ количества воды, то слѣдовательно—чѣмъ больше количество воды, тѣмъ больше и скорость.

Въ гидравликѣ дается выраженіе отношенія между скоростью, паденіемъ, площадью поперечнаго сѣченія и подводнымъ периметромъ *). Тѣмъ не менѣе нельзя считать точно опредѣленнымъ величину тренія, вызываемаго русломъ; оно зависитъ также отъ природы вещества, слагающаго русло (изслѣдованія Базэна и Дарси), и отношеніе его къ скорости гораздо сложнѣе, чѣмъ это указано выше, такъ оно зависитъ и отъ глубины воды, и даже ея температуры.

На каждой рѣкѣ можно найдти примѣры дѣйствія указанныхъ законовъ, хотя далеко не всегда отчетливо, такъ какъ различные факторы часто противодѣйствуютъ другъ другу. Такъ, въ верховьи паденіе рѣкъ обыкновенно наибольшее, а количество воды наименьшее; въ низовьи—наоборотъ. Вліяніе количества воды яснѣе всего обнаруживается увеличеніемъ скорости при половодьи, какъ видно изъ таблицы ниже. Но слѣдуетъ имѣть въ виду, что увеличеніе количества воды связано при этомъ съ возрастаніемъ глубины (т. е. R, см. выноску); если съ массой воды возрастаетъ и подводный периметръ, при разбитіи рѣки на протоки, какъ въ низовьяхъ рѣкъ, то увеличенія скорости не замѣчается.

Для примѣра среднихъ скоростей потоковъ приведемъ нѣсколько опредѣленій:

Сена у Парижа въ межень	0,50 м. въ секуду
Рона	0,40—1,50 » »
» въ половодье	4—5 » »
Рейнъ у Страсбурга при низкой водѣ	1,5 » »
» » » средней »	2,15 » »
» » » высокой »	2,85 » »
Нилъ	1,54 » »
Гангъ	1,54 » »
Миссисипи	1,25—1,50 » »
Волга	1,4 » »
Нева	1,3 » »

Скорость въ 1,5 м. въ секунду чаще всего свойственна большимъ рѣкамъ и морскимъ теченіямъ; при такой скорости у поверхности, на днѣ будетъ соотвѣтствовать скорость 0,6 м. въ секунду.

Переносъ матеріала рѣками. Количество воды и высота паденія въ каждомъ данномъ пунктѣ опредѣляютъ работоспособность рѣки, или ея живую силу. О величинѣ работы, совершаемой проточной водой на сушѣ, можно составить себѣ представленіе, если сравнить величину работы, которую могла бы исполнить вода, попадающая непосредственно въ море, и живую силу воды рѣкъ при ихъ устьи; оказывается, что почти

---

*) Напр. формула Чези, $v = c\sqrt{\frac{q}{p}\cdot\frac{h}{l}}$, гдѣ q—площадь живого сѣченія, p—подводный периметръ, h—высота паденія на длинѣ l. Отношеніе $\frac{p}{q}$ называется гидравлической глубиной (R, средній радіусъ), которая нѣсколько менѣе средней глубины рѣки. Отношеніе $\frac{h}{l}$ есть уклонъ $= J$. Коэффиціентъ c величина крайне непостоянная, для горныхъ рѣкъ около 11.3 до 36, а для крупныхъ рѣкъ до 71. См. И. Тиме, Курсъ Гидравлики, I, стр. 126—129 и далѣе.

вся работа затрачивается на сушѣ. Дѣйствительно [Penck, Morphologie. стр. 272, см. также, И. Тиме, Курсъ гидравлики, II, стр. 6—8], назовемъ черезъ P вѣсъ всей массы воды, дѣйствующей на поверхность земли, а черезъ H среднюю высоту паденія, которую можно принять за среднюю высоту материковъ; тогда выраженіе для работы, которую вода могла бы исполнить, будетъ

$$A = P . H^{*})$$

Предполагая, что все количество выпадающей воды достигаетъ моря съ нѣкоторой скоростью v, получимъ для живой силы воды при устьи рѣкъ выраженіе

$$L = P \frac{v^2}{2g}, \text{ т. е. } = \frac{M . v^2}{2}$$

Работа, совершаемая на сушѣ, будетъ

$$A - L = P \left(H = \frac{v^2}{2g} \right).$$

Принимая $H = 735^m$, а $v = 2m$, что, конечно, больше даже дѣйствительнаго, получимъ

$$A - L = P \left(735 - \frac{4}{19.7} \right).$$

Часть этой работы затрачивается на преодолѣніе тренія о русло, т. е. на движеніе самой воды, а другая на массовое перемѣщеніе матеріала, доставляемаго въ рѣку смываніемъ, силою тяжести и корразіей своего русла. Отношеніе этихъ двухъ величинъ въ точности нельзя опредѣлить, такъ какъ величина тренія остается, какъ мы видѣли, болѣе или менѣе условной. Если бы можно было вычислить для водъ съ опредѣленной глубиной и опредѣленнымъ паденіемъ скорость въ данной точкѣ, что трудно, какъ мы видѣли, то по разницѣ между вычисленной и дѣйствительной скоростями, была бы опредѣлена и та часть работы, какая затрачивается именно на перемѣщеніе матеріала.

Проточная вода перемѣщаетъ матеріалъ трояко: перетаскиваніемъ и перекатываніемъ по дну рѣки, въ взвѣшенномъ состояніи и въ растворенномъ. Перваго рода матеріалы представляютъ рѣчныя гальки и щебень, втораго илъ и частью песокъ, третьяго растворенныя соли. Опредѣленнаго количественнаго отношенія между этими родами матеріала нѣтъ, но существуетъ генетическая зависимость. Гальки по мѣрѣ перенесенія, истираясь, даютъ илъ и песокъ, которые легче подвергаются растворяющей силѣ воды. Чѣмъ продолжительнѣе перемѣщеніе, тѣмъ болѣе образуется ила и болѣе вещества переходитъ въ растворъ. Конечно, не надо думать, что весь илъ и растворенныя соли происходятъ такимъ путемъ; перваго гораздо болѣе поступаетъ путемъ смыванія, а вторыхъ дѣятельностью подземныхъ водъ; наконецъ, и вѣтеръ служитъ агентомъ, доста-

*) $A = \frac{M . v^2}{2}$, а $v = \sqrt{2gh}$, слѣдовательно $A = M . g . h$, или $= P . h$.

вляющимъ иногда значительныя количества какъ тонкихъ остатковъ отъ механическаго и химическаго вывѣтриванія, такъ и солей.

Перемѣщеніе галекъ происходитъ подъ напоромъ движенія воды, слѣдовательно въ зависимости отъ величины ихъ, а не количества. Вѣсъ переносимыхъ галекъ и щебня, все равно перетаскиваніемъ или перекатываніемъ, возрастаетъ пропорціонально шестой степени скорости теченія. Напр., если скорость теченія удвоится, то она способна перемѣщать гальки, вѣсъ которыхъ болѣе въ 64 раза. Граница между покоемъ и движеніемъ галекъ опредѣляется, конечно, моментомъ, когда сила напора равна сопротивленію. Величина сопротивленія зависитъ естественно отъ условія, должна ли галька перемѣщаться по горизонтальной поверхности, внизъ или вверхъ. При уклонѣ даннаго мѣста русла въ сторону движенія уже при 27° сопротивленіе равняется нулю; въ случаѣ обратнаго уклона, сопротивленіе достигаетъ максимальной величины при углѣ въ 63°, когда сопротивленіе всякаго тѣла средняго удѣльнаго вѣса 2,2 больше, чѣмъ сила, которая необходима, чтобы удержать такое тѣло въ взвѣшенномъ состояніи. Вычисленія показываютъ, что скорость, при которой рѣки начинаютъ перемѣщать гальки при наиболѣе крутомъ уклонѣ противъ теченія, должна быть болѣе скорости для перемѣщенія того же матеріала по горизонтальной поверхности всего только въ полтора раза.

Опытовъ и наблюденій надъ скоростью воды и величиной перемѣщаемаго при этомъ матеріала имѣется всетаки недостаточно, въ особенности въ естественныхъ условіяхъ рѣкъ (изслѣдованія Umpfenbach'a въ 1830 г. и Suchier'a въ 1883 г.). Изъ такихъ изслѣдованій обнаруживается, что просто для переноса галекъ требуется скорость значительно меньшая, чѣмъ для того, чтобы привести ихъ въ движеніе.

Нижеслѣдующая таблица приводится по даннымъ Belgrand'a (Лаппаранъ Traité etc., стр. 182—183):

		Діаметръ.
0,15 м. въ секунду	крупный илъ	0,0004 м.
0,20 » »	мелкій песокъ	0,0007 »
0,30 » »	крупный рѣчной песокъ	0,0017 »
0,70 » »	мелкія гальки	0,0092 »
1,20 » »	гальки велич. съ яйцо.	
1,50 » »	плоскія гальки.	

Изъ этой таблицы видно, что большинство рѣкъ, имѣющихъ только 0,50 м. скорость у дна, могутъ переносить илъ, песокъ и мелкую гальку; слѣдовательно, ежели на днѣ ихъ залегаютъ крупныя гальки, то онѣ свидѣтельствуютъ объ измѣнившихся условіяхъ потока, о которыхъ скажемъ ниже.

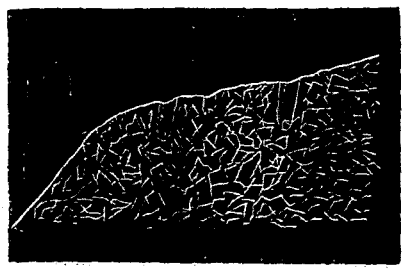
Правда, горные потоки, обладающіе громадными скоростями до 7—10 м. и болѣе, въ состояніи переносить валуны до 15 килогр. и болѣе, но это происходитъ только на ограниченныхъ разстояніяхъ.

Переносъ галекъ и щебня происходитъ главнымъ образомъ посредствомъ перекатыванія; перетаскиваніе происходитъ рѣже. Перекатываніе совершается или отдѣльными галками, или цѣлой массой ихъ. Въ послѣднемъ случаѣ, обыкновенно только въ половодье горныхъ рѣкъ, по дну рѣки катится настоящій потокъ галекъ, производящій особый шумъ при непрестанномъ ударѣ камней другъ о друга. По наблюденіямъ Песталоцци (1878 г.) на Рейнѣ и Бирзигѣ (около Базеля) такой потокъ можетъ имѣть толщину до 3 м. Обыкновенно болѣе тонкій песчаный мате-

ріалъ перемѣщается подобно галькамъ, но во время половодья онъ взбалтывается и переносится неравномѣрно цѣлыми «облаками» въ взвѣшенномъ состояніи, преимущественно по близости дна.

Частицы ила переносятся въ взвѣшенномъ состояніи, поддерживаясь особенно долго въ водѣ восходящими водоворотами; чѣмъ сильнѣе такіе водовороты, тѣмъ крупнѣе матеріалъ, который можетъ оставаться взвѣшеннымъ; слѣдовательно и этотъ матеріалъ распредѣляется въ водѣ неравномѣрно, также какъ и наиболѣе крупный галечниковый въ зависимости отъ измѣненія скорости теченія. Совершенно равномѣрно переносится только матеріалъ растворенный въ водѣ.

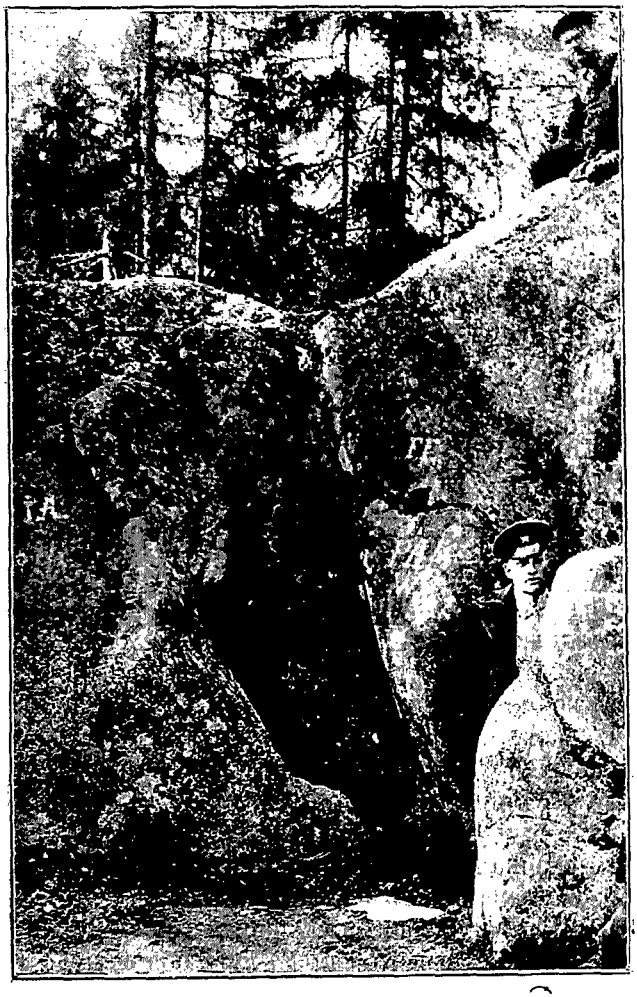
Съ перемѣщеніемъ галечныхъ и песчаныхъ отмелей мы познакомимся дальше въ связи съ отложеніемъ проточными водами осадковъ, а теперь замѣтимъ только, что количество взвѣшеннаго матеріала, переносимаго крупными рѣками, гораздо больше, чѣмъ количество галекъ и щебня, отъ 10 до 50 разъ. Въ среднемъ оно колеблется для рѣкъ средней Европы отъ 50 до 100 граммовъ на 1 куб. метръ воды; для нѣкоторыхъ альпійскихъ рѣкъ достигаетъ до 1000 гр. Оно тѣмъ больше, чѣмъ рѣзче разница въ количествѣ воды въ половодье и мелководье, такъ для рѣкъ южной Азіи отъ 1000 до 2500 гр., а для Инда во время половодья даже 4500 гр. Растворенныя вещества переносятся въ количествѣ довольно близкомъ къ $\frac{1}{6000}$ вѣса воды, и общее количество солей, поступающихъ въ море изъ рѣкъ, составляетъ 4,1 билліона клг. ежегодно (см. ниже).



Фиг. 250.—Разрѣзъ исполиновыхъ котловъ.

Наклонъ или паденіе потока, увеличивая скорость движенія, вліяетъ на интенсивность механической работы потоковъ. Вода легко стекаетъ уже по склонамъ въ $^1/_{10000}$, т.-е. 20″, но для многихъ рѣкъ, особенно въ низовьяхъ, склоны еще меньше, напр. въ устьяхъ р. По склонъ $^{3,3}/_{100000}$ или 6″; паденіе Рейна $^{3,9}/_{10000}$ или 8″; р. Миссиссипи отъ Огайо до моря $^{4,74}/_{100000}$ или 9″, Роныотъ Арля до моря $^{5,7}/_{100000}$ или 11″; Сены отъ Конфлана до Руэна $^{8,7}/_{100000}$ или 19″; Волги $^{4}/_{100000}$, тоже Невы и др. При увеличивающихся склонахъ потоки сносятъ болѣе крупныя гальки, которыя до того залегали на днѣ неподвижно. Самый большой механическій эффектъ получается при перпендикулярномъ паденіи, напр. въ водопадахъ. Свободнопадающая вода, встрѣчая на пути обломки твердыхъ породъ, приводитъ ихъ во вращательное движеніе и постепенно сверлитъ ими дно. Смотря по относительной твердости породъ, по продолжительности сверленія, результатомъ такого дѣйствія въ разныхъ мѣстахъ на днѣ происходятъ большей или меньшей величины правильныя или расширяющіяся книзу цилиндрическія углубленія, называемыя исполиновыми котлами (Riesenkessel, marmites de géants torrentielles, pot-holes) (фиг. 250), потому что въ Скандинавіи происхожденіе ихъ приписывали великанамъ. Нѣкоторые изъ нихъ находятся въ зачаточномъ состояніи; другіе же достигаютъ до 10 м. глубины. Въ два, три метра глубины и отъ 0,30 м. до 0,40 м. въ діаметрѣ, наблюдаются,

напр., на стѣнахъ глубокой долины Колорадо, гдѣ котлы высверлены въ твердомъ гранитѣ, тоже у Иматрскаго водопада на р. Вуоксѣ въ гнейсахъ (фиг. 151). На р. Чирчикѣ, около дер. Ходжакента, исполиновые котлы въ вертикальныхъ стѣнахъ, состоящихъ изъ горнаго известняка, достигаютъ громадныхъ размѣровъ, болѣе 0,50 м. въ діаметрѣ, до 2 м. глубиною; тоже на Рейнскомъ водопадѣ у Шафгаузена и пр. Обыкновенно на днѣ котловъ находятся совершенно круглые камни въ видѣ пушечныхъ ядеръ (фиг. 252). Впослѣдствіи мы увидимъ, что подобныя же образованія производятся ледниками, и прежде даже полагали, что исполиновые котлы или горшки представляютъ одинъ изъ признаковъ ледниковаго дѣйствія, но, однако, наблюденія доказываютъ, что и проточная вода къ состояніи производить котлы. Напр., г. Бальцеръ [19]) сообщалъ о весьма быстромъ образованіи котловъ (въ два года — глубиною до 1 м.) въ песчаникахъ Гагнекскаго канала, отводящаго часть воды р. Аары въ Біелерское озеро. Присутствіе котловъ въ стѣнахъ старыхъ склоновъ долинъ даетъ обратное указаніе на прежній горизонтъ воды въ рѣкѣ.



Фиг. 251. — Исполиновый котелъ на Иматрѣ.

Количество воды въ рѣкѣ или дебитъ, какъ уже замѣчено выше, имѣетъ большое значеніе для механической работы потока. Если двѣ рѣки протекаютъ по однѣмъ и тѣмъ же породамъ, то, разумѣется, та скорѣе углубитъ свое ложе, которая многоводнѣе; это на каждомъ шагу видно на горныхъ потокахъ при сравненіи главной долины съ боковыми. Но количество воды въ рѣкахъ есть величина періодически измѣняющаяся, какъ зависящая отъ климата. При увеличеніи воды въ рѣкѣ вдвое, размывающая и переносящая дѣятельность возрастаетъ больше, чѣмъ вдвое. Рѣки, въ которыхъ количество воды періодически значительно увеличивается, производятъ гораздо бо̀льшую работу во всѣхъ отношеніяхъ, нежели рѣки

съ постояннымъ количествомъ воды; изъ этого слѣдуетъ, что русло рѣки формируется согласно съ работою воды во время половодья.

Причина періодическаго измѣненія количества воды въ рѣкахъ или отъ періодическихъ дождей, или отъ таянія снѣгового покрова и пр., находится, какъ указано уже выше (стр. 361), въ зависимости отъ климата. Увеличеніе воды въ рѣкахъ бываетъ весьма разнообразно для разныхъ рѣкъ, и чтобы выразить его сравниваютъ расходъ воды въ единицу времени въ одномъ и томъ же живомъ сѣченіи рѣки во время межени, т.-е. при мелководьѣ, и во время разлива, т.-е. въ половодье; это отношеніе бываетъ какъ 1 : 2, но иногда какъ 1 : 10, 1 : 30 и болѣе до 1 : 300.

Въ слѣдующей таблицѣ приведено нѣсколько примѣровъ, указывающихъ отношеніе меженя къ половодью для нѣкоторыхъ рѣкъ.

На	Мурхабѣ	какъ 1 : 2,5
„	Рейнѣ въ Голландіи	„ 1 : 6.6
„	Мемелѣ у Тильзита	„ 1 : 4,51
„	Аму-дарьѣ	„ 1 : 4,5
„	Волгѣ у Александровскаго моста близъ города Сызрани	„ 1 : 3 и даже какъ 1.5 [1])
„	Миссиссипи у устья	„ 1 : 4 [2])
„	Брамапутрѣ у устья	„ 1 : 3 [3])
„	Гангѣ у устья	„ 1 : 14 [4])
„	Нилѣ въ Верхнемъ Египтѣ	„ 1 : 20
„	Сенѣ у Парижа	„ 1 : 32
„	Мозелѣ выше Меца	„ 1 : 98
„	Москвѣ въ г. Москвѣ	„ 1 : 30
„	„ но въ большое половодье	„ 1 : 100 [5])
„	Луарѣ у Бріазп	„ 1 : 312
„	„ у Орлеана	„ 1 : 400

Такія громадныя колебанія дебита причиняютъ иногда опустошительныя наводненія, которыя, впрочемъ, являются часто не вслѣдствіе сильныхъ дождей или быстраго таянія снѣга, а вслѣдствіе запора льдинъ или особыхъ орографическихъ условій; напр. извѣстная катастрофа въ мартѣ 1879 года у г. Сегедина, по изслѣдованію Стефановича, обусловливается подпоромъ воды въ тѣснинѣ между Базіасомъ и Орзова. Только рѣки типично озерныя сравнительно мало подвержены колебаніямъ, какъ напр. наша Нева, которая если и производитъ наводненія, то только вслѣдствіе подпора морскою водою, нагоняемою вѣтрами, или вслѣдствіе особыхъ условій замерзанія при образованіи такъ называемыхъ зажоръ.

Но особенно большимъ механическимъ эффектомъ отличается увеличеніе дебита въ странахъ пустынныхъ, гдѣ засуха только изрѣдка прерывается сильными лив-

---

[1]) Волга приноситъ громадное количество воды, а именно 312 куб. килом., слѣдовательно почти 1 куб. кил. въ сутки, а въ половодье—2, даже 3 куб. кил.

[2]) Въ высокую воду Миссиссипи приноситъ 35,050 куб. м. въ 1″, а въ межень—8,500 куб. м.

[3]) Въ половодье 25,340 куб. м., въ межень 9,020 куб. м.

[4]) Въ половодье 14,004 куб. м., въ межень 1,029 куб. м.

[5]) Въ 1880 г., когда было наводненіе въ Москвѣ, половодье было не изъ большихъ, какъ видно изъ слѣдующаго сравненія:

въ 1879 г.	1,822	куб. кил.
„ 1880 „	883	„ „
„ 1881 „	2,363	„ „

Въ 25 дней половодья прошло 93,250 куб. м., а въ остальные 340 дней—85,340 куб. м., т.-е. меньше.

нями. Въ такихъ странахъ хотя разложеніе породъ идетъ очень медленно, тѣмъ не менѣе рыхлые продукты накопляются въ значительномъ количествѣ отъ механическаго выдѣриванія, особенно въ горахъ, а также вслѣдствіе развѣванія. Сильные ливни размываютъ эти накопленія очень быстро, тѣмъ болѣе, что поверхность, лишенная растительности, мало впитываетъ влагу, и потому почти вся вода идетъ на размытіе поверхности.

Въ Восточномъ Египтѣ, на Синайскомъ полуостровѣ, въ Аравіи и въ другихъ странахъ съ подобнымъ же климатомъ на поверхности наблюдаются огромныя сухія русла, называемыя вади (см. стр. 76—77), которыя протягиваются на десятки верстъ и оживляются только въ періодъ ливней, когда они наполняются водой и превращаются во временныя рѣки. Въ пустынѣ Атакама, гдѣ десятки лѣтъ проходятъ безъ дождя, при наступленіи его происходятъ громадныя размытія.

Сухія русла—вади считаютъ иногда признакомъ постепеннаго осушенія страны, но это не всегда вѣрно, особенно для странъ съ періодическими ливнями; такъ въ Южной Африкѣ мѣстами дождя не бываетъ по нѣсколько лѣтъ, и потому многія рѣки превращаются въ вади; напр., по словамъ Фритча, р. Молопо многими путешественниками описывалась какъ вади, тогда какъ онъ видѣлъ ее со свѣтлою полною водою, которая держалась въ продолженіе всего сухого времени.

Фиг. 252. — Исполиновые котлы.

Подобные же случаи, но въ мѣньшихъ размѣрахъ, встрѣчаются у насъ въ Туранской низменности, гдѣ сухія русла носятъ названіе узбоевъ и унгузовъ; они иногда совершенно высыхаютъ, и тогда въ руслѣ ихъ образуется цѣлый рядъ небольшихъ, обыкновенно солоноватыхъ озеръ, которыя называются четковыми озерами.

Многочисленные овраги и балки въ Европейской Россіи, наполняющіеся водою только весной, принадлежатъ до нѣкоторой степени къ тому же типу періодическаго размытія. О нихъ подробнѣе будетъ сказано ниже.

Страшныя опустошенія, производимыя ливнями, вызываются иногда не условіями почвы и климата, а вслѣдствіе продолжительной культуры и уничтоженія лѣсовъ. Лѣса, измѣняя условія таянія и испаренія, обусловливаютъ болѣе правильный и равномѣрный размывъ, а потому уничтоженіе ихъ ведетъ къ увеличенію размыва, доходящаго до опустошенія.

Во французскихъ Альпахъ, въ Палестинѣ, въ Сѣверномъ Китаѣ, въ нѣкоторыхъ частяхъ Европейской Россіи и многихъ другихъ странахъ, гдѣ дожди выпадаютъ неравномѣрно, они размываютъ рыхлую почву до такой степени, что образуютъ громадные овраги, культурную страну превращаютъ въ пустыню и вода потоковъ получаетъ интенсивную желтую или красную окраску отъ примѣси минеральныхъ веществъ. Вслѣдствіе того же долины на южной окраинѣ Альпъ, напр. Тагліаменто и Піава, нѣкогда культурныя, нынѣ превратились въ безжизненную пустыню, покрытую голыми камнями. Приведенные случаи показываютъ, что при извѣстныхъ условіяхъ проточная вода, вмѣсто оживленія страны, можетъ уничтожить въ ней всѣ признаки жизни. Этимъ же объясняется та рѣзкая разница между меженью и половодьемъ, какая указана выше, напр., для р. Москвы, Луары и др.

Въ рѣкахъ, протекающихъ по странамъ съ рѣзко различающимся климатомъ, бываютъ мѣстныя измѣненія дебита. Типомъ такихъ рѣкъ можетъ служить р. Нилъ, которая, вытекая изъ тропической области съ обильными лѣтними дождями (отъ іюня до сентября между 5° и 15° с. ш.), проходитъ въ своемъ нижнемъ теченіи по совер-

шенно пустынной странѣ безъ дождей и, уже начиная отъ 17° с. ш., не получаетъ ни одного притока. Къ тому же типу принадлежитъ р. Колорадо и многія другія, берущія начало въ дождливыхъ Скалистыхъ горахъ и проходящія черезъ пустыни; тоже рр. Аму- и Сыръ-дарья въ Туркестанѣ и пр. Всѣ такія рѣки въ своемъ нижнемъ теченіи протекаютъ въ рѣзко обозначенной долинѣ, обыкновенно съ отвѣсными склонами. Глубина долины ихъ опредѣляется продолжительностью размытія и абсолютною высотою мѣстности, которая, напр. у р. Нила, обусловливаетъ глубину или, все равно, высоту склоновъ въ нѣсколько сотъ футовъ, тогда какъ у Колорадо въ нѣсколько тысячъ футовъ (подробнѣе объ этомъ дальше). Благодаря тому же условію водою Нила приносится къ устью только мелкая муть, тогда какъ Колорадо сноситъ крупный матеріалъ, а потому значеніе тѣхъ и другихъ осадковъ для культуры совершенно различное. Нилъ, Аму-дарья, Хуанъ-хо, отлагая тонкій илъ въ низовьяхъ, образуютъ культурныя мѣстности, которыми человѣкъ давно воспользовался.

Измѣненіе дебита потоковъ одной и той же мѣстности, но на разныхъ склонахъ горнаго кряжа имѣетъ различный характеръ, а вмѣстѣ съ тѣмъ даетъ различные результаты размытія. Въ такихъ горныхъ кряжахъ, какъ напр. Гималай, гдѣ на южномъ склонѣ выпадаетъ огромное количество осадковъ, а на сѣверномъ ихъ почти нѣтъ, размытіе и характеръ потоковъ совершенно различны. На дождливомъ склонѣ потоки многоводнѣе, сносятъ большое количество минеральнаго матеріала, глубже размываютъ свои долины и, быстро подвигаясь верховьями, прорѣзываютъ водораздѣлы.

На сухомъ склонѣ накопляются массы продуктовъ вывѣтриванія, остающихся на мѣстѣ, долины ростутъ медленно, залегаютъ неглубоко и при прорѣзываніи водораздѣловъ становятся второстепенными притоками первыхъ. На дождливомъ склонѣ горы разнообразно расчленяются, а на сухомъ сглаживаются. Подобно Гималаю, кряжи Боливіи и Перу прорѣзываются притоками Амазонки, но сѣвернѣе, гдѣ склоны Андовъ получаютъ одинаковое количество влаги, напр. въ Экуадорѣ, тамъ размытіе водораздѣловъ приблизительно одинаково на обоихъ склонахъ. Подобные же факты указаны и разъяснены Лёвлемъ [20]) для нѣкоторыхъ частей Альпъ. Вообще нужно замѣтить, что такая неравномѣрность размытія часто служитъ причиною несовпаденія водораздѣла съ гребнемъ хребта, причемъ дугообразная линія, по которой они раздѣляются, всегда выпуклою стороною обращена къ дождливому склону.

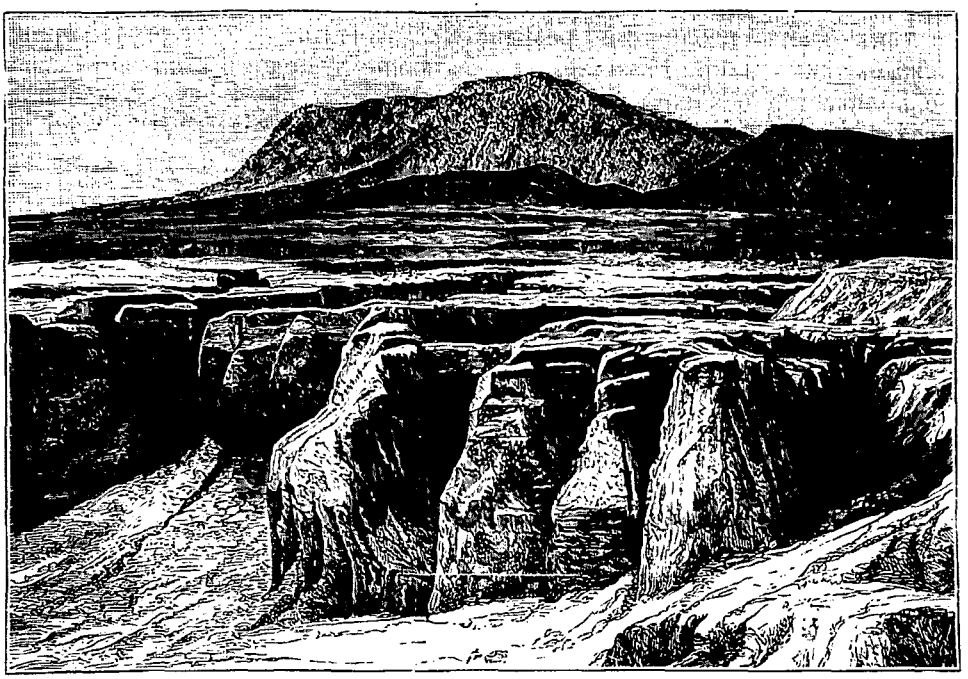
На этомъ мы закончимъ разсмотрѣніе вліянія на характеръ размытія различныхъ силъ или особенностей потоковъ, которые никогда не остаются постоянными, а весьма рѣзко измѣняются въ тѣхъ или другихъ предѣлахъ. Величина этихъ измѣненій обусловливаетъ характеръ размытія. Но, кромѣ различныхъ измѣняющихся силъ самого потока, на степень и форму размытія оказываютъ еще не менѣе существенное вліяніе различныя свойства породъ, ихъ сочетанія и условія залеганія, словомъ—геологическое строеніе мѣстности.

Вліяніе геологическаго строенія на размываніе.

При разсмотрѣніи нормальныхъ формъ размыванія, мы предполагали, что механическая работа происходитъ въ болѣе или менѣе однородной средѣ; на самомъ же дѣлѣ въ природѣ такіе случаи являются рѣдко. Всѣ потоки, а особенно значительной величины, проходятъ по весьма

разнообразнымъ породамъ, какъ въ петрографическомъ, такъ и въ стратиграфическомъ отношеніяхъ. Для механической силы воды эти различія представляютъ неодинаковыя сопротивленія и обусловливаютъ отклоненія отъ нормальныхъ формъ размыванія. Въ породахъ рыхлыхъ и однородныхъ размываніе идетъ быстрѣе и равномѣрнѣе, чѣмъ въ породахъ однородныхъ, но твердыхъ; съ другой стороны, въ горизонтально напластованныхъ размываніе производитъ долины, нѣсколько отличающіяся отъ долинъ размыванія въ породахъ складчатыхъ или сдвинутыхъ; послѣднія болѣе разнообразны по своей формѣ.

Размываніе въ массивныхъ, горизонтальныхъ или мало наклоненныхъ породахъ. Въ породахъ отнородныхъ, массивныхъ или



Фиг. 253. — Овраги на плоскогорьѣ Баца въ Испаніи.

пластовыхъ, но залегающихъ горизонтально или мало нарушенныхъ, формы размыванія уклоняются незначительно отъ нормальныхъ. Спокойно напластованныя породы могутъ проявляться какъ въ странахъ низменныхъ, такъ и въ возвышенныхъ плоскогорьяхъ. Въ первомъ случаѣ размываніе происходитъ болѣе спокойно и однообразно, тогда какъ на плоскогорьяхъ, при переходѣ ихъ въ низменности, особенно при существованіи террассъ, размываніе обнаруживается также бурно, какъ въ горахъ. На окраинахъ плоскогорья, смотря по характеру породъ образуются различной величины водопады, которые, размывая и отступая вверхъ, способствуютъ углубленію долинъ; послѣднія, глубоко прорѣзывая ровное плоскогорье, могутъ превратить его въ богато-расчлененную горную страну, напр. высокая равнина Баца въ Испаніи въ системѣ Гвадалквивира, сложенная изъ третичныхъ осадковъ (фиг. 253),

Какъ бы ни была поверхность низменности ровна и однообразна, тѣмъ не менѣе на ней всегда имѣются уклоны, достаточные для стока воды; абсолютно ровныя площади встрѣчаются въ природѣ рѣдко и на небольшомъ пространствѣ. Атмосферная вода, стекая по ничтожнымъ уклонамъ, производитъ многочисленныя рытвины, которыя разростаются тѣмъ скорѣе, чѣмъ породы рыхлѣе. Правда нѣкоторыя пористыя породы, напр. трещиноватый известнякъ и лёссъ, быстро впитываютъ атмосферную влагу и задерживаютъ поверхностное размытіе, но оно продолжается на нѣкоторой глубинѣ и только впослѣдствіи проявляется на поверхности; напр. въ известняковой области Карста (см. фиг. 213 стр. 345) подземные токи часто преобразовываются въ поверхностныя, также какъ подземныя рытвины и колодцы въ лёссѣ Средней Азіи

Фиг. 254. — Овраги Паруллены.

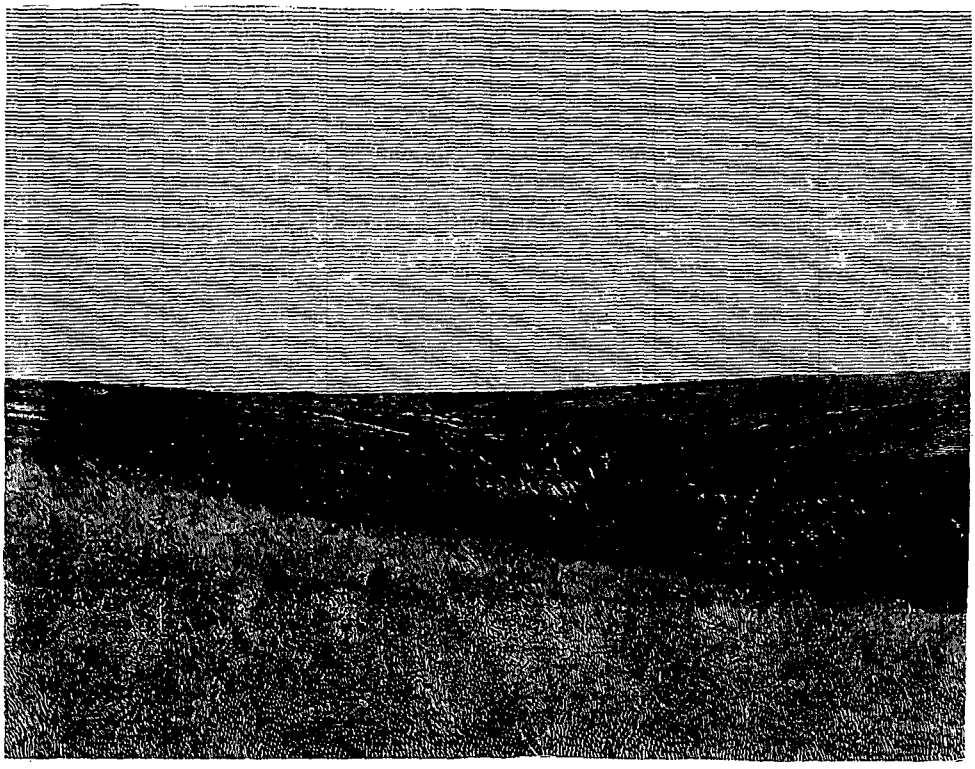
обусловливаютъ часто быстрое развитіе рытвинъ на поверхности, до того ровной, мало размытой. Но такого рода случаи принадлежатъ къ исключительнымъ. Большею же частью низменности, особенно состоящія изъ рыхлыхъ породъ и питающіяся только періодически водою, покрываются сѣтью рытвинъ, разнообразно развѣтвляющихся и при дальнѣйшемъ развитіи иногда преобразовывающихся въ долины размытія. Въ этомъ отношеніи типичными странами можно назвать Европейскую Россію, Туранскую низменность, нѣкоторые штаты въ Сѣверной Америкѣ, напр. Георгія и Алабама, нѣкоторыя части Испаніи и др. Рытвины размытія съ крутыми, отвѣсными склонами называютъ у насъ оврагами. Овраги представляютъ самую типичную форму размытія не только въ низменностяхъ, но и на высокихъ плоскогорьяхъ; какъ примѣръ тѣхъ и другихъ можно привести овраги Испаніи въ плейстоценовыхъ наносахъ близъ Паруллены, къ NW отъ Сіерра-Невада (фиг. 254) и въ третичныхъ осадкахъ Баца въ системѣ Гвадалквивира (фиг. 253).

За послѣднее десятилѣтіе было обращено особенное вниманіе на изученіе условій образованія и роста овраговъ, какъ серьёзныхъ враговъ сельскаго хозяйства. Вредъ, причиняемый ими, выражается не только въ захватѣ участковъ культурной земли, но также, что еще важнѣе, въ дренажѣ всей окрестной страны и пониженіи уровня грунтовыхъ водъ, а также въ засореніи рѣкъ овражными выносами. Изслѣдованія С. Н. Никитина [въ цѣломъ рядѣ Трудовъ экспедиціи для изслѣдованія источниковъ главнѣйшихъ рѣкъ Евр. Россіи; бассейнъ Оки, Сызрани, Днѣпра, Волги 1894—1899 гг.], спеціальныя монографіи Э. Э. Керна [Овраги, ихъ закрѣпленіе, облѣсеніе и запруживаніе 1894 г.], кн. В. Мосальскаго [Овраги черноземной полосы Россіи, 1897], А. А. Гельфера [Овраги и борьба съ ними, Тр. эксп. для изсл. ист. гл. р. Ев. Р., 1901 г.] и болѣе ранняя Докучаева [Овраги и ихъ значеніе, 1887 г.] даютъ обильный, цѣнный фактическій и цифровой матеріалъ какъ для знакомства съ условіями развитія овраговъ, такъ и борьбы съ ними. Подъ оврагомъ, согласно Никитину, слѣдуетъ понимать болѣе или менѣе глубокіе вымоины и выносы

Фиг. 255. — Растущій оврагъ у с. Жерновецъ (Бассейнъ Оки).

грунта, главнымъ образомъ силою весеннихъ водъ и лѣтнихъ ливней, и только частью подземныхъ ключей и источниковъ, вымоины съ болѣе или менѣе крутыми стѣнками, нерѣдко почти вертикальными, и тогда почти совершенно лишенными растительности. Между закрѣпляющей силою растительности травянаго и въ особенности лѣсного покрова и размывающей работой поверхностныхъ водъ происходитъ непрерывная борьба, въ которой въ зависимости отъ естественныхъ и часто искусственныхъ причинъ побѣда остается то за одной, то за другой стороной. Овраги съ обнаженными дномъ и склонами принято называть дѣятельными или растущими (фиг. 255—257), въ отличіе отъ закрѣпленныхъ, ростъ которыхъ остановился подъ вліяніемъ скрѣпляющей почву растительности. Растущія овраги развиты преимущественно въ девятнадцати губерніяхъ: Курской, Орловской, Тульской, Рязанской, Тамбовской, Воронежской, Симбирской, Саратовской, Пензенской, Нижегородской, Харьковской, Черниговской, Полтавской, Волынской, Подольской, Кіевской, Бессарабской, Херсонской и Екатеринославской. Это обширное пространство обнимаетъ часть Европейской Россіи между Окой и Волгой и вершинами Днѣпра, распространяясь и далѣе къ юго-западу въ предѣлы прикарпатской возвышенности. Хотя распространеніе овраговъ далеко не равномѣрно и въ предѣлахъ отдѣльныхъ пространствъ, но нетрудно замѣтить, что наибольшая овражистость совпадаетъ отчасти съ отлогостями двухъ возвышенностей, отмѣченныхъ на орографи-

ческой картѣ Евр. Россіи Тилло подъ названіемъ Среднерусской и Приволжской. Холмистость рельефа, являясь однимъ изъ необходимыхъ, лучше сказать благопріятныхъ, условій для образованія овраговъ, не есть еще условіе достаточное. Левяковскій въ своемъ извѣстномъ изслѣдованіи [Воды Россіи по отношенію къ ея населенію, 1890] прекрасно формулировалъ это условіе, говоря, что среди необходимыхъ условій „первое мѣсто занимаетъ извѣстная крутизна склоновъ, при которой стекающая вода пріобрѣтаетъ скорость и силу, достаточныя для быстраго разрушенія большихъ массъ горныхъ породъ. Это видно изъ того, что овраги главнымъ образомъ врѣзываются въ высокіе склоны долинъ и балокъ. Вообще можно сказать, что чѣмъ значительнѣе высота и крутизна склоновъ, тѣмъ овраги глубже, а при извѣстныхъ условіяхъ и длиннѣе". Каждая долина опредѣляетъ по отношенію къ оврагу базисъ эрозіи; слѣдовательно, чѣмъ больше относительная высота страны надъ прорѣзающими ее долинами, тѣмъ глубже могутъ развиваться и овраги. Абсо-



Фиг. 256. — Растущій оврагъ у дер. Красный Клинокъ (верховья р. Оки).

лютная высота мѣста при слабыхъ относительныхъ высотахъ не можетъ быть какимъ либо опредѣляющимъ условіемъ для развитія овраговъ. Болѣе важнымъ условіемъ является масса стекающей воды. Одиночныя струйки воды, направляющіяся параллельно другъ другу, производятъ даже на склонахъ значительной крутизны только узкія и мелкія рытвины. Настоящіе же овраги возникаютъ только при условіи скопленія массы воды съ значительной площади къ одному руслу, словомъ только тамъ, гдѣ энергичное смываніе превращается въ размываніе. Значительная масса воды можетъ исключить и необходимую крутизну стока. Рядъ годовъ обильныхъ снѣгомъ, дождями, или даже другія причины, вызывающія увеличеніе массы воды, временно протекающей даже по пологому дну стараго оврага, могутъ вызвать образованіе новаго оврага или снова возобновить его ростъ, хотя бы всѣ прочія условія оставались неизмѣнными. Слѣдовательно, такія климатическія особенности указаннаго выше пространства Россіи, какъ знойное лѣто, холодная зима (какъ причины образованія первыхъ трещинъ), большія половодья весной при. накопленіи значительныхъ толщъ снѣжнаго покрова, неправильные ливни лѣтомъ и отсутствіе лѣсовъ, въ особенности въ его южной части, способствуютъ образованію

овраговъ. Другимъ не менѣе важнымъ условіемъ для развитія овражистости является геологическій составъ поверхности. Изслѣдованія Докучаева [Матеріалы для оцѣнки земель], Армашевскаго и въ особенности Никитина [Бассейнъ Оки, 1895; Бассейнъ Сызрана, 1898; Днѣпра, 1896] показали, что овражистость тѣсно связана съ развитіемъ лёссоваго яруса, также террассовыхъ лёссовидныхъ суглинковъ, которые въ схемѣ послѣтретичныхъ образованій принято обозначать знакомъ Q'_1. Овраги, по словамъ Никитина, развиваются въ верховьяхъ Оки пропорціонально образованію лёссового яруса. Если мы припомнимъ площадь распространенія лёсса и лёссовидныхъ суглинковъ (см. выше стр. 142—143), то увидимъ, что площади наибольшаго распространенія этихъ образованій покрываютъ и площади какъ съ наибольшей овражистостью, ясно уже выраженной, такъ и склонныя къ этому „недугу", по мѣткому выраженію Никитина. Конечно, овраги могутъ развиваться и среди породъ иныхъ петрографическихъ качествъ и возраста, если эти породы легко подвергаются размыванію; характеръ породъ рѣзко отражается на внѣшнемъ видѣ оврага, позволяя выдѣлить даже нѣсколько типовъ, какъ это было указано Докучаевымъ, Леваковскимъ и Павловымъ [О рельефѣ равнинъ и его измѣненіяхъ подъ вліяніемъ работы подземныхъ и поверхностныхъ водъ. Землевѣдѣніе, т. V, 1898].

Извѣстное намъ свойство лёссовыхъ породъ давать отвѣсные обрывы рѣзко обнаруживается въ сухое время года, когда трещины раскалыванія въ лёссѣ опредѣляютъ направленіе водостоковъ перваго же сильнаго дождя; когда постепенно удлиняющаяся и углубляющаяся промоина достигнетъ дна сосѣдней долины, то дальнѣйшее удлиненіе оврага совершается исключительно перемѣщеніемъ его вершины; обрушеніе боковъ и въ вершинѣ оврага ведетъ къ его расширенію и удлиненію. Когда дно оврага въ нижней его части не можетъ больше углубляться, наступаетъ боковое размываніе, и оврагъ дѣлается все болѣе извилистымъ. Ближе къ устью оврагъ постепенно, какъ говорятъ, развертывается, такъ какъ смываніе уменьшаетъ крутизну склоновъ. Овраги рѣдко имѣютъ одну вершину; чаще вода направляется къ оврагу нѣсколькими струями, соотвѣтственно уклонамъ поверхности, и возникаетъ цѣлая система древовидно расположенныхъ вершинъ, между которыми при соединеніи ихъ часто остаются только узкіе гребни.

Совершенно другой типъ овраговъ среди глинъ, напр., юрскихъ въ Нижегородской губерніи въ бассейнѣ Оки; даже слабые водоносные горизонты среди такихъ глинъ способствуютъ оползнямъ, и овраги получаютъ пологіе террассовидные склоны при слабо развитой вѣтвистости вершинъ.

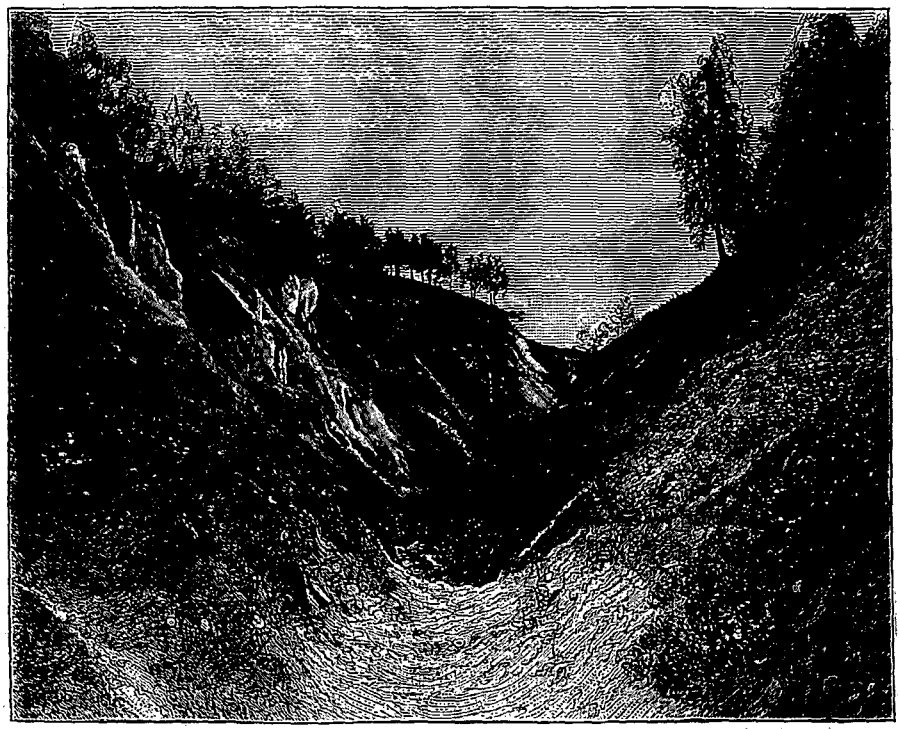
Естественно, что перемежаемость болѣе твердыхъ слоевъ и песчаныхъ, напр., среди пестроцвѣтныхъ породъ въ Нижегородской же губерніи, задерживаетъ развитіе овраговъ въ длину и ширину, способствуя углубленію промоины съ обрывистыми, мѣстами нависшими карнизами и ступеньчатымъ дномъ (фиг. 257). Залеганіе песковъ подъ лёссовыми слоями благопріятствуетъ, вслѣдствіе легкой размываемости поверхностной водой песковъ и осыпанію ихъ, обрушенію боковъ и въ вершинѣ оврага, слѣдовательно также ускоряетъ увеличеніе длины и ширины оврага. Наконецъ, существуютъ овраги въ торфяной почвѣ, которые развиваются въ значительной степени размываніемъ ключевыми водами, способствуя осушенію торфяниковъ и быстро понижая уровень грунтовыхъ водъ.

Мы уже упоминали о слабомъ развитіи размыванія въ вершинахъ Волги и Днѣпра; тамъ мы имѣемъ области ледниковыхъ отложеній съ типичнымъ волнистымъ рельефомъ моренного характера: для Волги и З. Двины—съ рельефомъ мореннаго и озернаго ландшафтовъ, а для Днѣпра—съ рельефомъ моренныхъ равнинъ. При значительной даже крутизнѣ склоновъ, возникшихъ подъ вліяніемъ мощныхъ эрозіонныхъ процессовъ, сопровождавшихъ конецъ ледниковой эпохи, въ настоящее время сочетаніе цѣлаго ряда причинъ климатическаго и геологическаго характера ослабляетъ размываніе. Главнѣйшія причины слѣдующія: a) влажный и равномѣрный климатъ, способствующій развитію растительнаго покрова и быстрому возстановленію его; b) медленное таяніе весеннихъ водъ и слабость процессовъ смыванія подъ вліяніемъ растительнаго же покрова; c) обиліе озеръ, слѣдовательно положеніе базиса эрозіи на различныхъ высотахъ; d) значительная вязкость преобладающаго типа породъ, именно мореннаго суглинка или глины. Насколько земледѣльческая культура въ области лёссовыхъ породъ нерѣдко способствуетъ измѣненію смыванія въ размываніе первыми глубокими бороздами на склонахъ, настолько же еще слабая культура въ области ледниковыхъ отложеній не измѣняетъ естественныхъ благопріятныхъ условій незначительнаго смыванія и размыванія. Въ областяхъ мореннаго суглинка овраги относятся къ категоріи заросшихъ древнихъ промоинъ съ пологими склонами, съ немногочисленными короткими вѣтвями.

Овраги являются такимъ образомъ типичной чертой эрозіоннаго рельефа по преимуществу и представляютъ слѣдствіе сочетанія причинъ климатическихъ, гео-

логическихъ и орографическихъ. Если дѣятельность человѣка относится къ числу искусственныхъ причинъ, способствующихъ развитію овражистости, то эта же дѣятельность, разумно направленная, можетъ какъ останавливать вредный ростъ овраговъ, такъ и предупреждать самое возникновеніе ихъ. Два средства имѣются въ рукахъ человѣка: вліяніе на растительный покровъ, этотъ могущественный факторъ, умѣряющій смываніе и ослабляющій всѣ слѣдствія размыва, и вліяніе на силу размывающей струи воды, т. е. на уклоны русла и на количество (расходъ) протекающей по оврагу воды. Отсылая за подробностями къ спеціальнымъ трудамъ Керна и Гельфера, замѣтимъ, что однимъ изъ наиболѣе дѣйствительныхъ средствъ для остановки роста оврага есть поднятіе базиса эрозіи, т. е. превращеніе оврага въ рядъ прудовъ. Устройство такихъ прудовъ-водохранилищъ, какъ мѣра дорогая, желательно, конечно, только при необходимости искусственнаго обводненія и требуетъ предварительно тщательнаго изученія водопроницаемости породъ дна и боковъ оврага.

Овраги, углубляясь и разростаясь своими верховьями, съ одной стороны могутъ достигнуть водосодержащихъ пластовъ, а съ другой прорѣзать водораздѣлъ и соедп-



Фиг. 257. — Оврагъ въ кремнистыхъ глинахъ (с. Канадея, басс. р. Сызрана).

ниться съ какимъ либо вышележащимъ бассейномъ и такимъ образомъ увеличить свое питаніе. Новые источники питанія, обусловливая увеличеніе притока воды, помогаютъ расширяться оврагу; въ то же время отвѣсные склоны его вслѣдствіе смыва постепенно закругляются, становятся положе, устойчивѣе и покрываются растительностью. Такой преобразованный оврагъ съ пологими склонами, съ широкимъ, выровненнымъ дномъ и значительной длины называется у насъ балкой, также суходоломъ. Слѣдовательно балка—болѣе древняго образованія, нежели оврагъ и вмѣстѣ съ тѣмъ есть производная отъ оврага. Принимая такую тѣсную связь между оврагомъ и балкой, возможно допустить, что и балки, въ свою очередь, при благопріятныхъ условіяхъ, могутъ превращаться въ постоянныя рѣки. Но для того, чтобы балка превратилась въ рѣчку, необходимо, чтобы количество и распредѣленіе воды балки было достаточно для поддержанія въ ней постояннаго потока текучей воды. Условія для такого превращенія весьма разнообразны; теоретически здѣсь, по мнѣнію г. Докучаева[21]), возможно допустить слѣдующіе случаи: вопервыхъ, способствующіе болѣе равномѣрному въ теченіе года распредѣленію

даннаго количества воды въ бассейнѣ оврага или балки и, во-вторыхъ, увеличивающіе массу водъ, протекающихъ по данному естественному желобу. Къ первымъ относятся: a) облѣсеніе бассейна оврага; b) уменьшеніе угла паденія оврага, что можетъ произойти отъ удлиненія его устья (между прочимъ вслѣдствіе отложенія при его устьѣ имъ же принесенныхъ осадковъ),—отъ возрастанія оврага (вершиной) по совершенно ровной мѣстности, отъ хотя и медленно, но постоянно размывающей дѣятельности протекающей по немъ воды и отъ большаго поднятія его нижней части сравнительно съ верхней; c) болѣе или менѣе ощутительную замѣну въ данной мѣстности рѣзко континентальнаго климата болѣе умѣреннымъ, причемъ, понятно, должно произойти уменьшеніе испаренія; и, наконецъ, d) углубленіе оврага до слоевъ водоупорныхъ и закрытіе такъ часто встрѣчающихся въ оврагахъ водосливныхъ естественныхъ воронокъ. Къ случаямъ второй категоріи слѣдуетъ причислить: e) прямое увеличеніе въ бассейнѣ даннаго оврага атмосферныхъ осадковъ; f) появленіе въ оврагѣ, въ связи съ его разростаніемъ въ глубину и длину, новыхъ сильныхъ ключей; g) переходъ оврага черезъ сосѣдній водораздѣлъ и вступленіе его, вершиной, въ непосредственную связь или съ озеромъ, или съ другой рѣчной системой, или, наконецъ, съ болотомъ, богатымъ запасомъ воды.

Какъ ни разнообразны эти условія, во всякомъ случаѣ они могутъ и не быть, и тогда балки никогда не превратятся въ рѣки. „Лучшимъ доказательствомъ этого“ говоритъ г. Докучаевъ, „могутъ служить прекрасно развитыя, но тѣмъ не менѣе бо̀льшую часть года совершенно сухія балки нашихъ южныхъ степей“. То же можно сказать про вышеупомянутые вади Сахары, узбои и унгузы Туранской низменности, которые могутъ существовать неопредѣленно долгое время, не превращаясь въ типичныя балки.

Кромѣ того, что овраги измѣняютъ рельефъ мѣстности, распредѣленіе водяныхъ токовъ, имъ приписываютъ еще и другое значеніе, а именно, что развитіе ихъ вліяетъ на климатъ. Нѣкоторые полагаютъ, что, расчленяя равнину, овраги увеличиваютъ поверхность испаренія и концентрируютъ стокъ воды, что при одномъ и томъ же количествѣ атмосферныхъ осадковъ должно отражаться на климатѣ и растительности; послѣдняя вмѣсто равномѣрнаго распредѣленія стягивается къ оврагамъ, какъ къ болѣе влажнымъ мѣстамъ, тогда какъ сосѣднія мѣстности, быстро осушаясь, подвергаются засухамъ. Разумѣется, нельзя отрицать значенія этого явленія, но, съ другой стороны, нельзя также забывать, что хотя овраги способствуютъ осушенію, они въ то же время, прорѣзывая глубокіе водоносные пласты, доставляютъ новые источники воды, которые до того не имѣли никакого значенія для поверхности. Какимъ образомъ эти вліянія отражаются на климатѣ, это составляетъ еще вопросъ, къ рѣшенію котораго возможно подойти только путемъ долгихъ и систематическихъ изслѣдованій.

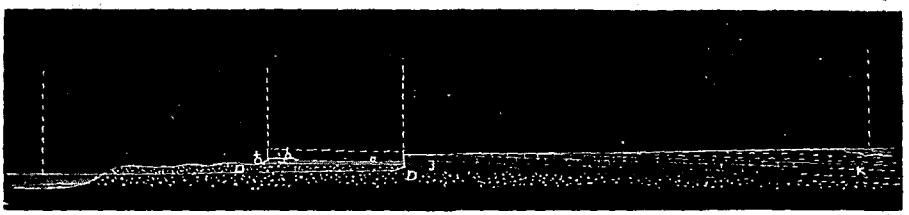
Наконецъ овраги въ нѣкоторыхъ странахъ имѣютъ важное экономическое значеніе, какъ наиболѣе увлажненныя мѣста для культивированія различныхъ растеній, а съ другой стороны, разростаясь, напр. у насъ, они похищаютъ плодородный черноземъ.

На окраинахъ плоскогорій размытіе получаетъ большую интенсивность, благодаря тому, что вода низвергается съ большой высоты и образуетъ водопады. Если плоскогорье спускается террассами, то, очевидно, водопадовъ можетъ быть нѣсколько въ каждомъ потокѣ, стекающемъ съ плоскогорья въ низменность или въ какой-либо бассейнъ, напр. по берегамъ острова Новой Каледоніи [22]), въ Чили Ю. Америки и пр.

Такъ какъ размывающее дѣйствіе въ водопадахъ, при вертикальномъ или почти вертикальномъ паденіи воды, достигаетъ наибольшей силы, то поэтому здѣсь довольно быстро размываются даже самыя крѣпкія породы, и водопады постепенно отступаютъ или подвигаются къ верховьямъ потока, оставляя за собой глубокія, часто скалистыя ущелья называемыя въ Америкѣ каньонами (canons), а въ Средней Азіи—боми или буамами; эта форма размытія проявляется особенно типично на плоскогорьяхъ, состоящихъ изъ слоистыхъ породъ (Schichtungstafelland Рихтгофена).

Классическій примѣръ углубленія долинъ путемъ отступанія водопадовъ представляетъ знаменитый Ніагарскій водопадъ (фиг. 258).

Онъ находится на р. Ніагарѣ, которая, выходя изъ озера Эри, течетъ по плоскогорью. При выходѣ изъ озера она имѣетъ около мили въ ширину и лежитъ на 330 ф. выше озера Онтаріо, отстоящаго отсюда почти на 30 миль. На пространствѣ первыхъ 15 миль берега Ніагары нигдѣ не подымаются выше 30—40 фут. Рѣка, мѣстами усѣянная низкими, заросшими лѣсомъ, островами и иногда имѣющая до 3 миль въ ширину, течетъ сначала яснымъ, ровнымъ и спокойнымъ потокомъ, при паденіи только 15 ф. на 15 миль. Но характеръ ея совершенно измѣняется по мѣрѣ приближенія къ быстринамъ, гдѣ она начинаетъ прыгать и пѣниться по скалистому и неровному известковому дну, на протяженіи почти цѣлой мили, пока, наконецъ, не падаетъ отвѣсно съ высоты 165 ф. (фиг. 258). При паденіи рѣка раздѣлена Козьимъ Островомъ (Goat Island) на два рукава: на большой „подковообразный“ (horseshoe) или канадскій водопадъ, имѣющій болѣе одной трети мили (около 600 м.) въ ширину, и на американскій малый—шириною въ 200 метр. Низвергнувшись въ глубокую пропасть, Ніагара стремится съ большою скоростью по наклонному дну узкаго ущелья на пространствѣ семи миль. Ширина ущелья, отъ одного берегового утеса до другого, измѣняется отъ 200 до 365 метр. представляя поэтому сильный контрастъ въ ширинѣ съ верхнимъ русломъ рѣки; глубина его простирается до 80 м.; оно разсѣкаетъ на пространствѣ 7 миль известняковое плоскогорье, которое близъ Квинстоуна внезапно обрывается и образуетъ уступъ, обращенный лицевою стороною къ сѣверу, т.-е. къ озеру Онтаріо. Ніагара, достигая этого уступа и выходя изъ ущелья вступаетъ въ плоскую страну, которая лежитъ почти на одномъ уровнѣ съ



Фиг. 258.— *Д*—мягкіе песчаники Клинтона и Медины; *З*—мягкій ніагарскій сланецъ; *К*—твердый ніагарскій известнякъ.

озеромъ Онтаріо, такъ что на пространствѣ семи миль, отъ Квинстоуна до этого озера, паденіе не превышаетъ 4 футовъ.

Давно уже думали, что Ніагара нѣкогда протекала въ неглубокой долинѣ отъ того мѣста, гдѣ въ настоящее время находится водопадъ, до уступа (называемаго Квинстоунскими высотами), на которомъ, какъ полагали, водопадъ первоначально имѣлъ свое мѣсто, и что эта рѣка мало-по-малу промывала свое русло, отодвигая водопадъ вверхъ на пространствѣ семи миль.

Это предположеніе приходитъ на умъ каждому наблюдателю, которому случалось видѣть, какъ узко ущелье при своей оконечности и по всей своей длинѣ, до самаго водопада, выше котораго рѣка расширяется. Береговые утесы въ немъ по большей части отвѣсны и во многихъ мѣстахъ съ одной стороны подмыты бурнымъ потокомъ.

Самая верхняя горная порода при водопадѣ состоитъ изъ твердаго известняка (силурійской системы), почти въ 30 ф. толщиною, подъ которымъ лежитъ мягкій глинистый сланецъ такой же толщины, постоянно подмываемый дѣйствіемъ брызгъ, вылетающихъ изъ пучины, въ которую низвергается огромная масса воды, и съ силою отбиваемыхъ порывами вѣтра къ основанію пропасти (фиг. 258). Отъ этого, а также и отъ дѣйствія мороза, сланецъ дробится и выкрашивается, части сверху лежащей горной породы нависаютъ футовъ на 40 и нерѣдко, ничѣмъ не поддерживаемыя, обрушиваются, такъ что водопадъ не остается совершенно неподвижнымъ на одномъ и томъ же мѣстѣ даже и въ теченіе полустолѣтія. До насъ дошли разсказы отъ временъ самыхъ первыхъ наблюденій, произведенныхъ надъ водопадомъ, о частомъ разрушеніи этихъ породъ и о внезапномъ паденіи огромныхъ обломковъ въ 1818, 1828, 1848 и 1852 гг., поколебавшемъ сосѣднюю страну подобно землетрясенію.

Изъ наблюденій, произведенныхъ въ 1841 и 1842 гг., Ляйэлль убѣдился, на основаніи геологическихъ данныхъ, въ существованіи стараго русла рѣки, по ко-

тому несомнѣнно нѣкогда текли воды Ніагары, отъ водопада къ Квинстоуну, на высотѣ 300 ф. противъ нынѣшняго русла. Упомянутыя геологическія данныя состоятъ изъ пластовъ песка и гравія въ 40 ф. толщиною, въ которыхъ заключаются рѣчныя раковины, принадлежащія къ родамъ Unio, Cyclas, Melania и др., т. е. къ такимъ, которыя и теперь живутъ въ водахъ Ніагары, выше водопада. Тождество ископаемыхъ видовъ съ новѣйшими не подлежитъ сомнѣнію; прѣсноводные осадки встрѣчаются на краю утесовъ, ограничивающихъ ущелье, и такимъ образомъ доказываютъ прежнее направленіе возвышенной, неглубокой долины, лежащей на четыре мили ниже водопада и составляющей ясное продолженіе той, которая теперь занята Ніагарой, въ возвышенной мѣстности между озеромъ Эри и водопадомъ.

Бекуэль, посѣтившій Ніагару въ 1829 г., сдѣлалъ первую попытку вычислить скорость отступанія, основываясь на наблюденіяхъ перваго поселенца, проживша го на водопадѣ 40 лѣтъ, и нашелъ, что она равнялась ежегодно почти одному ярду.

Послѣ тщательныхъ изслѣдованій, въ 1841—1842 гг. Ляйэлль [23—24]) пришелъ къ заключенію, что водопадъ, по всей вѣроятности, отступалъ ежегодно не болѣе какъ на 0,3 м. (около 1 фута). Въ такомъ случаѣ для перехода его отъ Квинстоунскаго уступа до мѣста, занимаемаго имъ въ настоящее время, потребовалось 35.000 лѣтъ.

Весьма вѣроятно, что это не превосходитъ дѣйствительности, хотя мы и не можемъ допустить, чтобы отступательное движеніе было равномѣрнымъ. Изслѣдованіе геологическаго строенія мѣстности, какъ оно обнаруживается въ ущельѣ, показываетъ, что при образованіи этой промоины высота пропасти, твердость породъ при ея основаніи и количество упавшихъ матеріаловъ, которые надлежало устранить, были на каждомъ шагу различные. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ водопадъ могъ отступать гораздо быстрѣе, чѣмъ теперь, но вообще первоначальное отступаніе его вѣроятно было медленнѣе, потому что, когда онъ только что началъ отступаніе, онъ долженъ былъ имѣть высоту почти вдвое бо́льшую противъ настоящей.

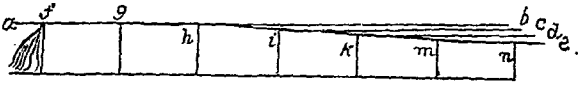
Относительно будущаго отступанія водопада и наводненія, которое можетъ произойти отъ внезапнаго стока воды изъ озера Эри, если бы ущелье отошло назадъ еще на 16 миль, существуетъ много различныхъ предположеній. Но внимательное изслѣдованіе напластованія горныхъ породъ, произведенное по порученію правительства, убѣдило геологовъ, что высота водопада постепенно уменьшается и что, вслѣдствіе слабаго наклона пластовъ къ югу (фиг. 258), твердый известнякъ будетъ тогда находиться у основанія водопада и значительно замедлитъ размывающій процессъ.

Коммиссія, назначенная для съемки водопада и опредѣленія скорости его отступанія пришла къ заключенію (1890), что послѣ 1742 г., когда была сдѣлана первая съемка, общее среднее отступленіе Канадской части составляетъ 104 ф. 6 д. Максимальное отступленіе въ одной изъ точекъ составляетъ 270 ф. Общее отступленіе Американской части составляетъ 30 ф. 6 д. Ширина падающей массы воды возросла отъ 2260 до 3010 ф. вслѣдствіе размыва части плотины, перегораживающей теченіе рѣки. Площадь отступленія Американской части равняется 32900 кв. ф., а для Канадскаго—275000 кв. ф. Отступленіе происходило неравномѣрно, перемежаясь періодами то болѣе быстраго, то болѣе медленнаго отступанія. Проф. J. W. Spenser (Спенсеръ) [The Duration of Niagara Falls, Am. Journ. of Sc., XLVIII, 1894] на основаніи всѣхъ свѣдѣній, собранныхъ какъ имъ, такъ и другими геологами о геологическомъ строеніи всей области, намѣтилъ послѣдовательныя стадіи въ размываніи ущелья водопада и соотношеніе эрозіи ко всей исторіи великихъ ледниковыхъ озеръ, которыя нѣкогда покрывали эту страну. Онъ показалъ значеніе для развитія водопада поднятія, которое въ теченіе долгаго періода времени видоизмѣнило топографію страны и которое для области Ніагары онъ вычисляетъ въ 15 д. въ теченіе столѣтія. Спенсеръ и Джильбертъ показали, что въ области великихъ озеръ (см. т. I, стр. 721) поднятіе теперь происходитъ на сѣверѣ и сѣверо-востокѣ, вслѣдствіе чего область, занятая этими озерами, наклоняется къ юго-западу. Наблюденія за промежутокъ времени отъ тридцати до тридцати семи лѣтъ показали среднее поднятіе около шести дюймовъ въ столѣтіе. Эффектъ этого движенія выражается въ поднятіи береговыхъ линій на сѣверо-восточныхъ берегахъ и въ опусканіи ихъ надъ уровнемъ воды на юго-западныхъ берегахъ. Такъ какъ озеро Гуронъ лежитъ всей своей плоскостью къ сѣверу отъ изобазы 60 м., то берега его обнаруживаютъ повсемѣстное поднятіе. Озеро Мичиганъ пересѣкается этой изобазой, и берега его южной половины погружаются подъ воду. Поднятіе уровня воды около Мильвокэ (Milwaukee) опредѣляется въ 5—6 д. въ столѣтіе, а около Чикаго между 9 и 10 д.

Если такое движеніе будетъ продолжаться, возникнутъ замѣчательныя измѣненія въ гидрографической сѣти страны. Прежде всего при поднятіи уровня воды озера Мичиганъ по истеченіи 500—600 лѣтъ оно покроетъ площадь суши на мѣстѣ нынѣшняго города Чикаго и поднимется до высоты низкаго водораздѣла, направивъ потоки воды къ Миссисипи. „Приблизительно черезъ 2000 лѣтъ истеченіе воды системы озеръ Мичиганъ—Гуронъ—Эри, уровень которыхъ существенно останется такимъ же, распредѣлится поровну между западнымъ истокомъ около Чикаго и восточнымъ около Буффало. Черезъ 2500 лѣтъ рѣка Ніагара приметъ характеръ временной рѣки, а черезъ 3000 лѣтъ воды всей системы направятся къ истоку около Чикаго въ р. Иллинойсъ, въ Миссисипи и къ Мексиканскому заливу".

Если строеніе долины Ніагары сохраняется такимъ же отъ водопада до озера Эри, то отступленіе водопада должно окончательно спустить озеро и понизить уровень его до дна долины. Послѣдовательныя стадіи такого отступленія водопада показаны на фиг. 258 *a*, буквами отъ f до n при соотвѣтственномъ пониженіи горизонта озера, показаннаго буквами a, b до l. Полагаютъ однако, что наблюдаемое слабое паденіе слоевъ будетъ достаточнымъ, чтобы вывести подлежащіе мягкіе сланцы изъ сферы дѣятельности водопада, и въ такомъ случаѣ пониженіе уровня озера будетъ задержано на неопредѣленное время. Но установленіе теперь медленнаго поднятія страны съ общимъ наклономъ къ юго-западу представляетъ проблему въ совершенно новомъ видѣ; если это движеніе будетъ продолжаться также, какъ теперь, то направленіе Ніагары измѣнится, какъ мы видѣли, въ эпоху геологически весьма неотдаленную въ сторону системы Миссисипи.

Въ связи съ геологической исторіей области озеръ Спенсеръ намѣчаетъ четыре періода въ развитіи Ніагарскаго водопада. На основаніи изученія береговыхъ террассъ и рѣчныхъ долинъ этой области въ разныхъ стадіяхъ Спенсеръ возстановляетъ, что въ первый періодъ Ніагарскій водопадъ имѣлъ 200 ф. высоты и пи-



Фиг. 258 *a*. — Схема отступанія Ніагарскаго водопада.

тался водою только озера Эри, такъ какъ воды Верхняго озера и Гурона уходили въ долину р. Оттава. Въ продолженіи этого періода Ніагара углубилась до Fosters-Flats. Во второй періодъ высота паденія была 420 ф. и отступаніе водопада шло сильнѣе, и ущелье развилось до Whirlpool. а воды Верхняго озера пошли въ Ніагару. Въ третьемъ періодѣ водопадъ отступилъ только на 4000 ф. Въ четвертомъ періодѣ вслѣдствіе поднятія озера Онтаріо на 100 ф. паденіе уменьшилось, и размываніе ослабѣло. Продолжительность 1-го періода=17200 л., 2-го=10000 л., 3-го=800 л. и 4-го=3000 л., или всего около 32000 лѣтъ, т. е. близко къ опредѣленію Ляйэлля. Наблюденія надъ возвышеніемъ древнихъ береговыхъ линій даютъ цифру 28000 лѣтъ.

Ніагарскій водопадъ представляетъ громадную механическую силу, равную $6^1/_2$ милліонамъ лошадиныхъ силъ [25]), а потому очевидно американцы стараются воспользоваться такимъ могучимъ работникомъ и слѣдовательно придаютъ Ніагарскому водопаду важное промышленное значеніе.

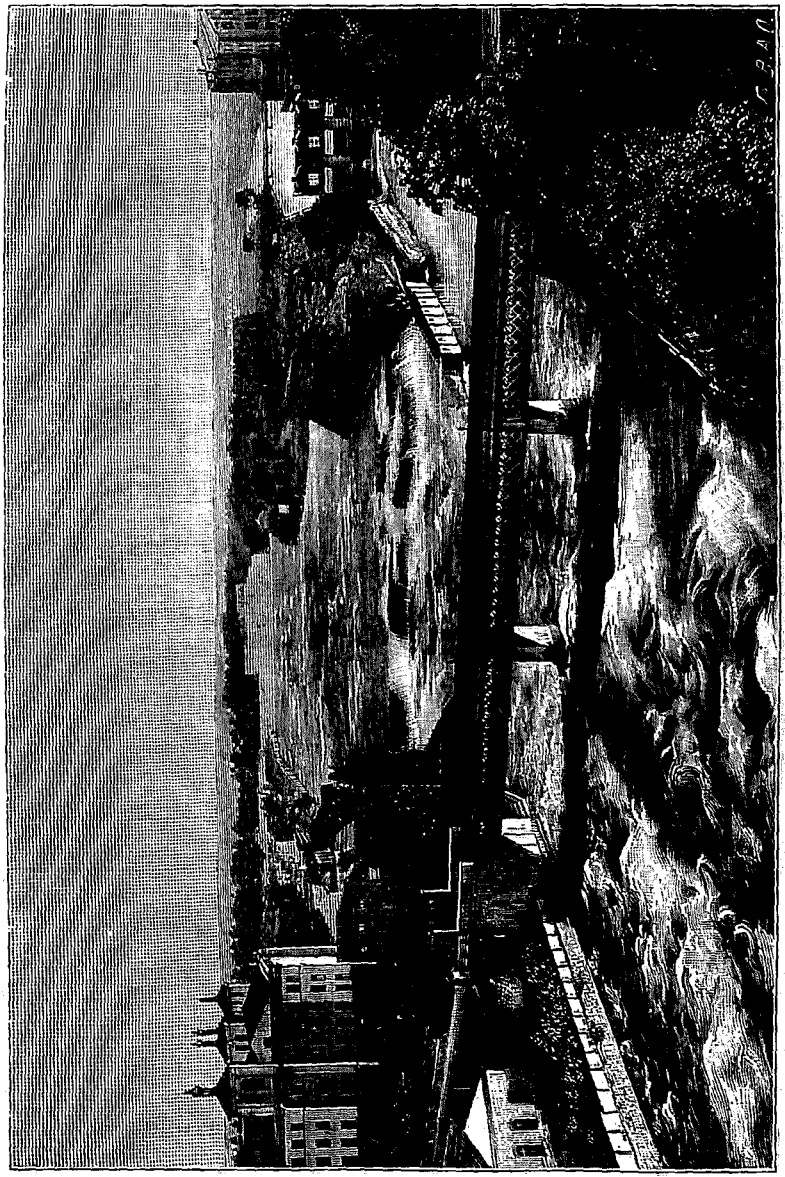
У насъ въ сѣверной Эстляндіи находится нѣсколько подобныхъ же примѣровъ размыванія и отступанія водопадовъ, но несравненно меньшихъ размѣровъ; такъ, на р. Ягговалѣ, недалеко отъ соединенія ея съ ручьемъ Іеглехтъ находится водопадъ, ниспадающій съ высоты 7 м., тоже на Фальскомъ ручьѣ въ 25 верст. къ западу отъ г. Ревеля, на р. Наровѣ у г. Нарвы и др. Мѣстность здѣсь также сложена изъ силурійскихъ пластовъ: ортоцератитовые известняки переходятъ въ нижніе глауконитовые, которые подстилаются рыхлымъ глауконитовымъ песчаникомъ. Водопады большею частью образуются на рубежѣ твердыхъ силурійскихъ известняковъ съ нижними легко размываемыми песчаниками. Отступаніе водопадовъ вверхъ происходитъ какъ вслѣдствіе прямого размыванія известняковъ, такъ и отъ обваловъ ихъ; послѣднее обстоятель-

ство, подобно Ніагарскому водопаду, обусловливается тѣмъ, что нижніе рыхлые песчаники быстрѣе размываются и выкрашиваются отъ брызгъ, а известняки выступаютъ въ видѣ навѣса, напр. въ Фальскомъ водопадѣ до 1 м., который, не находя опоры, время отъ времени обваливается. Отступаніе водопадовъ доказывается, во-первыхъ, каньоннымъ характеромъ самихъ долинъ ниже водопада, а во-вторыхъ, нахожденіемъ прѣсноводныхъ раковинъ и рѣчныхъ наносовъ на значительной высотѣ надъ современнымъ уровнемъ рѣки ниже водопада, напр. ниже Фальскаго водопада г. Венюковъ [26]) находилъ раковины Cyclas cornea и Cyclas lacustris на высотѣ 25 ф. надъ уровнемъ ручья: ниже Нарвскаго водопада, за желѣзнодорожнымъ мостомъ академикъ Гельмерсенъ находилъ на высотѣ 12 ф. надъ уровнемъ р. Наровы, раковины: Limnaeus vulgaris, Cyclas cornea и Paludina impura; въ-третьихъ, непосредственными наблюденіями мѣстныхъ жителей. Однако быстрота отступанія не опредѣлена точными цифровыми данными; такъ, напр. по однимъ даннымъ отступаніе водопада на Ягговалѣ происходитъ по 35 ф., а по другимъ около 50 ф. въ 100 лѣтъ, а относительно другихъ водопадовъ нѣтъ и такихъ данныхъ. Изъ всѣхъ эстляндскихъ водопадовъ Нарвскій водопадъ (фиг. 259) отличается наибольшею величиною. Механическая сила его приблизительно опредѣляется въ 100.000 лошадиныхъ силъ, которыя также начинаютъ эксплуатироваться. Онъ находится въ 12 верст. отъ устья и, подобно Ніагарскому водопаду, раздѣляется на два рукава островомъ Кренсгольмомъ; высота паденія воды въ обоихъ рукавахъ одинакова—около 23 ф. Лѣвый западный рукавъ шириною 200 ф. и ниспадаетъ тремя уступами, а правый восточный, шириною около 300, низвергаясь съ одного обрыва, представляетъ «болѣе грандіозную картину». Ниже водопада, въ извѣстняковомъ днѣ рѣки находятся глубокія ямы, проходящія иногда поперекъ русла, напр. углубленіе близъ острова Кренсгольма, глубиною около 3 саж.; на поверхности онѣ обозначаются «бурною, пѣнящеюся полосою воды».

Подобно тому, какъ Ніагарскій водопадъ, говоритъ Гельмерсенъ, такъ и Нарвскій водопадъ и р. Нарова, по прошествіи нѣсколькихъ тысячелѣтій, сравняется и превратится въ болѣе пологую рѣку, русло которой будетъ все болѣе и болѣе углубляться. Когда это постепенное углубленіе р. Наровы достигнетъ до самаго Пейпуса, то, само собой разумѣется, что изъ озера будетъ изливаться черезъ Нарову большая масса воды. Можно положительно сказать, что когда русло р. Наровы углубится на 40 или 50 ф., составляющихъ въ настоящее время наибольшую глубину Чудскаго озера, то самое озеро должно осушиться. Событіе это должно считать неизбѣжнымъ, и тогда р. Великая съ р. Наровой составятъ одну и ту же рѣку, а рѣки Эмбахъ, Вай и другія, удлинивъ свое теченіе, проложатъ болѣе глубокія русла.

Седергольмъ [J. J. Sederholm, Excursion à Imatra, Guide des excursions du VII congrés géol. intern., 1897] даетъ краткое, но полное интереса описаніе окрестностей Иматры, другаго изъ нашихъ извѣстныхъ водопадовъ. Между Петербургомъ и Выборгомъ желѣзная дорога пересѣкаетъ страну, покрытую исключительно четвертичными образованіями. Плоская страна, выровненная работою волнъ, была покрыта арктиче-

скимъ моремъ съ Yoldia; нѣсколько островковъ, поднимавшихся надъ этимъ моремъ, до сихъ поръ окружены террассами, показывающими наибольшую высоту, до какой достигалъ уровень этого моря. Около Выборга появляются первыя обнаженія кристалической основы этой страны. Между Выборгомъ и С. Андрэ (Андреа) дорога пересѣкаетъ крупные вы-

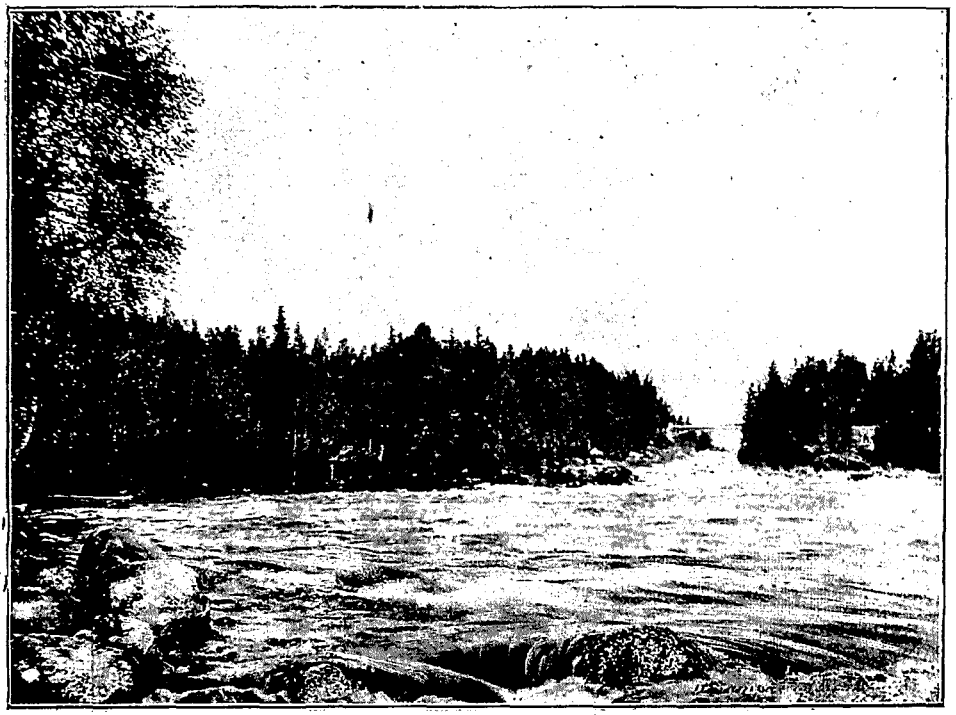


Фиг. 259. — Водопадъ на р. Наровѣ у г. Нарвы.

ходы Выборгскаго рапакиви, вывѣтрѣлыя скалы котораго окружаютъ линію желѣзной дороги. Передъ станціей Андреа вдоль праваго берега р. Вуоксы проходитъ линія соприкосновенія рапакиви съ сильно динамометаморфизованными архейскими гранитами, которые продолжаются по обоимъ берегамъ рѣки до Иматры и выше. Около Иматры воды

Вуоксы (фиг. 260) устремляются въ узкое прямолинейное ущелье, длиною 35 м. и средней ширины 23—25 м. На этомъ пространствѣ уровень рѣки понижается на 9—10 м. Паденіе рѣки круче въ верхней и въ нижней частяхъ ущелья, такъ что общее паденіе рѣки на всѣхъ порогахъ болѣе 15 м. Пороги не столько импонируютъ своей высотою, сколько мощностью потока воды, массу которой опредѣляютъ въ 450—700 куб. м. въ секунду, а силу пороговъ болѣе, чѣмъ въ 100000 лош. силъ.

На восточной (лѣвой) сторонѣ ущелья около пороговъ въ гнейсовидныхъ гранитахъ, которые рѣка пересѣкла почти параллельно сланцеватости, можно замѣтить древнее ложе Иматры, которое было въ 4—6



Фиг. 260. — Иматра. Видъ съ юга.

разъ шире современнаго и дно котораго было на 6—8 м. выше уровня теперешнихъ пороговъ. Пространство этого стараго ложа сильно каменисто и покрыто валунами и галькой; повсюду разсѣяны исполиновые котлы. Первоначально это пространство было покрыто отложеніями ледниковой глины, которая обнажается теперь въ крутыхъ обрывахъ, окаймляющихъ съ востока все это пространство; эта глина была снесена съ пространства стараго ложа во время образованія рѣчной долины; затѣмъ рѣка стала прорѣзать свое ложе въ гранитахъ, трещиноватость которыхъ облегчала это размываніе. По мѣрѣ того, какъ рѣка углубляла это ущелье, она постепенно отступала къ западу; теперь она протекаетъ по ущелью сравнительно неглубокому возраста послѣледниковаго. Иматрскіе пороги, которые прежде болѣе, чѣмъ теперь, заслуживали названіе водопада, относятся по времени своего образованія къ современной эпохѣ. Воды

Сайминскаго озера («Страны тысячи озеръ»), задерживаемыя конечной мореной въ видѣ гряды, называемой Сальпаусселька, стекали прежде по

Фиг. 261. — Пороги Кивача.

извилистому руслу, которое направлялось къ западу и соединялось съ р. Киммене къ сѣверу отъ станціи Куволя. Группа озеръ Кивіерви представляетъ остатки этого русла; теперь эти озера отдѣляются отъ Саймин-

Фиг. 262. — Водопадъ Кивачъ.

скаго грядой до 5 м. высотою. Вслѣдствіе неравномѣрнаго поднятія всей этой страны, уровень Сайминскаго озера все болѣе повышался на югѣ, пока не достигъ, къ сѣверу отъ современной Иматры, вершины

гребня Сальпаусселька. Тогда прекратился древній стокъ озера и образовалась р. Вуокса. Время, необходимое для проложенія ущелья Иматры, можно оцѣнить по крайней мѣрѣ въ 5000—10000 лѣтъ, такъ какъ объемъ размытыхъ породъ равняется не менѣе 150000 куб. м.

Въ разстояніи одного кл. къ югу отъ пороговъ на лѣвомъ берегу Вуоксы находятся извѣстные «иматрскіе камни». Они представляютъ мергелистыя конкреціи въ ледниковой глинѣ, образующей здѣсь крутые обрывы берега рѣки, и могутъ быть собираемы только при низкомъ стояніи воды въ рѣкѣ, обыкновенно на днѣ ея.

Фиг. 263. — Боковой каньонъ Колорадо у Торовинъ (To-ro-weap).

Въ 6 кл. къ югу отъ Иматры находятся пороги Валлинкоски или Малая Иматра, извѣстныя по своимъ чрезвычайно живописнымъ окрестностямъ.

Также среди кристаллическихъ слапцевъ прокладываютъ свои русла рѣки Выгъ и Суна (въ Олонецкомъ краѣ), гдѣ находится знаменитый водопадъ Кивачъ (фиг. 261 и 262), воспѣтый Державинымъ.

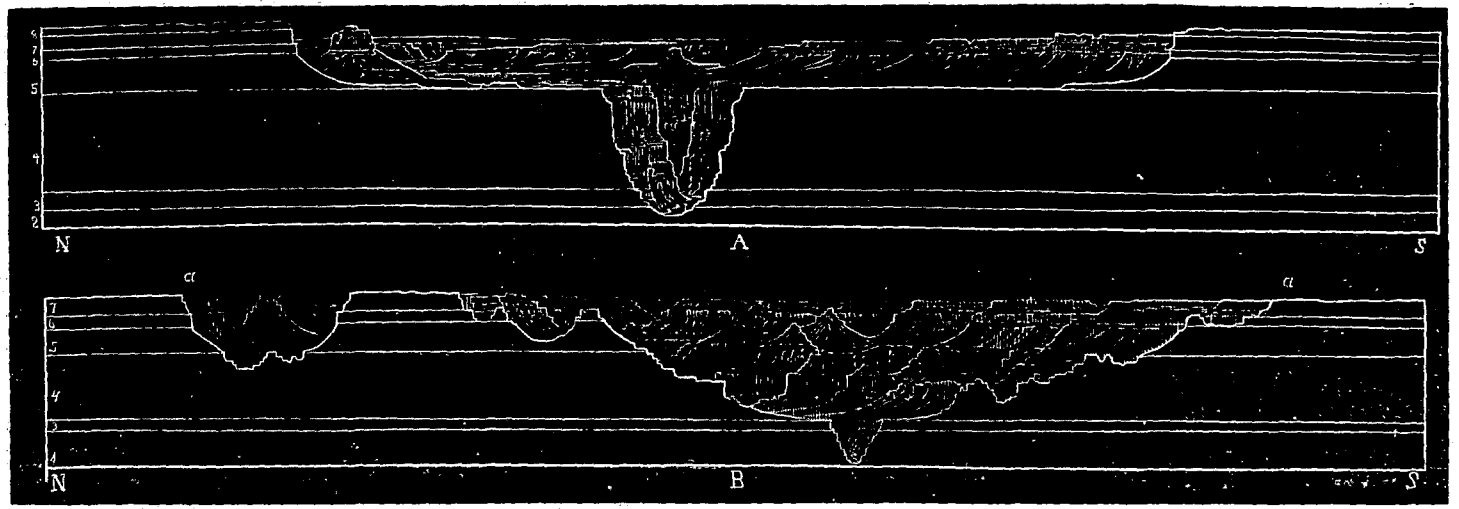
На р. Сунѣ, верстахъ въ 30 выше Кивача, находятся еще два большіе водопада Поръ-Порогъ и Гирвасъ.

Пороги на Сяси, Волховѣ и друг. представляютъ остатки отъ размытія нѣкогда бывшихъ водопадовъ.

Еще болѣе величественный примѣръ размывающей дѣятельности воды представляетъ ущелье р. Колорадо въ Аризонѣ (фиг. 263).

Эта территорія имѣетъ видъ обширной плоской возвышенности, поднимающейся террассами на 3.000 метр. надъ уровнемъ моря. Въ строеніи ея принимаютъ участіе палеозойскія и отчасти мезозойскія образованія, которыя залегаютъ горизонтально на гранитѣ. Въ такой-то мѣстности Колорадо вырылъ свои знаменитые каньоны. Главный потокъ течетъ въ каналѣ, имѣющемъ отъ 1.000 до 2.000 метр. глубины, и прорѣзываетъ не только осадочныя породы, но и гранитъ.

Въ поперечномъ разрѣзѣ (фиг. 264) каньона Колорадо еще нагляд-



Фиг. 264. — Поперечные разрѣзы большого каньона Колорадо (верт. и гориз. масшт. одинаковы). A — разрѣзъ у Канаба; B — разрѣзъ у Канбаба. Отъ *a* до *a* — 7 миль.

		Толщина въ A.	Толщина въ B.
Пермо—карбонъ	8 — (слои съ Bellerophon)	250 ф.	—
Coal—measures	7 — (Известняки)	350 »	500 ф.
	6 — (Песчаники)	200 »	400 »
	5 — (Красная глина)	1200 »	900 »
Нижняя каменноугольная система	4 — (Red Wall)	2500 »	2200 »
	3 — (Группа Tonto)	300 »	200 »
	2 — Силурійскія породы	300 »	— »
	1 — Гранитъ, сланцы и пр.	— »	1200 »

нѣе видны тѣ громадныя измѣненія, которыя производитъ размываніе въ рельефѣ сравнительно ровной мѣстности.

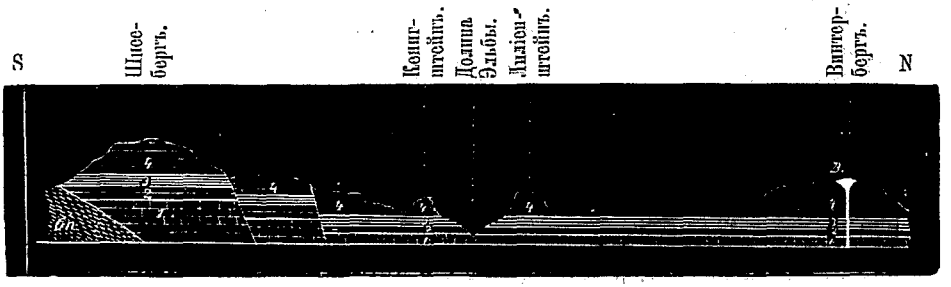
Подобные же грандіозные примѣры размыванія представляетъ Ангренское плато въ Ферганѣ, состоящее изъ гранитовъ и порфировъ,

Фиг. 265. — Каньонъ въ конгломератахъ на р. Чаткалѣ, Таласскій Алатау.

прикрытыхъ третичными и мѣловыми известняками. Каньоны глубиною до 1.000 м. мѣстами цѣликомъ, на всю глубину, прорѣзываютъ твердые кварцевые и ортоклазовые порфиры.

Не менѣе удивителенъ каньонъ р. Мерке въ порфирахъ Заилійскаго Алатау въ Тянь-шанѣ или въ конгломератахъ на р. Чаткалѣ (фиг. 265).

Вѣроятно при подобныхъ же условіяхъ произошло образованіе долины Эльбы и ея притоковъ въ Саксонской Швейцаріи между Боденбахомъ и Дрезденомъ. Эта

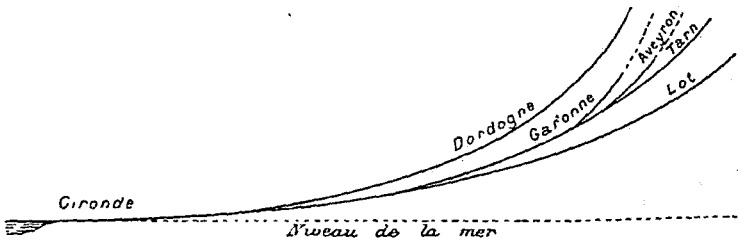


Фиг. 266.—Профиль Саксонской Швейцаріи. Gn—гнейсъ; 1—нижній; 2-4—средній квадерный песчаникъ; B—Базальтъ.

мѣстность, покрытая множествомъ скалъ самой причудливой формы, была нѣкогда однообразной равниной, сложенной изъ горизонтальныхъ слоевъ песчаника и возвышавшейся до уровня Кенигштейна и Лилиенштейна (фиг. 266). По этому плато протекала Эльба, служившая тогда еще стокомъ одного озернаго бассейна Богеміи и близъ Пирна падала съ крутого обрыва песчаника. Вода понемногу размывала по-

роду, водопадъ постепенно подвигался вверхъ по теченію рѣки и врѣзывался все болѣе и болѣе въ возвышенность, сложенную изъ песчаника. Наконецъ выше Теттена обрушился послѣдній оплотъ Богемскаго озера, и оно вылилось по образовавшемуся глубокому ущелью. Настоящее русло Эльбы лежитъ на 270 метр. глубже первоначальнаго. Измѣненіе уровня Эльбы дало возможность притокамъ проложить болѣе глубокія русла въ песчаникѣ; поверхность покрылась оврагами и ущельями, которые разбросаны среди ущѣлѣвшихъ скалистыхъ массъ, представляющихъ настоящія руины разрушенной и размытой поверхности.

Въ однородныхъ известнякахъ, которые относятся къ числу породъ, слабѣе всего подвергающихся смыванію, формы размыва пріобрѣтаютъ особенныя черты. Въ плотныхъ известнякахъ, напр. плато Causses въ южной Франціи и другихъ карстовыхъ областяхъ, гдѣ смываніе сводится почти къ нулю, условія возникновенія нормальной профили рѣкъ особенно неблагопріятны: вся выпадающая вода, за расходомъ ея на испареніе, устремляется по трещинамъ известняка (см. стр. 348). Вмѣсто того, чтобы постепенно вырабатывать свое русло по кривой, правильно понижающейся, вода непосредственно опускается, слѣдуя всѣми доступными для нея ходами, до точекъ возможно близкихъ къ уровню ея базиса эрозіи. Она собирается такимъ образомъ въ подземныхъ каналахъ, иногда значительными массами, постепенно сноситъ преграды ея движенію и выступаетъ на дневную поверхность въ такой точкѣ, откуда до окончательнаго устья вода имѣетъ паденіе ровно столько, сколько необходимо для преодолѣнія тренія ея русла. Въ началѣ она протекаетъ слѣдовательно среди отвѣсныхъ стѣнъ, которыя она подмываетъ; обвалы преграждаютъ русло, но вода снова промываетъ себѣ путь. Постепенно ущелье расши-



Фиг. 267.

ряется, а съ теченіемъ времени и склоны становятся болѣе пологими вслѣдствіе обрушенія верхнихъ частей. Когда такимъ образомъ профиль русла уже разработана, она оказывается значительно болѣе пологой, чѣмъ среди горныхъ породъ водонепроницаемыхъ. Рѣзкій примѣръ представляютъ рѣки системы Гаронны (фиг. 267); нормальныя кривыя рѣкъ, идущихъ съ плато Causses, какъ Лё (Lot), Тарнъ и Авейронъ, понижены подъ кривой нормальнаго паденія Гаронны, проходящей значительной частью въ области водоупорныхъ породъ. Дордонь, пересѣкающая центральный массивъ Франціи, имѣетъ профиль болѣе вогнутую, чѣмъ Гаронна. Поперечный разрѣзъ долинъ среди трещиноватыхъ известняковъ не имѣетъ формы V; онъ приближается больше къ трапецоидальному, и нерѣдко главные рукава рѣки протекаютъ по выпуклому руслу. Рѣка поднимаетъ свое ложе вслѣдствіе отложеній во время половодій, и ни одинъ изъ временныхъ потоковъ со склоновъ не можетъ достигнуть до главнаго русла.

Слабость поверхностнаго размыванія характеризуетъ такія области карстоваго характера. Рѣки въ такомъ бассейнѣ отстоятъ другъ отъ друга значительно дальше, чѣмъ въ областяхъ иного геологическаго характера, собирая подземными путями воды съ значительныхъ площадей; обыкновенно значительный дебитъ такихъ рѣкъ отличается иногда постоянствомъ, такъ какъ метеорологическія колебанія отражаются очень медленно на подземныхъ водохранилищахъ. Вода отличается чистотою, даже во время половодій, всегда продолжительныхъ. Иногда дебитъ подвергается и крупнымъ колебаніямъ, но всегда съ извѣстнымъ запозданіемъ противъ метеорологическаго явленія, напр., въ извѣстной рѣкѣ Падирака въ Causses, гдѣ обиліе трещинъ и подземныхъ пустотъ способствуетъ быстрому проникновенію выпавшей воды. О сокрытіяхъ рѣкъ и другихъ карстовыхъ явленіяхъ было сказано уже раньше (см. стр. 344—350).

Совсѣмъ иначе относятся къ размыванію известняковыя породы не достаточно плотныя для возможности образованія въ нихъ открытыхъ трещинъ, но пористыя или во всей ихъ массѣ, или ближе къ поверхности. Таковы, напр., мѣловыя породы

Шампаньи и Пикардіи, по словамъ Лаппарана. Онѣ насыщаются водой, какъ губка, представляя настоящіе водоносные горизонты, открывающіеся многочисленными ключами по склонамъ изъ такихъ породъ. Смываніе дѣйствуетъ энергично по такимъ склонамъ (стр. 210—211), но преимущественно въ ихъ верхней части, такъ какъ проницаемость породы быстро ослабляетъ смываніе; при легкомъ разрушеніи мѣла, склоны изъ него пріобрѣтаютъ характерныя выпуклыя очертанія напр. такъ называемыя downs южной Англіи. Если смываніе достаточно сильно, чтобы удалить весь матеріалъ осыпей, склоны принимаютъ выпуклый видъ сверху до низу. Склоны мѣловыхъ породъ рѣзко отличаются своей сухостью и безплодіемъ отъ влажной почвы смежныхъ долинъ; напр., многіе мѣловые холмы въ Симбирской губ. по правому берегу Волги между Симбирскомъ и Сызранью. Размывъ разработываетъ широкія долины, въ которыхъ боковые притоки часто протекаютъ на горизонтахъ ниже главной рѣки, соединяясь съ нею значительно дальше. Подъ вліяніемъ смыванія поверхность мѣловыхъ пространствъ пріобрѣтаетъ характерную легкую волнистость, типомъ которой французы считаютъ равнины Шампаньи (plaines de Champagne). Подобныя же формы смыванія и размыванія часто даютъ и мягкіе песчаники.

Даже самыя крѣпкія новыя вулканическія породы подвергаются весьма энергическому размытію,—напр. въ Оверни р. Сіуль (фиг. 268) проложила свое русло до 70 ф. глубиною въ массѣ лавы. Р. Кальтабіанка на южной сторонѣ Этны прорыла лаву, излившуюся въ 396 г., на глубину 14 ф., а р. Симето на западной оконечности Этны въ лавѣ 1603 г. вырыла русло до 50 ф. шириною и отъ 50 до 100 ф. глубиною. По словамъ Уйтнея, въ Калифорніи потоки лавы мѣстами размыты до 500 ф. глубиною. Направленіе размытія въ нихъ, вѣроятно, обусловливается трещинами отдѣльности, которыя, какъ извѣстно, располагаются довольно правильно въ базальтахъ, долеритахъ и другихъ вулканическихъ породахъ. Однако отступаніе водопадовъ въ вулканическихъ породахъ, напр. на р. Колумбіи въ С. Америкѣ и особенно водопада Викторія [27]) на р. Замбези въ Африкѣ (фиг. 269), если и происходитъ, то весьма медленно.

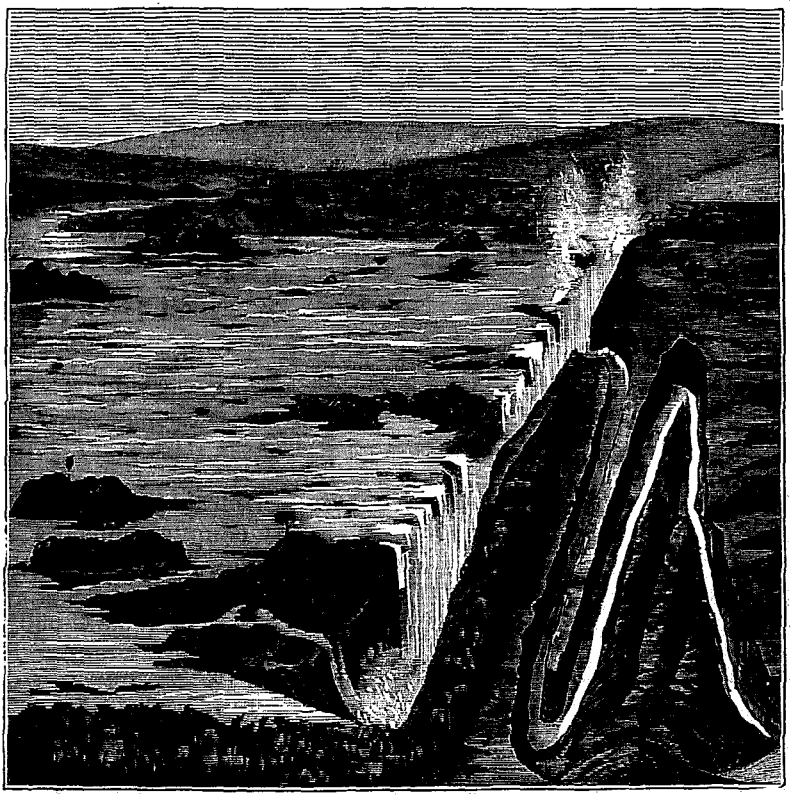
Фиг. 268.—Долина р. Сіуль въ вулканическихъ породахъ.

При размытіи массивныхъ или горизонтально-напластованныхъ породъ, ущелья или каньоны имѣютъ различный поперечный разрѣзъ, въ зависимости отъ разнообразія породъ; но между ними выдѣляются два главныхъ типа, между которыми существуетъ множество промежуточныхъ. Одинъ представляетъ глубокое ущелье, съ совершенно вертикальными склонами или только нѣсколько расширенный вверху,—напр. каньонъ Ніагары, Паріа, Долоресъ въ горахъ С. Мигуель, Ангрена, Мерке и др. Такая форма свойственна каньонамъ, прорѣзывающимъ болѣе или менѣе однородныя осадочныя или массивныя породы. Другой типъ свойственъ каньонамъ, прорѣзывающимъ пластовыя породы съ рѣзкою разницею въ твердости различныхъ пластовъ. Въ нихъ главною особенностью является образованіе большихъ обрывистыхъ террассъ на сравнительно пологихъ и открытыхъ склонахъ. Лучше всего этотъ типъ наблюдается въ вулканическихъ породахъ, когда, напр., слои базальта перемежаются съ слоями рыхлыхъ туфовъ, напр. въ долинѣ Созау у Кадена [28]) въ Срединномъ кряжѣ, гдѣ покровы базальта образуютъ отвѣсныя террассы, а промежуточные слои туфа даютъ склонъ около 30°. Еще типичнѣе та же форма наблюдается въ вулканическихъ слояхъ близъ Сагуатча [29]) въ Колорадо въ С.-Америкѣ (фиг. 270); тоже въ нѣкоторыхъ частяхъ главнаго каньона Колорадо (фиг. 263).

Отъ размыванія плоскогорій, состоящихъ изъ горизонтальныхъ пластовъ чаще всего происходятъ такъ называемыя столовыя горы или страны, напр. горы Амбасъ въ Абиссиніи (фиг. 271). Когда верхніе пласты ихъ отличаются твердостью, напр. въ случаѣ, если вулканическія породы образуютъ покровъ, прикрывающій плоскогорье (такого рода рельефъ Рихтгофенъ называетъ Uebergusstafelländer въ отличіе отъ

Schichtungstafelländer, т.-е. пластовой столовой земли [30]), и если такія столовыя горы находятся въ пустыняхъ, то, будучи подвержены дѣйствію вѣтра, онѣ сохраняются на долгое время и пріобрѣтаютъ форму эоловыхъ столовыхъ горъ (см. рисунки 33 и 40).

Гдѣ вулканическія породы заполнили какую нибудь долину, тамъ послѣдняя останавливается въ своемъ развитіи и размывъ происходитъ съ боковъ ея; вслѣдствіе этого получается тоже столовая гора, залегающая между склонами сосѣднихъ долинъ размытія, какъ напр. въ Калифорніи столовая гора въ Tuolumne-County (фиг. 272), образованная базальтовымъ потокомъ въ 60 киломъ. длиною, 500 м. шириною и 500 м. толщиною (*ab*); сосѣднія долины (*aef*, *bgh*) вымыты въ слюдяныхъ сланцахъ. Подъ базальтомъ залегаютъ рѣчные золотоносные осадки стараго русла. Очевидно, что въ

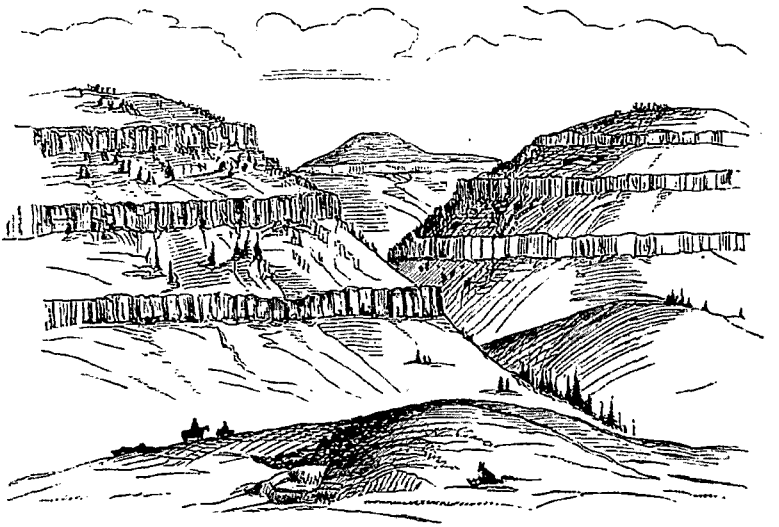


Фиг. 269. — Водопадъ на р. Замбези.

періодъ изліянія базальта долина представляла видъ *cbaa'*. Всѣ эти примѣры съ очевидностью доказываютъ, что вода энергично размываетъ самыя новыя и твердыя вулканическія породы.

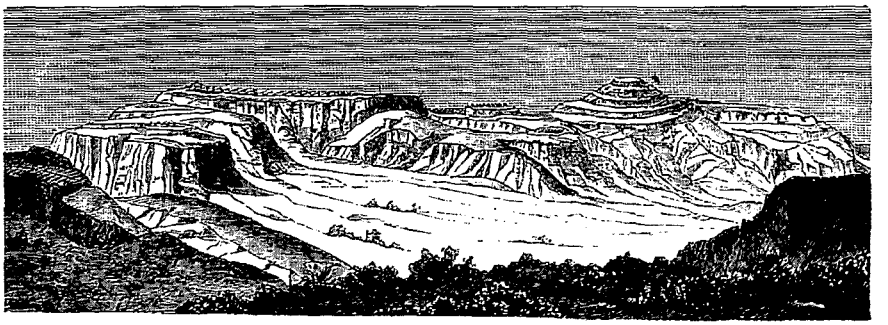
Размываніе въ породахъ съ нарушеннымъ пластованіемъ. Размываніе въ породахъ съ нарушеннымъ пластованіемъ, т.-е. пласты которыхъ подвергались тѣмъ или другимъ процессамъ дислокаціи, какъ уже замѣчено выше, производитъ болѣе разнообразныя формы. Это разнообразіе зависитъ, во-первыхъ, отъ сочетанія пластовъ, характера ихъ дислокаціи, а во-вторыхъ, отъ отношенія между направленіемъ потока и простираніемъ породъ. Остановимся сначала на второмъ условіи, т.-е. на отношеніи направленій потока и простиранія породъ. Здѣсь, согласно съ Рихтгофеномъ [31]), можно различить три случая: 1) потокъ направляется параллельно простиранію, или 2)—перпендикулярно, или, наконецъ, 3)—діагонально подъ какимъ-нибудь угломъ.

1) Въ первомъ случаѣ, если потокъ прорѣзываетъ однородные пласты, то размываетъ ложе съ одинаковою скоростью по обѣимъ сторонамъ, но, разумѣется, въ мягкихъ породахъ *w* (фиг. 273) долина размытія *aa* будетъ больше, нежели *b* въ твердыхъ породахъ *h*, гдѣ она будетъ меньше.



Фиг. 270. — Каньонъ Сагуатча съ террассами на склонахъ.

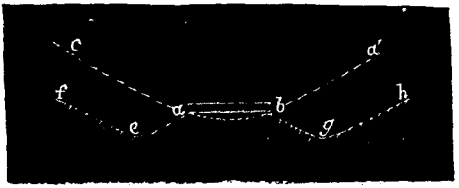
Когда же пласты неодинаковой твердости (мягкія перемежаются съ твердыми), то если потокъ попадетъ на линію соприкосновенія ихъ, онъ размываетъ неравномѣрно бока долины. Въ одномъ случаѣ, когда мягкія породы *w* покрываютъ твердыя *h* (фиг. 273), потокъ *a* уклоняется и расширяетъ долину въ сторону мягкихъ породъ; въ то время, какъ склонъ



Фиг. 271. — Столовыя горы Амбасъ въ Абиссиніи.

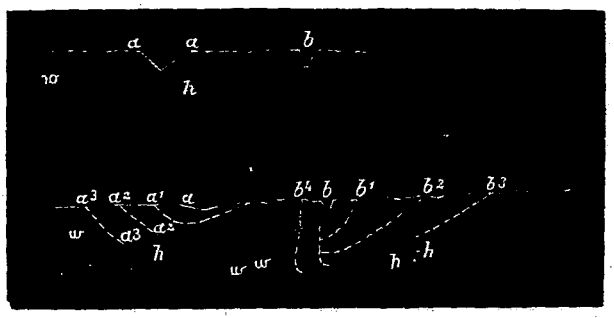
изъ твердыхъ породъ мало измѣняется и получаетъ уклонъ равный паденію пластовъ, склонъ изъ мягкихъ породъ постепенно отступаетъ, подмывается, становится округлымъ и переходитъ въ a^1, a^2a^2, a^3a^3 и т. д. Въ другомъ случаѣ, когда мягкія породы подстилаютъ твердыя, то склонъ изъ твердыхъ породъ получаетъ наибольшую крутизну, а противоположный склонъ изъ мягкихъ породъ, размываясь по паденію, становится болѣе пологимъ (фиг. 273); если размываніе опять дойдетъ до твер-

дыхъ породъ *hh*, то получится первая форма размыва. Это явленіе наблюдается на каждомъ шагу въ слоистыхъ породахъ сѣвернаго склона Кавказа, напр. въ области Пятигорскаго округа въ системѣ притоковъ Малки, Кумы, Баксана и пр., также въ третично-мѣловыхъ отложеніяхъ Ферганы, въ сѣверныхъ известняковыхъ Альпахъ и пр. Перемежаемость породъ различной твердости вызываетъ такимъ образомъ при наклонномъ залеганіи слоевъ сильную диссиметрію склоновъ. Случаи такого размыванія слоевъ, когда оба склона обнаруживаютъ совершенно различный геологическій составъ, именно висячій бокъ нижнихъ слоевъ по одному склону и разрѣзъ верхнихъ слоевъ по другому, принято называть, какъ мы говорили, моноклинальнымъ, и соотвѣтственно этому такія долины моноклинальными.



Фиг. 272. — Столовая гора размытія.

Проф. Павловъ (О рельефѣ равнинъ. Землевѣдѣніе, V, 1898) обратилъ вниманіе, что причиной асиметріи многихъ долинъ Евр. Россіи, именно въ области Волги, можетъ быть слабый наклонъ осадочныхъ породъ; крутые склоны располагаются на сторонѣ, гдѣ слои падаютъ очень полого къ долинѣ, и крутизна склоновъ вызывается дѣятельностью ключей, способствующихъ оползнямъ и обваламъ. Очевидно, что эта причина можетъ быть дѣятельна только при началѣ формированія долины, ибо оползни и обвалы имѣютъ своей конечной цѣлью довести склонъ до степени пологаго; но въ данномъ случаѣ процессъ смыванія на противоположныхъ склонахъ, не осложняемыхъ оползнями, дѣлаетъ эти склоны пологими гораздо быстрѣе, чѣмъ на опалзывающихъ склонахъ. Въ долинахъ болѣе старыхъ оползни и обвалы являются скорѣе факторомъ, неуклонно сопротивляющимся выработкѣ крутаго склона дѣятельностью проточной воды, пробѣгающей по данному руслу, т. е. являются скорѣе слѣдствіемъ, а не причиной асиметріи склоновъ долины.



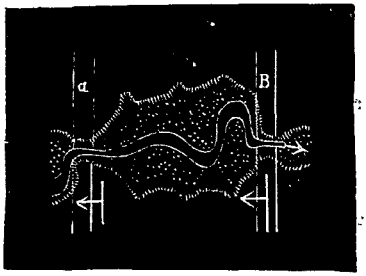
Фиг. 273. — Схема размытія въ нарушенныхъ пластахъ.

По словамъ Рихтгофена [32]), иногда, хотя очень рѣдко, потокъ врѣзывается перпендикулярными изгибами въ массу твердыхъ породъ и прокладываетъ себѣ скалистое русло по болѣе трудному пути, оставляя область мягкихъ породъ. Это явленіе трудно объяснимо, безъ допущенія трещинъ, представлявшихъ готовое ложе для потока; Рихтгофенъ наблюдалъ его въ большомъ развитіи въ горахъ юго-восточнаго Китая; Бехлеръ—въ Америкѣ въ области Колорадо, Неймайръ—у Олимпа и пр.

Если пласты стоятъ вертикально, то потоки прокладываютъ свое ложе по болѣе мягкимъ породамъ, напр. по известнякамъ, залегающимъ

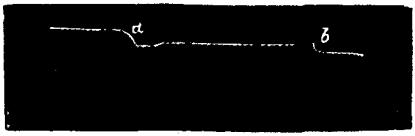
среди гнейса и кристалическихъ сланцевъ въ горахъ Цзинь-линь въ Китаѣ.

2) Если потокъ направляется перпендикулярно къ простиранію пластовъ, какъ, напр., въ большинствѣ поперечныхъ долинъ въ горахъ, то могутъ быть различные случаи: если пласты падаютъ въ сторону обратную направленію потока, то послѣдній, быстро размывая мягкія породы, задерживается болѣе твердыми; вслѣдствіе этого передъ такими запрудами происходитъ наибольшее расширеніе долины, отложеніе осадковъ и, слѣдовательно, возвышеніе русла до тѣхъ поръ, пока не будетъ размыта твердая пре-



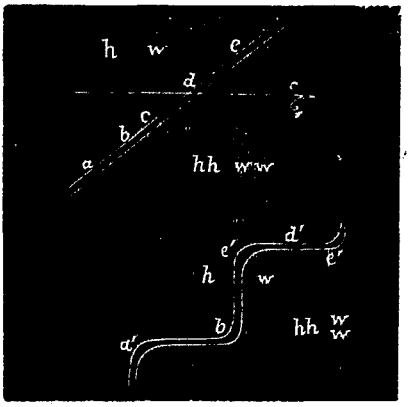
Планъ.

Фиг. 274.



Профиль.

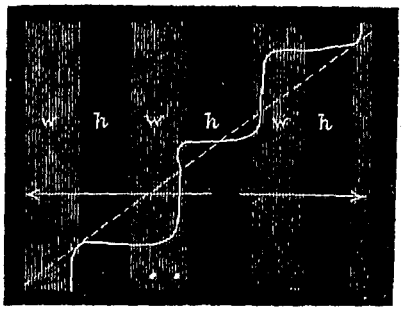
града. Въ концѣ концовъ получается неравномѣрное расширеніе долины по длинѣ; озеровидныя расширенія будутъ чередоваться съ узкими ущельями и порогами (*a*, *b*), соотвѣтствующими мѣстамъ залеганія твердыхъ породъ, какъ видно на фиг. 274. Если твердыя породы часто перемежаются съ мягкими, то получится цѣлый рядъ пороговъ. При паденіи пластовъ въ сторону теченія потока переходы эти обнаруживаются менѣе рѣзко.



Фиг. 275.

3) Если потокъ (*a b c d e*) прорѣзываетъ діагонально свиту перемежающихся твердыхъ (*h*) и мягкихъ (*w*) породъ, падающихъ по направленію стрѣлки (фиг. 275), то вскорѣ, встрѣчая неравномѣрное сопротивленіе, онъ получаетъ изгибы (*e' d' c' b' a'*), соотвѣтствующіе появленію твердыхъ породъ. Въ мягкихъ породахъ онъ течетъ по простиранію на возможно большемъ разстояніи, тогда какъ твердыя породы прорѣзываетъ по кратчайшему разстоянію. Въ концѣ концовъ образуется долина состоящая изъ продольныхъ и поперечныхъ частей: первыя расширенныя, вторыя—съуженныя. Фиг. 276 представляетъ планъ и профиль долины, прорѣзавшей антиклинальную складку; въ данномъ случаѣ все равно, будетъ ли потокъ направляться въ сторону паденія пластовъ или обратно, — только въ первомъ случаѣ правый, во второмъ лѣвый склоны будутъ круты въ продольныхъ частяхъ долины. Какъ въ этомъ, такъ и въ предыдущемъ случаѣ, расширенія долинъ, лежащія передъ запрудой, обусловливаемой болѣе твердыми породами, принимаютъ форму котловинъ или превращаются въ бассейны, въ которыхъ временно скопляются вода и принесенные ею осадки. Когда прорѣзъ черезъ такую преграду окажется достаточно глубокъ, то произойдетъ дренированіе и вымываніе позади лежащаго бассейна. Такая работа

совершается въ различныхъ частяхъ сформировывающейся поперечной долины, и фазы ея въ каждомъ участкѣ, по наблюденіямъ Рютимейера въ долинахъ Швейцаріи, состоятъ въ повтореніи слѣдующихъ процессовъ (фиг. 277): протачиванія (I), расширенія (II), выполненія отлагающимися наносами (III), унесенія отложившихся наносовъ и вторичнаго протачиванія (IV); процессы эти по-

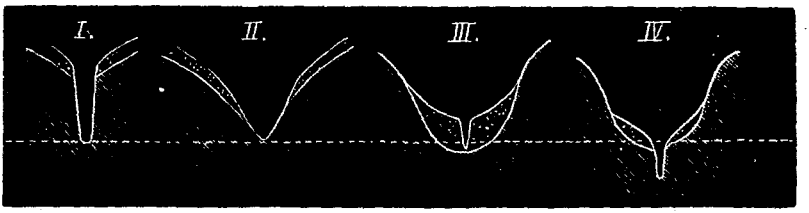


Планъ.

Профиль.

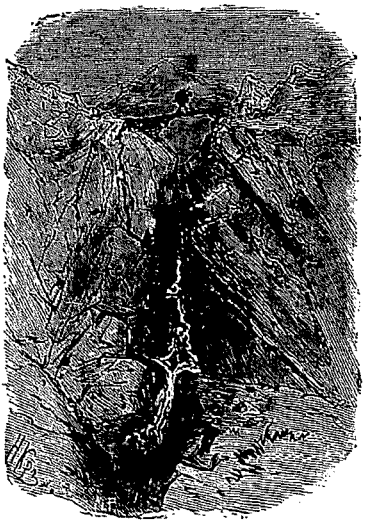
Фиг. 276.

вторяются до тѣхъ поръ, пока дно долины не достигнетъ такой сплошной кривизны уклона, которая необходима по свойству породъ. Такія съужи-



Фиг. 277.

вающіяся и расширяющіяся поперечныя долины находятся сотнями въ каждомъ горномъ кряжѣ. Расширенныя части ихъ или заняты поселеніями, или представляютъ роскошныя луга или спокойныя озера, тогда какъ съуженія долинъ соотвѣтствуютъ глубокимъ, недоступнымъ ущельямъ—каньонамъ съ бурными водами, нерѣдко съ красивѣйшими водопадами, низвергающимися съ громадной высоты, какъ, напр., водопадъ Св. Нины на Кавказѣ или даже цѣлая серія водопадовъ, напр. въ долинѣ Иссыкъ въ Заилійскомъ Алатау, въ горахъ Акъ-Тау въ Джунгарскомъ Алатау. Нѣкоторые изъ этихъ прорывовъ находятся еще въ періодѣ образованія, напр. ущелье «Чертовъ мостикъ» у дер. Пальдоракъ на Зеравшанѣ (фиг. 278), другіе уже сформировались, напр. ущелье Чилё въ Алайскомъ хребтѣ; третьи, сформировавшись, успѣли осушиться, благодаря измѣнившимся климатическимъ условіямъ, и представляютъ собою, такъ сказать, сухіе каньоны, напр. знаменитое ущелье «Желѣзныя Ворота» въ Бухарѣ около г. Дербента (фиг. 279), прорѣзывающее почти вертикальные пласты палеозойскаго известняка.



Фиг. 278.—Чортовъ мостъ на Зеравшанѣ.

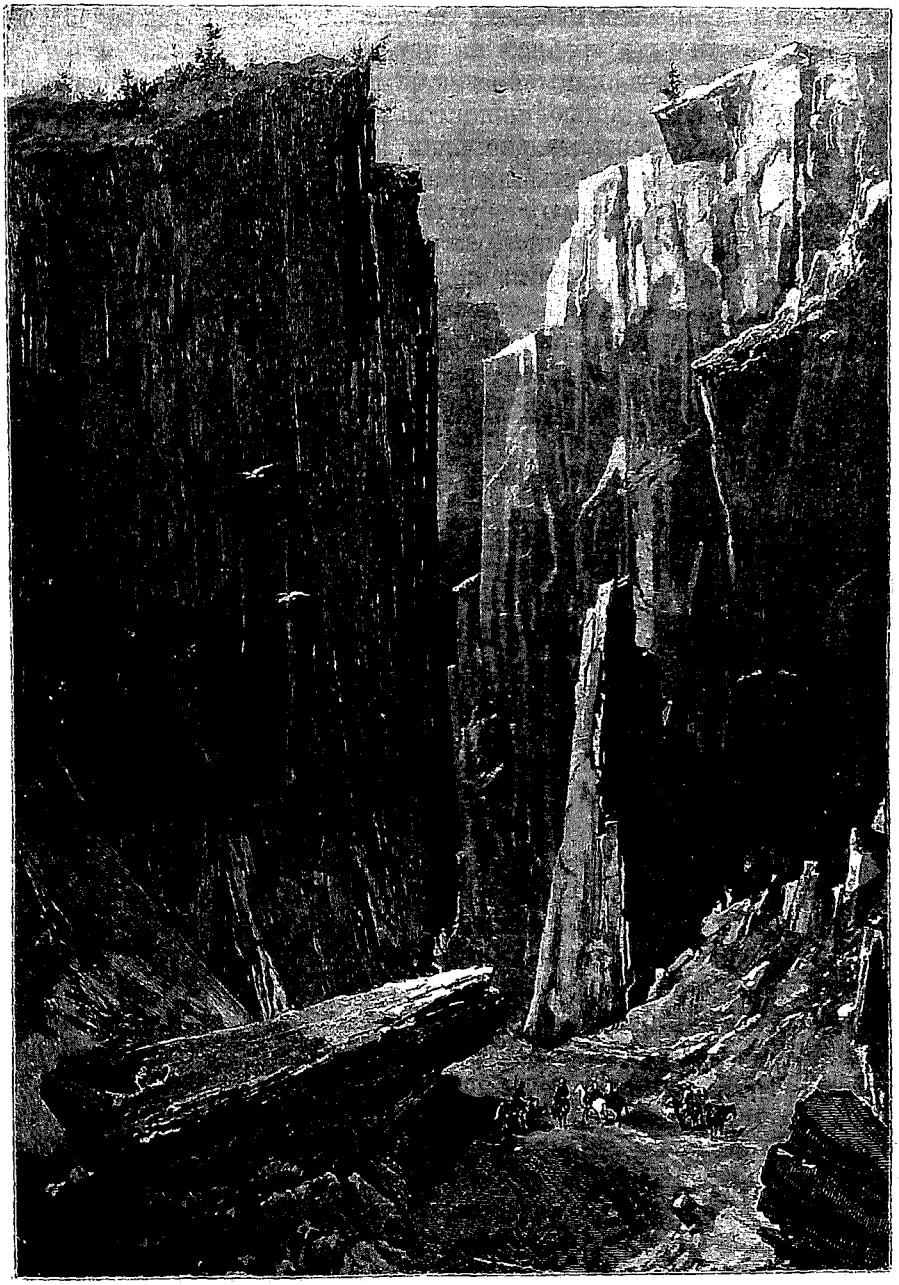
Вліяніе участковъ долины среди твердыхъ породъ на удлиненіе и извилистость участковъ выше по рѣкѣ среди мягкихъ породъ выражается въ усиленіи именно боковаго размыванія среди мягкихъ породъ въ теченіе времени, когда среди твердыхъ породъ долина медленно углубляется. Моноклинальныя долины, расположенныя на крыльяхъ антиклинальной складки, принято называть типомъ комбъ (combe). Антиклинальныя линіи не представляютъ однообразнаго паденія; мѣстами онѣ обнаруживаютъ изгибы, представляющіе наиболѣе удобный путь для выхода водъ, собиравшихся въ замкнутую синклиналь. Такіе случаи особенно часты въ Юрѣ, гдѣ узкія поперечныя долины черезъ высокія антиклинальныя складки въ мѣстахъ наибольшаго пониженія антиклинальныхъ линій, получили названіе клюзъ (cluses). Интересны случаи, когда собранные въ складки слои, обнажающіеся по обѣимъ берегамъ клюзы, не вполнѣ точно соотвѣтствуютъ по своему положенію другъ другу; это можетъ быть слѣдствіемъ, если не отчетливыхъ сбросовъ или сдвиговъ, то нѣкотораго скручиванія и разрыва слоевъ, естественно ослабившаго сплошность слоевъ и благопріятствовавшаго размыванію.

Приведенные случаи наблюдаются только тогда, когда дислокація или, вообще говоря, тектоника мѣстности всецѣло отражается на пластикѣ поверхности. Но въ природѣ нерѣдко встрѣчаются мѣстности, въ которыхъ пластика не зависитъ отъ тектоники. Ниже, при изложеніи дѣятельности моря, будетъ подробно описано происхожденіе такихъ площадей; теперь же только замѣтимъ, что, при нѣкоторыхъ условіяхъ, море своимъ размывающимъ дѣйствіемъ въ состояніи сгладить всѣ неровности на поверхности суши и изъ горной страны образовать равнину. Такія равнины, произведенныя смывающимъ дѣйствіемъ моря, называются равнинами или поверхностями смыва или абразіи (Abrasionsflächen). Онѣ рѣзко отличаются отъ нормальныхъ равнинъ (низменностей и плоскогорій) тѣмъ, что слагающія ихъ породы пластуются не горизонтально, а обнаруживаютъ ясные слѣды дислокаціи.

На поверхности такихъ равнинъ, разумѣется, формы размытія будутъ нѣсколько иныя, нежели на нормальныхъ равнинахъ. Замѣчено, что въ большинствѣ случаевъ на нихъ развиваются главныя поперечныя долины, простирающіяся вкрестъ простиранія складокъ, тогда какъ боковые притоки слѣдуютъ по простиранію болѣе мягкихъ породъ и образуютъ продольныя долины. Развитіе главныхъ долинъ въ поперечномъ направленіи объясняется тѣмъ, что въ большинствѣ случаевъ складки простираются согласно съ береговой линіей прилежащаго моря. Послѣ періода трансгрессіи, когда складки были смыты и море снова начало отступать,—разумѣется, первые потоки, стекавшіе по поверхности смыва, всегда наклоненной къ морю, прорѣзывали породы вкрестъ простиранія; а такъ какъ изъ этихъ первыхъ рытвинъ впослѣдствіи образовались главныя долины, то, слѣдовательно, онѣ должны быть поперечными.

Что касается боковыхъ долинъ, то онѣ въ большинствѣ случаевъ соотвѣтствуютъ или болѣе мягкимъ пластамъ, или же гребнямъ антиклинальныхъ складокъ, и, значитъ, образуютъ анитлинальныя долины или, какъ ихъ называетъ г. Лёвль, анаррегматическія долины, въ противоположность симптигматическимъ, образующимся на почвѣ синклиналь-

ныхъ складокъ и гетероптигматическимъ, т. е. проложившимъ свое ложе на рубежѣ древнихъ кристаллическихъ породъ и прилегающихъ къ

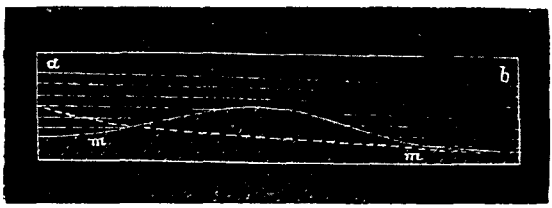


Фиг. 279. — Ущелье «Желѣзныя ворота» въ Байсунъ-тау, въ Бухарѣ.

нимъ осадочныхъ складчатыхъ породъ. Примѣромъ такихъ анаррегматическихъ долинъ могутъ служить многія боковыя долины въ рейнскихъ горахъ Таунусъ, Гунсдрюкъ и проч. Образованіе долинъ на гребнѣ

антиклиналовъ въ области равнинъ смыва, вѣроятно обусловливается большею раздробленностью породъ на гребняхъ антиклиналовъ сравнительно съ синклинальными, происходящею отъ процессовъ дислокаціи. Происхожденіе анаррегматическихъ долинъ объясняетъ также частое появленіе синклинальныхъ гребней на поверхностяхъ смыва.

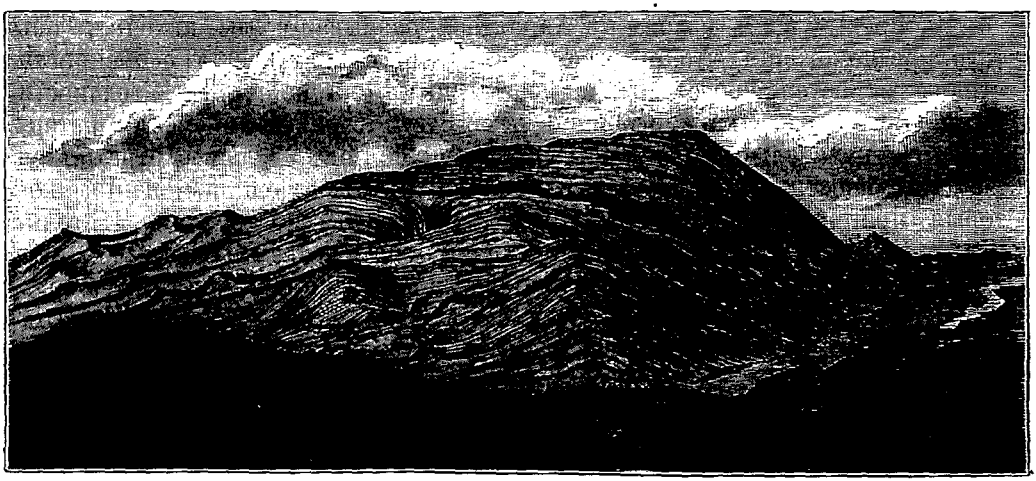
Поверхности смыва или абразіи рѣдко бываютъ совершенно обнаженными, а большею частью прикрыты болѣе новыми осадками, располагающимися или горизонтально, или же претерпѣвшими дислокацію. При такомъ трансгрессивномъ залеганіи, если верхніе пласты достаточной толщины, формы размытія обусловливаются ими, а ниже лежащія остаются безъ вліянія. При продолжительномъ дѣйствіи размыва можетъ случиться, что долины углубятся до нижележащей поверхности абразіи, которая хотя производитъ нѣкоторыя частныя измѣненія въ формѣ размыва, но, тѣмъ не менѣе, главное направленіе токовъ останется то же и, какъ зависящее отъ характера верхнихъ породъ, разумѣется, не обнаружитъ связи съ нижними породами. Только такимъ путемъ можно объяснить развитіе продольныхъ долинъ многихъ мѣстностей, напр., въ юго-восточномъ Китаѣ, гдѣ система ихъ не зависитъ отъ нижележащихъ породъ. Такія долины (*mm*, фиг. 280) можно назвать, согласно съ Рихтгофеномъ, эпигенетическими долинами размытія. Этими случаями до нѣкоторой степени объясняется прорывъ старыми потоками новыхъ горныхъ кряжей, не смотря на то, что эти кряжи часто выше водораздѣла, питающаго потоки, напр. рѣки Гималая и Тянь-шаня.



Фиг. 280. — Схема эпигенетической долины.

Вліяніе трещинъ на размываніе. Кромѣ дислокаціи, иногда трещины отдѣльности также вліяютъ на ходъ размыванія, обусловливая то или другое направленіе его. Въ малыхъ размѣрахъ это наблюдается довольно часто; напр. нерѣдко трещины въ черноземѣ даютъ направленіе зарождающемуся оврагу. Трещины въ вулканическихъ породахъ обусловливаютъ водопады. Правильная система трещинъ въ Пятигорскомъ округѣ на сѣверномъ склонѣ Кавказа, обусловливая направленіе подземныхъ водъ, вмѣстѣ съ тѣмъ вліяетъ на ходъ размыванія поверхности, особенно въ верховьяхъ долинъ: Малки, Березовки, Ольховки и др. Добрэ доказалъ, что въ нѣкоторыхъ частяхъ Франціи, состоящихъ изъ мало нарушенныхъ пластовыхъ отложеній, трещины обусловливаютъ характеръ системы потоковъ; точно также Черульфъ нашелъ связь въ развѣтвленіи норвежскихъ фіордовъ, съ расположеніемъ главныхъ трещинъ въ прилежащихъ горахъ. Нѣкоторая зависимость въ направленіи мелкихъ потоковъ отъ трещинъ наблюдается на Гарцѣ. Вліяніе трещинъ особенно замѣтно въ породахъ легко растворимыхъ,—напр. въ известнякѣ. Весьма вѣроятно, что случаи прорѣзыванія рѣками болѣе твердыхъ породъ въ то время, какъ онѣ могли гораздо легче проложить свое русло въ сосѣднихъ мягкихъ породахъ, также объясняется вліяніемъ трещинъ, какъ готовыхъ руселъ, по которымъ устремляются рѣки, напр., прорывъ Ду-

наека въ Карпатахъ черезъ Пенинъ, состоящій изъ твердыхъ известняковъ, тогда какъ по окраинамъ его залегаютъ мягкія породы; то же прорывъ р. Темпа у Олимпа и особенно прорывъ рѣки Ямпа [32]) въ Колорадо (фиг. 281); она протекаетъ по холмистой странѣ, сложенной изъ мягкихъ третичныхъ породъ, и, сразу круто поворачивая, скрывается въ узкомъ каньонѣ среди твердыхъ мощныхъ известняковъ. Очень можетъ быть, что и ущелье Желѣзныя Ворота въ Бухарѣ отчасти обязано своимъ происхожденіемъ вліянію трещинъ. Вода, попадая въ такія трещины, быстро расширяетъ ихъ, до такой степени, что рѣка можетъ совершенно скрыться и превратиться въ подземный потокъ, который или снова выходитъ на поверхность чрезъ нѣкоторое разстояніе, или же прямо изливается въ море въ видѣ источниковъ. Превращаясь въ подземные токи, рѣки иногда совершенно измѣняютъ свое направленіе, какъ это мы видѣли въ области Карста. Въ Иллиріи, напр. р. Тима-



Фиг. 281. — Р. Ямпа въ Колорадо, скрывающаяся въ глубокую и узкую трещину.

вусъ или Тимово, впадающая въ море близъ Дуино (въ 20 верстахъ къ Сѣверу отъ Тріеста) представляетъ продолженіе р. Рекки, скрывающейся въ скалахъ у дер. Санъ-Касьяна и текущая подъ землею около 35 верстъ. Рѣка Фонбо у Мюнстербурга въ Истріи извергается въ пещеру и уже болѣе не выходитъ на поверхность. Рѣка Гвадіана въ 5 мил. къ SW отъ мѣста исчезновенія выходитъ снова на поверхность въ видѣ многихъ источниковъ, называемыхъ «Глазами Гвадіаны». Очень можетъ быть, что такъ называемый «Глазной источникъ» въ Кисловодскѣ представляетъ подземный рукавъ Малки. На фиг. 214 (гл. IV) изображена система такой скрывающейся рѣки Лайбахъ. Иногда подземныя части токовъ, подмывая кровлю, постепенно уничтожаютъ ее и такимъ образомъ превращаются въ поверхностные токи съ готовыми долинами. Такіе случаи особенно часто встрѣчаются въ лёссовыхъ областяхъ, гдѣ нерѣдко потоки берутъ начало въ мульдахъ, съ поверхности совершенно сухихъ, и изливаются чрезъ узкія трещины, превращая ихъ въ скалистыя ущелья, такъ что въ данномъ случаѣ долины размыва не соотвѣтствуютъ орографіи поверхности. Г. Лёвль придаетъ большое значеніе тре-

щинамъ сдвиговъ, направленіе которыхъ нерѣдко обусловливаетъ направленіе размыва; всѣ такого рода долины онъ называетъ катакластическими; если долины обусловлены тою формою сдвига, который мы называли грабенъ, то онъ называетъ ихъ бикатакластическими, напр. средняя часть Рейна; если же—сдвигомъ, идущимъ поперекъ складокъ, то онъ называетъ ихъ паракластическими долинами.

Такимъ образомъ вліянія трещинъ на характеръ размыва отвергать нельзя, но съ другой стороны, нельзя также считать ихъ главными факторами, обусловливающими направленіе поперечныхъ долинъ, какъ это еще недавно было почти общимъ мнѣніемъ, да и теперь нѣкоторые защищаютъ его.

Вліяніе процессовъ дислокаціи, перемѣнъ климата и поверхности геоида на размываніе.

Въ предыдущемъ изложеніи характера размыванія мы исходили изъ того предположенія, что оро-геологическія и климатическія особенности страны остаются постоянными, неизмѣнными въ періодъ дѣятельности потоковъ. Но такъ какъ особенности эти съ теченіемъ времени претерпѣваютъ значительныя измѣненія, то очевидно онѣ должны отражаться на дѣятельности потоковъ. Слѣдовательно, кромѣ тѣхъ измѣненій, которыя претерпѣваютъ потоки, благодаря своей собственной дѣятельности, при тѣхъ или другихъ условіяхъ, разсмотрѣнныхъ выше, они подвергаются еще внѣшнимъ вліяніямъ, нисколько не зависящимъ отъ свойства и характера дѣятельности потоковъ, а потому исторія развитія ихъ была бы не полная, если бы мы не упомянули объ этихъ вліяніяхъ, которыя, вмѣстѣ съ тѣмъ, объясняютъ намъ многія оригинальныя и безъ того непонятныя особенности въ строеніи долинъ размыва.

Къ этимъ факторамъ относятся: дислокація, происходящая одновременно съ дѣятельностью потоковъ или послѣ сформированія ихъ, измѣненія климата и поверхности геоида.

Дислокація земной коры, какъ это объяснено въ первой части этого курса, есть результатъ стяженія коры вслѣдствіе уменьшенія объема охлаждающейся внутренности земнаго шара. На поверхности земли она обнаруживается въ образованіи складокъ, или пликативныхъ горъ, и въ образованіи разнообразныхъ сдвиговъ или дизъюнктивныхъ горъ. Извѣстно, что наибольшую интенсивность складчатость имѣла въ новѣйшія геологическія эпохи, а потому самые высокіе изъ современныхъ складчатыхъ или пликативныхъ кряжей принадлежатъ къ самымъ новымъ. Многіе изъ нихъ гораздо моложе, нежели прорѣзывавшія ихъ долины размытія, или одновременны съ ними. Очевидно, при образованіи складокъ, прежде существовавшіе потоки должны были претерпѣвать тѣ или другія измѣненія. Положимъ, что горизонтальные или мало наклоненные пласты, размываемые потоками, подвергаются боковому давленію или, все равно, горизонтальному стяженію и образуютъ складки, простирающіяся перпендикулярно по направленію потока, то очевидно, что каждая складка будетъ представлять водораздѣлъ, которымъ новые потоки должны отклониться и измѣнить свое направленіе, если только они недостаточно сильны, чтобы прорѣзать эти поперечные водораздѣлы. Въ природѣ наблюдаются три случая. Во-первыхъ, бываетъ, что рѣка не только одну, но цѣлую систему параллельныхъ складокъ пересѣкаетъ поперекъ, нисколько не измѣняя своего прежняго направленія. Гораздо чаще встрѣчается второй случай, когда рѣка отклоняется образующеюся складкою, направляется по продольной долинѣ между двумя складками, гдѣ соединяется съ другими такими же отклоненными рѣками, значительно увеличиваетъ свою силу и затѣмъ уже въ какомъ-нибудь мѣстѣ прорѣзываетъ складку. Наконецъ третій случай заключается въ томъ, что отклоненная рѣка не прорѣзываетъ складки, а течетъ по продольной долинѣ и размываетъ ее.

Первый и второй случаи встрѣчаются почти въ каждой поперечной долинѣ. Для объясненія ихъ прежде прибѣгали къ помощи трещинъ, которыя происходятъ при дислокаціи. Но, какъ мы уже видѣли выше, трещины имѣютъ сравнительно небольшое вліяніе, да и направленіе ихъ въ складкахъ часто не соотвѣтствуетъ направленію долинъ размыва. На смѣну имъ Поуэль [33]) первый предложилъ другую гипотезу для объясненія поперечныхъ долинъ, которая, благодаря своей простотѣ, быстро распространилась. Изслѣдуя горы Уинта, восточнѣе системы Уасатчъ въ Сѣв. Америкѣ, и ихъ поперечныя долины, особенно долину Зеленой рѣки, притокъ Колорадо, прорѣзывающую горы Уинта на 1000 ф. глубиною, г. Поуэль пришелъ къ тому заключенію, что Зеленая рѣка существовала и впадала въ р. Колорадо еще раньше образованія горъ Уинта. Такъ какъ возвышеніе горъ происходило постепенно и медленно, то рѣка успѣвала въ той же мѣрѣ размывать и углублять свое русло; другими словами, Зеленая рѣка оставалась на одномъ уровнѣ, а горы по сторонамъ ея все болѣе и болѣе возвышались. Поуэль сравниваетъ ее съ пилою, остающеюся на мѣстѣ и распиливающею постепенно подвигающееся вверхъ тѣло.

Независимо отъ Поуэля, а также другъ отъ друга, къ тому же объясненію пришли Титце [34]) и Медликоттъ [35]), но особенно первый явился горячимъ защитникомъ этой гипотезы. Кромѣ фактическихъ данныхъ, собранныхъ имъ въ доказательство того, что рѣки часто прорываютъ горные кряжи, болѣе высокіе, нежели водораздѣлы этихъ рѣкъ, онъ указалъ причину этого явленія, заключающуюся въ различной древности водораздѣла и прорываемыхъ кряжей; рѣки, прорывающія громадные кряжи, всегда имѣютъ свои истоки на водораздѣлѣ, образовавшемся гораздо раньше, чѣмъ прорѣзываемые кряжи: Такъ Брамапутра и Индъ прорываютъ величайшій въ мірѣ хребетъ—Гималай, потому что истоки ихъ лежатъ въ области болѣе древней, нежели Гималайскій хребетъ, образовавшійся не раньше третичной эпохи, тогда какъ Куэнь-лунь, Каракорумъ обозначились уже въ палеозойскій періодъ. Точно также истоки Сефидъ-руда, прорывающаго горы Эльбурса, лежатъ въ области древнихъ гранитовъ и другихъ кристаллическихъ породъ, которыхъ нѣтъ въ Эльбурсѣ. Рѣки Молдава, Дунаекъ, Попрадъ и др., стекающія съ древней площади, прорываютъ въ среднемъ теченіи болѣе новыя складки значительной высоты. Въ Тянь-шанѣ, на Памирѣ такихъ примѣровъ очень много, а потому, несмотря на значительную высоту, нѣкоторые хребты Тянь-шаня не представляютъ водораздѣловъ: напр. Александровскій прорывается рѣкою Чу, Ферганскій—р. Нарыномъ, Кокъ-шалъ—р. Сары-Джасъ и пр. Верховья этихъ рѣкъ лежатъ въ областяхъ болѣе древнихъ, нежели прорѣзываемые кряжи. Тогда какъ центральныя Альпы, Кавказъ, отличающіеся наибольшею древностью, образуютъ водораздѣлы и нигдѣ не прорываются потоками.

Приведенные примѣры указываютъ, что рѣки гораздо старше тѣхъ горъ, которыя онѣ прорѣзываютъ. Однако это условіе прорыва, установленное Титце, нельзя назвать общимъ правиломъ, потому что существуютъ обратные примѣры, т.-е. рѣки прорываютъ горы древнѣйшаго происхожденія, напр. Дунай—Сербско-банатскія рудныя горы, Рейнъ—девонское вздутіе между Бингеномъ и Бонномъ, также Потомакъ, Сасквегама и Делаваръ—Аппалахскія горы, Искеръ—Балканы и пр. Г. Лёвль [36]), указавшій много примѣровъ, противорѣчащихъ положенію Титце, отрицаетъ справедливость его и полагаетъ, что складчатость должна уменьшать паденіе и скорость рѣки, увеличивать осадки и запруды, а слѣдовательно уменьшать размывающую работу рѣки, которая вслѣдствіе этого должна отставать отъ горообразовательнаго процесса, а не упреждать его (ср. сказ. на стр. 379). Прорывы же складокъ и горъ Лёвль объясняетъ размытіемъ долинъ снизу вверхъ однимъ изъ тѣхъ процессовъ, которые описаны нами выше. Для того, чтобы доказать на чьей сторонѣ истина, необходимо опредѣлить точными цифровыми данными отношеніе силъ размытія и горообразованія, но этого не сдѣлано ни тѣмъ, ни другимъ, да едва ли возможно сдѣлать при настоящемъ состояніи нашихъ знаній объ этомъ, еще весьма новомъ, вопросѣ. Вѣроятнѣйшее рѣшеніе этого вопроса, какъ справедливо замѣчаетъ Рихгофенъ [37]) и отчасти признаетъ Титце [38]), заключается въ томъ, что въ природѣ имѣютъ мѣсто тотъ и другой процессы. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ древность водораздѣловъ несомнѣнно оказываетъ существенное вліяніе на прорывъ новыхъ, хотя бы и громадныхъ кряжей; въ другихъ же напр. при неодинаковыхъ климатическихъ особенностяхъ склоновъ, прорѣзываніе обусловливается болѣе быстрымъ ростомъ долинъ одного склона сравнительно съ другимъ. Очень можетъ быть, что будущія изслѣдованія укажутъ еще какую нибудь третью причину. Во всякомъ случаѣ поперечные прорывы складокъ объясняются двоякимъ образомъ.

Второй случай вліянія складокъ, т.-е. когда отклоненная складкою рѣка течетъ нѣкоторое разстояніе по продольной долинѣ а затѣмъ уже прорываетъ складку поперекъ, также часто встрѣчается въ природѣ, напр. въ Юрѣ, Динарскихъ Альпахъ, на Кавказѣ, въ Иранскихъ горахъ, въ юго-восточномъ Китаѣ, въ центральномъ Тянь-

шанѣ и пр. Объяснить его возможно или при посредствѣ образованія системы эпигенетическихъ долинъ, или процессомъ, описаннымъ выше (стр. 375), или же иногда закономъ Поуэля.

Третій случай, т.-е. когда рѣка отклоняется и течетъ по продольной долинѣ между складками, обусловливаетъ сліяніе различныхъ рѣчныхъ системъ въ одну. Это явленіе происходитъ въ новѣйшую геологическую эпоху и можетъ быть доказано съ точностью, какъ это сдѣлалъ Рютимейеръ [39]) для нѣкоторыхъ Альпійскихъ долинъ.

Кромѣ складчатости, дислокація выражается еще разнообразнѣйшими сдвигами, которые производятъ такія многочисленныя измѣненія, въ каждомъ частномъ случаѣ особенныя, что перечислить ихъ невозможно. Они зависятъ отъ характера, величины сдвига, быстроты его образованія, отъ отношенія простиранія къ направленію рѣки и пр. Если сдвигъ направляется поперекъ рѣки, то вліяніе его будетъ зависѣть отъ того, какая часть будетъ опускаться; если опускается часть, лежащая ниже по паденію, то въ руслѣ образуется порогъ, гдѣ паденіе и скорость теченія увеличатся. Если же наоборотъ, то нижняя часть рѣки станетъ выше и будетъ стремиться пронзвести запруду. Рѣка, отклоненная отъ своего прежняго направленія, потечетъ по простиранію сдвига и образуетъ катакластическую долину Лёвля; въ такомъ случаѣ одинъ берегъ ея будетъ скалистый, высокій, на подобіе того, какъ это бываетъ у рѣкъ подъ вліяніемъ закона Бэра. Если же сдвигъ происходитъ медленно, то можетъ случиться, что рѣка успѣетъ прорѣзать его по закону Поуэля, не отклоняясь— напр. Рейнъ въ средней части своего теченія прорѣзываетъ поперекъ широкій сдвигъ.

Въ асимметрическихъ складчатыхъ горахъ на внутренней сторонѣ складокъ преобладаютъ сдвиги перваго рода, т. е. опускаются части ниже по теченію, и потому получаются условія благопріятныя для образованія поперечныхъ долинъ. На внѣшней сторонѣ образуются сдвиги второго рода, и потому происходитъ частое отклоненіе рѣкъ. Онѣ текутъ по направленію сдвига и образуютъ какъ бы продольную долину, затѣмъ прорываются поперекъ складокъ, далѣе снова по другому сдвигу и т. д., словомъ, получается картина, похожая на вышеописанную (фиг. 275); но продольныя долины здѣсь имѣютъ совершенно другой характеръ, нежели типичныя синклинальныя долины между складками, что понятно безъ дальнѣйшихъ объясненій.

Подобныя же задержки и уклоненія въ рѣкѣ могутъ производить большіе завалы, обвалы, большія скопленія наносовъ, Лёвль доказалъ, что во многихъ Альпійскихъ долинахъ образуются уступы или террассы вслѣдствіе заваловъ, а Пенкъ приводитъ поучительные примѣры того, что завалы, запружая рѣки, образуютъ озера, напр. оз. Ахенъ, Иланъ и друг.

Вліяніе перемѣны климата на размывающую дѣятельность воды очевидно уже изъ различнаго вліянія временъ года. Количество воды и паденіе составляютъ главные факторы размыванія; съ увеличеніемъ или уменьшеніемъ одного изъ нихъ размываніе усиливается или ослабѣваетъ. Подобно тому какъ въ продолженіе одного года климатъ большинства мѣстностей періодически измѣняется, такъ онъ можетъ измѣняться въ продолженіе долгаго періода времени. Доказательствомъ тому служитъ то обстоятельство, что нѣтъ ни одной страны на земной поверхности, въ которой бы климатъ не измѣнился въ послѣдній геологическій періодъ, хотя для историческаго періода это доказать трудно. Измѣненіе климата можетъ произойти отъ разныхъ причинъ: отъ космическихъ и теллурическихъ; напр., наступаніе и исчезновеніе ледниковаго періода стоитъ въ связи съ измѣненіями элементовъ движенія земного шара и въ особенности эксцентриситета земной орбиты; въ странахъ влажныхъ можетъ произойти сухой климатъ вслѣдствіе поднятія горныхъ кряжей на сторонѣ, откуда данная область получала влажные вѣтры; то же самое произведетъ возрастаніе материка въ этомъ направленіи; обратные процессы въ состояніи изъ сухого климата сдѣлать влажный. Измѣненіе направленія морскихъ теченій также оказываетъ громадное вліяніе на климатъ; для убѣжденія въ этомъ достаточно вспомнить вліяніе Гольфстрема на климатъ Европы. Даже человѣкъ, истребляя или насаждая лѣса, устраивая каналы, искусственное орошеніе и пр., можетъ оказать вліяніе на климатъ страны.

При осушеніи страны многія рѣчки исчезаютъ, и образовавшіеся каньоны остаются сухими, какъ, напр., Желѣзныя Ворота (фиг. 279); другія, уменьшаясь, замедляютъ свою размывающую дѣятельность, не могутъ преодолѣвать препятствія и производятъ большія отложенія; рѣка мелѣетъ, покрывается песчаными островами не достигаетъ прежняго устья въ морѣ, часто разливается въ материковыя озера. Озера, благодаря усиливающемуся испаренію, изъ прѣсныхъ превращаются въ соленыя и лишаются истоковъ. Вѣтеръ переноситъ мелкія частицы и, производя на поверхности обширныя эоловыя отложенія, совершенно измѣняетъ физіономію страны.

Въ обратномъ случаѣ, т.-е. при перемѣнѣ сухого климата на влажный, озера снова опрѣсняются, появляется много новыхъ источниковъ, богатая растительность, сухія русла наполняются, превращаются въ рѣки, которыя прорѣзываютъ рыхлыя эоловыя отложенія, сносятъ огромное количество осадковъ къ морю и производятъ осадки, увеличивающіе размѣры материка. Уменьшеніе температуры и испаренія, увеличеніе осадковъ способствуютъ возрастанію ледниковъ, которые усиливаютъ дѣятельность воды; вмѣсто мелкаго матеріала многоводные быстрые потоки переносятъ гальки, валуны, нагромождаютъ ихъ въ разныхъ мѣстахъ своего теченія и образуютъ изъ нихъ рѣчныя террассы. Всѣ эти перемѣны оставляютъ такіе рѣзкіе слѣды въ строеніи долинъ, что по нимъ можно прослѣдить исторію ихъ. Между ними особенно важное значеніе имѣютъ террассы, о которыхъ подробнѣе скажемъ ниже.

Съ измѣненіемъ климата и дислокаціею неразрывно связано измѣненіе поверхности геоида, которое также обусловливаетъ періодичность въ дѣятельности рѣкъ, какъ это въ послѣднее время указано г. Пенкомъ [40]).

Въ первой части нашего курса было сообщено, что новѣйшими наблюденіями надъ качаніемъ маятника и градусными измѣреніями указано, что земля не представляетъ совершенно правильный сфероидъ вращенія; напротивъ, геометрическая поверхность ея, лучше всего представляемая поверхностью моря, обнаруживаетъ уклоненія отъ сфероида вращенія—то въ положительную сторону, т.-е. возвышается надъ нимъ, то въ отрицательную, т.-е. опускается ниже его; эта-то идеальная поверхность и называется поверхностью геоида, къ которой приводятся всѣ абсолютныя высоты. Уклоненія поверхности геоида въ разныхъ мѣстахъ различныя; материки повышаютъ ее, а моря понижаютъ, слѣдовательно видъ геоида зависитъ отъ географическаго распредѣленія суши и воды; а такъ какъ распредѣленіе этихъ элементовъ непостоянно, то поверхность геоида измѣняется въ зависимости отъ измѣняющихся отношеній материковъ и морей.

Каждое измѣненіе поверхности геоида прежде всего обнаруживается въ колебаніи поверхности моря, которое въ свою очередь вызываетъ измѣненіе въ дѣятельности рѣкъ. Если поверхность моря повышается, то рѣки укорачиваются, прежнія устья ихъ исчезаютъ, теченіе въ нижней части замедляется, а отложенія въ ней увеличиваются. При опусканіи, наоборотъ, рѣки удлиняются, устья ихъ растутъ и въ низовьяхъ преобладаетъ размывающая дѣятельность. Слѣдовательно, колебанія поверхности моря, представляющаго во всей чистотѣ поверхность геоида, производятъ измѣненія въ низовьяхъ рѣкъ. Если колебанія совершаются періодически, то и измѣненія въ дѣятельности рѣкъ также періодическія. Это вліяніе, впрочемъ, отражается не только въ низовьяхъ, но и по всей длинѣ рѣкъ, потому что, какъ выше замѣчено, къ поверхности геоида относятся всѣ высоты; стало быть, если она возвышается, то измѣняетъ высоты, а потому смотря по характеру измѣненія поверхности геоида, паденіе рѣкъ увеличивается или уменьшается и, значитъ, ихъ размывающая дѣятельность усиливается или ослабѣваетъ; причемъ конечно, мыслимъ случай обратнаго теченія. Г. Пенкъ поясняетъ это такъ: положимъ, что какая-нибудь площадь суши поднимается, напр., вслѣдствіе складчатости отъ горизонтальнаго стяженія. Поднятіе возвышаетъ поверхность геоида не только подъ и вокругъ поднимающейся площади, но и на нѣкоторомъ разстояніи отъ окраинъ ея, хотя въ гораздо меньшей степени; а именно возвышеніе поверхности геоида уменьшается съ квадратомъ разстоянія. Положимъ, что на окраинахъ поднявшейся площади поверхность геоида поднялась на 50 м., слѣдовательно всѣ абсолютныя высоты тоже уменьшились на 50 м. Въ нѣкоторомъ разстояніи отъ окраинъ геоидъ возвысится на 40 м.; здѣсь, слѣдовательно, и высоты уменьшились на 40 м. Но въ двойномъ разстояніи геоидъ возвысится только на $^1/_4$: т.-е. на 10 м., наконецъ въ еще большемъ разстояніи поверхность геоида не измѣнится.

Очевидно, что всѣ рѣки, текущія съ этой площади увеличатъ свое паденіе, а слѣдовательно и размывающее дѣйствіе, а рѣки съ обратнымъ теченіемъ уменьшатъ паденіе, увеличатъ отложеніе и даже слабыя изъ нихъ получатъ обратное теченіе или превратятся въ озера. Отюда ясно, что если поверхность геоида снова займетъ свое прежнее положеніе, то гидрографическія отношенія, т.-е. система потоковъ на поверхности также снова получитъ свой прежній характеръ. Г. Пенкъ полагаетъ, что накопленіе льда въ ледниковую эпоху вызвало въ Средней Европѣ повышеніе поверхности геоида на 50 м. и измѣнило характеръ рѣкъ, которыя приняли свой прежній видъ послѣ уничтоженія льда, когда снова понизилась поверхность геоида. Разумѣется, результаты этихъ колебаній выразились въ рѣчныхъ долинахъ громадными террассами, накопленіями валуновъ, озерами и пр. Такимъ же путемъ онъ объясняетъ образованіе озеръ прусско-померанской области.

Такимъ образомъ, дислокація, измѣненіе климата и связанныя съ ними измѣненія поверхности геоида, представляютъ главнѣйшія причины, обусловившія мощ-

ныя и многочисленныя террассы, которыя служатъ единственными свидѣтелями значительныхъ перемѣнъ, пережитыхъ древними рѣчными долинами; но прежде необходимо познакомится вообще съ характеромъ отложеній, производимыхъ потоками.

Отложеніе.

Размывая и перенося размытый матеріалъ, текучія воды отлагаютъ его при всякомъ удобномъ случаѣ, напр. при уменьшеніи паденія, скорости теченія, количества воды, при заворотахъ и пр., но, главнымъ образомъ, при устьяхъ, гдѣ прекращается теченіе.

Всѣ эти осадки, производимые современными текучими водами на поверхности земли, называются аллювіальными наносами.

Аллювіальные наносы отлагаются по всей длинѣ потока—отъ верховьевъ до устья, но характеръ ихъ въ разныхъ мѣстахъ различный. Одни изъ нихъ, свойственные горнымъ потокамъ, представляютъ безпорядочныя накопленія изъ большихъ камней, обыкновенно въ видѣ конуса, безъ всякихъ признаковъ слоистости: это такъ называемые коническіе наносы; другіе отлагаются въ самомъ руслѣ рѣки или у береговъ, какъ-то: мели изъ песка и гравія, рѣчные острова, береговыя плотины и террассы; они состоятъ изъ мелкаго матеріала и обладаютъ хотя неправильною, но ясною слоистостью, причемъ имъ свойственна діагональная слоеватость. Они развиты въ среднемъ и нижнемъ теченіяхъ рѣки. Третьи отлагаются въ озерныхъ или морскихъ устьяхъ рѣкъ, состоятъ изъ весьма мелкихъ частицъ и обладаютъ болѣе правильною слоистостью; они занимаютъ часто обширныя площади и называются дельтами.

Въ зависимости отъ мѣстоположенія, т.-е. въ руслѣ рѣки или въ озерныхъ или морскихъ устьяхъ, наносы эти можно раздѣлить еще на рѣчные, озерные и смѣшанные, т.-е. прѣсноводно-морскіе.

Коническіе наносы и каменныя поляны. Въ горной области питанія или въ сборномъ бассейнѣ, гдѣ потоки и безъ того производятъ самое значительное размытіе, накопленію рыхлаго матеріала помогаетъ, кромѣ того, энергичное вывѣтриваніе. Выше было указано, что, благодаря вывѣтриванію, на склонахъ горъ образуются огромныя накопленія валуновъ и щебня, которые располагаются или на склонахъ (Schutthalden), или же, при благопріятныхъ условіяхъ, скопляются въ осыпи, имѣющія болѣе или менѣе правильную коническую форму; тамъ же было замѣчено, что въ этомъ процессѣ участвуетъ не одно вывѣтриваніе, но и проточная вода; раздѣлить ихъ роль здѣсь, въ большинствѣ случаевъ, довольно трудно и только осыпи, залегающія при устьяхъ уже болѣе или менѣе сформировавшихся потоковъ, можно признать за результатъ дѣятельности проточной воды. Такъ какъ осыпи описаны нами уже въ главѣ о вывѣтриваніи, то больше о нихъ не будемъ распространяться. При углубленіи потока на склонѣ, противъ его устья валуны и гальки располагаются обыкновенно въ видѣ вѣера; они состоятъ изъ различныхъ породъ соотвѣтственно породамъ склона. Когда же потокъ значительно углубится, то изъ вѣерообразной осыпи получится конусообразная, которую въ отличіе отъ осыпи называютъ коническимъ наносомъ (фиг. 282) (Schuttkegel). Нерѣдко коническіе устье-

вые наносы достигаютъ значительныхъ размѣровъ, такъ что отклоняютъ теченіе главнаго русла и располагаются въ главной долинѣ правильными рядами, которые иногда легко смѣшать съ ледниковыми моренами, но они отличаются отъ нихъ тѣми же признаками, на которые указано было при описаніи осыпей.

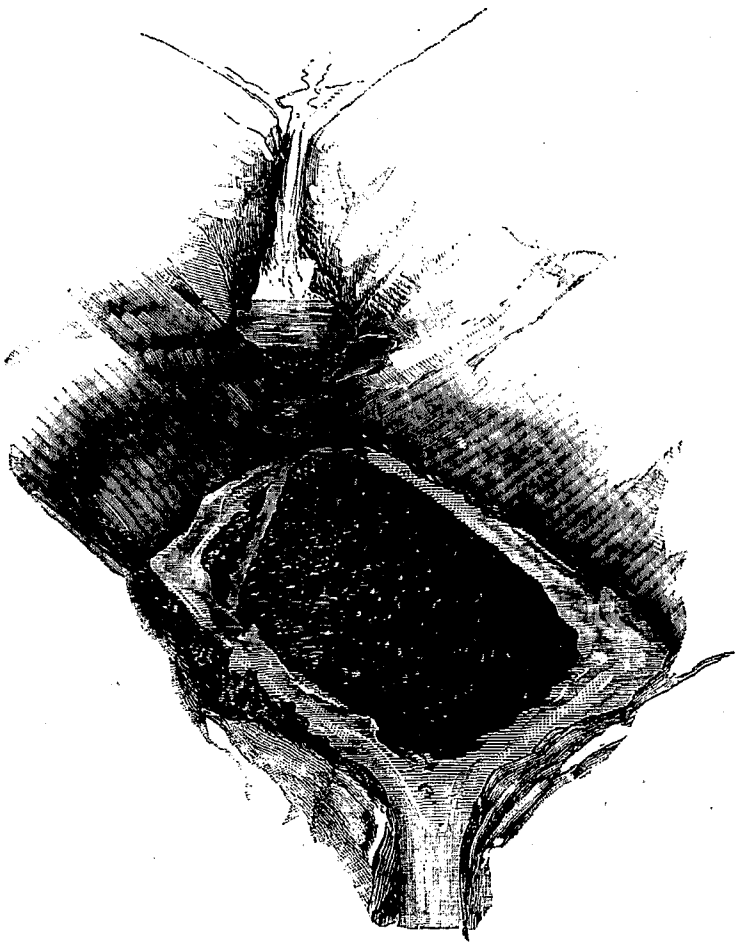
Продукты вывѣтриванія и размытія хотя и образуютъ различныя осыпи, но также уносятся горными потоками, попадаютъ въ рѣки, которыя, перетирая и измельчая его, уносятъ дальше и производятъ скопленія въ другихъ мѣстахъ. При такомъ перемѣщеніи происходитъ естественная сортировка матеріала; такъ какъ паденіе и скорость теченія рѣки постепенно уменьшаются къ низовью, то поэтому болѣе крупный матеріалъ—въ видѣ крупныхъ глыбъ и валуновъ—осаждается прежде всего, затѣмъ гравій или хрящъ и, наконецъ, къ морскому устью рѣки уносится только самый тонкій илъ и песокъ, которые отлагаются уже тамъ, гдѣ теченіе потока прекращается. Слѣдовательно въ устьевыхъ выносахъ горныхъ потоковъ будутъ преобладать глыбы значительной величины. Въ расширеніяхъ поперечныхъ долинъ (фиг. 283) или при выходѣ потока изъ горъ, т.-е. тамъ, гдѣ начинается область отложенія (см. *n'o* фиг. 237), также будутъ образовываться коническія накопленія (Dejectionkegel). Они отличаются отъ верхнихъ гораздо болѣе значительными горизонтальными размѣрами, меньшей высотой, болѣе пологими склонами и болѣе мелкимъ матеріаломъ. Они представляютъ скорѣе вѣерообразныя каменныя поляны, нежели конусы. При многочисленныхъ поперечныхъ долинахъ и при близкомъ разстояніи ихъ другъ отъ друга, каменныя поляны сливаются между собою и образуютъ сплошную полосу, окаймляющую подошву горъ. Въ горныхъ кряжахъ, бѣдныхъ растительностью, напр. въ Тянь-шанѣ, въ нѣкоторыхъ частяхъ Кавказа, эта каменная полоса рѣзко обозначается своимъ дикимъ, безжизненнымъ видомъ. Мощность ея различна и мѣстами достигаетъ до 20—30 ф., напр. въ предгоріяхъ Алайскаго хребта.

Фиг. 282.—Устьевой коническій наносъ.

Внезапные или бурные потоки. Въ горныхъ областяхъ нерѣдко можно видѣть русла, въ обыкновенное время сухіе или съ слабой струей воды, но послѣ каждаго ливня или послѣ быстраго таянія снѣга въ вершинахъ обнаруживающіе значительный подъемъ воды, низвергающейся съ такой стремительностью, что только однимъ движеніемъ воздуха впереди такого потока иногда срываетъ мосты. При исключительныхъ условіяхъ, напр., среди твердыхъ скалистыхъ горныхъ породъ, такіе внезапные потоки обнаруживаются только подъемомъ воды безъ перемѣщенія и отложенія массъ щебня; такіе потоки въ Альпахъ называютъ Wildbäche (иногда Giessbäche), torrents, т. е. бурными потоками. Исключительно тѣ изъ такихъ внезапныхъ потоковъ, которые несутъ огромное количество щебня и часто преобразуются въ настоящіе грязевые потоки, называютъ мурами (Mur, Murgänge, Murbrüche) въ Тиролѣ, руффъ (Ruff) въ Швейцаріи, гисъ (Giess) въ Каринтіи и

nants souvages въ французскихъ Альпахъ. У насъ на Кавказѣ и въ Туркестанѣ такіе бурные потоки принято называть селями (произносится сэль; также говорятъ сейль, иногда силь; слово персидское и обозначаетъ, повидимому, вообще бурный потокъ). Такимъ образомъ въ русской терминологіи можно было бы отличать бурные потоки и собственно селевые потоки, послѣдніе именно въ смыслѣ муръ; наконецъ такъ называемыя оплывины представляютъ лишь частный случай селевыхъ потоковъ (см. стр. 358).

Бурные потоки, переносящіе массу камней и грязи, по своимъ разрушительнымъ послѣдствіямъ представляютъ безспорно одно изъ бѣдствій, постоянно угро-



Фиг. 283. — Коническое накопленіе или каменная поляна въ расширеніи поперечной долины.

жающихъ населенію, расположенному въ долинахъ, въ которыя спускаются такіе потоки. Послѣдствія селевыхъ потоковъ или муръ, конечно, всегда тяжелѣе, чѣмъ разрушенія только бурными потоками. Въ особенности гибельны муры, если потокъ своими отложеніями запруживаетъ русло рѣки въ большой долинѣ, вызывая временное образованіе озера; часто громадные оползни подъ вліяніемъ проливныхъ дождей усиливаютъ опустошительный характеръ муры. Къ этой категоріи относится катастрофа въ ночь съ 17 на 18 августа 1891 г. около селенія Кольманъ въ южномъ Тиролѣ, когда погибло 43 человѣка. Нерѣдко наступаніе ледниковъ или ледниковые обвалы являются причиной образованія муръ, какъ рядъ катастрофъ въ Мартелльской долинѣ въ южномъ Тиролѣ въ 1887, 1888, 1889 и 1891 гг. или на Девдоракскомъ ледникѣ на Кавказѣ; также 12 іюля 1892 г. у подножія Монблана въ мѣстности Біоннъ и около купальнаго заведенія Сенъ-Жерве въ Савойѣ, гдѣ общая масса принесеннаго потокомъ матеріала достигла 800000 куб. м.

Вслѣдствіе обильнаго выпаденія дождей или града иногда образуются бурные потоки одновременно на значительномъ пространствѣ, и послѣдствія такой катастрофы становятся еще тяжелѣе. Такъ осенью 1882 г. такое бѣдствіе охватило южный Тироль, Каринтію и область Венеціанскихъ Альпъ; погибло 53 человѣка, а общіе убытки, по словамъ Неймайра, достигли 25 милліоновъ гульденовъ.

На Кавказѣ и въ Туркестанѣ сели достигаютъ размѣровъ грознаго бѣдствія рѣже, чѣмъ муры въ Альпахъ; но не менѣе пагубныя послѣдствія, помимо прямыхъ разрушеній, бурные потоки у насъ оказываютъ постояннымъ колебаніемъ въ направленіи рѣчныхъ руселъ и нарушеніемъ всей системы орошенія, составляющаго здѣсь основу сельскаго хозяйства; медленная, но неуклонная работа селей, напр., по южному склону Кавказскаго хребта и во многихъ мѣстахъ Туркестана, выражающаяся въ опустошеніи культурныхъ земель, въ превращеніи садовъ и полей въ пространства, покрытыя камнями (каменныя поляны) или плотной грязью, и въ отклоненіи рѣкъ, причемъ происходитъ отложеніе гальки на поляхъ и нарушеніе всей системы орошенія, не уступаетъ по своимъ конечнымъ размѣрамъ дѣйствію самыхъ страшныхъ альпійскихъ муръ. Инженеру приходится сталкиваться съ этими явленіями при проектированіи дорогъ, и нерѣдко никакія усилія техники не могутъ предохранить такія дорого стоющія сооруженія, какъ желѣзнодорожные мосты и насыпи, отъ разрушенія ихъ селевыми выносами

Селевыя отложенія, подобно оплывнамъ, иногда такъ похожи на ледниковыя образованія, и нерѣдко имѣютъ настолько значительное распространеніе, что знакомство съ явленіями муръ и бурныхъ потоковъ желательно для геолога и въ цѣляхъ правильнаго объясненія прошлаго горныхъ странъ.

Бурные потоки въ Альпахъ обращали на себя вниманіе ученыхъ уже съ конца XVIII столѣтія. Первое сочиненіе, посвященное вопросу о бурныхъ потокахъ и мѣрахъ борьбы съ ними, относится къ 1778 году (Franz von Zallinger, профессоръ физики въ Инсбрукскомъ университетѣ); въ началѣ XIX столѣтія этимъ же вопросомъ занимаются Freiherr von Arretin и Joseph Duile въ Инсбрукѣ же, а въ 1841 году вышло извѣстное сочиненіе Сюреля [1]). Съ 1875 года этимъ вопросомъ въ особенности много занимался вѣнскій профессоръ Кохъ, которому принадлежитъ цѣлый рядъ очень важныхъ статей съ 1875 года по 1882 г. [2]). Упомянутая катастрофа въ ночь съ 17 на 18 августа 1891 г. около селенія Kollmann въ южномъ Тиролѣ побудила предпринять изслѣдованіе бурныхъ потоковъ извѣстнаго профессора Туля [3]), а страшныя опустошенія, вызванныя въ 1897 г. бурными потоками въ сѣверо-восточныхъ Альпахъ, Богеміи, Силезіи и Саксоніи, снова подняли вопросъ о борьбѣ съ бурными потоками и побудили проф. Фреха напечатать очень важную работу, представляющую сопоставленіе матеріаловъ, собранныхъ по порученію Deutsch. u. Oesterr. Alpenvereins особой комиссіей съ 1892 г. по 1894 г. въ такъ называемой Brennergebiete къ югу отъ Инсбрука въ Тиролѣ [4]).

Отдѣльныя замѣтки и указанія по этому вопросу находятся въ работахъ Streffleur'a, Simony, Sonklar'a [5]) и въ особенности Гейма [6]) и Неймайра [7]).

Условія, способствующія образованію муръ, или селей, могутъ быть: естественныя и искусственныя, подъ вліяніемъ дѣятельности человѣка.

Естественныя условія проф. Фрехъ раздѣляетъ на три категоріи:

а) условія почвенныя, т. е. развитіе рыхлыхъ почвъ или легко разрушающихся горныхъ породъ;

b) достаточно крутой уголъ наклона склоновъ;

c) причины метеорнаго характера, т. е. продолжительное выпаденіе обильныхъ осадковъ, ливни или быстрое таяніе снѣговъ.

---

[1]) Surell, Etude sur les torrents des Hautes Alpes. Это сочиненіе выпущено вторымъ изданіемъ Ernest Cézanne'омъ въ 1870—1872 году въ двухъ томахъ. Въ этомъ новомъ изданіи собрана вся обширная къ тому времени уже литература о бурныхъ потокахъ; 175 именъ авторовъ на страницахъ 384—387 второго тома.

[2]) Dr. Gustav Adolf Koch, Ueber Murbrüche in Tirol, Jahrb. der K. K. geol. Reichsanst. Bd. XXV, 1875 и въ особенности Die Ursachen der Hochwasser-Katastrophe in den Süd-Alpen, Zeitsch. d. deutsch. u. österr. Alpenvereins, B. XIV, 1882; въ этой послѣдней работѣ указаны и всѣ предшествовавшія работы автора.

[3]) Fr. Toula, Ueber Wildbachverheerungen und Mittel, ihnen vorzubeugen; Schrift. d. Vereines z. Verbreit. naturwissenschaftl. Kenntn. in Wien, B. XXXII, 1892.

[4]) Ueber Muren, Zeitschr. d. deutsch. u. österr. Alpenvereins, B. XXIX. 1898.

[5]) Sonklar, Von den Ueberschwemmungen, 1883. Хроника тирольскихъ бурныхъ потоковъ и собраніе историческихъ извѣстій.

[6]) Ueber Bergstürze, Zürich, 1882.

[7]) Ueber Bergstürze, Zeitschr. d. deutsch. u. österr. Alpenvereins. B. XX, 1889.

a) Наиболѣе благопріятнымъ матеріаломъ для развитія муръ въ Альпахъ считается матеріалъ осыпей или ледниковаго происхожденія (старыя морены). Изъ горныхъ породъ легче всего подвергаются вывѣтриванію мергелистыя породы; но вообще въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ твердость, сложеніе породъ и условія ихъ залеганія могутъ имѣть рѣшающее значеніе, также какъ и отношеніе породъ къ химическому вывѣтриванію, т. е. большая или меньшая растворимость какой либо одной составной части. Всѣ условія, благопріятствующія какъ механическому, такъ и химическому вывѣриванію горныхъ породъ, имѣютъ преобладающее значеніе. Естественно, что въ болѣе высокихъ горныхъ областяхъ, гдѣ преобладаютъ условія механическаго вывѣтриванія, эти условія въ связи съ сланцеватостью или развитой отдѣльностью и трещиноватостью горныхъ породъ могутъ оказывать наибольшее вліяніе на разрыхленіе склоновъ [1]).

Сочетаніе такихъ условій, какъ сланцеватость, тонкая отдѣльность по нѣсколькимъ направленіямъ, сильное изогнутіе слоевъ въ сжатыя и разломанныя складки, карбонатный характеръ песчанистыхъ и глинистыхъ сланцевъ, мѣстами известняковыхъ, распространенныхъ, напр., по южному склону Кавказа отъ Нухи до Шемахи, — дѣлаетъ эту часть горъ особенно благопріятной для развитія настоящихъ «областей питанія» селевыхъ потоковъ.

Не малое значеніе должны оказывать водопроницаемость и влагоемкость горныхъ породъ, но къ этому мы вернемся, когда разсмотримъ другія условія.

b) Вліяніе крутизны склоновъ проф. Фрехъ резюмируетъ слѣдующимъ образомъ: съ измѣненіемъ крутизны наклона измѣняется сила потока, и ниженеръ, слѣдуя этому простому закону, разбиваетъ кривую паденія потока на искусственные уступы и совершенно пологіе участки; сила потока разбивается при этомъ на рядъ мелкихъ составляющихъ и столько же конусовъ отложенія на пологихъ участкахъ.

Такое опредѣленіе вліянія крутизны склоновъ сильно съуживаетъ дѣйствительный характеръ этого условія, и правильнѣе разсматривать это условіе въ связи вообще съ топографіей мѣстности, какъ дѣлаетъ Кохъ. Для образованія муры со всѣми ея особенностями необходимо рѣзкое обособленіе области питанія (Sammelbecken, l'entonnoire) и выводнаго канала (Tobel, gorge или goulot) (фиг. 284). Уже теоретически можно предвидѣть, что чѣмъ рѣзче обособляются эти двѣ части пути муры, тѣмъ эффектъ ея дѣятельности будетъ значительнѣе. Чѣмъ ближе область питанія приближается по своей формѣ къ воронкообразному углубленію съ крутыми склонами, тѣмъ стремительнѣе при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ воды дождевыя или отъ таянія снѣговъ собираются въ многочисленныя рытвины (Wasserrunsen, ravins), соединяющіяся радіально въ нижней части воронкообразнаго расширенія. Чѣмъ уже выходъ такой воронки въ болѣе широкую часть долины, тѣмъ напряженнѣе будетъ работа вырывающейся изъ воронки воды. Такъ какъ крутизна склоновъ воронки соотвѣтствуетъ наибольшей крутизнѣ всего теченія муры, то въ воронкѣ и въ выводномъ каналѣ сосредоточивается вся размывающая и перемѣщающая сила воды. Очевидно, что нерѣдко наблюдаемая смѣна мягкихъ рыхлыхъ горныхъ породъ болѣе твердыми и сопротивляющимися размыву, напр., по южному склону Кавказа (фиг. 285), можетъ послужить къ образованію рѣзкаго перехода между воронкообразными расширеніями и узкими выводными каналами, если крѣпкія породы залегаютъ ниже верхнихъ частей склоновъ.

c) Если предшествовавшія условія являются подготовительными, то выпаденіе метеорныхъ осадковъ служитъ главной причиной муръ или селей. Внезапные потоки воды вызываются необыкновенно высокимъ выпаденіемъ осадковъ или быстрымъ таяніемъ снѣговъ и ледниковъ (напр., подъ вліяніемъ теплаго дождя или снѣга въ Альпахъ). Очевидно, что не общая сумма выпадающихъ осадковъ, а неравномѣрность ихъ выпаденія въ видѣ дождя или града и быстрота таянія снѣговъ вызываютъ эти явленія.

Итакъ, высокое количество осадковъ, выпадающихъ въ области питанія рѣки единовременно, и извѣстныя топографическія условія, именно крутизна склоновъ

---

[1]) Не такъ давно вышла работа Bargmann'a (Der jüngste Schutt der nördlichen Kalkalpen in seinen Beziehungen zum Gebirge, zu Schnee und Wasser, zu Pflanzen und Menschen; Anthropogeographische Beiträge, von Friedrich Ratzel; Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Vereins für Erdkunde zu Leipzig, B. II, 1895), разсматривающая всесторонне, какъ видно изъ ея заглавія, условія образованія осыпей среди известковыхъ и доломитовыхъ породъ въ Karwendelgebirge къ сѣверу отъ Инсбрука въ Тиролѣ. Къ сожалѣнію эта работа относится только къ области однообразнаго петрографическаго характера, слѣдовательно не даетъ указаній на явленія образованія осыпей въ различныхъ петрографическихъ условіяхъ.

въ области питанія и узкій выводной каналъ, служатъ естественными причинами образованія внезапныхъ бурныхъ потоковъ; наконецъ, опредѣленныя геологическія условія, какъ рыхлость и легкая выв'ѣтриваемость породъ въ области питанія, опредѣляющія количество матеріала, способнаго къ перемѣщенію, вызываютъ собственно муры или селн. Геологическія условія опредѣляютъ, слѣдовательно, характеръ потока — исключительно бурнаго воднаго или муры, селя, причемъ послѣдніе могутъ

Фиг. 284. — Выводной каналъ (Tobel) муры Kottla около Клагенфурта въ Каринтіи (Восточные Альпы — Karawanken).

быть или щебново-каменистыми, или щебнево-грязевыми; всевозможные переходы могутъ быть между этими формами. При избыткѣ матеріала, способнаго къ перемѣщенію, сравнительно съ количествомъ воды возникаютъ формы, за которыми правильнѣе всего оставить названіе оплывинъ; движеніе ихъ зависитъ не столько отъ живой силы воды, сколько отъ силы тяжести самой массы; вода имѣетъ значеніе при этомъ не какъ транспортирующая сила, а какъ вещество, измѣняющее только

консистенцію массы. Такимъ образомъ, при дальнѣйшемъ уменьшеніи количества воды, когда его недостаточно даже для измѣненія консистенціи массы, мы получимъ оползни и обвалы, т. е. крайнія формы массоваго движенія.

Упомянутыя топографическія условія не являются необходимыми для оплывинъ, также какъ и условія метеорологическія; наиболѣе развитыя формы оплывинъ являются такимъ образомъ при землетрясеніяхъ, какъ это описано Мушкетовымъ послѣ Вѣрненскаго землетрясенія и Абихомъ послѣ землетрясенія на Араратѣ въ 1846 году.

Мы уже не разъ указывали, что среди явленій перемѣщенія твердыхъ массъ на земной поверхности различаютъ массовыя движенія, подъ вліяніемъ исключительно силы тяжести, и массовыя перемѣщенія или переносъ, подъ вліяніемъ транспортирующей силы воды, все равно въ видѣ рѣкъ, волнъ моря или ледниковъ, и силы вѣтра. Оплывины представляютъ такимъ образомъ явленіе переходное между массовымъ переносомъ и массовымъ движеніемъ. Хотя такое раздѣленіе и является теоретическимъ, но оно поможетъ намъ къ уясненію всѣхъ условій, сопровождающихъ явленія муръ или селей.

Фиг. 285. — Выводной каналъ и область питанія селей по р. Вандамъ-чай (верш. р. Гекъ-чай) около перевала Салаватъ.

Въ этихъ явленіяхъ мы должны слѣдовательно строго различать транспортирующую силу и перемѣщаемый матеріалъ. Очевидно, что и мѣры борьбы съ этими явленіями должны быть направлены какъ противъ силы, такъ и противъ матеріала.

Къ числу естественныхъ условій, вліяющихъ на образованіе бурныхъ потоковъ, относится состояніе растительнаго покрова въ области питанія рѣкъ.

Растительный покровъ можетъ быть или лѣсной, или луговой; по мнѣнію проф. Коха какъ тотъ, такъ и другой задерживаютъ выпадающіе осадки механически и физически, поглощая часть влаги на питаніе и отдавая часть ея путемъ испаренія. Что касается до количества воды, просачивающейся при этомъ въ почву и идущей на питаніе подземныхъ горизонтовъ, то вліяніе растительнаго покрова въ этомъ отношеніи только механическое — покровъ увеличиваетъ время, въ теченіе котораго выпавшая вода приходитъ въ соприкосновеніе съ почвой, слѣдовательно можетъ поглощаться ею. Слѣдовательно, при условіяхъ выпаденія осадковъ, не выходящихъ далеко за норму, задерживающая сила не только лѣса, но и лугового покрова—внѣ сомнѣнія и доказывается всѣми наблюденіями. При условіяхъ исключительныхъ, какія вызвали извѣстныя катастрофы въ сѣверныхъ Альпахъ 1882 г., 1888 и 1897 гг., задерживающая сила лѣсовъ достигаетъ быстро своего предѣла, и благотворное вліяніе лѣса при этомъ болѣе не обнаруживается (проф. Фрехъ); такъ наводненія 1897 г. въ Нижней Саксоніи были вызваны водами, шедшими изъ мѣстностей съ богатой лѣсной растительностью [1]).

[1]) Вліяніе лѣса и вообще растительности на предохраненіе отъ образованія внезапныхъ потоковъ относится къ числу вопросовъ, особенно оживленно дебатирующихся послѣ каждой катастрофы, причиняемой бурными потоками. Это и понятно, такъ какъ въ правѣ эксплоатаціи лѣсовъ сталкиваются интересы промышленности и земледѣлія. Правильное рѣшеніе вопроса, при какихъ условіяхъ эксплоатація лѣса не грозитъ явленіемъ бурныхъ потоковъ, заслуживаетъ, конечно, полнаго вниманія, въ особенности если еще не поздно принять въ этомъ отношеніи соотвѣтствующія мѣры. Необходимость сохранять лѣса сознана уже всѣми. Въ этомъ отношеніи можно указать на работы проф. Simony (Schutz dem Walde. Schrift. des Vereines z. Verbr. naturwiss. Kenntn. in Wien, B. XXII, 1877), проф. Breitenlohner'a (Wie Murbrüche entstehen, was sie anrichten und wie man sie bändigt, тамъ же, B. XXIII, 1883), инж. Demontzey (въ переводѣ v. Seckendorff'a—Studien über die Arbeiten der

Проф. Кахъ сравниваетъ зеленѣющіе лѣса и луга на склонахъ и вершинахъ горъ съ колоссальной губкой, способной удерживать огромное количество воды и уничтожающей источникъ внезапныхъ потоковъ въ самомъ корнѣ; онъ приводитъ вульгарное сравненіе тирольскихъ крестьянъ, что «злую корову никогда не слѣдуетъ выпускать изъ хлѣва; чѣмъ дальше она убѣжитъ, тѣмъ становится болѣе дикой».

Растительность принимаетъ участіе и въ вывѣтриваніи породъ, способствуя разрыхленію горныхъ породъ, но въ то же время и подготовляя почву для поселенія болѣе высоко организованныхъ формъ; плотный дерновой покровъ и лѣсъ закрѣпляютъ рыхлыя подвижныя осыпи. Какъ извѣстно, областями вѣковаго накопленія эловія мы считаемъ тропическій латеритный поясъ съ его непроницаемыми лѣсами; даже степная растительность лёссовыхъ областей служитъ для закрѣпленія и накопленія рыхлыхъ тонкихъ продуктовъ эоловой дѣятельности. Съ другой стороны степная растительность, вообще періодически появляющаяся, уже не имѣетъ особеннаго значенія на предохраненіе почвы отъ смыванія ея дождевыми водами; для этого необходимо болѣе сильное развитіе корней, дающее дерновый слой.

Возвращаясь къ разсмотрѣнію тѣхъ процессовъ, которые происходятъ въ области питанія муры, можно замѣтить, что тамъ при высокомъ выпаденіи осадковъ происходитъ оживленное явленіе смыванія отъ краевъ къ серединѣ. Смываніе не одинаково захватываетъ породы водопроницаемыя и водоупорныя; въ послѣднихъ простой процессъ смыва быстро переходитъ въ явленія переноса и разрушенія (корразіи) горныхъ породъ. Такъ какъ въ области питанія муры мы имѣемъ преимущественно продукты разрушенія горныхъ породъ, въ видѣ эловіальныхъ массъ или толщъ щебня и осыпей, то здѣсь не столько имѣетъ значеніе водопроницаемость этихъ толщъ, сколько влагоемкость этихъ массъ, т. е. способность удерживать, впитывать въ себя воду. Двѣ крайнія степени влагоемкости (собственно абсолютной или наименьшей, т. е. при открытомъ стокѣ водъ) представляютъ песокъ и глина. При одинаковыхъ остальныхъ условіяхъ глинистыя массы скорѣе пропитаются и насытятся водой: такое состояніе, вслѣдствіе увеличенія тяжести массы, является условіемъ, благопріятствующимъ для образованія оползней и обваловъ; происходитъ нарушеніе равновѣсія, къ центру воронки устремляются уже не только массы воды, но и массы разрыхленныхъ горныхъ породъ; происходитъ массовое движеніе, а при продолжающемся притокѣ воды возникаетъ массовое перемѣщеніе, которое вслѣдствіе узкости выводного канала, какъ это разъяснено Кохомъ, происходитъ въ нѣсколько пріемовъ отъ подпруды и прорыва верхнихъ водъ.

Проф. Фрехъ, на основаніи работъ инженера Краузе, указываетъ на повышеніе способности задерживать воду почвами, собственно луговъ и моховыхъ болотъ, осушенными и дренированными. Приведенное различіе влагоемкости почвъ объясняетъ это. Насколько осторожно нужно пользоваться однако мѣрами по осушенію болотъ видно изъ примѣра, приводимаго Фрехомъ, въ долинѣ Ridnaun въ Тиролѣ, гдѣ дренированіе болотъ вызвало муры въ рыхлыхъ массахъ, расположенныхъ ниже болотъ.

Итакъ, подготовка матеріала способнаго къ перемѣщенію обусловливается вывѣтриваніемъ; высокая влагоемкость почвъ (напр., глинистыхъ) въ области питанія муры ограничиваетъ способность почвъ быстро пропускать воду и кромѣ того ведетъ къ нарушеніямъ равновѣсія подъ вліяніемъ только силы тяжести, т. е. къ оползнямъ и обваламъ. Способность растительнаго покрова удерживать воду ослабляетъ внезапность подъема воды.

Проф. Фрехъ пришелъ къ слѣдующимъ выводамъ послѣ продолжительнаго изученія муръ:

1. Наиболѣе значительныя и продолжительныя опустошенія вызываются въ горахъ не столько наводненіями, сколько массами матеріала, перемѣщаемаго при этомъ.

2. Способность хорошо поддерживаемыхъ лѣсовъ удерживать воду простирается только на обыкновенныя воды отъ таянія снѣговъ и отъ дождей, на регулированіе же водъ необычайно высокаго прихода эта способность почти не отражается.

3. Главная задача техническаго урегулированія горныхъ рѣчекъ должна сво-

---

Wiederdewaldung und Berasung der Gebirge, Wien, 1882; есть переводъ и на русскій языкъ 1891 года), Lehmann'a (Die Wildbäche der Alpen; Breslau, 1871), Graff'a (Waldverwüstung und Murbrüche, Wien, 1879), Seckendorff'a (Verbauung der Wildbäche, Aufforstung und Berasung der Gebirgsgründe, 1889), Tiefenbacher'a (Der Wald und seine Beziehungen zu Rutschungen, Wien, 1881), Wondrak (Bewaldung und Hochwasser, Zeitschr. d. deutsch. u. österr. Alpenvereins, B. XIV, 1883), Weber von Ebenhof'a (Die Aufgaben der Gewässerregulierung, Wildbachverbauung etc., Wien, 1886). См. также Кернъ, Овраги, ихъ закрѣпленіе, облѣсеніе и запруживаніе, 1894.

диться къ тому, чтобы удержать массы рыхлаго матеріала на ихъ первоначальномъ мѣстѣ или на надлежащихъ мѣстахъ долинъ.

4. Въ виду этого, независимо отъ необходимыхъ техническихъ и лѣсоустроительныхъ соображеній, прежде всего необходимо полное изученіе существующихъ массъ рыхлаго матеріала, или иначе возможно точная геологическая съемка горъ.

Не имѣя возможности предвидѣть количества катастрофически выпадающей воды, мы не можемъ, конечно, и разсчитать техническія сооруженія примѣнительно къ такимъ случаямъ, но въ борьбѣ съ мурами, или селями нельзя ограничиваться только примѣненіемъ третьяго положенія, необходимо обращать вниманіе и на транспортирующую силу. Техники, направляющіе всѣ усилія къ тому, чтобы разбить продольную профиль потока или такъ, или иначе отклонить его теченіе отъ охраняемаго сооруженія, напр., линіи желѣзной дороги, будутъ также односторонни, какъ и техники, исключительно имѣющіе въ виду закрѣпленіе массъ, способныхъ къ перемѣщенію, или сосредоточеніе ихъ гдѣ либо въ одномъ мѣстѣ. Работы Коха показали достаточно ясно, что источникъ грозности явленій муръ находится въ области питанія; двумя способами нужно стараться предотвращать грозный характеръ селей; путемъ закрѣпленія легко подвижныхъ массъ, или сохраненія естественныхъ условій, закрѣпляющихъ ихъ (растительность), и путемъ ослабленія прямого эффекта выпадающей воды. Послѣднее теоретически достижимо, если бы мы могли задержать количество внезапно выпадающей воды въ педѣятельномъ состояніи, т. е. если бы мы могли, подобно тому какъ техникъ разбиваетъ наклонную плоскость паденія потока на рядъ уступовъ, разбить все громадное количество воды на отдѣльныя части, препятствуя ихъ соединенію. Лѣсъ и растительность отчасти и производятъ такую работу; что можетъ въ этомъ направленіи сдѣлать техника, показала уже практика австрійскихъ и французскихъ инженеровъ [1]). При всякой технической мѣрѣ, направленной на борьбу съ водой, необходимо принимать во вниманіе геологическія условія, чтобы не вызвать этимъ движенія массъ, напр., примѣненіемъ дренажа. Неосторожныя работы по проведенію дорогъ въ горахъ [2]), наравнѣ съ уничтоженіемъ лѣсовъ и неумѣренной пастьбой барановъ по склонамъ, часто и являются искусственными причинами, вызывающими развитіе муръ.

Насколько сложны условія развитія муръ видно изъ примѣра, приводимаго проф. Фрехомъ, о послѣдствіяхъ раздѣленія лѣса въ долинѣ Sexten'a въ южномъ Тиролѣ на дѣлянки и вырубанія лѣса по границамъ такихъ дѣлянокъ, причемъ какого либо интенсивнаго вырубанія лѣса вовсе не было. На Кавказѣ часто можно видѣть, какъ тропа вверхъ по склону, по которой прогоняются стада барановъ,

---

[1]) Проф. Кохъ говоритъ: „въ области питанія необходимо стремиться задерживать выпадающую воду и замедлить ея стокъ, препятствовать размывающей и транспортирующей силѣ воды и наконецъ, по возможности ограничить вывѣтриваніе, т. е. новое отдѣленіе рыхлаго матеріала". Мѣрами для этого Кохъ считаетъ: „соотвѣтствующее естественнымъ условіямъ, одерненіе и облѣсеніе, которое поглощаетъ сѣтью своихъ корней значительныя количества воды, расходуетъ ее, связываетъ рыхлый матеріалъ, механически препятствуетъ стоку, предохраняетъ склоны воронокъ отъ глубокихъ бороздъ и стѣны выводнаго канала отъ подмыва и оползней. Изгороди, горизонтальныя канавы по склонамъ горъ съ валомъ на наружной сторонѣ, весьма пригоднымъ для посадокъ, также небольшія запруды въ области питанія, будутъ не только удерживать воду и рыхлый матеріалъ, но также способствовать развитію посадокъ. Въ выводномъ каналѣ рекомендуется, при случаѣ, расширеніе наиболѣе узкихъ мѣстъ и устройство плотинъ, уменьшающихъ паденіе и способствующихъ отложенію." „Въ области отложенія всякія защитительныя работы безполезны, пока потоки выносятъ въ рѣку воды и матеріала болѣе, чѣмъ рѣка можетъ вмѣстить и перенести дальше".

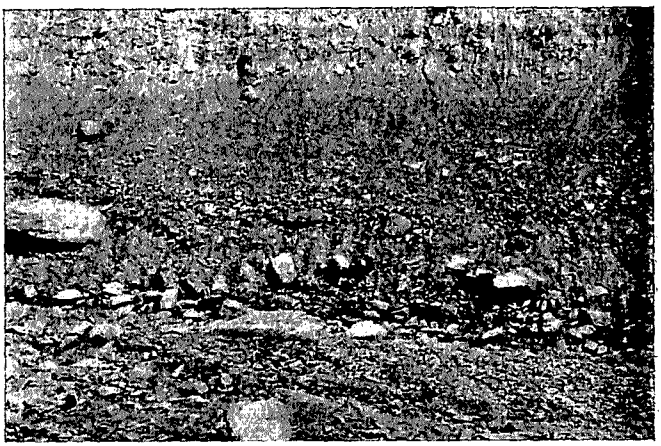
Г. Раунеръ примѣнилъ для урегулированія одного потока въ Туркестанѣ систему горизонтальныхъ каналовъ по склонамъ въ области питанія. Онъ поставилъ себѣ задачей именно разбить количество тающей или выпадающей въ видѣ дождя воды на отдѣльныя части, повидимому, по системѣ Гепперта горизонтальныхъ каналъ; результаты получились благопріятныя.

Наиболѣе полный сводъ работъ по урегулированію бурныхъ потоковъ находится въ упомянутыхъ раньше работахъ Demontzey и Seckendorff'a и Salis (Wildbachverbauung in der Schweiz, Zürich, 1890), также въ работахъ Landolt (Die Bäche, Schneelawinen und Steinschläge, Zürich, 1887) и въ особенности Wang (Grundriss der Wildbachverbauung, Leipzig, 2 части 1901—1903 гг., съ наиболѣе полнымъ спискомъ литературы въ 346 названій).

[2]) Alfr. Lorenz, Entwässerungs- und Bauarbeiten bei Eisenbahnbauten, Zürich, 1876.

является первымъ зародышемъ будущей воронки. Климатическія условія и характеръ горныхъ породъ на южномъ склонѣ Кавказа отъ Нухи до Шемахи представляютъ, конечно, условія, съ которыми нельзя бороться; но уничтоженіе лѣсовъ идетъ быстрыми шагами и съ этимъ необходимо бороться.

Всякія массы грязи, смѣшанной съ камнями, выносимыя мурами, еще Streffler [1]) въ 1852 г. назвалъ холодными лавами. Мы уже говорили объ аналогіи въ явленіяхъ движенія оплывинъ съ такими же явленіями движенія ледниковъ (т. I, стр. 652—658). Составъ и сложеніе селевыхъ выносовъ на Кавказѣ очень напоминаетъ также ледниковыя отложенія, напр., обширныя поддонныя морены (фиг. 286). Геологическая роль селей, если принять во вниманіе мощность и распространенность грязевыхъ отложеній на обоихъ склонахъ Кавказа, значительнѣе, чѣмъ это можно было бы думать. Высокія террасы многихъ рѣчныхъ долинъ въ юго-восточномъ Кавказѣ (фиг. 287) сложены не рѣчными отложеніями, а главнѣйше селевыми выносами, т. е. отложеніями случайныхъ потоковъ. Громадные отторженцы известняка, разсѣянные по всему Шабранскому участку (къ юго-востоку отъ гор. Кубы) на подобіе эрратическихъ валуновъ, могутъ представлять слѣды такихъ же мощныхъ селей и оплывинъ.



Фиг. 286. — Разрѣзъ селевыхъ отложеній (Вандамъ-чай).

Проф. Фрехъ къ числу особыхъ формъ муровыхъ явленій относитъ муроподобные ледниковые обвалы, напр., при землетрясеніи на Араратѣ въ 1846 году, извѣстные завалы Девдоракскаго ледника и рядъ подобныхъ же явленій въ Альпахъ. Строго говоря, какъ упомянуто, эти явленія, какъ и всѣ лавины, относятся не къ мурамъ, а къ массовымъ движеніямъ, хотя, какъ показываютъ изслѣдованія Фореля по поводу извѣстнаго обвала ледника Альтельсъ въ 1895 г. [2]) ледниковые обвалы представляютъ сложное явленіе, часто подъ вліяніемъ если не транспортирующей силы, то во всякомъ случаѣ живой силы воды. Сравненіе Девдоракскихъ заваловъ съ селевыми выносами сдѣлалъ впервые Статковскій [3]); мнѣніе это было поддержано затѣмъ Фавромъ [4]), причемъ явленіе завала

Фиг. 287. — Область отложенія селевыхъ выносовъ по Вандаамъ-чю. Терраса сложена изъ древнихъ селевыхъ отложеній.

[1]) in Toula, l. c., стр. 569.

[2]) L. du Pasquier, L'avalanche de l'Altels le 11 Sept. 1895. Bull. d. la Soc. d. Sc. natur. de Neuchatel, 1896, t. XXIV.

[3]) Сборникъ свѣдѣній о завалахъ, стр. 276 и другія, также въ Зап. Кав. Отд. Геогр. Общ., т. VII.

[4]) Récherches géologiques dans la partie centrale de la chaîne du Caucase, стр. 64—65.

связано съ наступаніемъ ледника. Фрехъ указываетъ на связь обваловъ главнымъ образомъ съ временемъ отступанія ледниковъ и одновременнымъ появленіемъ настоящихъ бурныхъ потоковъ. Періодъ, связанный съ отступаніемъ ледниковъ, былъ по преимуществу временемъ муръ, перемѣщеніе и отложеніе которыми массъ рыхлаго матеріала, оставленнаго ледниками, подготовило этотъ матеріалъ для закрѣпленія и поселенія на немъ растительнаго покрова.

Сюрелль [1]) предложилъ различать муры по степени ихъ развитія, именно:

1) вновь возникающія муры съ несовершенной профилью, т. е. въ которыхъ конусъ отложенія рѣзко отдѣляется отъ выводнаго канала;

2) дѣйствующія или развитыя муры съ однообразнымъ паденіемъ и частымъ измѣненіемъ теченія рѣки въ области отложенія;

3) прекращающіяся муры, которыя ни въ области питанія, ни въ области отложенія не испытываютъ уже замѣтныхъ колебаній.

Фрехъ не соглашается съ такимъ дѣленіемъ, на основаніи различныхъ фазъ развитія, указывая трудность опредѣленія въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ и возможность обратнаго перехода изъ третьей фазы во вторую. Въ цѣляхъ практическихъ онъ предлагаетъ различать:

1) Высокія муры, выше границы древесной растительности или на ней, и

2) Низкія муры, ниже границы древесной растительности, въ области густого растительнаго покрова.

Первыя для своего урегулированія представляютъ трудности часто непреодолимыя, вслѣдствіе необходимости обнять работами всѣ высочайшія вершинки ея; вторыя болѣе случайнаго происхожденія, устранимы легко, если мѣры приняты своевременно и правильно оцѣнено значеніе каждаго фактора.

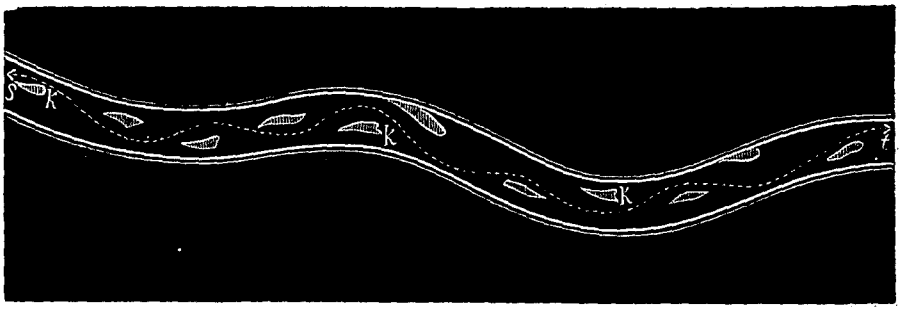
Отложеніе въ руслѣ рѣкъ. Кромѣ коническихъ устьевыхъ наносовъ и каменныхъ полянъ, въ самомъ руслѣ рѣки, въ разныхъ его мѣстахъ, будутъ происходить аллювіальные осадки. Мы уже знаемъ, что рѣка переноситъ матеріалъ не только во взвѣшенномъ состояніи, но также перекатываетъ его по дну; слѣдовательно, на днѣ каждаго потока будутъ постепенно накопляться отложенія валуновъ, гравія и песка, смотря по силѣ потока. Боковые притоки, имѣющіе обыкновенно бо́льшее паденіе, чѣмъ главный, приносятъ съ собою болѣе крупный матеріалъ, который, при совмѣстномъ дѣйствіи рѣки съ притокомъ, долженъ отложиться въ руслѣ рѣки у того берега, гдѣ впадаетъ притокъ, но ниже его устья, и расположиться въ видѣ конуса, обращеннаго основаніемъ къ низовью рѣки. Это служитъ началомъ отмелей изъ гравія, которыя, смотря по размѣрамъ, уклоняютъ рѣку къ противоположному берегу и обусловливаютъ часто появленіе извилинъ въ направленіи рѣки. При существованіи извилинъ, которыя, какъ мы выше видѣли, могутъ происходить и отъ другихъ причинъ, скорость теченія у обоихъ береговъ становится различною; благодаря меньшей скорости у выпуклыхъ береговъ, тамъ начинаютъ скопляться также аллювіальныя отложенія, образующія сначала мели, а потомъ острова и полуострова. Тѣ и другіе осадки, а въ особенности отмели изъ гравія, при каждомъ возвышеніи воды въ рѣкѣ, перемѣщаются къ низовьямъ долины.

На Волгѣ находится множество подобныхъ наносныхъ острововъ, которые ежегодно наростаютъ у нижнихъ концовъ (по теченію) или же со стороны, обращенной къ затону или воложкѣ; такъ, по словамъ г. Докучаева [41]), Въ Нижегородской губ. островъ Гусеницъ удлинился почти на версту за послѣднія 20—30 лѣтъ, островъ Пугачъ въ 30—40 лѣтъ расширился на 50—70 саж. и пр. Вслѣдствіе этого процесса нѣкоторые острова сливаются между собою, другіе приростаютъ къ сушѣ,

[1]) См. Penck, Morphologie der Erdoberfläche, I, стр. 325, также Frech, l. c., стр. 12.

образуя косы. Такъ, коса противъ Нижняго, въ $1^1/_2$ вер. длиною и 70 саж. шириною, образовалась въ теченіе около 30 лѣтъ; ниже Сормова берегъ Волги увеличился на 250—300 саж. за послѣднія 100 лѣтъ и т. д.

Наконецъ, отъ постояннаго выравнивающаго дѣйствія воды на рѣчное дно, вслѣдствіе непрерывнаго удаленія водою легкаго ила, песка и мелкаго гравія, вслѣдствіе непостоянства въ количествѣ воды и скорости, начинаетъ устанавливаться нѣкоторая правильность въ сортировкѣ гравія, въ размѣщеніи его относительно береговъ и русла долины, въ расположеніи и въ размѣрахъ въ длину, ширину и высоту отмелей гравія, а также и относительно глубины долины, какъ это превосходно объяснилъ Гребенау на урегулированной части Рейна [42]) отъ Эльзасской границы до Гермерсгейма (фиг. 288). Среднее разстояніе между мелями изъ гравія, расположенными попеременно на обоихъ берегахъ (лѣвомъ—баварскомъ и правомъ—баденскомъ) доходитъ на одномъ и томъ же бе-



Фиг. 288. — Движеніе мелей на Рейнѣ.

регу до 2000 м. Между ними извивается тальвегъ или стержень, какъ говорятъ у насъ на югѣ, т. е. линія *tks* наибольшей глубины и скорости теченія, иначе линія судоходнаго пути въ межень. Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ тальвегъ наискось пересѣкаетъ соединительную линію сосѣднихъ мелей, находящихся на противоположныхъ берегахъ, глубина фарватера наименьшая. Наблюденія показали, что среднимъ числомъ необходимъ періодъ времени $7^1/_4$ лѣтъ, чтобы одна мель передвинулась на мѣсто другой, находящейся на томъ же берегу. Въ $3^1/_2$ года каждая отмель передвигается настолько, что кривая тальвега принимаетъ противоположную форму, т.-е. прежнимъ изгибамъ соотвѣтствуютъ выпуклости, и наоборотъ. Тоже самое наблюдается на Дунаѣ у Вѣны, гдѣ, впрочемъ, скорость передвиженія различныхъ отмелей различна въ зависимости отъ размѣровъ ихъ; для нѣкоторыхъ скорость эта составляетъ 200 м. въ годъ.

Мы уже говорили, что нельзя высчитать величину силы, затрачиваемой рѣкой на перемѣщеніе матеріала; также нельзя опредѣлить и количество этого матеріала, такъ какъ для переноса одного и того же количества затрачивается неодинаковая сила въ зависимости отъ качествъ русла. Слѣдовательно, нѣтъ никакой опредѣленной зависимости между живой силой рѣки и подвижностью ея галечниковыхъ или песчаныхъ образованій; можно только сказать, что для большихъ рѣкъ количество перемѣщаемаго матеріала составляетъ ничтожную часть, нѣсколько стотысячныхъ, количества воды въ рѣкѣ, какъ это показываютъ наблюденія. Геймъ опредѣлилъ количество переноса по накопленію озерныхъ дельтъ, причемъ оказалось, что 1 куб. м. воды переноситъ отъ 200 до 400 граммовъ (куб. см.) матеріала.

Гребенау опредѣлилъ по скорости движенія мелей на Рейнѣ, что 1 куб. м. воды переноситъ всего около 1 куб. см. матеріала; для Дуная получится цифра 13 куб. см.

Перемѣщеніе матеріала происходитъ наиболѣе интенсивно въ высокую воду, какъ это было изслѣдовано систематически на Луарѣ и обнаруживается на многихъ другихъ рѣкахъ; въ половодье возрастаетъ соотвѣтственно массѣ воды и масса матеріала, подвергающагося переносу. Въ половодье возрастаетъ также глубина воды въ рѣкѣ; глубина мало разнится отъ гидравлической глубины (R), которая пропорціональна квадрату скорости (по формулѣ Чези), слѣдовательно значительное увеличеніе глубины, опредѣляя большую скорость, отражается и на величинѣ перемѣщаемыхъ галекъ (пропорціонально шестой степени скорости).

Во время половодья рѣка возрастаетъ и въ ширину, выступая изъ обычныхъ береговъ; слѣдовательно, необходимо для оцѣнки работы рѣки разсматривать отдѣльно состояніе рѣки въ межень и въ половодье. Въ самомъ руслѣ рѣки соотвѣтственно увеличенію глубины возрастаетъ скорость и живая сила воды; на заливныхъ (пойменныхъ) мѣстахъ скорость гораздо меньше, слабѣе и живая сила воды. Слѣдовательно, если воды, передвигающія матеріалъ, случайно вступаютъ въ область заливную или вообще болѣе мелкую, онѣ начинаютъ отлагать; словомъ, въ постоянномъ руслѣ происходитъ очищеніе, а на мѣстахъ заливныхъ въ временныхъ руслахъ, отложеніе матеріала. Процессъ осложняется разнообразными причинами, вліяющими на скорость воды, какъ главный факторъ въ дѣлѣ размыванія, напр., спрямленіемъ руселъ.

Инженеръ Лахтинъ (О механизмѣ рѣчного русла, 1895) приводитъ интересныя указанія относительно условій развитія мелей, такъ называемыхъ перекатовъ, на Волгѣ и другихъ нашихъ рѣкахъ. Онъ справедливо обращаетъ вниманіе на извѣстную устойчивость положенія плёсовъ и перекатовъ въ естественныхъ условіяхъ руселъ Волги и Днѣстра и неустойчивость на Вислѣ, Зап. Бугѣ, Днѣпрѣ, Донѣ. Такое различіе объясняется характеромъ продольныхъ профилей рѣкъ; Волга и Днѣстръ имѣютъ профили въ видѣ правильно чередующихся участковъ съ усиленными противъ средняго и ослабленными уклонами поверхности воды; вторые соотвѣтствуютъ въ меженную воду глубокимъ плесамъ, обыкновенно на закругленіяхъ рѣкъ, первые перекатамъ на прямыхъ участкахъ рѣки. Висла, Донъ и другія имѣютъ болѣе равномѣрный уклонъ, значительно крупнѣе, чѣмъ на рѣкамъ перваго типа. Въ высокую воду по даннымъ, приводимымъ Лахтинымъ для Волги и Днѣстра по собственнымъ наблюденіямъ и для Гаронны на основаніи цифръ Баумгартена 1848 г., распредѣленіе уклоновъ мѣняется. Вслѣдствіе подпруды, вызываемой стѣсненіемъ воды при закругленіяхъ на плесахъ, возникаетъ усиленіе уклона непосредственно внизъ по руслу и ослабленіе вверхъ на предыдущей прямой части рѣки. Такова по мнѣнію Лахтина причина, объясняющая полное отсутствіе параллелизма между профилью рѣки въ меженную и высокую воду. Слѣдствіемъ такого измѣненія уклоновъ, на плесахъ въ половодье происходитъ размываніе и перемѣщеніе наносовъ, а на перекатахъ засореніе отложеніями наносовъ, которые рѣка не въ силахъ перемѣстить вслѣдствіе ослабленія здѣсь уклона. Около извѣстнаго переката „Телячій бродъ“ въ 1881 г. горизонтъ высокихъ водъ выше переката поднялся на 5,83 сажени надъ уровнемъ низкихъ водъ, а непосредственно ниже переката горизонтъ поднялся на 6,68 саж.; разницу въ 0,85 саж. Лахтинъ объясняетъ подпоромъ высокихъ водъ, стѣсненныхъ съуженнымъ участкомъ весенняго русла ниже переката. Въ меженную воду, соотвѣтственно измѣнившимся уклонамъ, рѣка размываетъ на перекатахъ и сноситъ отложенія, которыя временно были оставлены здѣсь высокими водами за недостаткомъ силы. Лахтинъ приходитъ къ заключенію, что такія рѣки какъ бы экономятъ свою живую силу, сосредоточивая большую часть ея тамъ, гдѣ она въ данное время болѣе всего нужна.

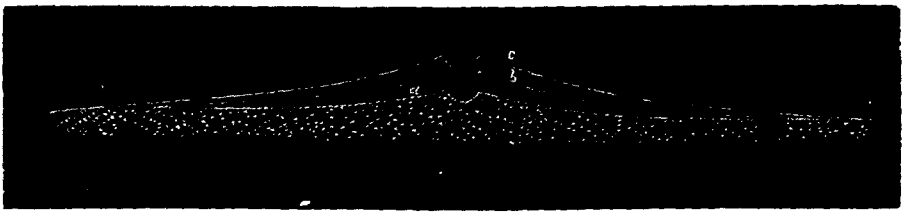
Фактъ измѣненія уклоновъ рѣки на отдѣльныхъ участкахъ въ меженную и высокую воду заслуживаетъ полнаго вниманія, но это лишь одинъ изъ факторовъ уменьшенія скорости теченія въ половодье надъ мелкими участками русла. Мы только что видѣли, что всякое мелкое мѣсто въ рѣкѣ въ половодье подвергается засорѣнію; съуженія простора ниже по рѣкѣ можетъ при этомъ и не быть, и едва ли это есть общій законъ, вопреки мнѣнію Лахтина.

Волга, Зап. Двина, Нѣманъ и Днѣстръ геологически представляютъ именно неустойчивыя рѣки, продолжающія усиленно вырабатывать продольную профиль своего русла, неровности котораго зависятъ отъ причинъ геологическихъ. Висла, Днѣпръ, Донъ гораздо дальше довели свою работу выработки нормальной профили; для Вислы, какъ указываетъ и Лахтинъ, уже нетрудно искусственно довести ея профиль до параболической кривой, когда наступитъ полное равновѣсіе въ каждой точкѣ между живой силой, треніемъ о русло и затратой энергіи на перемѣщеніе матеріала. Поэтому, опредѣленіе Лахтина, что рѣки съ продольной профилью въ видѣ ступенчатаго чередованія пологихъ и крутыхъ уклоновъ съ различнымъ ихъ

размѣщеніемъ по длинѣ русла въ меженную и высокую воды, представляютъ устойчивый типъ съ прочнымъ русломъ,—нельзя считать правильнымъ. Равновѣсіе, которое достигается рѣкой при такихъ условіяхъ, есть лишь временное, которое даже при постоянствѣ средняго расхода воды неизбѣжно должно нарушиться.

Выводъ, къ которому онъ приходитъ, что для урегулированія такихъ рѣкъ необходимо нѣкоторое видоизмѣненіе русла на всемъ протяженіи подверженнаго засоренію промежутка между выше- и нижележащими плесами, конечно, правиленъ, такъ какъ вся задача гидротехники заключается въ использованіи естественныхъ условій природы. Но непрерывно возрастающаго засоренія перекатовъ и ихъ несомнѣннаго перемѣщенія этотъ пріемъ не можетъ устранить, такъ какъ расходъ воды, напр., Волги и количество матеріала, подлежащаго переносу не остаются постоянными. Изъ вышеизложеннаго о законахъ размыванія проточной водой скорѣе можно присоединиться къ мнѣнію тѣхъ инженеровъ, которые считаютъ невозможнымъ улучшеніе отдѣльныхъ мѣстъ рѣки, оставляя другія въ ихъ естественныхъ условіяхъ. Мы уже видѣли, что всякое измѣненіе условій глубины и скорости рѣки неизбѣжно отражается на участкахъ смежныхъ, и въ этомъ заключается вся трудность урегулированія именно такихъ неустойчивыхъ рѣкъ, какъ Волга.

Нѣкоторыя рѣки, перенося большое количество минеральнаго матеріала и подвергаясь сильнымъ колебаніямъ въ дебитѣ, при спадѣ воды, образуютъ большія накопленія на днѣ и вдоль своихъ береговъ. Вслѣдствіе этого, съ одной стороны, русло ихъ постепенно возвышается, а съ другой, берега также возвышаются, такъ что, въ концѣ концовъ, рѣка

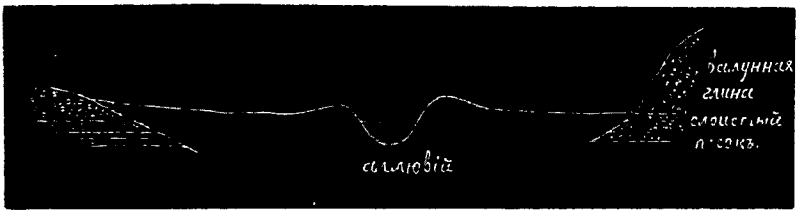


Фиг. 289. — Схема возвышенія русла рѣки.

течетъ среди каменныхъ валовъ, нагроможденныхъ ею же,—напр. это наблюдается въ среднемъ теченіи Терека. Но гораздо чаще подобныя явленія происходятъ въ низовьяхъ рѣкъ вблизи устья, гдѣ скорость теченія уменьшается до minimum'a; такъ какъ во время половодья вода, выходя изъ береговъ и разливаясь по сосѣднимъ равнинамъ, отлагаетъ на нихъ свои минеральныя примѣси, то вслѣдствіе этого не только русло рѣки, но вся долина разлива постепенно возвышается, какъ представлено схематически на фиг. 289, а берега представляютъ какъ бы естественную плотину. Въ большихъ размѣрахъ это явленіе наблюдается на р. Миссисипи, гдѣ такія плотины, называемыя bancs, возвышаются на 4—5 м. надъ уровнемъ воды и тянутся по берегамъ рѣки отъ устья Огайо до моря, т.-е. почти на 1000 англ. миль. Ширина ихъ до трехъ миль, въ половодье онѣ едва замѣтны; мѣстами вода прорываетъ ихъ и образуетъ за ними болотистую мѣстность, называемую swamps. На р. Колорадо береговыя плотины или валы такъ крѣпки, что никогда не прорываются. Русла По, Эчь, Рено и др. настолько возвысились, что лежатъ выше окружающей равнины; мѣстами на 6 м. и болѣе. Русло р. Эчь за послѣднія 50 лѣтъ возвысилось на 1,36 м.; то же замѣчается въ низовьяхъ нѣкоторыхъ азіатскихъ рѣкъ, переносящихъ большое количество минеральныхъ веществъ, напр. на Сыръ-дарьѣ и особенно на р. Мурхабѣ, гдѣ быстрое возвышеніе русла происходитъ даже въ каналахъ, питающихся водою Мур-

хаба. Весьма вѣроятно, что плоскій перевалъ между рр. Тедженемъ и Аму-дарьей, на гребнѣ котораго течетъ Мурхабъ, своимъ образованіемъ обязанъ отлагающей дѣятельности этой рѣки. То же явленіе объясняетъ намъ выпуклый профиль нѣкоторыхъ рѣчныхъ долинъ, какъ, напр., долины Урсы въ Бургундіи, описанной Бельграномъ, также у насъ долины Костромы и ея притока Тутки, изслѣдованныхъ С. Н. Никитинымъ [43]), который даетъ слѣдующій схематическій разрѣзъ для типа такихъ долинъ (фиг. 290).

Прорѣзывая плотины во время половодья, такія рѣки производятъ иногда разрушительныя наводненія, а потому ихъ укрѣпляютъ искусственно: напр. плотины на р. По, Миссиссипи, Терекѣ и др. При такомъ запираніи рѣки скорость ея, а вмѣстѣ съ тѣмъ сила переноса увеличивается, а слѣдовательно, къ устью будетъ приноситься большее количество матеріаловъ и дельтовыя отложенія будутъ быстрѣе накопляться, или, все равно, ускорится ростъ дельты; напр. годовой приростъ дельты По увеличился съ 25 м. до 70 м. со времени (1800 г.) укрѣпленія плотинъ, а съ 1804—до 200 м.; тоже на Ронѣ, Дунаѣ и др.



Фиг. 290. — Схематическій разрѣзъ аллювіальной долины р. Тутки.

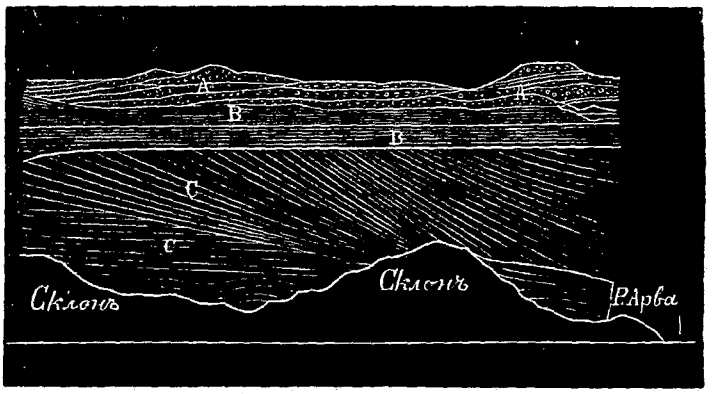
рѣкахъ. Правда, при чрезмѣрномъ половодьи искусственныя плотины иногда прорываются и не защищаютъ отъ наводненія, какъ, напр., въ 1882 г., когда наводненіе произвело большія опустошенія въ Верхней Италіи.

Описанныя аллювіальныя отложенія въ руслѣ и по берегамъ потоковъ по своему характеру рѣзко отличаются отъ коническихъ выносовъ уже тѣмъ, что состоятъ изъ измельченнаго матеріала и обладаютъ нѣкоторою слоистостью. Находясь въ зависимости отъ постоянныхъ измѣненій въ силѣ потока, они не представляютъ правильныхъ и мощныхъ пластовъ на подобіе осадковъ моря, а, напротивъ, отличаются тонкою діагональною слоистостью, частою перемежаемостью и выклиниваніемъ на небольшихъ разстояніяхъ; характеръ пластованія (фиг. 291—292) отличаетъ ихъ, съ одной стороны, отъ рѣчныхъ неслоистыхъ накопленій, а съ другой—отъ одновременныхъ эллювіальныхъ и эоловыхъ отложеній. Что касается петрографическихъ качествъ ихъ, то въ этомъ отношеніи они зависятъ прежде всего отъ качества размываемыхъ породъ и потому, разумѣется, весьма разнообразны, но преобладаютъ пески, глины и торфъ.

Не останавливаясь на подробномъ петрографическомъ описаніи ихъ, мы укажемъ только на главнѣйшія разновидности, свойственныя аллювіальнымъ отложеніямъ Средней Россіи, которыя въ этомъ направленіи изслѣдованы были г. Никитинымъ [44]). Между ними различаютъ:

1) Аллювіальные пески бѣлаго, сѣроватаго или блѣдножелтаго цвѣта, ха-

рактеризующіеся довольно крупнымъ перемытымъ зерномъ. Только подъ вліяніемъ извнѣ просачивающейся воды они становятся желѣзистыми, принимаютъ красноватый цвѣтъ и въ рѣдкихъ случаяхъ, сцементовываясь водною окисью желѣза, превращаются даже въ желѣзистый песчаникъ. Благодаря ихъ легкой проницаемости, они лишены органическихъ остатковъ и только въ верхнихъ слояхъ ихъ находится множество раковинокъ Unio и Cyclas. Примѣсь гравія и валуновъ въ нихъ бываетъ только рѣдко и обусловливается исключительными причинами.



Фиг. 291. — Разрѣзъ песчаной отмели въ руслѣ Арвы при сліяніи ея съ Роной. АА — слои песка и галекъ; ВВ — тонкіе слои мелкаго песка; СС — слои зеленоватаго песка. Всѣ эти слои налегаютъ на склонъ изъ основныхъ породъ.

2) Аллювіальныя глины различаютъ двухъ цвѣтовъ: глина сѣрая и глина шоколаднаго или кофейнаго цвѣта. Первая переполнена органическими веществами, которыя и придаютъ ей окраску; она довольно вязкая и часто содержитъ гнѣздовыя скопленія фосфорнокислаго желѣза (вивіанита). Примѣсь желѣза придаетъ ей иногда зеленоватый и красноватый оттѣнки. Примѣси песку и извести весьма непостоянны и обусловливаютъ переходъ ея въ песчаникъ и мергель. Она отлагается преимущественно въ затонахъ и старицахъ. Другая глина шоколаднаго или кофейнаго цвѣта наблюдается преимущественно въ долинахъ крупныхъ рѣкъ, въ видѣ значительныхъ напластованій, образующихъ обрывистыя толщи аллювіальныхъ береговъ. Ее легко смѣшать съ валлунною глиною, отъ которой она отличается болѣе темнымъ цвѣтомъ и содержаніемъ растительныхъ остатковъ. По всей вѣроятности, она обязана своимъ происхожденіемъ отложенію рѣчного ила въ поемныхъ мѣстахъ во время разливовъ.

3) Торфяники являются обыкновеннымъ спутникомъ аллювіальныхъ отложеній; они представляютъ конечный результатъ заростанія растительностью прежнихъ руслъ, оставленныхъ рѣкой.

4) Туфовидный известнякъ, глинистый желтоватый, также желѣзистый, попадается иногда въ аллювіальныхъ осадкахъ. Онъ, подобно торфянникамъ, залегаетъ обыкновенно въ замкнутыхъ котловинахъ.

5) Изрѣдка попадается болотная желѣзная руда среди аллювіальныхъ осадковъ.

Фиг. 292. — Характеръ пластованія осадковъ, отложенныхъ проточною водою.

Г. Докучаевъ указываетъ, что въ поймахъ многихъ русскихъ рѣкъ, какъ-то: Волги, Оки, Днѣпра, Вазузы и пр. отлагающіеся осадки до того тонкослоисты, что въ толщѣ 3—4 ф. помѣщается до 1000 слоевъ. Всѣ эти образованія не имѣютъ никакой правильной послѣдовательности въ чередованіи своемъ и богаты органическими остатками исключительно нынѣ живущихъ формъ; между раковинами остатки водныхъ и наземныхъ моллюсковъ перемѣшаны почти въ одинаковомъ количествѣ. Изъ 21 вида моллюсковъ, найденныхъ г. Докучаевымъ въ аллювіальныхъ отложеніяхъ русскихъ рѣкъ, 9 принадлежатъ къ прѣсноводнымъ, какъ-то: Amphipeplea glutinosa, Planorbis marginatus, Pl. votrex, Limnaeus fuscus, L. pereger, Paludina impura, Pisidium obliquum, Cyclas cornea, Unio pictorum, а остальные 12 видовъ наземныхъ, какъ-то: Helix hispida, H. lapicida, H. pura, H. ruderata, H. glabra, Achatina

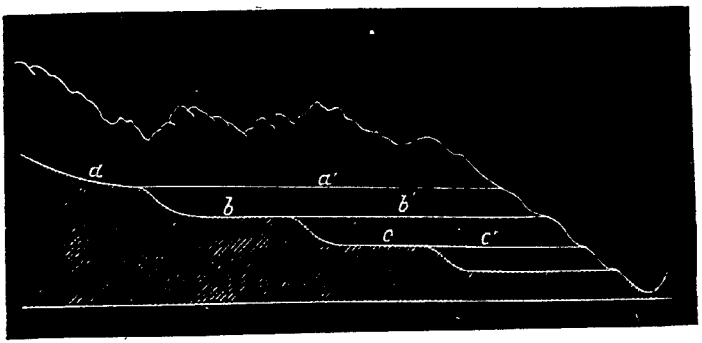
lubrica, Succinea putris, S. amphibia, Clausilia plicatula, C. bidens, Bulimus obscurus.

Изъ растительныхъ остатковъ попадаются нынѣ живущіе: дубъ, ольха, береза, сосна.

Кромѣ того, въ нѣкоторыхъ долинахъ, напр. р. Качни, Гжати, Лосьмины, попадаются болѣе древніе остатки животныхъ, а именно: Elephas primigenius, Rhinocerus tichorinus, Equus caballus, Bos primigenius и др., что указываетъ на болѣе значительную древность аллювіальныхъ отложеній этихъ долинъ; но для громаднаго большинства отложеній нашихъ рѣкъ это еще далеко не доказано.

Рѣчныя террассы.

Отложенія, производимыя потоками, имѣютъ для насъ особенно важное значеніе потому, что представляютъ прочные признаки, которые, вмѣстѣ съ формами размытія, свидѣтельствуютъ о перемѣнахъ, переживаемыхъ потоками въ зависимости отъ вышеуказанныхъ измѣненій дислокаціи, климата и поверхности геоида, а слѣдовательно, наоборотъ, тѣже признаки помогаютъ возстановить исторію физическихъ измѣненій данной мѣстности. Мы уже видѣли, что многія рѣки отличаются большою древностью, далеко превосходящею начало плейстоценовой эпохи; въ долгій періодъ существованія ихъ, разумѣется физическія перемѣны происходили неоднократно и оставили свои слѣды въ формѣ и отложеніяхъ рѣчныхъ долинъ. Слѣды эти, главнымъ образомъ, выражаются въ различныхъ уступахъ, которые наблюдаются какъ на днѣ долинъ, такъ и, въ особенности, на склонахъ, придавая имъ лѣстницеобразный видъ. Уступы эти извѣстны подъ общимъ названіемъ рѣчныхъ террассъ.



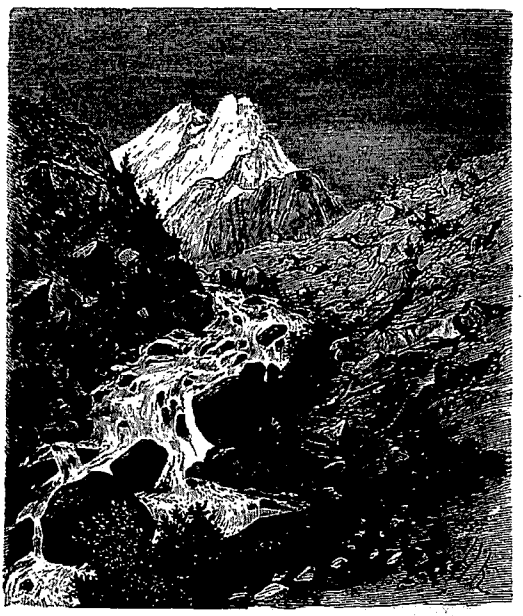
Фиг. 293. — Схема рѣчныхъ террассъ.

Съ чисто морфографической точки зрѣнія рѣчныя террассы могутъ быть раздѣлены на двѣ категоріи. Однѣ,—простирающіяся поперекъ долины и обнаруживающіяся въ продольной профили ея—называются поперечными террассами *a b c* (фиг. 293), а другія, которыя простираются вдоль долины, по склонамъ ея и видны въ поперечной профили, называются продольными террассами *a' b' c'*. Поперечныя террассы притоковъ часто представляютъ только часть продольныхъ террассъ главной долины. Тѣ и другія могутъ состоять изъ коренныхъ породъ, размываемыхъ рѣкой, или же изъ наносовъ, отложенныхъ самой рѣкой и впослѣдствіи ею же размытыхъ; поэтому первыя называются также террассами размытія (Erosionsterrassen), а вторыя—террассами скопленія или наносными террассами (Aufschüttungs- oder Accumulationterrassen).

Поперечныя террассы, или собственно пороги, какъ уступы въ почвѣ долины, бываютъ разнообразной величины и паденія; они то круто, почти вертикально обрываются, до такъ полого, что присутствіе

ихъ узнается только по быстринамъ въ рѣкѣ. Они находятся какъ въ горныхъ ручьяхъ, такъ и въ большихъ рѣкахъ.

Они происходятъ или вслѣдствіе тектоническихъ причинъ, или вслѣдствіе накопленія. Между первыми различаютъ каменныя террассы въ горизонтальныхъ и мало наклоненныхъ породахъ при переходѣ потоковъ изъ однихъ образованій въ другія, или при встрѣчѣ трещинъ, напр. водопады: Ніагары, Наровы, Викторіи на Замбези, Колумбіи и пр. представляютъ прекрасные примѣры такихъ пороговъ (Tafelstufen); въ нарушенныхъ породахъ подобныя же терассы происходятъ вслѣдствіе неравномѣрнаго размыванія различныхъ породъ. Болѣе твердыя породы задерживаютъ размываніе и образуютъ пороги. Вслѣдствіе этого долины выше пороговъ расширяются, а на мѣстѣ пороговъ впослѣдствіи образуется ущелье, на склонахъ котораго нерѣдко видны остатки бывшей плотины. Въ поперечныхъ долинахъ Гималая, Тянь-шаня это явленіе очень часто наблюдается, также на Дунаѣ при прорывѣ Желѣзныхъ Воротъ, на Нильскихъ катарактахъ, при прорывѣ Конго западно-африканскихъ горъ, на Днѣпрѣ, на порогахъ Евфрата при соединеніи Маймансура и Карасу.



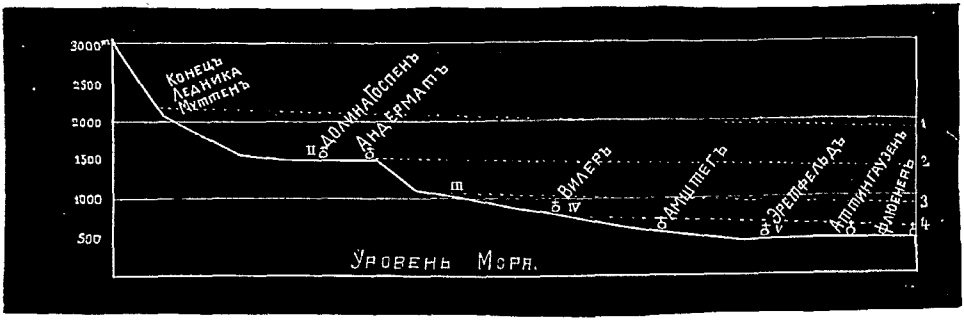
Фиг. 294. — Поперечная терраса изъ ледниковыхъ валуновъ, размываемая р. Зардаля въ Алайскомъ хребтѣ.

Кромѣ того подобныя же террассы могутъ происходить, вслѣдствіе сдвиговъ, поперекъ рѣки. Всѣ эти террассы можно назвать тектоническими, въ противоположность террассамъ плотиннымъ (Dammsstufen), происходящимъ вслѣдствіе запруженія потока какими-либо наносами, напр. обвалами, ледниками или боковыми потоками. Прекрасные примѣры этого рода плотинъ находятся почти въ каждой ледниковой долинѣ. Потоки, размывая плотины, также образуютъ водопады, напр. въ долинѣ Зардаля въ Алайскомъ хребтѣ (фиг. 294), гдѣ водопадъ образованъ древнею конечною мореною.

Гораздо интереснѣе террассы продольныя, которыя находятся почти въ каждой древней долинѣ. Выше мы уже упоминали о такихъ террассахъ, которыя, образуются на склонахъ вслѣдствіе неравномѣрности размытія породъ при углубленіи каньоновъ въ горизонтальныхъ пластахъ (см. фиг. 270).

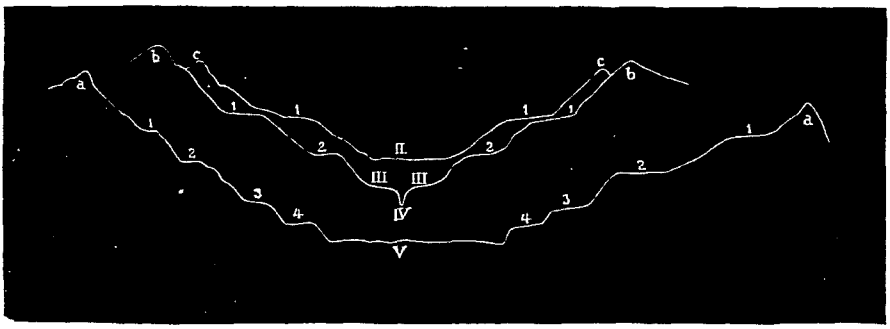
Продольныя террассы размытія нерѣдко имѣютъ соотвѣтствующія поперечныя террассы размытія. Въ послѣднее время Геймъ [46]) и въ особенности его ученикъ Бодмеръ [47]) произвели чрезвычайно интересныя изслѣдованія террассъ въ швейцарскихъ долинахъ и указали важное геологическое значеніе ихъ. Слѣдующіе чертежи показываютъ продоль-

ный и поперечные разрѣзы долины Рейсы, изученной Геймомъ (фиг. 295—296); на нихъ прекрасно видны какъ продольныя, такъ и соотвѣтствующія имъ поперечныя террассы размытія. Онѣ происходятъ вслѣдствіе измѣненія въ силѣ дѣятельности воды, обусловливаемой или измѣненіемъ климата, или дислокаціи, или поверхности геоида. Если размывъ дѣйствуетъ спокойно, то расширяетъ почву долины, если затѣмъ увеличи-



Фиг. 295. — Продольная профиль долины Рейсы.

вается масса воды или происходитъ поднятіе, то долина углубляетъ ложе, остатки котораго образуютъ террассы. Слѣдовательно число террассъ указываетъ на число перемѣнъ; такъ, въ долинѣ Рейсы наблюдается четыре ряда террассъ (см. пунктиръ фиг. 295—296), которыя лежатъ на высотѣ 2,200—1,900, 1,600—1,400, 1,200—900 и 900—600 м. При спокойномъ размытіи долина расширяется и террассы часто смываются, чему также способствуетъ вывѣтриваніе; вслѣдствіе этого нерѣдко на склонахъ

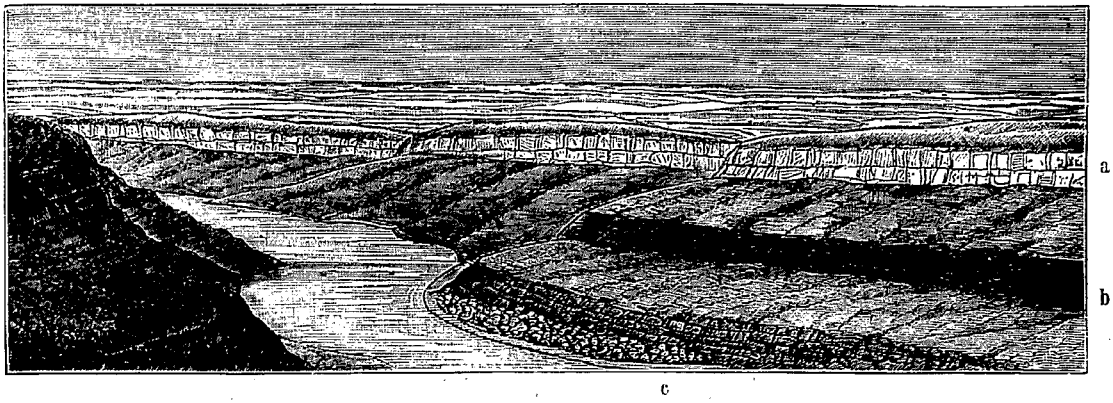


Фиг. 296. — Поперечныя профили долины Рейсы.

вмѣсто сплошныхъ находятся только обрывки террассъ. Самыя верхнія изъ нихъ—болѣе древнія, а потому дольше подвергавшіяся разрушенію менѣе ясныя; нижнія—самыя новыя и наиболѣе отчетливыя.

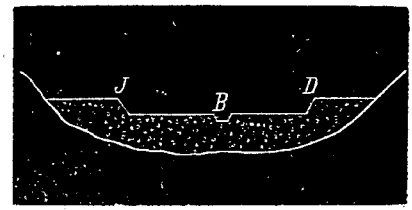
Вслѣдствіе размытія террассъ горизонтъ V постепенно подвигается къ IV, а IV—къ III, а III—ко II. Въ концѣ концовъ должна образоваться правильная кривая ложа, въ которомъ сливаются верхнее, среднее и нижнее теченія. Но какъ только произойдетъ поднятіе или измѣненіе климата или поверхности геоида, то, разумѣется, эта правильность снова нарушится. Горизонты террассъ соотвѣтствуютъ періодамъ спокойной дѣятельности, а размывъ ихъ—періодамъ движенія. Боковыя

долины конечно, также принимаютъ участіе въ этихъ измѣненіяхъ главной долины и террассы ихъ соотвѣтствуютъ другъ другу, но часто



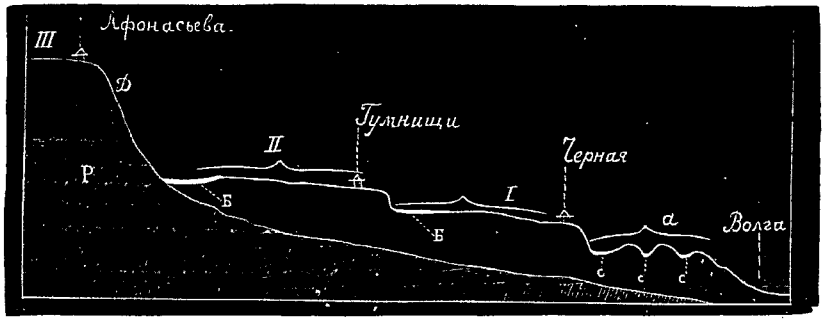
Фиг. 297. — Поперечный разрѣзъ долины Арпачая у Киссилкилисса на Александрапольскомъ плато въ Арменіи (Абихъ). a — пористая, плотная и черная базальтовая лава; b — песчаниковидный трахитовый туфъ; c — фонолитовидная лава, внизу сильно ошлакованная.

число и высота залеганія ихъ уклоняются отъ террассъ главной долины. Прекрасный примѣръ продольныхъ террассъ размыва представляетъ долина Арпачая (фиг. 297), а также террассы Great Hogback въ Колорадо.



Фиг. 298. — Террассы разлива.

Несравненно чаще, чѣмъ террассы размытія, встрѣчаются террассы накопленія. Простѣйшій типъ ихъ представляютъ террассы разлива, какъ представлено на фиг. 298 въ поперечномъ разрѣзѣ. Ложе рѣки заполнено осадками, въ которыхъ рѣка прорыла русло B, соотвѣтствующее меженю, тогда какъ въ половодье она занимаетъ площадь DJ. Смотря по характеру размыва, террассы эти могутъ быть на обѣихъ сторонахъ

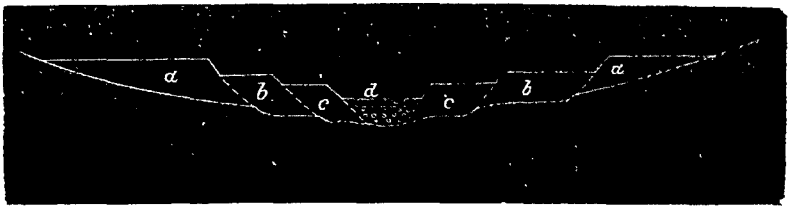


Фиг. 299. — Террассы въ долинѣ Волги (Балахнинскій у.): *a* — пойма съ гривами и старицами-болотами (*c*, *c*, *c*); I — надлуговая терраса; II — вторая надлуговая терраса съ болотомъ Б; III — древній берегъ изъ коренныхъ породъ Р и Д.

рѣки или только на одной, напр. на правомъ берегу Волги (фиг. 299) сѣвернѣе г. Балахны [48]) и др.

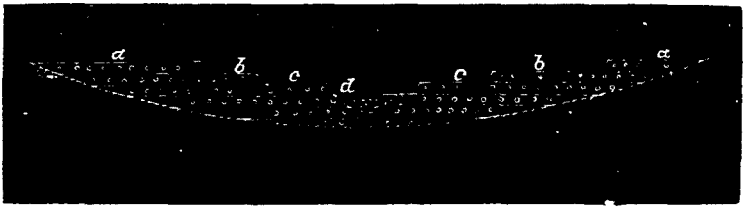
Въ узкихъ горныхъ долинахъ находятся только маленькіе остатки ихъ, тогда какъ въ ровныхъ или плоско-холмистыхъ странахъ онѣ до-

стигаютъ огромной ширины, имѣютъ ровную поверхность и круто обрываются къ рѣкѣ, рѣзко отдѣляясь отъ новѣйшихъ аллювіальныхъ осадковъ. Иногда находится нѣсколько такихъ террассъ, возвышающихся одна надъ другой, различной высоты, ясности и древности образованія.



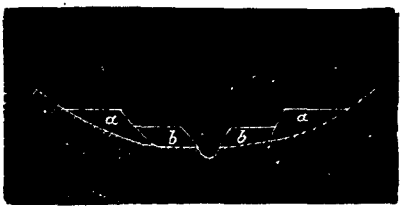
Фиг. 300.

Во всякомъ случаѣ, каждая изъ террассъ указываетъ или на послѣдовательную смѣну періода размыва съ періодомъ отложенія, или же на усиленіе размыва. Причина отложеній можетъ заключаться или въ умень-



Фиг. 301.

шеніи паденія, или въ чрезмѣрномъ избыткѣ осадковъ. При дальнѣйшемъ усиленіи размытія въ первомъ случаѣ образуется продольная терраса съ опредѣленнымъ уклономъ, соотвѣтствующимъ уклону долины; во второмъ случаѣ произойдетъ широкая озерная терраса съ горизон-



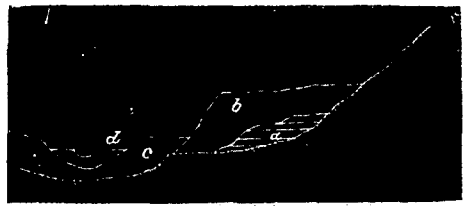
Фиг. 302.

Фиг. 303.

тальною поверхностью; напр., если рѣка встрѣчаетъ задержку въ размытіи, то передъ порогомъ образуетъ озерное расширеніе, которое быстро заполнится осадками (см. фиг. 307); при прорывѣ порога русло рѣки углубится, озеро уничтожится и на мѣстѣ его останется бассейновидная площадь образовавшихся осадковъ, которые, будучи промыты, представятъ террассы. Увеличеніе приноса можетъ быть произведено также быстрымъ таяніемъ снѣга, льда, напр. при наступленіи изверженій вулкановъ, покрытыхъ снѣгомъ, и пр. Но то же самое происходитъ отъ климатическихъ измѣненій въ долгіе періоды. Рыхлый матеріалъ, при увеличеніи атмосферныхъ осадковъ, быстро переносится потоками и образуетъ мощныя отложенія, которыя въ слѣдующій періодъ уменьшенія

осадковъ размоются потоками и образуютъ террассы. Этотъ процессъ выполненія и размыва собственныхъ отложеній можетъ повториться два, три и нѣсколько разъ, и тогда образуется соотвѣтственное число террассъ.

На слѣдующихъ рисункахъ (фиг. 300—304), согласно съ Рихтгофеномъ [49]), представлены наиболѣе часто встрѣчающіеся типы продольныхъ террассъ накопленія. Изъ фиг. 300 ясно, что *aa* представляетъ наносъ, заполнившій долину, въ которомъ рѣка снова промыла свое ложе до коренныхъ породъ, потомъ снова долина заполнилась наносомъ, отъ котораго теперь остались только террассы *bb*. Процессы эти, постепенно ослабѣвшіе, привели къ современному виду долины *d*. На фиг. 301, напротивъ, представленъ случай, когда послѣ заполненія долины слоистыми осадками углубленіе происходило постепенно и ни разу не дошло до коренныхъ породъ. На фиг. 302 террассы *aa* и *bb* образовались, какъ въ первомъ случаѣ, и современный потокъ углубляетъ свое ложе въ коренныхъ породахъ. На фиг. 303 представлены зачаточныя террассы, причемъ высшія *aa* древнѣе *bb*, хотя впрочемъ не всегда возможно по высотѣ заключать о древности: какъ видно на фиг. 304, болѣе древняя *a* лежитъ ниже новыхъ террассъ *b*.



Фиг. 304.

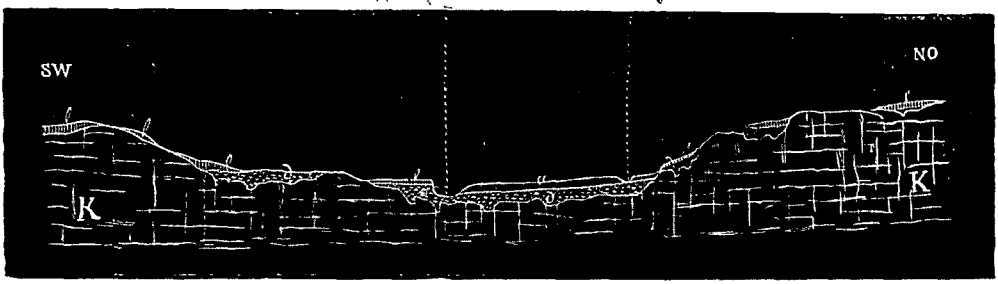
Такого рода перемѣны въ жизни рѣки могутъ происходить только въ геологически-продолжительные періоды, а потому естественно, что матеріалъ, образующій террассы, несравненно древнѣе, нежели аллювіальные осадки. Древность его въ различныхъ мѣстахъ, разумѣется, различна, но во всякомъ случаѣ она заходитъ за современную эпоху, и потому отложенія рѣчныхъ террассъ называютъ **постпліоценовыми** или, какъ прежде называли, **дилювіальными**, равно какъ и самыя террассы тоже называютъ **дилювіальными**. Характеръ ихъ виденъ на фиг. 305,

Фиг. 305. — Дилювіальныя террассы долины Коннектикуты въ С. Америкѣ.

изображающей часть долины Коннектикуты къ югу отъ Нью-Гампшира въ С. Америкѣ. Въ Европѣ почти въ каждой долинѣ находятся большія террассы. Пенкъ сообщаетъ о террассахъ на Рейнѣ, особенно между Майнцемъ и Базелемъ, достигающихъ до 35 м. высотою и состоящихъ изъ валуновъ; тоже на Эльбѣ, Саалѣ, Маасѣ, Мозелѣ и др.; тоже въ долинахъ Луары, Темзы, Сены, Соммы (фиг. 306) и пр.; въ послѣдней около Амьена и Абевилля террассы изъ валуновъ и галекъ содержатъ много остатковъ дилювіальной фауны. Въ долинахъ Луары, Темзы, въ долинахъ Дофрефіельда въ Скандинавіи террассы достигаютъ 150 м. высотою. Но наибольшую мощность террассы имѣютъ въ нѣкоторыхъ долинахъ Альпъ, напр. въ долинѣ Инна отъ 300 до 400 м. высотою, на Ронѣ у Женевскаго озера до 100 м., и

состоятъ изъ галекъ и валуновъ; тоже въ Пиренейскихъ долинахъ. Тоже въ долинахъ Америки, на Нилѣ, Индѣ, на многихъ рѣкахъ Тянь-шаня, напр. на Чирчикѣ, Ангренѣ, Чу, Таласѣ и пр. галечниковыя террассы достигаютъ 100 и болѣе метровъ высотою. Весьма вѣроятно, что вышеупомянутые остатки постпліоценоваго періода въ долинахъ нашихъ рѣкъ заключаются собственно въ древнихъ террассахъ ихъ, откуда вымываются рѣкою. Пенкъ, разсматривая причину этихъ террассъ, совершенно справедливо ставитъ ихъ въ связь съ ледниковыми періодами. Въ то время, когда ледники были развиты въ Европѣ гораздо больше, нежели теперь, они нагромождали массу наносовъ въ видѣ моренъ; кромѣ того, при общемъ охлажденіи климата, вызвавшемъ развитіе ледниковъ, вывѣтриваніе также было энергично и способствовало увеличенію рыхлыхъ отложеній. Въ періодъ отступанія или таянія ледниковъ большіе потоки переносили этотъ рыхлый матеріалъ и отлагали въ своихъ долинахъ. Впослѣдствіи потоки уменьшились, прорыли свои русла въ этихъ наносахъ, образовавъ террассы. Сообразно тремъ періодамъ развитія ледниковъ, которые признаются для Европы, три раза наступали успленныя размытія и три раза было спокойное состояніе и отложеніе наносовъ; но такъ какъ размывающая дѣя-

Долина Соммы. Раскопки у Аббевилля.



Фиг. 306.—Поперечный разрѣзъ долины Соммы съ террассами у Аббевилля. К—мѣловые пласты; d—дилювіальный наносъ съ Elephas primigenius и каменными орудіями; l—лёссъ; a—аллювіальный рѣчной наносъ.

тельность значительнѣе, чѣмъ накопляющая, то съ каждымъ разомъ размытіе углубляло долины на бо́льшую величину, чѣмъ толщина наносовъ; отсюда получилось три ряда террассъ, изъ которыхъ верхній рядъ самый древній, а нижній соотвѣтствуетъ послѣднему оледенѣнію. Это подтверждается и фауной террассъ, а также тѣми отношеніями, которыя вызывало оледенѣніе въ поверхности геоида, вліявшаго на измѣненіе абсолютныхъ высотъ и слѣдовательно на размывъ, какъ мы видѣли выше, и производило съ одной стороны измѣненіе въ направленіи потоковъ, а съ другой—превращеніе ихъ въ озера.

Изученіе рѣчныхъ террассъ, хотя весьма трудное и требуетъ педантической осторожности, тѣмъ не менѣе приводитъ къ весьма важнымъ и интереснымъ результатамъ относительно исторіи физическихъ измѣненій данной страны. Къ сожалѣнію раціональное изслѣдованіе террассъ началось только недавно.

Дельты.

Все, что̀ не успѣло отложиться на пути теченія рѣки, проносится ею къ устью, гдѣ вслѣдствіе совершенной остановки теченія осаждается даже самая мельчайшая муть.

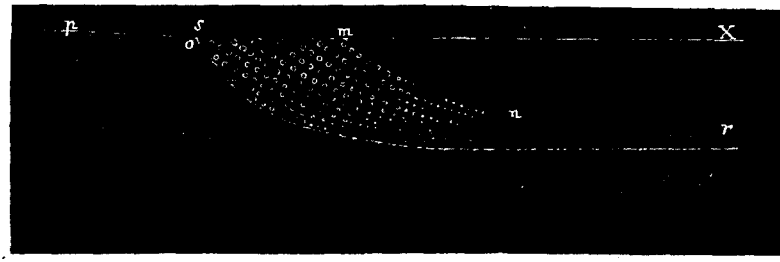
Отложенія эти отличаются наиболѣе развитою слоистостью и достигаютъ громаднаго развитія какъ въ вертикальномъ, такъ и въ горизонтальномъ направленіяхъ. Только немногія рѣки не доходятъ до какого-нибудь бассейна, а, такъ сказать, теряются въ пескахъ пустынь или же исчезаютъ въ трещинахъ, какъ выше указано.

Нѣкоторыя рѣки въ Средней Азіи оканчиваются въ котловинахъ, гдѣ своимъ разливомъ образуютъ мелкія озера или болота, напр. Чу съ оз

Саумаль-куль, Таримъ съ Лобъ-норомъ и пр.; другія же, какъ Теджень, Мурхабъ, постепенно изсякаютъ въ пескахъ. Во время разливовъ, затопляя окружающую мѣстность, они отлагаютъ на ней свой тонкій илъ; такое наилованіе или естественный кальматажъ, если попадаетъ на летучіе пески, укрѣпляетъ ихъ и превращаетъ пустыню въ культурную страну, какъ это въ большихъ размѣрахъ наблюдается на Мурбахѣ, который содержитъ громадное количество минеральныхъ примѣсей, доходящее до $^1/_{50}$.

Большинство же рѣкъ, и притомъ самыя большія, изливаютъ свои воды въ озера или моря, гдѣ и отлагаютъ осадки, имѣющіе большое геологическое значеніе.

Озера, прерывающія теченія рѣкъ, дѣйствуютъ, какъ фильтрующіе бассейны. Нанесенный рѣкою матеріалъ накопляется при впаденіи въ озеро конусомъ, который постепенно растетъ и можетъ заполнить собою все озеро. Подобныя же отложенія въ еще большихъ размѣрахъ происходятъ и въ моряхъ. Такого рода образованія, происходящія въ озерныхъ

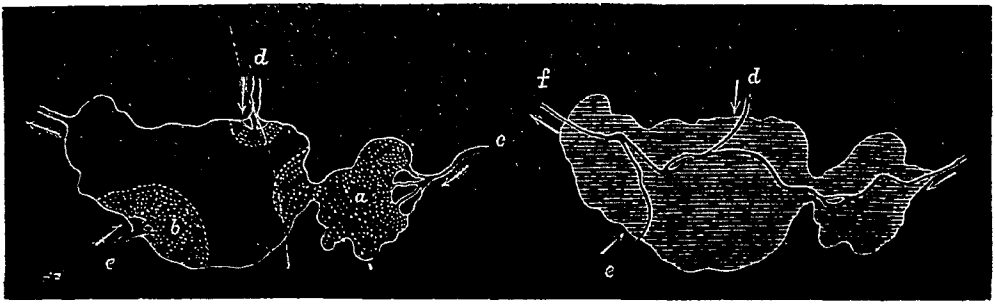


Фиг. 307. — Заполненіе озера рѣчными осадками.

или морскихъ устьяхъ рѣкъ, называютъ дельтами, потому что площадь ихъ обыкновенно имѣетъ треугольную форму, напоминающую греческую букву Δ; причемъ основаніе треугольника обращено къ морю или озеру, а вершина—къ материку. Названіе это впервые дано греками устью Нила, но потомъ перешло на всѣ аналогичныя отложенія.

Озерныя дельты. Какъ уже сказано, при впаденіи рѣки въ озеро прежде всего образуется конусъ въ родѣ осыпи или устьевого наноса въ горахъ, но отличающійся только размѣрами и, главное, слоистостью. Крупные матеріалы осаждаются у самаго берега, а чѣмъ мельче, тѣмъ дальше и самая тонкая муть отлагается только тамъ, гдѣ уже вліяніе теченія совершенно прекращается. Валуны и крупныя гальки отлагаются слоями, наклоненными согласно съ уклономъ дна озера до 30° и даже 35°, но по мѣрѣ приближенія къ срединѣ слои выпрямляются, пока, наконецъ, не сдѣлаются горизонтальными (фиг. 307). Слоистость, рѣзко проявляющаяся въ верхнихъ частяхъ накопленій, въ нижнихъ едва замѣтна. Въ зависимости отъ измѣненій силы потоковъ, слои представляютъ перемежаемость крупныхъ галекъ съ мелкимъ пескомъ (см. фиг. 291—292). Поверхность этихъ накопленій совершенно ровная и возрастаетъ насчетъ поверхности озера какъ въ длину, такъ и въ ширину; черезъ нѣкоторое время рѣка протекаетъ уже по ровной поверхности собственныхъ отложеній и потому начинаетъ осаждать осадки горизонтальными слоями p, m (фиг. 307), располагающимися несогласно на головахъ нижнихъ слоевъ;

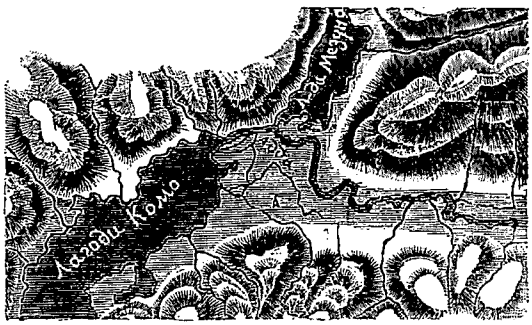
при этомъ рѣка развѣтвляется на подобіе того, какъ это происходитъ въ морскихъ дельтахъ. Первоначальный конусъ, постепенно возрастая, можетъ увеличиться до такихъ размѣровъ, что заполнитъ все озеро, на мѣстѣ котораго образуется аллювіальная равнина (фиг. 308—309). Этотъ процессъ превращенія горныхъ озеръ въ аллювіальныя равнины встрѣчается почти въ каждой поперечной горной долинѣ, проложившей свое



Фиг. 308. Фиг. 309.

Превращеніе озера въ аллювіальную равнину вслѣдствіе сліянія нѣсколькихъ дельтъ.

русло чрезъ породы различной твердости и вкрестъ ихъ простиранія. Прекрасные примѣры представляютъ многія выполненныя озера въ долинѣ Дурансы. Даже большія озера находятся въ такомъ періодѣ засыпанія; напр. въ устье ручья Дундельбахъ въ озерѣ Лугано сверху отложился слой гравія до 3 м. толщиною, а подъ нимъ — перемежающіеся слои тонкаго и крупнаго песка, толщиною 13 м., наклоненные подъ угломъ 35°. Къ серединѣ озера слои выпрямляются, становятся горизонтальными, а песокъ и гальки замѣняются тонкимъ иломъ.



Фиг. 310.—Раздѣленіе оз. Лаго-ди-Комо дельтою р. Адды на два озера: Лаго-ди-Комо и Лаго-ди-Меццола.

Въ Бріенцкомъ озерѣ при впаденіи р. Аары наклонъ слоевъ у берега доходитъ до 30°, въ разстояніи 200 м. только 20°, а въ 1100 м. они горизонтальны. Вслѣдствіе того же уровень озеръ замѣтно понижается: такъ Женевское понизилось на 75 м., Боденское—на 42 м., Сайрамъ-норъ—на 20, Иссыкъ-куль—на 10 м. и т. д. Нѣкоторыя озера раздѣляются на отдѣльныя части, напр.: Бріенцкое раздѣлилось на два осадками Аары, Лаго-ди-Комо—осадками Адды (фиг. 310); Байкалъ также съуживается вслѣдствіе отложеній въ устьѣ Селенги. Въ связи съ пониженіемъ уровня рѣка углубляетъ свое русло и прорѣзываетъ свои старыя накопленія, которыя, обнажаясь, дѣлаются доступными для наблюденія.

Иногда горныя озера выполняются не одною рѣкой, а нѣсколькими c, d, e (см. фиг. 308), накопленія которыхъ *a, b* сливаются и приводятъ къ тому же результату, но гораздо скорѣе. При этомъ если рѣки стекаютъ со склоновъ, состоящихъ изъ различныхъ породъ, то очевидно на разныхъ берегахъ озера отлагающіійся матеріалъ будетъ петрографически различный: напр. въ озерѣ Сайрамъ-норѣ въ Кульджѣ у сѣвернаго берега отлагаются гальки изъ сланцевъ, у южнаго—изъ известняка, у восточнаго—изъ кристаллическихъ породъ, а у западнаго—смѣшанныя.

Въ озерахъ низменностей происходятъ подобныя же явленія, но разумѣется, матеріалъ, приносимый и осаждаемый рѣкой, будетъ состоять преимущественно изъ мелкаго песка и ила. Даже въ рѣдкихъ случаяхъ рѣки образуютъ подобныя отло-

женія при впаденіи въ море; напр., по словамъ Лаппарана [50]), р. Варъ, дебитъ которой варіируетъ отъ 28 куб. м. до 4000 куб. м., нагромождаетъ нѣсколько аналогичныя отложенія, но съ менѣе выраженною слоистостью, потому что волны моря нарушаютъ ее.

Морскія дельты. Описанныя отложенія въ сборномъ бассейнѣ, у подножія горъ, въ руслѣ потоковъ и въ озерахъ, хотя достигаютъ значительныхъ размѣровъ, но далеко уступаютъ тѣмъ обширнымъ, мощнымъ толщамъ, которыя отлагаются въ морскихъ устьяхъ рѣкъ, образуя бары и въ особенности дельты, имѣющія для насъ самое важное значеніе. Дельты занимаютъ обширныя пространства и, находясь въ постоянномъ возрастаніи, оказываютъ большое вліяніе на измѣненія въ очертаніи материковъ. Многія низменности въ нѣсколько тысячъ квадратныхъ миль площадью образованы исключительно наносами рѣкъ у устьевъ на мѣстѣ бывшаго глубокаго моря. Дельты служатъ лучшимъ указателемъ мощной дѣятельности проточныхъ водъ на сушѣ; тѣмъ болѣе, что дельтовыя отложенія, какъ они ни громадны, не совмѣщаютъ въ себѣ всего разрушеннаго и перенесеннаго матеріала, потому что часть его, какъ мы видѣли, не доходитъ до устья, а другая, въ видѣ мельчайшей мути, уносится волнами моря и отлагается на днѣ его вдали отъ материковъ.

Въ морскихъ устьяхъ отлагаются всѣ принесенныя частицы, не исключая самыхъ тонкихъ, и притомъ несравненно скорѣе, нежели въ устьяхъ прѣсноводныхъ—озерныхъ.

Полагаютъ, что въ соленой морской водѣ тончайшій илъ отлагается въ 15 разъ скорѣе, нежели въ прѣсной водѣ; а недавнія изслѣдованія Brewer'a [51]) указываютъ еще на большую разницу, а именно тонкій илъ, осѣдающій въ морской водѣ въ 30 мин., въ прѣсной водѣ требуетъ для осажденія на ту же глубину 30 мѣсяцевъ.

Разумѣется, обширность дельтовыхъ отложеній и ихъ возрастаніе зависятъ прежде всего отъ количества приносимаго матеріала. Рѣки приносятъ въ море какъ химически связанныя части, такъ и механически примѣшанный матеріалъ (ср. также стр. 11—12). Первыя для дельтовыхъ отложеній играютъ менѣе важную роль, потому что большею частью уносятся въ море. Количество ихъ увеличивается во время засухи и уменьшается въ половодье; такъ, въ Темзѣ съ 3,2 въ половодье увеличивается до 5,8 на 100.000 ч. воды въ засуху. Maximum ихъ находится въ рѣкахъ пустынь, а minimum — въ ледниковыхъ. Между ними преобладаютъ карбонатъ и сульфатъ кальція, магнія, хлористыя щелочи, кремнеземъ и органическія вещества; впрочемъ качество и количество солей измѣняются въ зависимости отъ петрографическихъ свойствъ породъ, размываемыхъ рѣкой.

Наибольшее количество приходится на долю углекислаго кальція. Несмотря, однако, на малое содержаніе солей, ихъ проносятся огромныя количества; такъ вычислено, что рѣки Эльба, Дунай, Рейнъ и Рона въ 8000 лѣтъ приносятъ ихъ столько, что общій вѣсъ ихъ равняется вѣсу массы воды, изливаемой тѣми же рѣками въ море въ продолженіе года.

О. Фольгеръ доказалъ, что Рейнъ у Боцена, при содержаніи 2% твердыхъ веществъ, ежегодно приноситъ 59.000.000 куб. ф., что соотвѣтствуетъ кубу, ребро котораго равно 387 ф., Миссиссипи — 46,000 килгр. съ 1 кв. килм. своего бассейна, Амазонка 20,000 килгр., Дунай 36,000 килгр. и пр.

Но гораздо важнѣе механически взвѣшенный матеріалъ, который главнымъ образомъ, обусловливаетъ возрастаніе дельтъ. Количество его значительно увеличивается въ половодье и уменьшается въ засуху, слѣдова-

тельно обратно химическимъ примѣсямъ; такъ, напр., въ Ронѣ у Ліона оно измѣняется отъ 0,0001 до 0,00001. Въ Кубани—отъ $^1/_{300}$ до $^1/_{10000}$; въ Дунаѣ въ половодье $^1/_{2400}$, а въ межень $^1/_{33000}$; въ Миссиссипи до $^1/_{1500}$; въ Хуанъ-хо до $^1/_{200}$; въ Гангѣ $^{87}/_{100000}$; въ Нилѣ $^{100}/_{100000}$; въ Аму-дарьѣ $^1/_{200}$ до $^1/_{70}$; въ Мургабѣ $^1/_{50}$ и въ Терекѣ до $^1/_{35}$; двѣ послѣднія рѣки—едва ли не самыя богатыя примѣсями.

По составу рѣчной илъ походитъ на нѣкоторыя древнія глинистыя отложенія, какъ видно изъ таблицы сравнительныхъ анализовъ ила различныхъ рѣкъ и нѣкоторыхъ породъ.

№№	НАЗВАНІЕ МАТЕРІАЛА.	$CaOCO_2$	$MgOCO_2$	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	H_2O	Органич. веществ и потеря.
1	Илъ Рейна у Бонна въ половодье.	—	—	57,73	10,75	14,42	2,73	0,24	0,89	0,39	9,64	3,31
2	Илъ Рейна выше Боденскаго оз. .	30,76	1,24	50,14	4,77	2,69	0,77	0,34	0,55	0,54	0,99	1,66
3	Илъ Вислы у Кульма	—	—	49,67	11,98	11,73	0,88	0,27	1,29	0,69		23,21
4	Илъ Дуная у Вѣны въ межень . . .	24,08	6,32	45,02	7,87	9,16	0,34	0,42	—	—	4,58	2,25
5	Илъ Нила — среднее изъ 8 пробъ.	3,72	—	54,59	11,66	20,22	1,91	0,76	0,47	0,55	—	5,70
6	Илъ Аму-дарьи . .	18,69	—	51,09	16,84	4,67	0,53	2,49	2,06	1,53	1,30	—
7	Илъ глубокаго моря	—	—	50	17	10	1,6	1,5	2,8	4,9		3,7
8	Лессъ средняго состава	20	2,5	60	9	5	—	—	2		1	—
9	Глинистый сланецъ средняго состава.	—	—	62	20	7	0,5		2	1	6,5	—

Чтобы точнѣе судить о количествѣ матеріала, переносимаго рѣками, приведемъ нѣсколько примѣровъ. По изслѣдованіямъ Форшея (съ февраля 1851 до февраля 1852), р. Миссиссини у Каррольтона, выше Новаго Орлеана, ежегодно проноситъ 812.500.000.000 американскихъ фунт. землистыхъ веществъ (или 368.875.000.000 килогр.), что составитъ массу, площадь которой равна 1 англ. квадр. милѣ, а высота — 73,4 м.; кромѣ того перекатываніемъ по дну доставляетъ около 750.000.000 куб. ф. (21.250.000 куб. м.) галекъ и валуновъ, что возвыситъ ту же площадь еще на 8,2 м., такъ что всего будетъ площадь въ 2,59 кв. километра, высотою 81,7 м.

Р. Гангъ при Газепурѣ, по изслѣдованіямъ Эвереста, проноситъ весьма различное количество въ разное время года, а именно:

въ 122 дождливыхъ дня	6.082.041.600	англ. к. ф.
» 5 зимнихъ мѣсяцевъ	247.881.600	» » »
» 3 сухихъ мѣсяца	38.154.240	» » »
Всего въ годъ	6.368.077.440	англ. к. ф.

или около 180.000.000 куб. м.; это такое количество, которое въ состояніи площадь въ $228^1/_2$ англ. кв. миль возвысить на 1 англ. футъ или 1 квадр. километръ на 180 м., или,—какъ сравниваетъ Ляйэлль—равно 66 египетскимъ пирамидамъ.

Р. Индъ проноситъ ежегодно 5.866.000.000 к. ф., или 166.000.000 куб. м.

Аму-дарья, по изслѣдованіямъ г. Дорандта [52]) (съ октября 1874 по октябрь

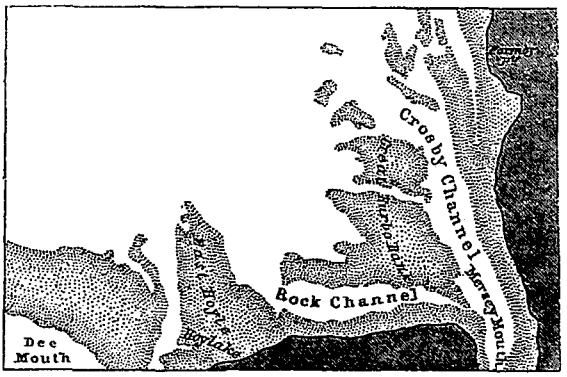
1875), проноситъ 44.854.000.000 куб. м., что могло бы образовать призму въ 1 кв. километръ въ основаніи и высотою почти 45 м.

Рейнъ, по изслѣдованіямъ Гребенау, въ 30 дней половодья проноситъ около 2.000.000 (1.944.000) куб. м. землистыхъ веществъ; Волга въ 50 дней половодья, по наблюденію Мрочовскаго, пронесла около 1.000.000 куб. м. осадковъ.

Въ Кубани одинъ рукавъ Переволока проноситъ въ годъ 200.000 куб. саж. осадковъ. Ріонъ проноситъ около 1.000.000 куб. саж. (точнѣе 967.645) осадковъ. Терекъ только въ теченіе одного іюля проноситъ около 2.500.000 куб. саж. наносовъ. «Вся длина рукавовъ, — замѣчаетъ М. Н. Герсевановъ [53]), — развѣтвленій р. Терека отъ Новогладковской станицы до моря составляетъ около 350 вер., и потому этой массы земли хватило бы, при средней ширинѣ развѣтвленій въ 50 саж., на поднятіе ихъ руселъ болѣе, чѣмъ на 1 арш., или 0,34 с.»

Обь, Енисей и Лена уносятъ въ періодъ 500 лѣтъ количество осадковъ, равное 7,5 куб. милп.

Рр. Нилъ, По, Хуанъ-хо, Терекъ, Кубань, Сыръ-дарья, Шатъ-эль-Арабъ, исполинская Амазонка, Ориноко, Лаплата и многія другія проносятъ еще большія массы твердыхъ веществъ. Очевидно, что весь этотъ громадный сносъ, производимый рѣками, долженъ отражаться на пониженіи поверхности бассейна ихъ. Не принимая во вниманіе другія отложенія, а только приносимыя къ морю, Гуппи вычислилъ число лѣтъ, которыя рѣка употребляетъ, чтобы понизить площадь бассейна на 1 мм.; по его даннымъ оказывается, что р. По понижаетъ на 1 мм. въ 2,4 года, Хуанъ-хо — въ 4—6, Рона — 5,1, Гангъ — 7,9, Янъ-цзе-Кіангъ — 12,5 лѣтъ, Миссисипи — 20,1, Дунай — 23, Темза — 32,2, Пейхо — 84,7, Лаплата — 98,4. По словамъ Рида, площадь Англіи отъ дѣйствія рѣкъ понижается на 1 мм. въ $42^1/_2$ года. Но очевидно горы понижаются быстрѣе, потому что часть смытаго съ нихъ матеріала не доходитъ до моря, а отлагается въ долинахъ, низменностяхъ, а слѣдовательно не вводилась въ вычисленія, основанныя только на количествѣ землистыхъ веществъ, проносимыхъ въ низовьяхъ рѣкъ (см. также стр. 12).



Фиг. 311. — Подводная дельта р. Мерсей (около Ливерпуля).

Все громадное количество минеральнаго матеріала осаждается при впаденіи рѣки въ море, и если не препятствуетъ размывающая дѣятельность моря, то образуетъ дельты. Въ противномъ случаѣ, напр. на берегахъ съ сильными приливами и отливами, а также съ быстрыми морскими теченіями вблизи береговъ или при нѣкоторыхъ господствующихъ вѣтрахъ дельты не образуются, и иногда получается открытое или воронкообразное устье, или эстуарій.

Въ эстуаріи значительному накопленію осадковъ препятствуютъ приливы и отливы, которые разрушаютъ отложенія рѣки и уносятъ ихъ въ море, гдѣ и отлагаютъ; иногда же теченія относятъ илъ въ сторону и отлагаютъ вдоль сосѣднихъ береговъ; напр. илъ Амазонки замѣтенъ даже въ разстояніи 350 в. отъ берега; онъ уносится теченіемъ къ сѣверу и, отлагаясь, производитъ низкіе, болотистые берега. Къ рѣкамъ, не образующимъ дельтъ, принадлежатъ многія большія рѣки, какъ-то: р. Св. Лаврентія, Ріо-деля-Плата, Темза, Везеръ, Тахо, Жиронда, Сена и др.

Для многихъ изъ нихъ, впрочемъ, до сихъ поръ еще не выяснены причины, обусловливающія отсутствіе дельтъ. Нѣкоторыя, вмѣсто настоящей, образуютъ подводную дельту, какъ, напр., р. Мерсей (фиг. 311), которая, по своей формѣ, ничѣмъ не отличается отъ настоящей дельты, но только не выступаетъ надъ уровнемъ моря. Но почти всѣ рѣки при впаденіи въ море образуютъ подводную песчаную мель, называемую баръ.

Такъ какъ бары составляютъ часто громадную преграду для судоходства, то образованіе ихъ уже давно обратило на себя вниманіе. Подробныя изслѣдованія показали, что процессъ образованія баровъ довольно сложный. По описанію Клодена [54]), онъ заключается въ слѣдующемъ: когда вода рѣки встрѣчается въ устьѣ съ водою моря, то первая, внезапно задержанная въ своемъ движеніи, естественно осаждаетъ находящіяся въ ней твердыя частицы; послѣ того рѣчная вода, какъ болѣе легкая, продолжаетъ течь по поверхности морской, а движущаяся внизу, въ противоположномъ направленіи, морская вода подхватываетъ опускающіяся земнистыя частицы и уносить ихъ назадъ ближе къ берегу,—тогда болѣе тяжелыя части падаютъ на дно моря. Эти наносы, постепенно скопляясь, образуютъ баръ, а между баромъ и берегомъ отлагается илъ, относимый приливомъ обратно въ рѣку. Во время разлива рѣки, усилившійся прѣсноводный потокъ выдвигаетъ весь баръ далѣе въ море; напротивъ, въ періодъ мелководья морская вода береть перевѣсъ надъ рѣчною и переноситъ баръ ближе къ берегу. Слѣдовательно баръ есть, такъ сказать, результатъ борьбы рѣчныхъ и морскихъ водъ. Онъ обыкновенно представляетъ изогнутый валъ, въ формѣ полумѣсяца, выпуклая сторона котораго обращена или къ морю, или къ берегу, смотря по преобладанію силы морской или рѣчной воды; при перевѣсѣ рѣчной, выпуклая сторона обращена къ морю — и наоборотъ; примѣромъ бара могутъ служить хорошо изученные бары въ устьяхъ: Миссисипи, Дуная, Роны и пр. Нѣкоторые бары произведены почти исключительно моремъ; это—песчаные валы, идущіе поперекъ рѣки и запирающіе входъ въ нее, но о нихъ будетъ рѣчь впереди, при описаніи дѣятельности моря. Если море бурное и приливы достигаютъ значительной высоты, то приливная волна поднимается высоко вверхъ по рѣкѣ и наносы послѣдней отлагаются въ видѣ песчаныхъ и иловатыхъ мелей далеко отъ бара въ руслѣ рѣки; мелкія частицы не могутъ осаждаться по причинѣ постояннаго волненія въ устьѣ и относятся или въ рѣку, или же въ море съ отливомъ. Въ этихъ случаяхъ баръ состоитъ только изъ крупнаго песка и гравія, которые также постоянно двигаются взадъ и впередъ отъ дѣйствія прилива и отлива. Такого рода явленія наблюдаются на опасномъ и хорошо изученномъ барѣ устья Адура во Франціи. Для улучшенія фарватера на барѣ прибѣгаютъ или къ взмучиванію его, причемъ поднимающаяся муть уносится и фарватеръ углубляется, какъ это дѣлали на Дунаѣ, Ронѣ, или же строятъ молы, т.-е. каменныя плотины, проведенныя до моря, напр. на Адурѣ, или жетэ, т.-е. боковыя стѣнки, съуживающія устье рѣки и увеличивающія скорость теченія, напр. на устьѣ Роны.

Иногда баръ выступаетъ надъ поверхностью моря и образуетъ естественную плотину. Плотина эта подъ вліяніемъ вѣтра покрывается дюнами. Отдѣляя часть морской воды, она образуетъ прибрежныя озера, ильмени, въ которыхъ ничто не мѣшаетъ спокойному и быстрому отложенію осадковъ.

Если же ничто не препятствуетъ отложенію рѣчной мути въ устьѣ, то русло рѣки постепенно удлиняется, возникаетъ выступъ материка, мысы и новые острова, впослѣдствіи соединяющіеся между собою; рѣка раздѣляется на рукава, которые тоже претерпѣваютъ различныя измѣненія. Возникающая, такимъ образомъ, полоса земли, называется, какъ уже упомянуто, дельтою, въ сущности представляетъ такую же коническую насыпь, какъ осыпи въ горахъ или дельты въ озерахъ, но отличается отъ нихъ, во-первыхъ, весьма мелкимъ матеріаломъ, во-вторыхъ, ясною слоистостью и, въ третьихъ, обширными размѣрами въ горизонтальномъ и вертикальномъ направленіи.

Характеръ и свойство поверхности дельтъ. Всѣ большія дельты представляютъ почти совершенно ровную поверхность, только иногда разнообразящуюся небольшими плоскими увалами, да на краяхъ нерѣдко цѣпью озеръ; дельтовая низменность незамѣтно сливается съ моремъ, иногда же отдѣляется отъ него цѣпью песчаныхъ дюнъ, напр. Рейнъ, Сей-хунъ, Джей-хунъ; иногда края дельты ограничены подобными валами,—особенно въ верхней части дельты, напр. Мемель, Дунай, Волга и пр. Такіе валы сопровождаютъ иногда и побочные притоки. Дельто-

выя низменности періодически затопляются вслѣдствіе разлива рѣки или же бурь, которыя нагоняютъ воду моря; это часто способствуетъ расширенію и разростанію дельты.

Величина площадей, которыя образовались въ новѣйшее геологическое время, при помощи дельтъ сравнительно значительна; такъ, въ спеціальной монографіи Креднера [55]) находимъ слѣдующія данныя о размѣрахъ нѣкоторыхъ дельтъ:

Названіе дельтъ.	Велич. площ. въ гектарахъ.	Длина въ километрахъ.	Ширина въ километрахъ.
Гангъ и Брамапутра	8.254,435	354	321,8
Миссиссипи	3.185,933	320	300
Нилъ	2.219,400	170,6	207,7
Дунай	258,795	74,2	74,2
Рона	75,000	—	—
Нигеръ	—	148,4	326,5
Мемель	—	51,9	46,3
Волга	12,000 кв. вер.	150	100
Уралъ	—	—	53,3
Аму-дарья	10,000 кв. вер.	—	—

Границы дельтъ не всегда можно опредѣлить на основаніи одной топографической карты, такъ какъ старое правило, что начало дельты надо считать съ пункта раздѣленія рѣки, не всегда вѣрно; такъ, дельта Волги (фиг. 312) начинается немного выше Астрахани (миляхъ въ 10), а раздѣленіе ея на рукава начинается у Ахтубы (въ 50 миляхъ); съ другой стороны, дельта Миссиссипи (фиг. 313) начинается гораздо выше раздѣленія ея на рукава; поэтому для опредѣленія границъ надо руководствоваться характеромъ минеральныхъ отложеній и сравненіемъ ихъ съ болѣе древними плейстоценовыми или еще болѣе древними. Гдѣ мѣстность плоская, берега рѣки не рельефны, тамъ для точности опредѣленія необходимо буреніе, т.-е. надо руководствоваться не наружнымъ видомъ дельты, а составомъ ея. Наружный видъ дельтъ различный, и измѣняется съ древностью; вообще же можно сказать, что онъ зависитъ отъ раздѣленія рѣки на протоки, и въ этомъ отношеніи, согласно съ Георгомъ Креднеромъ [56]), дельты можно раздѣлить:

1) Когда рѣка отъ главнаго протока отдѣляетъ нѣсколько новыхъ и при томъ отлагаетъ дельту;

а)—или равномѣрно съ обѣихъ сторонъ, напр. Нигеръ, Иравадди, Индъ, Маганади, Миссиссипи (фиг. 313);

б)—или же только на одной: Атрато, Гангъ, Мемель, Ориноко, Нева (фиг. 314).

2) Когда рѣка раздѣляется на нѣсколько приблизительно одинаковыхъ рукавовъ, которые

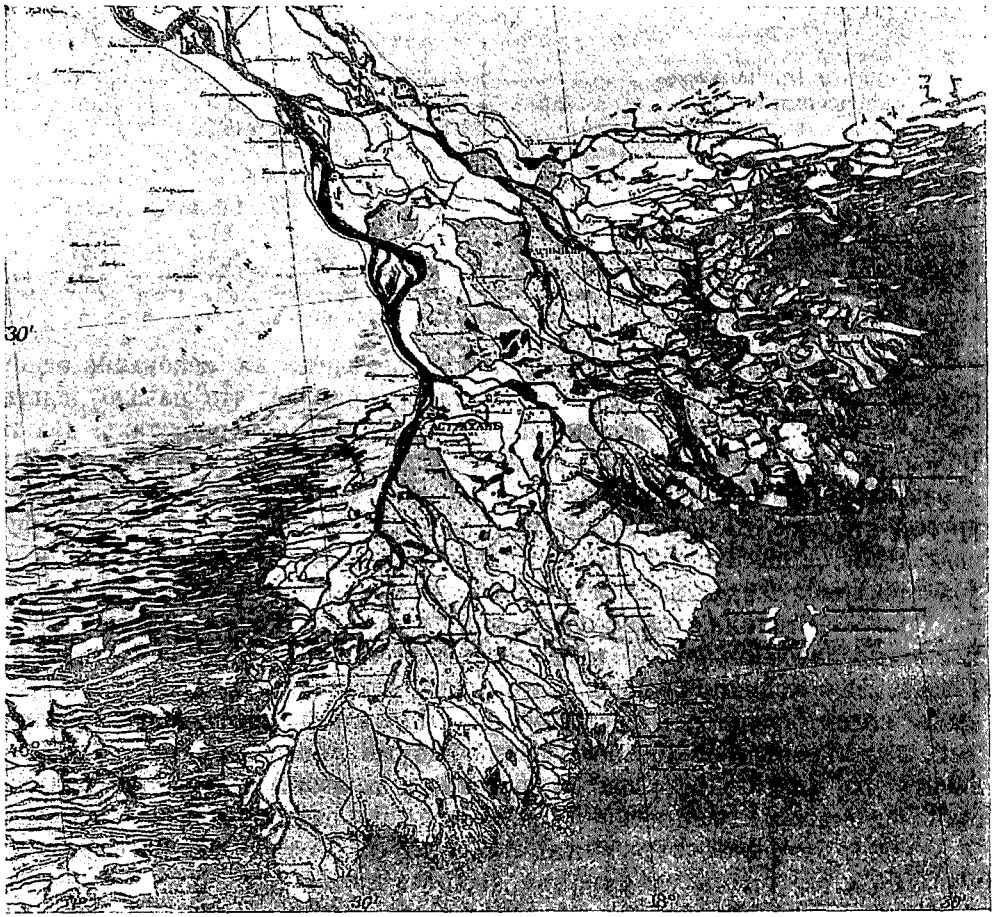
а)—или не раздѣляясь доходятъ до моря, напр. Дунай, Рона, Меконгъ, Замбези, Аму-дарья, Лена (фиг. 315);

б)—или же раздѣляются на много вѣтвей—Нилъ, Волга (фиг. 312).

3) Когда рѣка образуетъ запутанную сѣть протоковъ, раздѣленныхъ островами, напр. Мэкэнзи, Печора (фиг. 316).

Вообще наружный видъ дельты находится въ зависимости отъ формы бухты или залива, которые она выполняетъ.

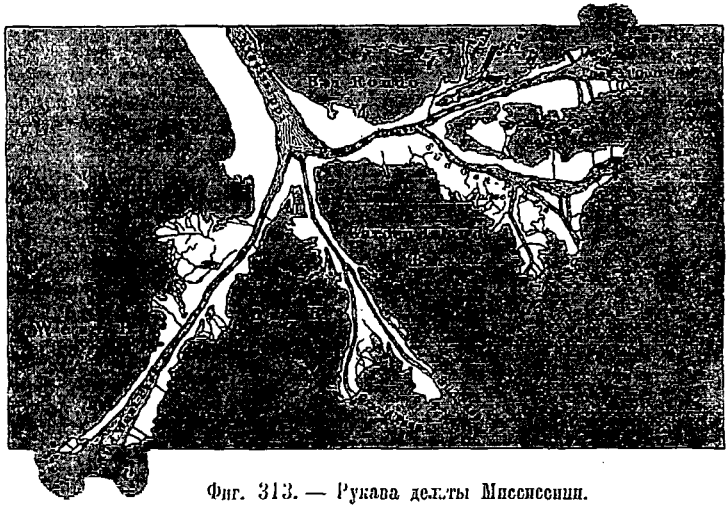
Мощность и составъ отложеній въ дельтахъ. Мощность дельтовыхъ отложеній зависитъ отъ глубины бассейна, который заполняется рѣчными осадками. При наклонѣ дна мощность увеличивается по мѣрѣ удаленія въ море; неровности дна обусловливаютъ неравномѣрность въ толщинѣ. Иногда толщина доходитъ до большихъ размѣровъ: въ дельтѣ Нила около 10—14 м.; въ дельтѣ Рейна—60 м., Роны—до 60—100 м.



Фиг. 312. — Дельта Волги.

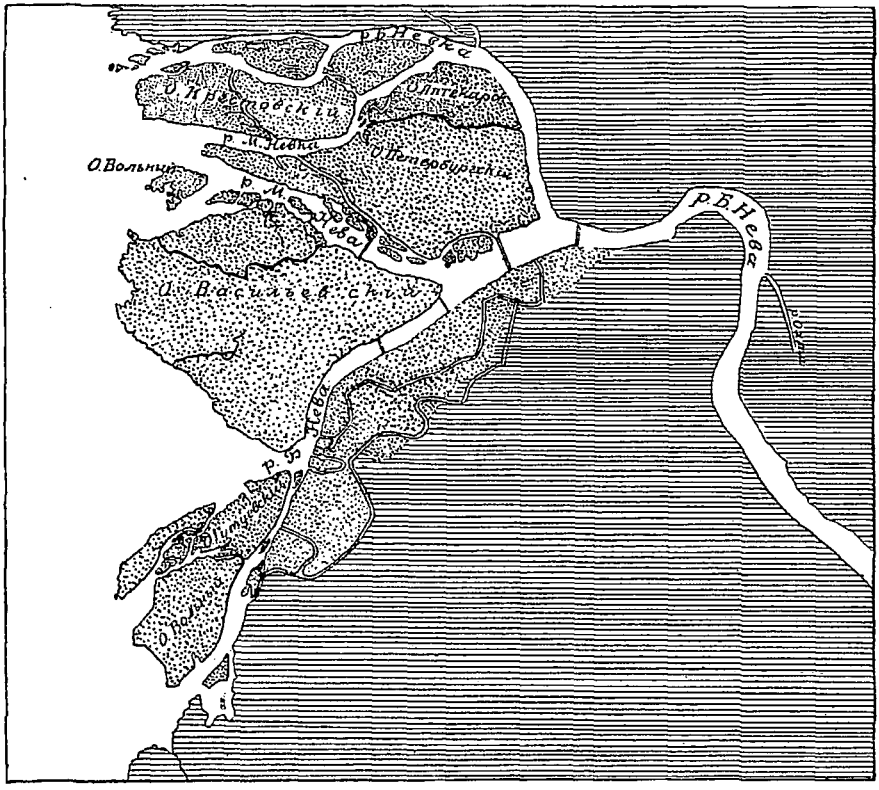
При буреніи въ 1847 г. дельты По толщина оказалась до 122 м., а около Венеціи при Каза-де-Діо около 172,5 м.; тоже, по Ляйэллю, въ дельтѣ Миссиссипи толщина осадковъ 161 м., а у озера Пончартрена даже на глубинѣ 183 м. не окончились дельтовые осадки; но если нижніе слои Миссиссипи, состоящіе изъ синеватой глины, причислить къ древнему дилювію, какъ это полагаетъ Хильгардъ, на основаніи органическихъ остатковъ, которые почти не отличаются отъ современныхъ моллюсковъ, толщина значительно уменьшится и будетъ не болѣе Нильской, т.-е. около 16 м., но за то она быстро возрастаетъ по направленію къ Мексиканскому заливу, глубина котораго близъ устья около

400 саж. Тоже и для Ганга, гдѣ аллювій подстилается известняками, перемежающимися съ пескомъ и глиною; буреніе у Калькутты въ 1835 году дало толщину, равную 17,67 м.



Фиг. 313. — Рукава дельты Миссисипи.

Въ составъ дельтовыхъ образованій входятъ какъ неорганическіе матеріалы въ видѣ измельченнаго ила, песка и отчасти гальки, такъ и органическій, особенно растительный, сносимый рѣкою или же погребенный на мѣстѣ;

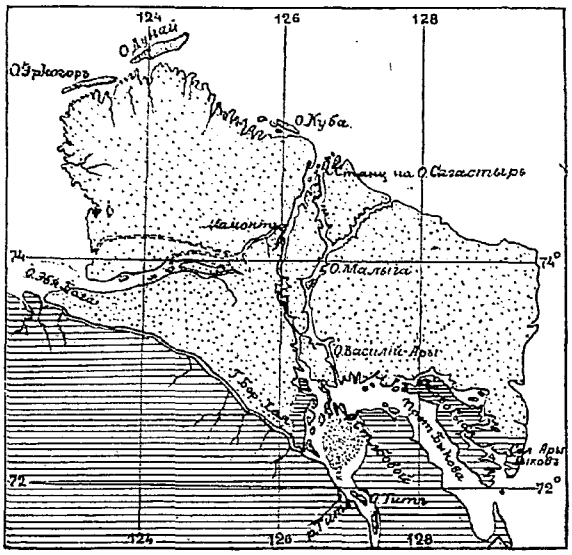


Фиг. 314. — Дельта Невы.

животные остатки въ видѣ раковинъ моллюсковъ, фораминиферъ и костей позвоночныхъ; но въ количественномъ отношеніи животные остатки за-

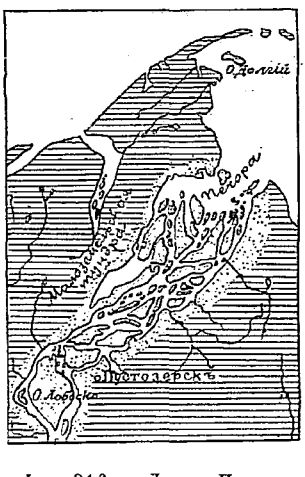
нимаютъ послѣднее мѣсто, а первое — минеральный матеріалъ, который приносится не только механически, но и въ растворѣ.

Относительно петрографическаго качества минеральнаго матеріала, его состава и твердости, хотя и мало еще сдѣлано, но тѣмъ не менѣе о качествѣ его можно судить по аналогіи вообще съ рѣчными отложеніями. Въ дельтовыхъ отложеніяхъ собираются представители самыхъ разнообразныхъ породъ, которыя залегаютъ въ бассейнѣ данной рѣки. Въ мути и пескѣ чаще всего, разумѣется, находятся минералы, лучше другихъ сопротивляющіеся разложенію; такъ, весьма распространенъ кварцъ, глинистые продукты разложенія породъ—это два главныхъ элемента; вмѣстѣ съ ними находятся часто мелкіе осколки и листочки слюды, роговой обманки, полевого шпата. Въ дельтахъ озеръ, особенно горныхъ, нерѣдко попадаются щебень, галька и валуны близлежащихъ породъ, тогда какъ въ дельтахъ морей — преимущественно песчаноглинистые осадки, по составу часто совершенно тождественные лёссу; это доказываютъ и анализы, напр. анализъ дельтовыхъ отложеній Рейна, произведенный Бишофомъ, Нильскаго ила—Ренье, гдѣ найдены, кромѣ вышеупомянутыхъ, кусочки роговика и эпидота, величиною отъ 0,—0,01 милл.; Кнопъ, основываясь на своихъ анализахъ Нильскаго ила, приписываетъ плодородность его содержанію углекислаго барита, окиси желѣза, большой способности всасыванія и бѣдности органическихъ веществъ; въ илѣ Аму-дарьи Шмидтъ нашелъ фосфорную кислоту. Крупность зеренъ въ этихъ отложеніяхъ чрезвычайно разнообразна — отъ самыхъ мелкихъ частицъ до большихъ галекъ; въ Рейнѣ муть до того мелка, что, по опыту Бишофа, потребовалось мѣсяца, чтобы она осѣла, въ Миссиссипи—цѣлую недѣлю, въ водѣ Аму-дарьи—черезъ сутки и т. д.



Фиг. 315. — Дельта Лены.

Разумѣется, всѣ эти части, какъ и гальки, всегда окатаны, съ округленными углами. Степень твердости дельтовыхъ осадковъ зависитъ отъ связывающаго цемента, напр. углекислаго кальція въ дельтѣ Роны, а также и отъ мощности осадковъ, благодаря которой нижніе рыхлые, мягкіе слои уплотняются и дѣлаются твердыми.



Фиг. 316. — Дельта Печоры.

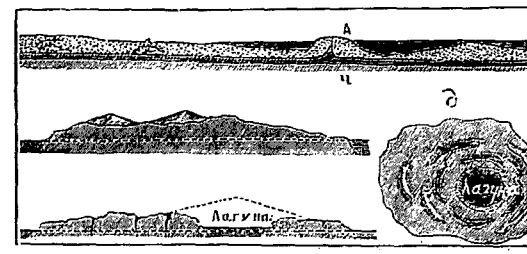
Химически растворенный матеріалъ приносится сравнительно мало, но тѣмъ не менѣе также участвуетъ въ строеніи дельтъ, особенно углекислый кальцій, который, какъ упомянуто, цементируетъ рыхлыя отложенія, напр., въ дельтахъ Роны, По, во многихъ рѣкахъ М. Азіи, гдѣ въ дельтахъ находится известковый песчаникъ, конгломератъ и пр.

Растительные остатки узнаютъ по потерѣ при прокаливаніи, за вычетомъ воды; мѣстами же почва до того окрашена въ черный цвѣтъ, что мѣстные жители называютъ ее „смолой“; но иногда находятся также цѣлые стволы и слои болотныхъ растеній,—напр. въ дельтахъ Миссиссипи наблюдаются цѣлые слои плотно слежавшихся стволовъ древесныхъ растеній, причемъ нѣкоторые съ корнями сохранились необыкновенно хорошо. Масса такой растительности находится въ дельтѣ Мэкэнзи. Часто изъ отложившейся растительности въ дельтѣ образуются слои лигнита или торфа,—напр. въ дельтѣ Ганга найдены при буреніи обугленные стволы на глубинѣ отъ 9 до 15 м., и между ними особенно преобладала Heritiera litoralis—форма, встрѣ-

чающаяся часто въ Бенгалѣ. Въ дельтѣ По находили въ 1877 г. растительныя скопленія на 4 горизонтахъ, изъ которыхъ самый нижній на глубинѣ 100 м.; въ дельтѣ Рейна найдены торфяники на глубинѣ 60 м. и пр.

Животные остатки хотя находятся, но рѣдко; такъ, при томъ же буреніи въ дельтѣ По найдены въ верхнихъ слояхъ морскія формы—Cardium, а въ нижнемъ, вмѣстѣ съ ними, прѣсноводныя и наземныя формы Succinea, Pupa, Helix и др.; также по изслѣдованію Эренберга въ илѣ дельтъ находится много инфузорій, такъ онъ нашелъ въ дельтѣ Миссиссипи: 44 Polygastrica, 37 Phytolitariae и 2 прѣсноводныхъ Polythalamiae, въ дельтѣ Нила—160 Phytolitariae; остатки позвоночныхъ попадаются еще рѣже, напр. въ дельтахъ По, Ганга—кости крокодила, черепахи и др., Киркъ нашелъ въ дельтѣ Замбези кости антилопы, льва, крокодила, черепахи и др. Разумѣется, находки эти были бы гораздо чаще, если бы изслѣдованіе внутренняго строенія дельтъ не представляло столько трудностей, благодаря отсутствію обнаженій и рѣдкости работъ на нихъ.

Нерѣдко изъ дельтовыхъ осадковъ, вслѣдствіе разложенія органическихъ веществъ, отдѣляются газообразные продукты; такъ, при буреніи дельты По, на глубинѣ 44—55 м., изъ слоя песчаника стала выдѣляться углекислота съ такою силою, что подбрасывала песокъ на 12 м. надъ устьемъ скважины; тоже въ дельтѣ Миссиссипи около Нью-Орлеана выдѣлялся горючій газъ съ такою силою, что его хотѣли эксплуатировать для освѣщенія, и въ началѣ онъ производилъ какъ бы изверженіе, такъ что образовались маленькіе конусы съ кратеромъ наверху, называемые mud-lumps spring (фиг. 317) и извергавшіе горючій газъ (углекислоты 9,41, болотнаго газа 86,20, азота 4,39), илъ съ инфузоріями и соленую воду; нѣкоторые конусы извергали въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ. Иногда, напр., въ дельтахъ Нигера и Рейна въ Боденскомъ озерѣ отдѣляется также и сѣроводородъ. Эти явленія весьма часто наблюдаются въ отмеляхъ при устьяхъ большихъ и глубокихъ рѣкъ, берега которыхъ покрыты лѣсами; стволы деревьевъ, вырванные съ корнями во время ледохода и половодья, сплавляются до устья, гдѣ они отлагаются въ илѣ дельты и быстро заносятся; при разложеніи ихъ образуются болотный газъ и углекислота.



Фиг. 317.—Mund-lumps въ дельтѣ Миссиссипи: A—разрѣзъ дельты съ mund-lumps; *ч*—основная синяя глина и песокъ; *д*—планъ, профиль и разрѣзъ конуса mund-lumps.

Нѣкоторые грязные вулканы въ Еникале на Тамани, вѣроятно, такого же происхожденія.

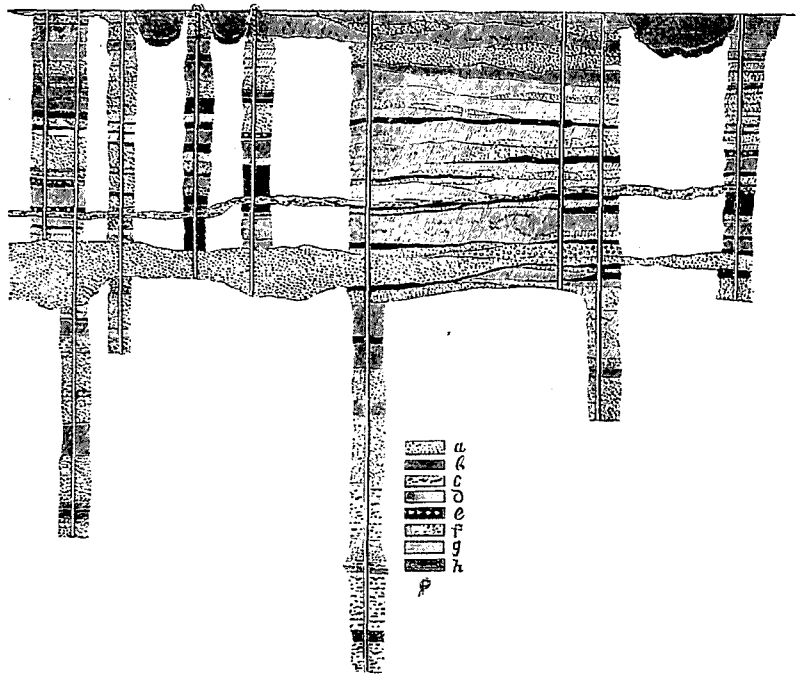
Что касается группированія или формы залеганія дельтовыхъ осадковъ, то объ этомъ можно заключить по нѣкоторымъ даннымъ, добытымъ при буреніи въ дельтахъ По, Ганга и пр. Нужно замѣтить, что различные слои болѣе или менѣе однообразнаго состава залегаютъ почти всегда горизонтально или съ самымъ небольшимъ волнообразнымъ, плоскимъ изгибомъ и при томъ отдѣльные слои выклиниваются часто на весьма небольшомъ пространствѣ.

Приведемъ, для примѣра, разрѣзъ, составленный на основаніи 20 буровыхъ скважинъ въ дельтѣ По (фиг. 318): 3,0 метра—растительной земли, 3,0 метра желтоватаго песку, 2,5 м.—буроватой глины, 1,6—крупнаго желтоватаго песку, 3,3 м.—мелкаго желтоватаго песку, 27,0 м.—бурой глины, съ песчано-глинистыми прослойками, 1,0 м.—желтоватаго песку, 5,0 м.—бурой глины, 1,6 м.—лигнита, содержащаго песокъ съ газомъ и водой, 1,5 м.—желтоватаго песку, 8,0 м.—бурой глины.

9,5 м.—водоноснаго песку, питающаго артезіанскіе колодцы, 15,5 м.—бурой глины, 1,6 м.—лигнита, содержащаго сѣрый песокъ, 12,5 м.—желтоватаго песку, 3,4 м.—бурой глины, 43,0 м.—желтоватаго слюдистаго песку, 1,0 м.—слабоводоноснаго, 28,5 м.—желтоваго слюдистаго песку; вся толщина—172,5 м.

Совершенно подобныя же отложенія находятся и на противоположномъ берегу Адріатическаго моря—въ Истріи. Тотъ же характеръ наслоенія повторяется въ дельтѣ Нила. Изъ этого видно, что морскія дельты отличаются отъ озерныхъ строеніемъ и составомъ.

Скорость возрастанія дельтъ. Хотя многія рѣки, отлагая у устья переносимый матеріалъ, и увеличиваютъ свои дельты, но тѣмъ не менѣе при нѣкоторыхъ условіяхъ дельты не возрастаютъ, а уменьшаются, напр. при



Фиг. 318. — Разрѣзъ дельты По у Венеціи по буровымъ скважинамъ:
a—водоносный слой песка, питающій артезіанскіе колодцы; b—земля, полученная вслѣдствіе искусственныхъ плотинъ; c—песокъ съ лигнитомъ, газами и водой; b—бурая глина; e—слои лигнита; f—желтый песокъ; g—слабые водоносные слои; h—осадки на днѣ современнаго русла рѣки По; ρ—буровыя скважины съ выдѣленіемъ газовъ.

сильныхъ приливахъ моря и пр., какъ это замѣчается въ Далмаціи, гдѣ плодородная дельта р. Наренты превращается въ нездоровую, болотистую мѣстность. Но вообще приростъ дельтъ бываетъ не одинаковъ въ различное время. О величинѣ этого прироста заключаютъ изъ сравненія современнаго очертанія дельтъ съ древнимъ, если таковой возможно прослѣдить по старымъ картамъ; изъ увеличенія дельтъ въ извѣстный періодъ выводятъ средній годовой приростъ; но многіе изъ этихъ разсчетовъ только весьма приблизительны. Возрастаніе это, впрочемъ, не превышаетъ 100 м. въ годъ.

Для дельты Миссисипи Талькетъ полагаетъ, что въ различныхъ мѣстахъ она возрастаетъ неодинаково, но въ среднемъ—около 80 м. въ годъ (фиг. 313). Лучшіе изслѣдователи дельты Миссисипи, Гумфри и Абботъ, принимаютъ это число самымъ вѣрнымъ и относительно точнымъ. Гораздо точнѣе наблюденія надъ увеличеніемъ дельты сдѣланы на р. По, по отступанію г. Адріа отъ моря, такъ какъ во вре-

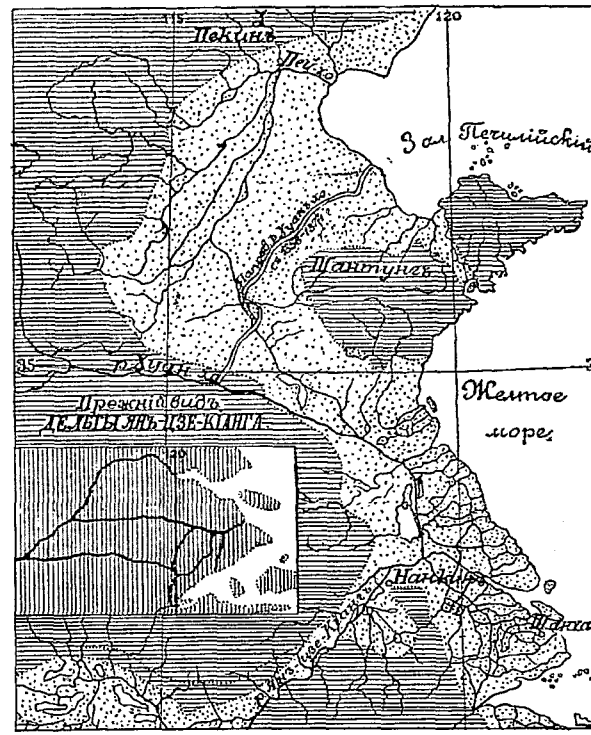
мена римлянъ городъ этотъ стоялъ у моря и былъ славною гаванью, а теперь находится въ 35 километрахъ отъ моря, тоже г. Равенна; поэтому полагаютъ, что въ періодъ времени отъ 1200 до 1600 г. увеличеніе дельты происходило на 25 м. въ годъ, отъ 1600 до 1804—на 70 м. въ годъ, а въ новѣйшее время—на 200 м. въ годъ.

Дельта Роны въ Женевскомъ озерѣ увеличивается ежегодно на 3 м.; это вычислено по отступанію порта Валле, лежавшаго нѣкогда на самомъ берегу озера; но увеличеніе дельты этой рѣки въ Средиземномъ морѣ гораздо сильнѣе—около 12 м. въ годъ, а послѣднее время, особенно съ 1737 г., это увеличеніе пошло еще быстрѣе—около 58 м. въ годъ; увеличеніе дельты Роны выведено на томъ основаніи, что въ 400 г. до Р. Х. точка раздѣленія на рукава лежала въ 24 килом. отъ устья, а нынѣ—въ 50 килом. и что по Полибію, Плинію и др., современная прекрасная аллювіальная равнина въ то время представляла болотистую низменность. Послѣдующее же быстрое возрастаніе замѣчено по отступанію маяка, поставленнаго въ 1737 г.; тоже и съ другими сосѣдними рѣками; такъ дельта Героль въ Ліонскомъ заливѣ увеличивается на 2 м. въ годъ, Арно на 6 м. и т. д.

Въ дельтѣ Тибра гор. Остіа лежитъ въ 6,5 килом. отъ залива, а прежде лежалъ въ 2-хъ. Дельта Дуная возрастаетъ крайне неравномѣрно, также какъ и дельта Нила. Къ наиболѣе сильно возрастающимъ принадлежатъ дельты Тигра и Евфрата, которыя, по наблюденіямъ Раулинсона, въ теченіе 60 лѣтъ увеличились на 3,2 килом., а въ періодъ 2500 лѣтъ—на 64,4 килом., т.-е. около 54 м. въ годъ.

Дельта Ганга и Брамапутры сильно возрастаетъ въ восточной половинѣ, такъ что въ 100—200 лѣтъ заполнитъ прилежащую бухту.

Хуанъ-хо, по Пумпелли, возрастаетъ около 30 м. въ годъ (фиг. 319), судя по возрастанію культурной полосы, свѣдѣнія о которой находятся въ очень древнихъ китайскихъ сочиненіяхъ.



Фиг. 319. — Дельта Хуанъ-хо и Янъ-цзэ-кіанга.

Дельта Невы, несмотря на очищеніе водъ Невы въ Ладожскомъ озерѣ, также замѣтно возрастаетъ. Группа острововъ: Петербургскій, Каменный, Елагинъ, Васильевскій, Гутуевскій и примыкающая къ нимъ береговая полоса, на которой расположенъ С.-Петербургъ, представляютъ отложенія дельты Невы. Съемки, произведенныя въ 1718—1777 и 1864 г., показали, что приростъ въ 146 лѣтъ равняется 1.373.871 кв. саж. (такъ какъ въ 1718 г. площадь дельты равнялась 7,391,303, а въ 1864—8.765,119 кв. с.), слѣдовательно въ годъ приростъ = 9410 кв. с. Зная величину прироста и площадь острововъ, можно опредѣлить, что для образованія ихъ потребовалось около 900 лѣтъ.

Кромѣ образованія острововъ, осадокъ, приносимый Невою, отлагается еще по N и S побережьямъ Финскаго залива. Вычислено, что увеличеніе береговъ ежегодно равно 12,113 кв. с.; если къ этому прибавить вышеупомянутое число прироста острововъ около 9,000 кв. с., то весь годовой приростъ = около 21,000 кв. саж.

Если отложеніе будетъ происходить въ такой же мѣрѣ, то приблизительно черезъ 3,300 лѣтъ будетъ совершенно засыпана такъ называемая Маркизова лужа, и о—въ Котлинъ съ г. Кронштадтомъ присоединятся къ материку.

Но особенно замѣчательно возрастаніе дельтъ Терека, Ріона, Кубани и др. кавказскихъ рѣкъ. Относительно дельты Терека еще весьма недавно повторялся невѣрный выводъ Бэра; даже въ сочиненіяхъ, спеціально трактующихъ о дельтахъ, напр.

въ соч. „Die Deltas“ г. Креднера [57]) приводилось число 500 м. какъ годовой приростъ. Однако болѣе новая прекрасная работа М. Н. Герсеванова [58]) разсѣяла это заблужденіе и даетъ болѣе точныя данныя. Часть наносовъ Терека увлекается водою на берега моря и идетъ на приростъ дельты, а часть ихъ идетъ на постоянное возвышеніе русла Терека, которое, судя по надгробнымъ татарскимъ памятникамъ, достигаетъ до 3 дюймовъ въ годъ. Что касается прироста дельты, то съемки 1841 и 1863 г. доказываютъ значительные размѣры его; напр. на мѣстѣ болотъ 1841 г., въ 1863 г. появились сухія степи, нерѣдко съ пашнями, на мѣстѣ озеръ—болота съ камышомъ и лугами, а старые луга засыпаны пескомъ. За 22 года устье стараго Терека выдвинулось въ море на двѣ версты, а новаго Терека—на одну версту у Анашкиной и на двѣ у Расланбечихи и Бирючьей. Изъ этихъ данныхъ годовой приростъ дельты Терека опредѣляется въ 45 с., или около 100 м., но не 500, какъ думалъ Бэръ.

Р. Ріонъ, принося около 1,000,000 куб. с. наносовъ, весьма быстро увеличиваетъ свою дельту. При сравненіи съёмокъ у Поти 1804 и 1870 г., оказывается, что у маяка, на южной части острова, берегъ выдвинулся на 150 с., т.-е. 2,2 саж. въ годъ, а въ сѣверной части—до 400 саж., т.-е. годовой приростъ = 6 саж. По сообщенію г. Жарницова, на мѣстѣ старой крѣпости Поти, построенной 300 лѣтъ тому назадъ на берегу моря, теперь разбитъ городской садъ, отстоящій отъ моря на двѣ версты. Прибрежныя глубины въ 50 ф. теперь превратились въ сушу.

Слѣдствіемъ возрастанія дельтъ прежде всего является удлиненіе рѣки, что способствуетъ болѣе быстрому возвышенію ея русла въ низовьяхъ и образованію береговыхъ плотинъ, которыя разсмотрѣны выше. Кромѣ того, многіе прибрежные острова присоединяются къ материку и тѣмъ самымъ еще больше увеличиваютъ измѣненія въ конфигураціи материковъ. Устьевыя русла въ предѣлахъ самой дельты постепенно измѣняются. Часто въ половодье образуются новыя русла, превращающіяся въ мертвые рукава со стоячею водою, напр. въ дельтѣ Терека, Волги, Урала, гдѣ изъ 19 рукавовъ остается только 6. Въ дельтѣ Миссисипи изъ многочисленныхъ bayus въ засуху остается только одинъ Атчафалай. Изъ 7 рукавовъ Нила, о которыхъ говоритъ Страбонъ, теперь остались только два Розетта и Даміетта. Въ дельтѣ Куры изъ 12 остался только одинъ главный и пр.

Однимъ изъ важныхъ слѣдствій возрастанія происходитъ соединеніе двухъ или нѣсколькихъ сосѣднихъ дельтъ въ одну; напр. дельта Мемеля представляетъ соединенную изъ нѣсколькихъ малыхъ, существовавшихъ прежде самостоятельно, какъ-то: рр. Лейта, Сейстихъ и др., которыя прежде изливались въ Куришъ-гафъ отдѣльно, а теперь сдѣлались притоками Мемеля. Тоже рр. Пиль, Аихъ, Трудбахъ и др. были нѣкогда самостоятельными, а теперь, благодаря слитію ихъ дельтъ съ дельтою Рейна въ Боденскомъ озерѣ, сдѣлалась притоками Рейна. Дельта По также состоитъ изъ нѣсколькихъ, прежде существовавшихъ отдѣльно. Дельты Ганга и Брамапутры соединились сравнительно недавно, тоже дельты Тигра и Евфрата, Миссисипи и Красной рѣки. Словомъ, при посредствѣ дельтъ рѣки стремятся соединиться и уменьшить число отдѣльно-существующихъ, какъ бы оправдывая необходимость Эриданоса, т.-е. царя рѣкъ.

Древность дельтъ. Накопленіе осадковъ, которое мы называемъ дельтовыми образованіями, не ограничивается только современною намъ эпохою, но оно началось съ тѣхъ поръ, какъ началась дѣятельность проточной воды; слѣдовательно дельтовыя образованія находятся и въ болѣе древнихъ формаціяхъ, хотя наблюденій въ этомъ отношеніи сдѣлано не много; такъ, нѣкоторыми англійскими геологами найдены дельтовыя отложенія въ вельдскихъ пластахъ мѣловой системы SO Англіи,

которыя произошли отъ дѣйствія рѣкъ, протекавшихъ съ W. Въ С. Америкѣ Рупертомъ Джономъ найдены дельтовые осадки того же возраста. Тэйлоръ указываетъ на дельты третичнаго періода на Британскихъ островахъ; Дезоръ считаетъ за дельтовыя образованія многія изъ тѣхъ прѣсноводныхъ отложеній, которыя перемежаются съ морскими въ Піемонтѣ, а также пліоценовыя дельты на Лигурійскомъ берегу, гдѣ онѣ состоятъ изъ пластовъ синей глины, песку, конгломератовъ и известковаго туфа, причемъ пласты наклонены отъ 10° до 30° и перемежаются съ горизонтальными, т.-е. то же, что мы видѣли на нѣкоторыхъ дельтахъ въ Альпійскихъ озерахъ.

Постъ-пліоценовые осадки, слагающіе Суэцскій перешеекъ, по изслѣдованію Фукса, образованы Ниломъ и представляютъ дельтовыя отложенія. Что тамъ уже окончилось, то происходитъ въ настоящее время при устьѣ Амура, заполняющаго Татарскій проливъ, отдѣляющій островъ Сахалинъ отъ материка.

Дельты, которыя образуются теперь, не восходятъ дальше современнаго геологическаго періода, и въ этомъ смыслѣ онѣ одновременны, но тѣмъ не менѣе начало зарожденія ихъ разновременно; поэтому существуютъ попытки опредѣлить въ годахъ древность различныхъ дельтъ; основою для такихъ разсчетовъ служитъ количество годовыхъ осадковъ и сравненіе ихъ съ массою дельты.

Такъ, древность дельты Миссиссипи, по опредѣленію Гумфрей и Аббота, принимая ежегодное возрастаніе въ 80 м., равна 4.400 годамъ. Причина, почему Миссиссипи еще раньше не начала образовывать дельты, заключается въ томъ, что тогда въ верхнемъ и среднемъ теченіи ея находились многочисленныя озера, въ которыхъ рѣка очищалась, и что морскую дельту она стала отлагать только тогда, когда эти озера были выполнены; хотя это объясненіе едва ли основательно, потому что имѣются факты, противорѣчащіе ему; напр. на томъ же континентѣ р. Мэкэнзи хотя тоже очищается въ озерѣ, однако отлагаетъ дельту въ Сѣверномъ морѣ; Рейнъ проходитъ чрезъ Боденское озеро, а Рона—черезъ Женевское, и обѣ отлагаютъ дельты въ морѣ. Притомъ предполагаемыя озера не подтверждаются геологическими изслѣдованіями. Къ тому же какъ замѣчаетъ Креднеръ, въ разсчетѣ Аббота и Гумфрея не видно основаній, почему они считаютъ, что во всѣ времена увеличеніе дельты было равномѣрное, между тѣмъ какъ такое предположеніе несправедливо, потому что даже если всѣ другія условія были одинаковы,—что почти невозможно,—то вѣдь на скорость увеличенія дельты имѣетъ большое вліяніе глубина, а она то была перемѣнчива и вначалѣ была меньше, а слѣдовательно и возрастаніе было быстрѣе: поэтому это опредѣленіе древности дельты Миссиссипи заслуживаетъ менѣе довѣрія, нежели опредѣленіе *Ляйэлля*, который на основаніи сравненія количества ежегоднаго приноса рѣки съ кубическимъ содержаніемъ массы дельты, вывелъ minimum лѣтъ = = 67,000; такая громадная разница съ предыдущимъ опредѣленіемъ зависитъ отъ того, что Ляйэлль мощность дельты принималъ въ 600 ф., а Абботъ и Гумфрей—въ 40 ф., не считая нижней синей глины.

Древность дельты Нила, разсчитанная по толщинѣ годовыхъ отложеній, принимая ихъ въ $^1/_2$ дюйма, равна 12.000 лѣтъ; другіе принимаютъ 30,000 лѣтъ; но такъ какъ толщина годового слоя измѣнчива и зависитъ отъ хозяйственныхъ соображеній туземцевъ, задерживающихъ илъ при посредствѣ плотинъ, то эти числа не имѣютъ никакой цѣны. Вѣрнѣе опредѣленіе Ломбардини; онъ, на основаніи годового прироста, нашелъ древность дельты Нила равною 74,000 годамъ.

При отсутствіи точныхъ данныхъ, всѣ подобныя вычисленія слишкомъ произвольны; поэтому вѣрнѣе примѣнять здѣсь методъ опредѣленія чисто геологическій, т. е. относительную древность опредѣлять на основаніи органическихъ остатковъ. Такъ, въ дельтѣ Роны находится Paporaea aldovrandi, живущій нынѣ только у Сициліи; также Pecten maximus, теперь встрѣчающійся очень рѣдко у Лангедока, между тѣмъ въ пластахъ

дельтовыхъ отложеній онъ находится въ большомъ количествѣ; изъ этого видно, что дельта Роны начала образовываться еще до настоящей эпохи, и т. д. Словомъ, слѣдуетъ примѣнить тотъ же методъ, какъ и при опредѣленіи болѣе древнихъ формацій.

Условія географическаго распредѣленія дельтъ. Выше было замѣчено, что хотя всѣ рѣки, достигающія моря, приносятъ то или другое количество осадковъ, отлагающихся при устьѣ, но далеко не всѣ образуютъ дельты. Многія изъ нихъ имѣютъ воронкообразныя устья или эстуаріи. Въ настоящее время, по словамъ г. Креднера [59]), всего извѣстно 145 большихъ рѣчныхъ системъ, изъ которыхъ только 70 имѣютъ морскія дельты, свойственныя болѣе значительнымъ рѣкамъ, что видно изъ слѣдующей таблицы:

	Рѣки болѣе 100 г. м. длины.	Рѣки менѣе 100 г. м. длины.
Устья съ дельтами	48	22
Воронкообразныя устья . . .	26	49

Считая мелкія озерныя дельты, Креднеръ насчитываетъ всего 143 дельты, изъ которыхъ только 33 озерныхъ, а 110 морскихъ дельтъ. Въ слѣдующей таблицѣ поименованы всѣ дельты по материкамъ.

Европа.		Азія.		Африка.	Америка.	Австралія и Полинезія.
Аара	Маггіа	Аксу	Кютчикъ	Балимба	Алабама	Бурдекинъ
Адда	Магра	Аму-дарья	Кура	Баркахъ	Апалахикола	Катау (Новая Гвинея)
Арно	Мемель	Атрекъ	Кизылъ-ирмакъ	Джамуръ	Атрато	Майкаасъ (Новая Гвинея)
Арта	Нарента	Брамапутра	Ланъ-хо	Замбези	Мэкензи: a—оз. Скла-венъ; b—Ледовит. океанъ	Рева (Фиджи)
Аспропотамосъ	Нева	Джимби (Суматра)	Лена	Конго	Магдалины р.	
Аудс	Омброне	Дунгау	Лена	Калабаръ	Миссисипи	
Бистрица	Печора	Джагату	Маганадди	Луфиджи	Мобиле	
Брента	Піава	Гангъ	Меконгъ	Нигеръ	Орноко	
Днѣпръ	По	Геднсъ-тчай	Менамъ	Нилъ	Парана	
Днѣстръ	Рейсса	Годавери	Мендересъ	Огова	Паскагула	
Донъ	Рейнъ: a—Боденск. озеро; b—Нѣмецк. море	Гёкъ-су	Пей-хо	Ровума	Ріо С. Жуанъ	
Дунай		Ишиль-ирмакъ	Ріонъ	Шари	Св. Клэра р.	
Драпса		Или	Силуэнъ		Трипити р.	
Двина	Рона: a—Женевск. озеро; b—Средиз. море	Индигирка	Сефидъ-рудъ		Фразеръ	
Вардаръ		Индрагири (Суматра)	Сейхунъ		Усумазинто-Табаско	
Висла		Индъ	Селенга		Юконъ	
Волга		Иравади	Сига (Борнео)			
Голлада	Силе	Колерунъ	Си-кіангъ			
Геро	Тагліаменто	Коти (Борнео)	Ситтангъ			
Изонцо	Терекъ	Кали (Ява)	Сонгъ-ка			
Карасу	Тибръ	Капуасъ (Борнео)	Сыръ-дарья			
Кіельма	Тичино	Караталъ	Тонгъ-Кіангъ			
Кубань	Тоце	Кіа-Кіангъ	Ханъ-Кіангъ			
Кума	Эбро	Кистна	Хойхоу			
Линтъ	Эргентъ	Колыма	Хуанъ-хо			
Ливенца	Эчъ	Кюпрю-су	Уралъ			
Ловать	Фидарисъ		Эмба [арабъ.			
Лютчина	Шельда		Шатъ-эль-			
Маасъ			Янъ-цзе-кіангъ			

Общая причина, обусловливающая появленіе или отсутствіе дельтъ, или, все равно, ихъ неравномѣрное географическое распредѣленіе, до сихъ

поръ еще не выяснена съ точностью. Попытки опредѣлить эту причину доказываютъ только, что, повидимому, здѣсь дѣйствуетъ не одинъ факторъ, а цѣлая сумма ихъ, а потому едва ли возможно отыскать универсальную причину, которая бы въ равной степени оказывала вліяніе на характеръ устьевъ.

Разсматривая географическое распространеніе дельтъ, мы видимъ, что орогеологическій характеръ морскихъ береговъ не имѣетъ рѣшающаго значенія, такъ какъ на одинаковыхъ берегахъ въ однихъ мѣстахъ рѣки образуютъ дельты, а въ другихъ нѣтъ; примѣры: сѣверный берегъ Азіи, восточный берегъ южной Америки и пр. Точно также количество землистыхъ веществъ, приносимыхъ рѣкою, не обусловливаетъ непремѣнное появленіе дельты; хотя это весьма существенный факторъ и всѣ рѣки съ дельтами приносятъ огромныя массы матеріала, какъ мы видѣли выше, тѣмъ не менѣе встрѣчаются и обратные примѣры, т.-е не смотря на большой приносъ матеріала, дельты не образуются, напр. рр. Жиронда ($^{417}/_{100000}$), Эльба ($^{112}/_{100000}$) приносятъ землистыхъ веществъ не менѣе Ганга, Роны и пр., но дельты не образуютъ; а Висла приносящая въ 66 разъ меньше землистыхъ веществъ, быстро увеличиваетъ свою дельту. Указывали на ничтожное паденіе въ низовьяхъ рѣкъ безъ дельтъ, какъ на причину отсутствія, но это объясненіе также имѣетъ много исключеній; такъ, рѣки безъ дельтъ, напр. Везеръ (над. 0,135 м. на одинъ километръ), Эльба (0,13) имѣютъ гораздо большее паденіе, нежели рѣки съ дельтами, напр. Нева (0,02), Нилъ (0,12), Волга (0,04 м.), Индъ (0,082) и т. д. Глубина моря также не препятствуетъ образованію дельтъ, такъ какъ онѣ возрастаютъ въ моряхъ самыхъ различныхъ глубинъ, напр. у дельтъ Волги, Терека, Днѣпра глубина не превышаетъ 20 м., а у дельты Нила—до 400 саж., у Миссисипи—до 1000 м.

Очищеніе въ материковыхъ озерахъ также не обусловливаетъ отсутствіе дельтъ,—напр. Дунай, Рейнъ, Рона, Мэкэнзи и др., проходятъ озера, однако образуютъ большія дельты.

Нѣкоторые полагали, что приливы и отливы имѣютъ всегда отрицательное вліяніе на дельты, т.-е. послѣднія не могутъ образоваться въ моряхъ съ большими приливами и отливами, но на самомъ дѣлѣ это не всегда оправдывается; такъ, въ устьяхъ Шатъ-эль-Араба, Ганга, Нигера, Ориноко, Печоры приливы до 3 м. и болѣе высотою не помѣшали образованію дельтъ. Съ другой стороны, въ устьяхъ рр. Колумбіи, Сенегала и пр. приливы ничтожны, а дельтъ нѣтъ. То же можно сказать про морскія теченія, напр. Амазонка и Оринноко—обѣ подвержены вліянію экваторіальнаго теченія, между тѣмъ первая безъ дельты, а вторая съ дельтой; тоже рр. Замбези и Лимпопо, подверженныя мозамбикскому теченію, первая образуетъ дельту, а вторая нѣтъ. Вѣтеръ также иногда способствуетъ возрастанію дельты, а иногда препятствуетъ или измѣняетъ форму ея; напр. дельта Дона поворачивается къ востоку, благодаря вліянію западныхъ вѣтровъ; тоже въ дельтѣ Миссисипи, Роны и др.

Различные факторы хотя несомнѣнно оказываютъ то или другое вліяніе на ростъ дельты, на форму ея, но ни одинъ изъ нихъ не представляетъ универсальной причины, которою возможно было бы объяснить географическое распредѣленіе дельтъ.

Георгъ Креднеръ, въ своемъ спеціальномъ изслѣдованіи дельтъ, высказываетъ убѣжденіе, что такую универсальную причину составляютъ отрицательныя и положительныя движенія берега. Отрицательныя движенія всегда способствуютъ появленію и возрастанію дельтъ, тогда какъ положительныя движенія, наоборотъ, обусловливаютъ отсутствіе дельтъ, хотя бы всѣ другія условія были благопріятны для образованія ихъ. Онъ составилъ двѣ карты, изъ которыхъ на одной показано распредѣленіе дельтъ, а на другой — берега съ отрицательными и положительными движеніями. При наложеніи ихъ другъ на друга дѣйствительно бо́льшая часть дельтъ приходится на берега, испытывающіе отрицательныя движенія, но, съ другой стороны, не всѣ берега съ положительнымъ движеніемъ лишены ихъ, — напр. дельты: По, Миссисипи, Ганга, Рейна, Мемеля и др. образуются на берегахъ опускающихся, т. е. испытывающихъ положительныя колебанія (см. карту III, т. I). Во вся-

комъ случаѣ, по справедливому замѣчанію Зупана [60]), колебанія поверхности, при всѣхъ равныхъ условіяхъ, представляютъ наиболѣе видный факторъ, обусловливающій географическое распредѣленіе дельтъ, но не универсальный.

Такимъ образомъ, условія происхожденія дельтъ весьма разнообразны и неодинаковы въ разныхъ частныхъ случаяхъ. Къ условіямъ положительнымъ, т. е. способствующимъ образованію дельтъ, принадлежатъ: небольшая глубина моря у устья, спокойное состояніе моря, т. е. отсутствіе прилива, отлива и морскихъ теченій, большое паденіе рѣки въ низовьяхъ, обиліе осадковъ и отрицательное движеніе почвы или поднятіе береговъ. Къ отрицательнымъ условіямъ принадлежатъ: большая глубина моря, приливы, отливы и морскія теченія, озера въ низовьяхъ рѣкъ, ничтожное паденіе, бѣдность осадками и положительное движеніе или опусканіе почвы. Только сумма этихъ факторовъ и ихъ взаимное сочетаніе въ каждомъ частномъ случаѣ можетъ объяснить появленіе или отсутствіе дельтъ, но ни одинъ изъ нихъ не составляетъ единственной причины географическаго распредѣленія дельтъ.

Возрастаніе дельтъ производитъ весьма важныя измѣненія въ географическомъ отношеніи; не говоря уже о засыпаніи озеръ, измѣненіи контуровъ материка, но даже внутреннія моря постепено преобразовываются ими; такъ напр. Балтійское море въ настоящее время есть уже не что иное, какъ огромный каналъ озеръ. Масса воды изливаемая въ него рѣками, остается одна и та же, а между тѣмъ поверхность и глубина его постоянно уменьшаются, и можно предсказать, что въ теченіе вѣковъ вода въ этомъ морѣ сдѣлается совершенно прѣсною, и тогда проливъ Зундъ будетъ играть въ Европѣ ту же роль, какую играетъ нынѣ р. Св. Лаврентія въ Новомъ Свѣтѣ.

Точно также и Средиземное море, по замѣчанію Борн де-Сенъ-Венсена, когда-нибудь превратится въ рядъ озеръ, а затѣмъ въ исполинскую рѣку. Азовское море уже превращается постепенно въ рѣку: берега его сближаются, тогда какъ русло остается все то же. Воды, простирающіяся отъ устья Дона до Дарданельскаго пролива, образуютъ современемъ озера въ родѣ американскихъ—Верхняго, Гуронъ, Мичиганъ; острова Архипелага будутъ окружены лабиринтомъ лагунъ, сходныхъ съ тѣми, которыя окаймляютъ Балтійское море; Венеціанскій заливъ сдѣлается простымъ продолженіемъ долины По; два огромные бассейна Средиземнаго моря, раздѣленные подводнымъ сицилійско-африканскимъ баромъ, образуютъ два постепенно уменьшающіяся озера, которыя будутъ питать своими водами величайшую рѣку земного шара. Тогда Днѣпръ, Дунай и По снизойдутъ на степень простыхъ притоковъ; что же касается Нила, который и нынѣ уже мелководенъ при устьѣ, то онъ, быть можетъ, будетъ теряться въ пескахъ, не достигая главной рѣки, которая образуется изъ нынѣшняго Средиземнаго моря, и сдѣлается совершенно континентальнымъ потокомъ, каковы въ наше время Чари, Гуачъ, Іорданъ, Сыръ-дарья, Аму-дарья и др.

Но, кромѣ того, дельты имѣютъ важное экономическое значеніе. Такъ какъ минеральные осадки въ дельтахъ представляются весьма разнообразными по составу, происходя отъ различныхъ породъ, и притомъ очень измельчены, лёссо-подобны, поэтому дельтовыя отложенія всегда необыкновенно плодородны и играютъ важную роль въ хозяйствѣ человѣка; уже Геродотъ прославляетъ Нилъ, «отца рѣкъ», за богатство урожаевъ; Индія своимъ плодородіемъ обязана дельтѣ Ганга, Китай—Хуанъ-хо; ту же роль играютъ дельты Миссисипи въ Америкѣ, Мааса, Шельды въ Нидерландахъ, По въ Италіи, Аму-дарьи въ Хивѣ и пр. Понятно, что такое свойство почвы въ дельтахъ обусловливаетъ плотность населенія въ нихъ, какъ въ Китаѣ—до 17,000, въ Индіи—10,000 человѣкъ на кв. м. и пр., а это ведетъ за собой быстрое развитіе гражданственности, торговли и вообще культуры; даже такія дельты, какъ Роны, Дуная, которыя нынѣ благодаря своему нездоровому климату, почти необитаемы, нѣкогда были густо населены; при дельтахъ находятся самые важные города, славные своею торговлею.

Въ заключеніе о дѣятельности проточной воды замѣтимъ, что рѣки,

безспорно, имѣютъ громадное значеніе, какъ въ исторіи земли, такъ и въ исторіи человѣчества. Онѣ распредѣляютъ равномѣрнымъ образомъ по земной поверхности воду, падающую изъ атмосферы или образующуюся отъ таянія снѣговъ, и такимъ образомъ увлажняютъ все пространство бассейна съ помощью своихъ безчисленныхъ развѣтвленій. Безконечно расчленяя рельефъ земной поверхности, потоки вмѣстѣ съ вывѣтриваніемъ неустанно понижаютъ первозданныя горы. Они раздробляютъ каменныя массы на мелкія части и разносятъ ихъ на огромныя пространства, образуя безжизненныя каменныя поля или плодородныя равнины. Отъ этихъ процессовъ нѣкоторыя вершины, напр. въ Альпахъ — Финстераргорнъ и др., понизились уже на 1000 м., а въ Сѣв. Америкѣ на западной горной окраинѣ, по словамъ Дюттона, пониженіе отъ размыва достигаетъ до 6.000 м. и даже до 12.000 м. Наконецъ, потоки уравниваютъ климатъ; рѣки, текущія съ юга, согрѣваютъ сѣверныя страны, а рѣки, направляющіяся съ сѣвера, умѣряютъ зной жаркаго пояса. Но роль рѣкъ, этихъ могучихъ работниковъ, не ограничивается перемѣщеніемъ водъ, осадковъ и климатовъ; онѣ, по выраженію Реклю, несутъ въ своихъ волнахъ исторію и жизнь народовъ.

Развитіе рѣчныхъ системъ и связанныя съ этимъ нѣкоторыя формы рельефа земной поверхности.

Резюмируя все изложенное о вліяніи разнообразныхъ условій на развитіе процессовъ размыванія, можно замѣтить, что эти условія раздѣляются на двѣ разнородныхъ группы. Прежде всего условія климатическія, опредѣляющія количество воды, и другая группа, которая всецѣло относится къ сферѣ работъ геолога и которую согласно съ Лаппараномъ можно назвать группой структурныхъ условій *). Въ этой группѣ можно различить условія, опредѣляемыя происхожденіемъ геологическихъ образованій данной области, т. е. природой и способомъ образованія слагающихъ ее минеральныхъ массъ, или горныхъ породъ; это условія генетическія въ тѣсномъ смыслѣ (или петрографическія). Другія условія опредѣляются тѣми нарушеніями залеганія въ земной корѣ, которыя она испытала послѣ образованія породъ, слагающихъ данную область; это условія тектоническія.

Первое слѣдствіе такихъ структурныхъ условій выражается элементомъ непостоянства въ развитіи гидрографической сѣти; этимъ прежде всего отличается развитіе дѣйствительныхъ рѣкъ отъ развитія въ идеальныхъ условіяхъ однородности и рыхлости размываемыхъ массъ. Если бы размываемыя горныя породы не оказывали никакого направляющаго вліянія на дѣятельность проточной воды, то единственно только условія наклона и рельефа въ моментъ начала работы проточной воды были бы достаточными для опредѣленія первыхъ потоковъ.

Углубляя свои русла, такіе потоки не имѣли бы другихъ причинъ для отступленія отъ нихъ, кромѣ причинъ, имѣющихъ источникомъ дѣятельность ихъ самихъ, каковы перенакопленіе осадковъ, поглощеніе однѣхъ рѣкъ вершинами другихъ, отступленіе по закону Бэра. Совсѣмъ иное, какъ мы видѣли, при размываніи въ области неоднородныхъ породъ. Едва только первыя струйки воды сосредоточились по направленіямъ, опредѣленнымъ геометрическими линіями поверхности, какъ работа ихъ сталкивается съ неодинаковыми препятствіями отъ различія природы или способовъ залеганія горныхъ породъ; задерживая или ускоряя первоначальную работу, эти условія во всякомъ случаѣ нарушаютъ ея правильность.

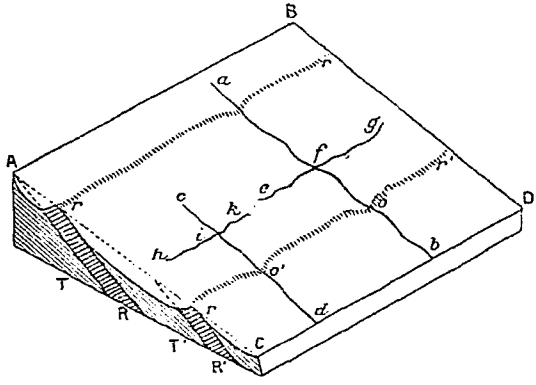
Отсюда разнообразіе явленій размыванія и развитія рѣчныхъ системъ среди породъ осадочныхъ и изверженныхъ. Еще болѣе разнообразно вліяніе тектоническихъ причинъ. Прежде всего онѣ являются направляющими при развитіи гидрографической сѣти. Вліяніе ихъ можетъ быть двояко. Оно можетъ быть пассивнымъ, если оно опредѣляется тектоническимъ строеніемъ области, возникшимъ до зарож-

*) Leçons de Géographie physique, 2-me édition, 1898 и Дэвисъ (William Morris Davis) Physical Geography, 1901.

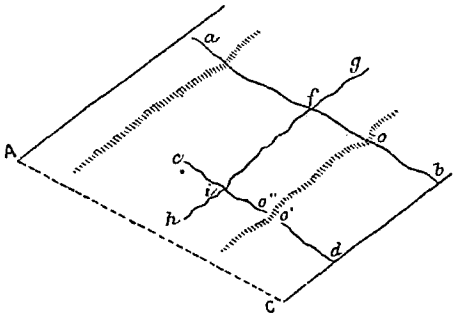
денія данной рѣчной системы; его называютъ активнымъ, когда оно вызывается дислокоціонными движеніями, нарушающими рѣчную систему, частью или совершенно законченную.

Вліяніе пассивное. Остановимся на слѣдствіяхъ пассивнаго вліянія тектоническихъ причинъ, поскольку онѣ могутъ служить для генетической классификаціи рѣкъ.

Поуэль (Powell) предложилъ названіе консеквентныхъ (согласныхъ) для всѣхъ рѣкъ, которыхъ стокъ опредѣляется структурными формами. Мы уже знаемъ, что нарушенія въ земной корѣ сводятся къ нѣсколькимъ главнымъ типамъ, каждый изъ которыхъ можетъ дать особенное направленіе размыву. Наиболѣе простая форма нарушенія залеганія выражается въ однообразномъ наклонѣ слоевъ, который опредѣляется обыкновенно нѣкоторымъ изгибомъ значительной части земной коры. Такое искривленіе земной коры ведетъ къ плоскимъ поднятіямъ, обычно удлиненнымъ, такъ называемымъ геантиклиналамъ, которымъ соотвѣтствуютъ въ другомъ мѣстѣ широкія или удлиненныя пониженія, или депрессіи, такъ называемые геосинклиналы. Вслѣдствіе обширности пространства, обнимаемаго такими движеніями, они и проявляются обыкновенно въ правильномъ однообразномъ наклоненіи мощныхъ свитъ горныхъ породъ. Таково, напр., наклоненіе къ западу осадочныхъ образованій Парижскаго бассейна отъ подножія Вогезовъ и обратное положеніе осадоч-



Фиг. 320. — Развитіе гидрографической сѣти. Первая стадія.



Фиг. 321. — Развитіе гидрографической сѣти. Вторая стадія.

ныхъ образованій Англіи къ востоку отъ Уэльса. Сибирская низменность, значительная часть Европейской Россіи, разсматриваемыя въ цѣломъ, представляютъ части такихъ же обширныхъ искривленій земной коры. Направленіе такихъ первичныхъ уклоновъ опредѣляетъ и направленіе первыхъ консеквентныхъ потоковъ воды (ab и cd фиг. 320).

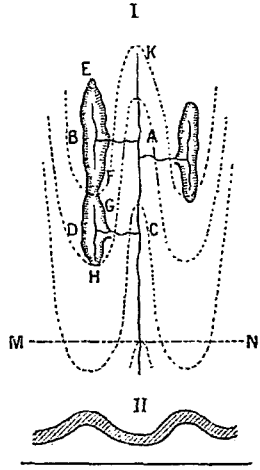
При такомъ однообразномъ наклонѣ дальнѣйшее развитіе рѣчной системы вызывается неоднородностью геологическаго состава; первые же труднѣе смываемые слои своими выходами обусловливаютъ появленіе боковыхъ притоковъ, которые образуютъ вмѣстѣ съ главнымъ потокомъ ортогональную систему. Дэвисъ предложилъ для такихъ рѣкъ, которыя обусловлены структурными причинами послѣ того, какъ обозначились консеквентныя рѣки, названіе субсеквентныхъ, т. е. подчиненныхъ (hi, ki, ef, fg, фиг. 320). Дальнѣйшее смываніе болѣе мягкихъ слоевъ, при ихъ слабомъ наклонѣ и значительной площади, поведетъ къ обособленію отдѣльныхъ ступеней общей покатости; возникаетъ уступообразное строеніе (structure en gradins), грандіознымъ примѣромъ котораго можетъ служить бассейнъ Колорадо между плоскогоріемъ Ютахъ и областью Большаго каньона.

При дальнѣйшемъ развитіи гидрографической сѣти, рѣки вслѣдствіе неоднородности условій размыванія, перемѣщаясь своими вершинами, могутъ быть поглощены однѣ другими. Такія захваченныя (скраденныя) рѣки Дэвисъ называетъ обсеквентными (o''i, ih, ic, фиг. 321). Рѣки, захватывающія вершины другихъ, Дартонъ (Darton) давно уже назвалъ скрадывающими (Stream robbers). Совершенно подобное же развитіе рѣчной системы можетъ возникнуть и на покатости, уклонъ которой не согласенъ съ наклономъ слоевъ; очевидно, что поверхность въ такомъ случаѣ не имѣетъ никакого отношенія къ тектоникѣ этой части земной коры и должна была возникнуть ранѣе развитія рѣчной системы. Моноклинальныя долины пред-

ставляютъ, какъ мы видѣли, случай развитія подчиненныхъ рѣкъ при однообразномъ наклонѣ слоевъ.

Генетическое отношеніе рѣкъ какой либо системы въ особенности ясно въ областяхъ складчатой дисклокаціи. Главныя линіи дренажа въ каждой такой области, естественно, опредѣляются тѣми складками, которыя называютъ синклинальными. Склоны или крылья такихъ складокъ опредѣляютъ другія направленія, перпендикулярныя къ первымъ; также возникаетъ ортогональная система рѣкъ, но здѣсь отъ направленія паденія слоевъ зависятъ только рѣки второго порядка. Консеквентными рѣками будутъ, слѣдовательно, расположенныя по синклиналямъ, а подчиненными—рѣки, идущія къ нимъ отъ антиклинальныхъ гребней.

Представимъ себѣ структурную поверхность (surface structurale, т. е. поверхность какого нибудь верхняго слоя земной коры, не испытавшую никакихъ внѣшнихъ вліяній послѣ нарушенія залеганія и поднятія до земной поверхности; топографической поверхностью, surface topographique называютъ дѣйствительную земную поверхность) какой либо области въ видѣ системы двухъ антиклинальныхъ складокъ твердаго слоя, какъ это изображено въ планѣ горизонталями и въ разрѣзѣ по линіи *MN* (фиг. 322); по синклинали направится первый потокъ воды. Пока этотъ потокъ размываетъ свое русло въ твердыхъ породахъ нашего слоя, возникаютъ въ точкахъ A и C боковые притоки съ крыльевъ складки, постепенно размывающіе свои русла отъ A до B и отъ C до D. Такъ какъ на гребнѣ антиклиналей слой, собранный въ складки, имѣетъ наименьшую толщину и наиболѣе разломанъ, то русла AB и CD сравнительно скоро могутъ углубиться до подлежащихъ болѣе мягкихъ слоевъ, и тогда возникаютъ поперечныя русла E, F, G, H по оси антиклинальной складки. Если CD почему либо скорѣе углубляется, чѣмъ притокъ AB, вершины E и F будутъ скрадены притокомъ C; такъ возникаетъ антиклинальная долина. Она можетъ быть углублена до такой степени, что въ свою очередь захватитъ часть KAB; если же размываніе по антиклинали будетъ задержано новымъ подлежащимъ твердымъ слоемъ, и въ то же время размывъ въ C достигнетъ до перваго мягкаго слоя, главная масса воды направится по синклинали. Такимъ образомъ, одна и та же рѣка можетъ испытывать послѣдовательныя отклоненія то къ антиклинали, то къ синклинали, постоянно стремясь удержать свое русло среди породъ наиболѣе мягкихъ.



Фиг. 322.—Развитіе рѣчной сѣти въ складчатой области.

Какъ частный случай размыванія по антиклинали могутъ возникнуть на ея крыльяхъ моноклинальныя долины типа комбъ.

Какъ антиклинальныя, такъ и синклинальныя линіи обнаруживаютъ неравномѣрный наклонъ, слѣдствіемъ чего появляются вдоль послѣднихъ отдѣльныя пониженія, которыя опредѣляютъ образованіе тектоническихъ озеръ въ такихъ первичныхъ депрессіяхъ; такія озера, напр., въ долинѣ р. Дубъ озера Remoray и Saint-Point (въ деп. Doubs въ Юрѣ, къ западу отъ Невшательскаго озера), также небольшія озера по долинѣ р. Орбъ въ системѣ Невшательскаго озера представляютъ явственныя удлиненія по направленію синклиналей. Упомянутыя выше клюзы составляютъ частный случай развитія рѣчной системы среди складчатыхъ слоевъ. Чѣмъ сложнѣе строеніе горъ, тѣмъ болѣе рѣчная сѣть отклоняется отъ ортогональной, но главныя линіи рѣчныхъ системъ сосредоточиваются всетаки по синклиналямъ и моноклинальнымъ долинамъ, сопровождаемымъ часто грандіозными клюзами; конечно, рѣдко случается, напр., на Кавказѣ, чтобы долина на значительномъ протяженіи сохранила извѣстный опредѣленный характеръ. Напр., долина р. Самура (юго-восточный Кавказъ) въ средней части является то синклинальной, то моноклинальной.

При частомъ измѣненіи паденія слоевъ въ складчатыхъ областяхъ рѣки поперечныя къ простиранію слоевъ текутъ то согласно, то обратно уклонамъ структурныхъ плоскостей. Такое отношеніе рѣки къ паденію слоевъ Поуэль называетъ діаклинальными; участки рѣки согласные съ уклономъ структурныхъ поверхностей онъ называетъ катаклинальными, а несогласные—анаклинальными.

При постепенномъ углубленіи русла рѣки можетъ случиться, что долина ея врѣзывается въ породы съ тектоническими условіями совершенно обратными тѣмъ, при которыхъ рѣка углублялась до тѣхъ поръ, но которыя частью или совершенно уже

исчезли съ поверхности. Такіе случаи, напр., когда рѣка начала свое развитіе въ рыхлыхъ (ледниковыхъ, напр., Миссиссипи и другія рѣки Миннесоты) отложеніяхъ, покрывавшихъ сильно дислоцированныя древнія образованія (кристаллическіе сланцы) и врѣзалась въ эти послѣднія совершенно несоотвѣтственно уклонамъ ихъ современной поверхности, или прорѣзала трансгрессивно лежавшіе слои (и затѣмъ смытые, напр., тріаса въ Нью-Джерсей на кристаллическихъ сланцахъ) до ихъ постели, лучше всего изслѣдованы въ Америкѣ и получили тамъ названіе наложенныхъ рѣкъ, или предопредѣленныхъ сверху (superimposed, surimposé),—исчезнувшія смытыя части поверхности оставили послѣ себя въ наслѣдіе подстилающимъ ихъ породамъ долины, несоотвѣтствующія условіямъ залеганія этихъ породъ (отсюда еще названіе inherited, т. е. унаслѣдованныя рѣки). Долины такихъ рѣкъ Рихтгофенъ и назвалъ эпигенетическими, т. е. образовавшимися позднѣе, какъ было уже сказано ранѣе *).

Безъ сомнѣнія, съ теченіемъ времени новыя условія поверхности могутъ измѣнить полученную ею сѣть, соотвѣтственно ея структурѣ; но извѣстны случаи, когда и весьма продолжительнаго времени было недостаточно, чтобы вызвать такое измѣненіе. Такъ каньонъ Колорадо оказался углубленнымъ уже на тысячу метровъ, когда рѣка достигла до кембрійскихъ отложеній сильно дислоцированныхъ и имѣющихъ уклоны несогласные съ покрывающими ихъ горизонтальными слоями, начиная отъ каменноугольныхъ кверху; чтобы измѣнить при такихъ условіяхъ свое направленіе рѣка была бы должна исполнить работу размыванія верхнихъ слоевъ свыше ея силы.

Случай измѣненія теченія рѣки при достиженіи ею подлежащихъ слоевъ указываетъ Пенкъ въ современномъ теченіи Унструта, притока Саала; первоначально, до исчезновенія сплошного олигоценоваго покрова Тюрингіи, скрывавшаго неровности подлежащей тріасовой поверхности, Унструтъ впадалъ въ Эльбу; затѣмъ вслѣдствіе неравномѣрнаго размыванія по тріасовой поверхности Унструтъ потерялъ свои вершины, отклонившіяся соотвѣтственно уклонамъ дислоцированной поверхности къ Саалу.

Возможное вліяніе на развитіе гидрографической сѣти разломовъ, т. е. сбросовъ и сдвиговъ, отражается, естественно, смотря по направленію ихъ къ складчатости. Необходимо имѣть въ виду, что разломы, сосредоточивающіеся обыкновенно ближе къ поверхности, могли во многихъ случаяхъ служить направляющими для теченія водъ, хотя бы въ настоящее время склоны долины и не обнаруживали никакихъ признаковъ разломовъ или скручиванія. Слѣдовательно, едва ли возможно совершенно отрицать вліяніе дизъюнктивной дислокаціи даже на образованіе поперечныхъ сквозныхъ прорывовъ рѣкъ черезъ горные хребты, вопреки мнѣніямъ Гейма, Ноэ и Маржери.

Циклы эрозіи. Совокупность условій генетическихъ и пассивныхъ тектоническихъ значительно осложняетъ нормальную работу размыванія, опредѣляя въ то же время главныя черты гидрографической сѣти страны, но она не измѣняетъ ни общаго хода этого денудаціоннаго процесса (эрозіи), ни его конечной цѣли. Различныя условія, въ которыхъ проходитъ въ разное время такой процессъ эрозіи, позволяютъ только выдѣлить его отдѣльныя фазы, болѣе продолжительныя или лучше отмѣченныя. Послѣдовательность такихъ фазъ для гидрографической сѣти каждой страны принято называть цикломъ эрозіи (cycle d'érosion, cycle d'activité). Дэвисъ называетъ такую послѣдовательность цикломъ жизни (cycle vital), желая показать, что эволюція гидрографической сѣти обнимаетъ послѣдовательность фазъ, въ которыхъ можно отличать различные періоды возраста отъ дѣтства до дряхлости.

Періодъ дѣтства гидрографической сѣти характеризуется, въ особенности въ областяхъ съ недостаточно ясно выраженной структурной поверхностью, слабымъ сосредоточеніемъ процессовъ смыванія; многочисленностью потоковъ воды, собираю-

---

*) Нужно строго различать понятіе о происхожденіи рѣки и понятіе о происхожденіи долины. Эпигенетическая долина новѣе рѣки, протекающей по ней; но можетъ быть случай и обратный, когда долина древнѣе, протекающей по ней рѣки. Напр., нѣкоторыя рѣки сѣверо-германской низменности занимаютъ участки долинъ, вытесненныхъ ледниковыми рѣками; современныя рѣки могутъ имѣть при этомъ и совершенно иное направленіе; такія долины или участки долинъ можно назвать унаслѣдованными, и такія рѣки относительно своихъ долинъ будутъ эпигенетичны. Рихтгофенъ примѣнилъ терминъ эпигенетичный именно къ долинамъ, а не къ рѣкамъ, какъ неправильно думаетъ Лаппаранъ (Leçons etc., стр. 129). Также не вполнѣ точно Брюкнеръ (Die feste Erdrinde, стр. 320) называетъ долины эпигенетическія долинами антецедентными, т. е. первичными, когда именно первична рѣка, а не долина; объ этомъ см. дальше.

щихся въ озера, слѣдовательно со значительнымъ испареніемъ и общимъ расходомъ рѣкъ, значительно меньшимъ количества атмосферныхъ осадковъ въ предѣлахъ бассейна. Главныя рѣки слѣдуютъ наиболѣе естественнымъ уклонамъ поверхности и соотвѣтственно препятствіямъ, которыя онѣ встрѣчаютъ при работѣ углубленія своихъ руселъ. Количество перемѣщаемаго рѣками матеріала не можетъ быть значительнымъ, такъ какъ онъ доставляется съ поверхности склоновъ еще слабо намѣченной гидрографической сѣти.

Въ періодѣ юности сѣть дренажа все болѣе разрастается, все болѣе приспособляясь къ быстрому стоку выпадающихъ дождевыхъ водъ. Многочисленныя борозды уже достигаютъ до структурной поверхности и способствуютъ болѣе полному собиранію выпадающихъ атмосферныхъ осадковъ, раскрывая водоносные горизонты. Озера все болѣе соединяются въ непрерывную сѣть, часто при посредствѣ пороговъ и водопадовъ самаго новаго образованія. Крутые склоны долинъ консеквентныхъ рѣкъ, сосредоточившихся согласно главнымъ уклонамъ, доставляютъ все возрастающее количество матеріала, который воды должны перемѣстить. Обозначаются и продолжаютъ развиваться *рѣки подчиненныя*, часто ведущія къ образованію обсеквентныхъ рѣкъ путемъ перемѣщенія частныхъ водораздѣловъ и скрадыванія рѣкъ. Соотвѣтственно болѣе быстрому стоку дождевыхъ водъ увеличивается значительно и количество матеріала, переносимаго рѣками.

Съ наступленіемъ періода зрѣлости сѣти рельефъ сохраняетъ еще черты той рѣзкости, которую онъ пріобрѣлъ въ предшествующемъ періодѣ, но начинаютъ измѣняться детали. Всѣ притоки и развѣтвленія рѣчной системы уже опредѣлены и въ значительной части бассейна работа углубленія руселъ почти закончена, и они доведены до кривой нормальнаго паденія. Положеніе руселъ совершенно приспособлено къ структурнымъ линіямъ области, благодаря непрерывному и тонкому процессу естественнаго подбора, по выраженію Дэвиса, слѣдствіемъ котораго участки гидрографической сѣти, лучше всего согласованные съ структурными линіями, только и сохраняются, въ то время какъ остальные атрофируются или исчезаютъ. Стремительность юности уступаетъ мѣсто состоянію равновѣсія; если развѣтвленія верхняго теченія, гдѣ обратно идущее размываніе еще не закончилось, и позволяютъ еще видѣть характерныя черты юности, то въ нижнемъ теченіи начинаютъ обнаруживаться признаки старости. Въ этомъ періодѣ и можно въ каждомъ потокѣ различить тѣ три участка, о которыхъ не разъ упоминалось раньше, именно верхнее, среднее и нижнее теченіе. Состояніе зрѣлости гидрографической сѣти наступаетъ лишь послѣ того, какъ не только отдѣльныя рѣки бассейна достигаютъ состоянія равновѣсія, но когда вся система получаетъ постоянную профиль, слѣдовательно, когда исчезнутъ частные промежуточные базисы эрозіи, когда не останется болѣе ни областей, лишенныхъ стока, ни площадей, еще не захваченныхъ общей гидрографической сѣтью. Топографическая поверхность продолжаетъ, конечно, измѣняться; склоны и водораздѣлы понижаются, но положеніе руселъ остается неизмѣннымъ; страна понижается, какъ одно цѣлое, сохраняя однако тотъ же самый рисунокъ.

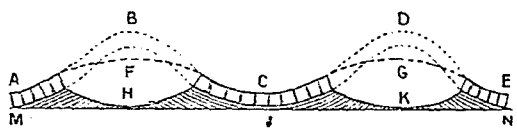
Такое состояніе зрѣлости характеризуется также тѣмъ, что только тогда во всей полнотѣ проявляются всѣ функціи гидрографической сѣти страны. Часть атмосферныхъ осадковъ, терявшихся для рѣчной системы въ предшествующіе періоды черезъ испареніе благодаря затрудненію стока, озерамъ, значительно теперь сокращается, вся масса выпадающихъ осадковъ собирается къ рѣкамъ; степень дренажа страны и вмѣстѣ съ тѣмъ переносъ рѣками рыхлаго матеріала достигаютъ своего максимума.

Старость гидрографической сѣти выражается въ общемъ изнеможеніи всѣхъ ея формъ и функцій, въ отношеніи силы, такъ и разнообразія. Такое состояніе неизбѣжно наступаетъ, какъ слѣдствіе предшествующаго состоянія равновѣсія. При непрерывномъ пониженіи страны, даже при томъ же количествѣ атмосферныхъ осадковъ, смываніе становится слабѣе, оно смѣняется намывомъ, продолжающимъ видоизмѣнять склоны и водораздѣлы, которые принимаютъ все болѣе выпуклыя формы, и рельефъ упрощается. Углубленія руселъ не происходитъ, и въ нижнемъ теченіи начинаетъ замѣтно преобладать отложеніе. Не можетъ не отразиться и на количествѣ атмосферныхъ осадковъ, если вѣтры, въ томъ числѣ и влажные, начинаютъ встрѣчать все менѣе рѣзкихъ препятствій; притокъ воды въ рѣкахъ уменьшается, слабыя вершинки начинаютъ атрофироваться. Главныя рѣки продолжаютъ слабѣть; въ особенности въ области нижняго теченія, гдѣ онѣ подъ вліяніемъ самыхъ слабыхъ препятствій начинаютъ описывать излучины. Область отложенія все расширяется; послѣ каждаго половодья положеніе русла можетъ рѣзко мѣняться. Блужданіе русла ведетъ къ бифуркаціи.

Измѣненіе климата въ сухой и усиленіе эоловыхъ процессовъ являются сами собой, какъ конечный результатъ совершеннаго измѣненія рельефа. Блужданіе рѣкъ при постепенномъ удлиненіи ихъ низовій можетъ повести къ совершенному засоренію устьевъ; бассейнъ переходитъ въ состояніе лишеннаго стока.

Когда жизненный циклъ почти близокъ къ своему завершенію, бассейнъ такой гидрографической сѣти долженъ имѣть самый слабый рельефъ. При всемъ упрощеніи рельефа равнинныя пространства возникаютъ тѣмъ не менѣе только въ мѣстахъ сліянія рѣкъ; сохраняется не только медленный подъемъ къ вершинамъ гидрографической системы, но и слабыя неровности, какъ слѣдствіе неодинаковой твердости породъ. Для обозначенія такихъ пространствъ Дэвисъ давно уже (1889 г.) предложилъ названіе peneplain (пенепленъ), т. е. почти равнина. Этимологически было бы правильнѣе говорить—полуравнина, подобному тому, какъ англійскій же терминъ—peninsula, péninsule французовъ. выражается по русски словомъ полуостровъ, но полуравнина не передаетъ дѣйствительнаго смысла этого термина, соотвѣтствующаго именно почти—равнинѣ, almost-plain по объясненіямъ Дэвиса, или сглаженной волнистой равнинѣ, worn-down plain. Средняя высота такихъ пенепленъ подавляется высотою базиса ихъ эрозіи. Онѣ кажутся почти выравненными до ихъ базиса эрозіи, и поэтому американскіе авторы часто говорятъ о такихъ равнинахъ, что онѣ baselevelled, т. е. спивеллированы.

Наиболѣе полно такія условія обнаруживаются въ странѣ къ югу отъ Амазонки. Между ея притокомъ Мадейра и высокимъ бассейномъ Парагвайя нѣтъ водораздѣловъ, поднимающихся до 300 метровъ. Чтобы достигнуть до такихъ высотъ, нужно въ области средняго теченія рѣки удалиться отъ нея по крайней мѣрѣ на 800 кл.; и на всей бразилійской части этого громаднаго пространства нѣтъ ни одной точки, достигающей высоты 1000 метровъ. Море, какъ видно по геологическому строенію этой области, имѣющей въ основаніи древнѣйшіе кристаллическіе сланцы, не принимало никакого участія въ ея выравниваніи. Правильность развитія рѣчной сѣти, громадное распространеніе аллювіальныхъ отложеній, расширеніе и блужданіе нижнихъ частей рѣкъ показываютъ преобладаніе эрозіонныхъ процессовъ. Выравниваніе страны значительно еще затрудняется здѣсь петрографическимъ характеромъ породъ (песчаники материковаго происхожденія), которыя, раздѣляя отдѣльныя рѣки, образуютъ склоны долинъ. Въ сѣверной части Бразиліи типъ пенепленъ выраженъ слабѣе; такъ притоки Амазонки образуютъ часто пороги и водопады при переходѣ черезъ кристаллическіе сланцы. Вѣроятно, что Бразилійскій массивъ снова испыталъ поднятіе, когда страна была почти доведена до состоянія пенепленъ; это поднятіе древняго кристаллическаго массива было болѣе значительнымъ, чѣмъ окаймляющаго его вдоль Амазонки пояса третичныхъ породъ, вслѣдствіе чего возникли препятствія, надъ преодолѣніемъ которыхъ рѣки и продолжаютъ еще работать.



Фиг. 323. — *Обратный рельефъ въ складчатыхъ областяхъ.*

Съ типами пенепленъ въ С. Америкѣ и Россіи, представляющими слѣдствіе прошлаго, а въ настоящее время приподнятыми иногда значительно выше ихъ первоначальнаго уровня, мы познакомимся дальше.

Вѣроятно къ категоріи пенепленъ можно отнести и Финляндію съ прилежащими частями Россіи, также какъ Канаду; эти участки земной коры, представляющіе сушу съ древнѣйшихъ геологическихъ временъ, представляютъ рѣзкій контрастъ между простотой топографической поверхности и сложностью ихъ геологическаго строенія. Конечно трудно судить, принимала ли участіе только эрозія въ первоначальномъ выравниваніи этихъ странъ; тѣмъ болѣе, что послѣдующая дѣятельность ледниковъ придала имъ особенныя черты. Къ такимъ же пенепленъ, но впослѣдствіи видоизмѣненнымъ вулканическими процессами, Лаппаранъ относитъ Центральное плато Франціи. Арденны представляютъ древнюю пенепленъ, затѣмъ приподнятую и наклоненную.

Можно сказать, что до наступленія ледниковаго періода и вся поверхность Евр. Россіи достигла состоянія почти—равнины.

Однимъ изъ признаковъ глубокой эрозіозной денудаціи складчатыхъ областей можетъ служить образованіе рельефа, обратнаго первичному, когда первичныя депрессіи оказываются на водораздѣлахъ и обратно, какъ это обнаружено въ Пенсильваніи въ Аппалахской системѣ (фиг. 323).

Мы уже говорили о вліяніи перемѣнъ климата на размываніе, и понятно, что различныя фазы жизненнаго цикла рѣчной системы смѣняютъ правильно другъ друга только при условіи, если метеорологическій режимъ страны въ теченіе этого времени не подвергался значительнымъ колебаніямъ или, лучше сказать, измѣнялся неуклонно въ направленіи, опредѣлявшемся всей суммой физико-географическихъ

условій страны. Въ геологической жизни обширной страны климатъ есть слѣдствіе всѣхъ испытываемыхъ ею измѣненій, а не причина.

Активное вліяніе тектоническихъ причинъ выражается въ нарушеніи состоянія равновѣсія гидрографической системы данной области, т. е. въ измѣненіи отношенія, уже установившагося между топографической поверхностью и базисомъ эрозіи. Слѣдствіемъ такого нарушенія является и измѣненіе гидрографической сѣти; говорятъ, что дѣятельность проточныхъ водъ вступаетъ въ новый циклъ эрозіи. Такое измѣненіе можетъ наступить и вслѣдствіе рѣзкаго измѣненія климатическихъ условій; но строго говоря, нарушеніе метеорологическаго режима страны въ опредѣленную сторону и не періодическое есть слѣдствіе видоизмѣненія земной поверхности, слѣдовательно, правильнѣе говорить только о геологическихъ причинахъ цикловъ эрозіи *).

Представимъ себѣ, что гидрографическая система страны близка къ состоянію зрѣлости или даже дряхлости, т. е. находится въ концѣ своего жизненнаго цикла. Наступившія новыя условія между топографической поверхностью и базисомъ эрозіи какъ мѣстнымъ, такъ и общимъ заставляютъ рѣки снова приспособляться къ нимъ. Если такое измѣненіе незначительно и рѣки легко къ нему приспособляются, онѣ сохраняютъ свое положеніе согласно неизмѣнившимся покатостямъ; но новыя условія могутъ быть совершенно обратными прежнимъ, и возникнетъ глубокое измѣненіе. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ гидрографическая система, достигшая состоянія дряхлости, можетъ испытать обновленіе, она молодѣетъ, дѣлается способной оживить новыми формами рельефа страну, доведенную до состоянія почти равнины. Наступившій новый циклъ эрозіи можетъ затѣмъ создать другую поверхность денудаціи на совершенно иномъ горизонтѣ.

Наиболѣе простой случай такого активнаго вліянія состоитъ въ измѣненіи базиса эрозіи, вслѣдствіе или перемѣщенія уровня моря, или вертикальнаго движенія суши.

Перемѣщеніе уровня моря, какъ конечнаго базиса эрозіи, должно отражаться на рѣкахъ всей области совершенно одинаково, но такое перемѣщеніе надо понимать, какъ непрерывное въ теченіе времени, достаточного для глубокаго измѣненія всѣхъ физико-географическихъ условій. Мѣстное и кратковременное измѣненіе уровня моря можетъ нарушить въ ту или другую сторону ходъ физико-географическихъ условій, не отклоняя ихъ отъ конечной цѣли (см. также по поводу юга Россіи).

Выше мы уже разсмотрѣли частью (стр. 429) слѣдствія такихъ колебаній и здѣсь только отмѣтимъ нѣкоторыя особенности, возникающихъ при этомъ формъ поверхности.

При движеніи уровня моря отрицательномъ, или также поднятіи суши (иначе называютъ еще геократическимъ движеніемъ, т. е. ведущимъ къ приросту суши) происходитъ упрощеніе гидрографической системы страны, такъ какъ отдѣльныя прежде рѣки могутъ сливаться въ одну или непосредственно, или путемъ скрадыванія притоковъ. Возникаютъ прирощенныя рѣки (Engrafted Rivers), со значительно усиленнымъ расходомъ воды, напр. Амазонка и Миссисипи, поглотившая при поднятіи береговой полосы Мексиканскаго залива рѣки White (Бѣлая), Арканзасъ, Red (Красная) и Теннесси. Размывающая дѣятельность усиливается въ особенности при устьяхъ, гдѣ профиль долженъ принимать очертанія буквы V болѣе рѣзкія, чѣмъ въ верхнемъ теченіи, которое топографически имѣетъ видъ болѣе древняго, тогда какъ въ дѣйствительности рельефъ его можетъ находиться въ новомъ періодѣ моделировки. Увеличеніе паденія рѣки въ ея новомъ нижнемъ теченіи можетъ компенсироваться удлиненіемъ пробѣга воды, если приростъ суши выражается въ освобожденіи отъ моря обширнаго и пологаго пространства. Точно также, если сокращеніе замкнутаго бассейна, происходитъ вслѣдствіе уменьшенія количества атмосферныхъ осадковъ, нельзя ожидать широкаго оживленія размыва; такое состояніе характеризуетъ именно старость гидрографической сѣти. Иначе происходитъ, если освобождается отъ моря участокъ дна съ крутымъ паденіемъ или происходитъ поднятіе какой-нибудь области неравномѣрно и притомъ будутъ подняты значительнѣе части, расположенныя выше по теченію рѣки. Такимъ неравномѣрнымъ поднятіемъ Дюттонъ (Dutton) объясняетъ образованіе каньоновъ Колорадо на плоскогорьи Аризона. Это

---

*) Въ этомъ отношеніи замѣчается еще неустойчивость взглядовъ даже у такого авторитетнаго ученаго, какъ Лаппаранъ. Въ послѣднемъ изданіи Traité de géologie, стр. 168, онъ опредѣленно высказывается, что циклъ эрозіи смѣняется новымъ цикломъ при измѣненіи метеорологическаго режима; въ Leçons de géogr. phys. онъ думаетъ нѣсколько иначе, ограничивая понятіе о циклѣ вліяніемъ сочетанія тектоническихъ причинъ. Такое понятіе опредѣленнѣе, такъ какъ всякое глубокое тектоническое измѣненіе, видоизмѣняющее поверхность земли, влечетъ за собой и нарушеніе метеорологическаго режима.

плоскогорье какъ одно цѣлое испытало медленное поднятіе на нѣсколько тысячъ метровъ, и рѣки протекаютъ теперь мѣстами болѣе, чѣмъ на тысячу метровъ ниже той поверхности, на которой онѣ начали свое развитіе. Вслѣдствіе неоднородности перемежающихся слоевъ разнаго возраста, слагающихъ плоскогорье Аризона, углубленіе рѣки шло неравномѣрно; задержки въ углубленіи вели къ боковому размыванію, расширявшему мѣстами долину въ видѣ широкихъ уступовъ, напр. среди угленосныхъ и пермскихъ слоевъ на твердыхъ каменноугольныхъ известнякахъ (см. фиг. 264). Плоскогорье представляетъ рядъ участковъ, раздѣленныхъ сбросами и нѣсколько наклонныхъ въ общемъ къ сѣверу, но направленіе каньоновъ совершенно не зависитъ отъ такого строенія; напр. Зеленая рѣка, какъ было упомянуто, проложила свое русло поперечнымъ размывомъ горъ Уинта. Такая независимость отъ тектоники можетъ служить доказательствомъ, что рѣка опредѣлилась уже задолго до дислокаціи страны, проявившей непосредственное вліяніе только на второстепенныхъ рѣкахъ страны, какъ это было высказано уже Поуэлемъ (см. стр. 427).

Образованіе глубокихъ излучинъ (méandres encaissés), представляющихъ характерную черту каньоновъ Колорадо, Тарна на плато Causses, и друг. подобныхъ же рѣкъ, понятно послѣ сказаннаго на стр. 381. Объяснить ихъ образованіе вліяніемъ только трещинъ различнаго направленія нельзя, такъ какъ обыкновенно такой трещиноватости и не наблюдается. До наступленія новаго жизненнаго цикла рѣка вѣроятно была близка къ состоянію старости, описывая на равнинной поверхности многочисленныя блуждающія излучины, которыя при оживленіи размыва смѣнились глубокими, обыкновенно неравносклонными. Если направляющее вліяніе тектоники прорѣзаемыхъ слоевъ значительно, извилистость постепенно упрощается, какъ это частью и наблюдается при углубленіи Тарна черезъ известняковое плоскогорье Causses и въ нѣкоторыхъ частяхъ Колорадо; въ общемъ же окончательное направленіе рѣки близко къ древнему до начала поднятія страны. Американскіе геологи называютъ такія углубившіяся рѣки антецедентными, т. е. предшествующими (первичными) или несогласными, какъ прямая противоположность рѣкъ консеквентныхъ. Поуэль характеризуетъ ихъ образно, что такія рѣки древнѣе заключающей ихъ долины. Очевидно, что такія долины также относятся къ категоріи эпигенетическихъ, но генезисъ рѣкъ антецедентныхъ совершенно иной, чѣмъ рѣкъ предопредѣленныхъ, или сьюперимпозедъ, имѣющихъ также эпигенетическія долины.

Положительное движеніе конечнаго базиса эрозіи или уровня моря (опусканіе суши или движеніе гидрократическое, т. е. захватъ суши моремъ; французы часто пользуются еще выраженіемъ submersion, а для движенія отрицательнаго émersion) отражается на ослабленіи размыванія по всей длинѣ рѣки, но первоначально въ усиленіи отложенія въ нижнемъ теченіи и въ постепенномъ перемѣщеніи области отложенія все выше по долинѣ рѣки. Нижніе притоки рѣки разъединяются и возникаютъ разобщенныя рѣки (dismembered Rivers) напр., рѣки западной Виргиніи и Мериланда (около Балтиморы и Вашингтона). Участки рѣчной долины могутъ быть заняты моремъ, образуя такъ называемые лиманы, напр., нашего Черноморскаго побережья; Днѣпръ, Бугъ и Березань представляютъ систему такихъ лимановъ, но возникшихъ на самостоятельныхъ рѣкахъ. Въ концѣ новаго жизненнаго цикла рѣки можно видѣть сильно извилистыя долины съ ровнымъ пологимъ дномъ, представляющимъ рѣзкій контрастъ относительно крутыхъ склоновъ, развившихся въ предшествующій циклъ.

Активное вліяніе орогеническихъ причинъ. Совокупность перемѣщеній въ земной корѣ, выражающихся медленными поднятіями или опусканіями, которыя не сопровождаются образованіемъ складокъ, принято называть эпайрогенетическими или эпайрогеническими (epeirogenic); этотъ терминъ, предложенный Джильбертомъ, обозначаетъ движенія, образующія материки (continent-making), въ отличіе отъ орогеническихъ (orogenic), или горообразовательныхъ (mountain-making) въ тѣсномъ смыслѣ, сопровождаемыхъ складчатостью. Эпайрогеническія движенія ведутъ къ образованію и высокихъ плоскогорій, когда они обнимаютъ слои со слабо нарушеннымъ залеганіемъ, какъ мы видѣли это на плоскогорьѣ Аризона. Въ орологіи (теперь это названіе вытѣсняется другимъ—морфологія), или наукѣ о происхожденіи формъ земной поверхности, употребляется еще терминъ діастрофизмъ (diastrophism), предложенный Поуэллемъ для совокупности всѣхъ процессовъ деформаціи земной поверхности подъ вліяніемъ причинъ, которыя мы называемъ тектоническими; слѣдовательно, діастрофическія формы земной поверхности въ описаніяхъ американскихъ геологовъ будутъ возникшія какъ отъ эпайрогеническихъ, такъ и орогеническихъ причинъ. Пассивное и активное вліяніе тектоники на формы поверхности относится также къ діастрофическимъ явленіямъ.

Активное вліяніе орогеническихъ причинъ на моделировку рельефа и выработку гидрографической сѣти можетъ быть еще болѣе глубокимъ, чѣмъ вліяніе

эпайрогеническихъ причинъ. Медленно возникающія складки заставляютъ приспособляться рѣки къ новымъ уклонамъ; если при этомъ главный уклонъ мало нарушается, то возникаютъ лишь субсеквентныя рѣки, вступающія въ старую консеквентную сѣть. Поднятіе складокъ простиранія перпендикулярнаго къ первоначальному уклону можетъ совершенно измѣнить направленіе первоначальной консеквентной рѣки, отклонивъ ее по синклинали, т. е. подъ прямымъ угломъ къ первоначальному. Могутъ возникать, слѣдовательно, рѣки совершенно независимыя отъ главной первоначальной тектоники, а приспособившіяся (ajustés) согласно позднѣйшей дислокаціи.

При измѣненіи рѣкой своего теченія во время такого процесса приспособленія можетъ случиться, что рѣка устремляется въ долину другой; при этомъ работа первоначальной рѣки уничтожается работой такой обсеквентной рѣки, но въ области отложенія, общей для первоначальной и послѣдующей рѣкъ, осадки второй покрываютъ осадки первой, позволяя иногда отличить, какъ самую фазу измѣненія, такъ нерѣдко и различныя направленія обѣихъ послѣдовательныхъ рѣкъ. Такое же уничтоженіе слѣдствій работы одной рѣки работой послѣдующей можетъ быть и при возникновеніи всякой обсеквентной рѣки, отъ какой бы причины не произошло ея образованіе. Предполагая складчатость очень медленной, можно допустить, какъ мы видѣли (стр. 379 и 427), пересѣченіе складокъ рѣкой и образованіе сквозныхъ поперечныхъ пересѣченій; такія рѣки слѣдуетъ также назвать антецедентными. При развитіи такихъ поперечныхъ долинъ возможно, конечно, и предварительное образованіе озеръ выше возникающей складки и постепенное ея пересѣченіе перемѣщеніемъ водораздѣла. Но въ этихъ случаяхъ уже нельзя называть рѣку антецедентной; однимъ изъ главныхъ условій образованія такихъ рѣкъ является, повидимому, достаточное углубленіе русла рѣки до начала складкообразованія.

Кромѣ примѣровъ, указанныхъ выше (стр. 427), къ числу антецедентныхъ рѣкъ орогеническаго происхожденія относятся многія рѣки западнаго склона Урала, берущія начало на пониженномъ (аномальномъ) и эксцентричномъ водораздѣлѣ, напр., Бѣлая, Ай, Чусовая; также рр. Гердаманъ-чай и Гекъ-чай, лѣвые притоки Куры къ западу отъ Шемахи, представляютъ антецедентныя рѣки съ нормальнаго водораздѣла, пересѣкающія складки третичныхъ породъ у подножія Кавказа. Интересный примѣръ приводитъ Дюттонъ въ Орегонѣ: на р. Колумбіи онъ описываетъ водопадъ, надъ которымъ расположена терраса, показывающая положеніе древняго русла, прорѣзаннаго въ базальтахъ. Выше водопада терраса поднята на 9 метровъ надъ современнымъ русломъ рѣки, а въ 3 кл. ниже та же терраса приподнята уже на 6 мет., тогда какъ паденіе рѣки на этомъ пространствѣ составляетъ всего 12 мет. Такимъ образомъ въ постъ-пліоценовую эпоху рѣка, достаточно уже углубленная въ верхней части, оказалась въ силѣ пересѣчь, не отклоняясь въ своемъ теченіи, небольшую складку, преграждавшую путь водѣ.

Сбросы могутъ понизить отдѣльные участки гидрографической сѣти среди складчатыхъ горъ ниже базиса эрозіи системы; возникаютъ въ мѣстахъ соединенія такихъ опустившихся частей съ участками, оставшимися на мѣстѣ, обыкновенно на окраинѣ орогеническаго массива, впадины, опредѣляющія положеніе озеръ, которыя называютъ озерами орогеническаго опусканія, въ отличіе отъ упомянутыхъ выше тектоническихъ озеръ въ первичныхъ впадинахъ. Такія озера, представляя только пониженные участки долинъ, характеризуются присутствіемъ надъ уровнемъ воды нарушенныхъ древнихъ террасъ, а подъ уровнемъ воды подводныхъ террасъ. Къ категоріи такихъ озеръ относятся нѣкоторыя изъ такъ называемыхъ окраинныхъ озеръ (Randseen, lacs de bordure), какъ Констанцское, Бріенское, Тунское, Женевское. Другія изъ такихъ озеръ уже покинуты рѣками, проточившими ихъ долины, какъ Цугское, Гардское, Ловерускоe; а третьи питаются рѣками совсѣмъ иными, чѣмъ проложившія ихъ долины, напр., Цюрихское озеро, образованное рѣкою Зиль (Sihl), а теперь пересѣкаемое Линтомъ, который нѣкогда протекалъ въ долину Гляття.

Новый циклъ эрозіи можетъ быть вызванъ и вулканическими процессами, которые мы разсматриваемъ въ ряду тектоническихъ. Значительные вулканическіе массивы становятся центрами распредѣленія новыхъ потоковъ воды, пріобрѣтающихъ значительную силу благодаря крутизнѣ склоновъ и способныхъ совершенно нарушить гидрографическую сѣть по периферіи такихъ поднятій и оказать извѣстное направляющее вліяніе, независимое отъ наклона самого основанія вулканическаго массива; въ то же время другая часть прежней гидрографической сѣти можетъ атрофироваться, не получая прежняго количества воды, часть котораго направляется по новымъ путямъ. Присутствіе рѣкъ типа сьюперимпозедъ съ эпигенетическими долинами наблюдается очень часто послѣ размыва части вулканическихъ массъ. Напр., массивы Канталь и Монъ-доръ, воздвигнутые на пенепленѣ центральнаго плато Франціи, обнаруживаютъ рѣзкое направляющее вліяніе на новую гидрографическую

сѣть этой старой почти-равнины. Крутой поворотъ верховій *нѣкоторыхъ* рѣкъ западнаго берега Камчатки къ югу обусловленъ поднятіемъ мощныхъ вулканическихъ массъ, послѣ того какъ обозначились консеквентныя рѣки по уклону побережья къ западу. Наконецъ, поднятія, вызываемыя образованіемъ лакколитовъ, этихъ слѣпыхъ интрузій вулканической магмы, могутъ проявляться на поверхности вліяніями, подобными мѣстному *орогеническому* движенію.

Послѣдовательность цикловъ эрозіи. Всѣ перемѣщенія въ земной корѣ при первомъ своемъ возникновеніи начинаютъ уже такъ *или* иначе оказывать свое вліяніе на дѣятельность проточныхъ водъ. Сколько разъ въ теченіе такихъ измѣненій испытываетъ превратности и гидрографическая сѣть страны? Въ какой степени такія послѣдовательныя ея измѣненія могли быть согласными или несогласными? Какіе слѣды ихъ могутъ быть возстановлены въ окончательномъ результатѣ? Таковы вопросы, говоритъ Лаппаранъ, разрѣшеніе которыхъ крайне трудно и, быть можетъ, нерѣдко невозможно за недостаткомъ матеріала, которымъ мы можемъ располагать. Приложеніе указанныхъ соображеній о *вліяніи* различныхъ *причинъ* на моделировку формъ земной поверхности къ отдѣльнымъ случаямъ требуетъ необыкновенно осторожнаго отношенія по причинѣ неизбѣжной сложности такихъ явленій въ природѣ. Тѣмъ не менѣе подробное геологическое изученіе страны и анализъ ея топографическихъ формъ позволяютъ иногда возстановить послѣдовательность нѣсколькихъ цикловъ эрозіи, каждый изъ которыхъ уже болѣе или менѣе развился ко времени наступленія послѣдующаго. Въ странахъ, не подвергавшихся сильной складчатости, такіе циклы эрозіи могли довести свою задачу *моделировки страны* до состоянія почти-равнинъ, и иногда удается доказать существованіе остатковъ такихъ денудаціонныхъ поверхностей среди топографическихъ формъ страны, а по взаимному ихъ отношенію возстановить послѣдовательность цикловъ эрозіи. Доказавъ существованіе такихъ остатковъ прежней почти-равнины и соединяя кривыми точки ея поверхности, имѣющія одинаковую абсолютную высоту, можно получить приблизительное представленіе о суммѣ сноса и тектоническихъ измѣненій (деформаціи поверхности, resultant of diastrophisme), которыя испытала *поверхность* послѣ окончанія цикла эрозіи, давшаго разсматриваемую почти-равнину.

Если можно возстановить такое построеніе для двухъ послѣдовательныхъ почти-равнинъ, то, отбрасывая часть деформаціи общую для обѣихъ, можно понять по крайней мѣрѣ въ общихъ чертахъ сумму дислокаціи, которымъ подверглась болѣе древняя денудаціонная поверхность въ началѣ цикла, давшаго послѣдующую поверхность.

Подобныя *изслѣдованія съ наибольшей полнотою были исполнены только для* нѣкоторыхъ пространствъ Соединенныхъ Штатовъ. Ихъ атлантическое побережье представляетъ особенность, что во время палеозоя суша была на мѣстѣ современнаго океана, а область морскихъ отложеній распространялась на мѣстѣ нынѣшней Аппалахской горной системы, гдѣ отлагались въ широкомъ геосинклиналѣ мощныя осадочныя образованія. Рѣки въ то время направлялись всѣ къ западу, въ сторону этой синклинали. Въ настоящее время топографическія условія обратны, и общій дренажъ аппалахской системы происходитъ въ сторону Атлантическаго океана; но исчезновеніе этой Атлантиды произошло во всякомъ случаѣ послѣ постепенной складчатости и поднятія (геократическаго) Аппалахъ. Такимъ образомъ, топографія страны обнаруживаетъ черты глубокой древности, согласныя съ первичнымъ состояніемъ поверхности и въ то же время рядомъ черты совершенно современныя. Въ особенности поразительна ничтожная роль водъ, собирающихся непосредственно къ Атлантическому океану, сравнительно съ обширной системой притоковъ Миссисипи, имѣющей направленіе *перпендикулярное* къ общему уклону Атлантическаго побережья. Нѣтъ сомнѣнія, что причину такого расположенія необходимо искать въ прошломъ страны.

По изслѣдованіямъ Гэйеса и Кэмпбелля *) до складкообразованія Аппалахской цѣпи въ концѣ палеозоя воды направлялись съ востока къ Аппалахскому морю. Поднятіе этой послѣдней области вызвало отклоненіе нижнихъ частей рѣкъ по линіи синклинала къ одному общему стволу, называемому этими авторами Аппалахской рѣкой.

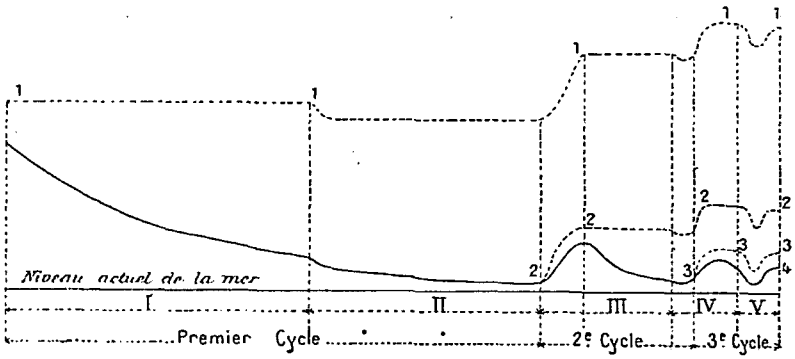
Съ конца палеозоя нынѣшняя Аппалахская система водами моря не покрывалась, подвергаясь непрерывной переработкѣ субъаэральными агентами; но именно эта дѣятельность и подчинялась значительнымъ измѣненіямъ, послѣ перваго жизненнаго цикла, преобразовавшаго область въ состояніе почти-равнины. Объ этихъ измѣненіяхъ до конца юрскаго періода трудно составить какое либо представленіе и только

*) Hayes and Campbell, Geomorphology of the southern Appalachians, Nat. geogr. Magazine, VI.

въ началѣ мѣловаго періода, вслѣдствіе новаго поднятія, проточныя воды закончили свою работу, доведя выравниваніе страны до полной равнинности; части такой поверхности денудаціи могутъ быть прослѣжены на Кумберлендскомъ плоскогорьѣ на высотахъ отъ 200 м. (центральная Алабама) до 1200 м. (Виргинія).

Съ наступленіемъ третичнаго времени равнина подверглась поднятію и изогнутію, которыя, не нарушивъ совершенно древней синклинали, возбудили новый жизненный циклъ гидрографической сѣти. На сѣверѣ эта равнина была приподнята такимъ образомъ, что она приняла покатость къ востоку, а на югѣ образовалась покатость къ западу. Соотвѣтственно первой протекаютъ рѣки Атлантическаго побережья — Делаваръ, Сусквеганна и Потомакъ, а соотвѣтственно второй рѣки Нью-Риверъ и притоки Теннесси. Повсюду продольныя долины слѣдуютъ по выходамъ болѣе слабыхъ слоевъ, а твердые образуютъ гребни современныхъ горъ. Извѣстное однообразіе Аппалахскихъ горъ, раздѣленныхъ плоскими удлиненными бассейнами, соотвѣтствуетъ такому расположенію первичныхъ долинъ. Воды изъ этихъ долинъ при развитіи сѣти стремились направиться по новымъ только что упомянутымъ уклонамъ, прорывая клюзы. Интересно, что часть такихъ клюзъ съ теченіемъ времени была оставлена рѣками, нашедшими болѣе легкій стокъ; такія клюзы извѣстны теперь подъ названіемъ wind-gaps, т. е. вѣтровыя щели.

Послѣдовательный рядъ дислокацій всетаки не уничтожилъ центральной депрессіи; она еще рѣзче обособилась между двумя поясами складчатыхъ горъ. Отъ сере-



Фиг. 324. — Діаграмма цикловъ эрозіи Аппалахской системы. I — эпоха до-мѣловая; II — эпоха мѣловая; III — эпоха эоцена; VI — эпоха неогеновая; V — эпоха плейстоценовая. 1 — до-мѣловая почти равнина; 2 — мѣловая; 3 — третичная почти равнина; 4 — уровень р. Теннесси.

дины штата Виргиніи по этой депрессіи и пролегала главная линія дренажа — аппалахская рѣка, имѣвшая устье въ Мексиканскомъ заливѣ; верхнее теченіе Теннесси (выше Chattanooga) и р. Куза составляютъ остатки этой рѣки, отложенія которой представляются теперь обломочными образованіями эоцена въ долинѣ Алабамы. Едва законченъ былъ этотъ циклъ, какъ въ концѣ эоцена наступило опусканіе, смѣнившееся новымъ поднятіемъ и третьимъ послѣтретичнымъ цикломъ эрозіи. Изогнутіе, послѣдовавшее въ этотъ періодъ, особенно было благопріятно рѣкамъ западной части страны, которыя подвинулись своими вершинами далеко къ востоку и постепенно восприняли въ новую систему Миссисипи части аппалахской рѣки.

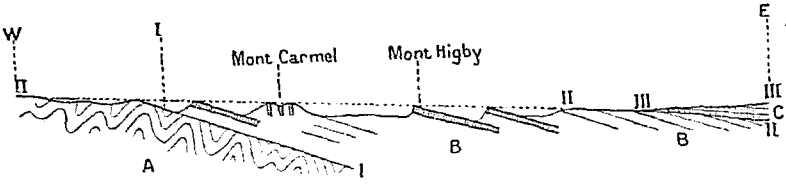
Такъ извилистое ущелье Chattanooga, на р. Теннесси, пересѣкающее горы рядомъ клюзъ, представляетъ слѣдъ такого захвата рѣками съ запада. Отклоненіе, до того самостоятельной, р. Теннесси къ Огіо относится къ постъ-пліоцену при поднятіи прибрежной полосы Мексиканскаго залива. Гидрографическая система Аппалахъ представляетъ такимъ образомъ большую сложность. Мы видимъ тамъ немногія рѣки антецедентныя, сохранившія свое первоначальное положеніе, напр. р. Kanawha (притокъ Огіо въ Зап. Виргиніи, сѣв. Аппалахи) и нѣкоторые притоки Теннесси и Алабамы (южныя рѣки Аппалахъ). Немногочисленны также рѣки консеквентныя, расположенныя по синклиналямъ системы складокъ; сюда относится нѣсколько развѣтвленій притоковъ Теннесси и Куза (Coosa правая вершина Алабамы). Наоборотъ многочислены рѣки, сохранившія полную независимость отъ главной структуры, приспособившіяся къ послѣдующей деформаціи поверхности. Нѣкоторыя имѣютъ характеръ сьюперимпозедъ, какъ Осоее при пересѣченіи Аппалахъ; иные притоки Теннесси сохраняютъ направленіе согласное древнимъ условіямъ уклона и уровня, противоположнымъ современнымъ. Фиг. 324 изображаетъ діаграмму, по-

казывающую наглядно сумму деформацій Аппалахской системы и относительную продолжительность послѣдовательныхъ цикловъ эрозіи.

Сплошная кривая показываетъ своими пониженіями непрерывное углубленіе рѣчной системы, т. е. работу эрозіи, а своими повышеніями поднятія въ теченіе соотвѣтствующаго цикла; каждая пунктирная линія соотвѣтствуетъ одной изъ пенепленъ и даетъ своими ординатами понятіе о высотахъ, на которыхъ можно теперь еще встрѣтить остатки этихъ древнихъ равнинъ.

Обширное пространство на западномъ склонѣ Аппалахъ между горами Blue и Ridge и береговой равниной представляетъ слабо холмистый поясъ, такъ называемый Piedmont Belt (Пайдмонтъ бельтъ, т. е. поясъ холмовъ), протягивающійся къ западу отъ городовъ Балтимора, Вашингтонъ, Ричмондъ далеко къ юго-западу. Отдѣльныя округленныя возвышенности, какъ остатки болѣе древней денудаціонной поверхности, разнообразятъ эту равнину, приподнятую въ общемъ на нѣсколько сотъ футовъ, надъ уровнемъ моря и пересѣкаемую глубокими руслами современныхъ рѣкъ. Здѣсь, слѣдовательно, два горизонта денудаціонныхъ поверхностей, поднятыхъ и расчлененныхъ при соотвѣтственномъ оживленіи размывающей работы водъ. Такія же древнія почти равнины представляетъ Коннектикутъ, части Массачузета, Нью-Гэмширъ и Вермонтъ; отдѣльныя высоты, съ точностью поднимающіяся до горизонта древней равнины, получили здѣсь, ставшее уже нарицательнымъ, названіе монадноковъ (monadnock).

Схема фиг. 325 показываетъ возстановленіе трехъ послѣдовательныхъ цикловъ эрозіи въ Коннектикутѣ по Дэвису. Первая равнина образовалась до отложенія тріасовыхъ слоевъ; остатки такой поверхности обнаруживаютъ теперь крутой наклонъ. Съ меньшимъ уклономъ наблюдаются остатки поверхности денудаціи вто-



Фиг. 325. — Схема послѣдовательныхъ почти равнинъ Коннектикута по Дэвису. I—до-тріасовая поверхность; II—до-мѣловая; III—третичная; A—кристаллическіе сланцы; B—тріасовыя отложенія; C — мѣловая.

раго цикла передъ наступленіемъ мѣлового періода; на этой поверхности высшія точки представлены выходами изверженныхъ породъ среди тріасовыхъ образованій (Mont Carmel и Mont Higby). Всѣ эти точки расположены на плоскости слегка наклонной отъ кристаллическихъ породъ къ мѣловымъ образованіямъ, подъ которыя она и скрывается. Поверхность мѣловыхъ породъ представляетъ третью поверхность денудаціи третичнаго времени.

Калифорнія представляетъ интересный примѣръ двухъ послѣдовательныхъ цикловъ эрозіи, одного въ концѣ третичнаго періода, характеризующагося извѣстными золотоносными отложеніями, другого современнаго, отдѣленнаго отъ перваго періодомъ пліоцена съ мощными вулканическими изліяніями. Эти отложенія андезитовыхъ лавъ и туфовъ нарушили систему пліоценовыхъ рѣкъ и опредѣлили современныя теченія р.р. Yuba, American River и другихъ западнаго склона Сіерра-Невады. Линдгренъ, пользуясь многочисленными наблюденіями при разработкѣ золотоносныхъ конгломератовъ, возстановилъ сѣть древнихъ рѣкъ, въ общемъ мало отличную отъ современной. Профили этихъ третичныхъ рѣкъ представляютъ однако нѣкоторыя выпуклости, которыя нельзя объяснить сопротивленіями размыву подлежащихъ породъ. Эти выпуклости тѣмъ отличительнѣе, что современныя рѣки, менѣе подвинувшіяся въ работѣ размыванія своихъ руселъ сравнительно съ пліоценовыми, тѣмъ не менѣе дошли до правильнаго вогнутаго профиля, хотя и болѣе крутого, чѣмъ профили этихъ послѣднихъ.

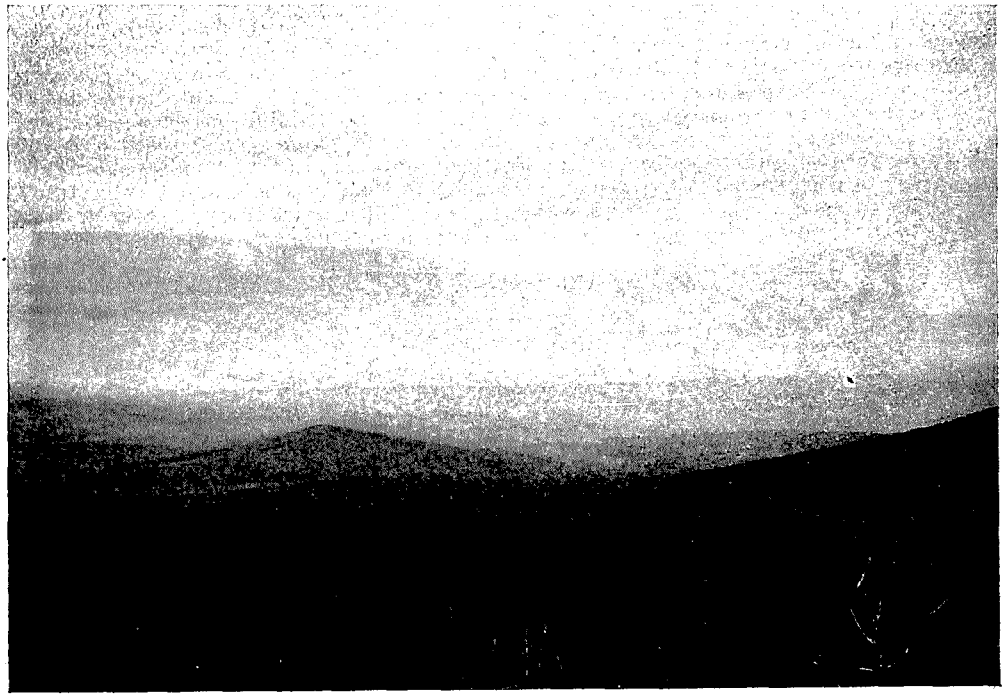
Линдгренъ заключаетъ отсюда, что какъ до изліянія вулканическихъ породъ, такъ и послѣ проявлялись вѣроятно орогеническія движенія, послѣднія изъ которыхъ, деформировавъ западный склонъ Сіерра-Невады, увеличили и уклонъ рѣкъ.

Дѣятельность моря при положительномъ движеніи его уровня, слѣдовательно также активномъ вліяніи тектоники, можетъ повести къ полному выравниванію страны, т. е. къ образованію поверхности абразіи или равнины морской денудаціи. Рамзай (1847) и Рихтгофенъ (1886) ввели въ науку это широкое понятіе о геоло-

гической роли морскихъ волнъ (см. главу VII); еще ранѣе Де-ля-Бэшъ (1839) объяснялъ дѣйствіемъ моря и метеорологическихъ причинъ уничтоженіе (Abrasion) значительныхъ массъ материковъ. Крупное геологическое значеніе субъаэральныхъ процессовъ на денудацію земной поверхности показываетъ распространеніе во всѣхъ геологическихъ системахъ, отъ древнѣйшихъ археозойскихъ до третичныхъ, мощныхъ континентальныхъ *отложеній, часто обнаруживающихъ признаки*, что ихъ *плоскости* напластованія были и топографическими поверхностями того времени.

Естественно, что теперь ограничивается представленіе о поверхностяхъ абразіи, такъ какъ абрадирующее море должно было покрывать поверхности, подвергшіяся уже продолжительнымъ субъаэральнымъ процессамъ.

Если поверхности пенепленъ болѣе древнихъ расположены гипсометрически выше, чѣмъ поверхности болѣе позднихъ, то едва ли можетъ быть сомнѣніе въ ихъ



Фиг. 326. — Общій видъ «увалистой» полосы Урала съ Качканара на востокъ. Древняя пенепленъ восточнаго склона Урала.

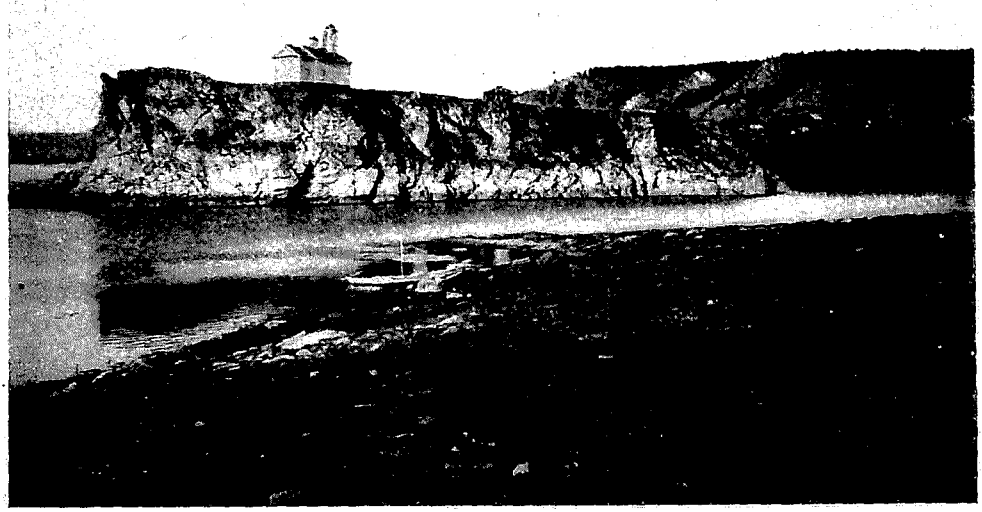
эрозіонномъ происхожденіи, какъ это имѣетъ мѣсто въ Аппалахской системѣ. Не такъ ясно это, если древнѣйшая поверхность пенепленъ лежитъ ниже послѣдующей, напр., въ Коннектикутѣ дотріасовая поверхность; континентальный характеръ тамошнихъ тріасовыхъ отложеній не можетъ быть вполнѣ рѣшающимъ относительно происхожденія такой поверхности, такъ какъ слишкомъ значителенъ перерывъ между кристаллическими сланцами этой поверхности и покрывающими ихъ тріасовыми отложеніями.

Расположеніе поверхности денудаціи, подобное отношенію холмистаго пояса Piedmont въ Аппалахской системѣ, встрѣчаемъ на восточномъ склонѣ Урала, представляющемъ *поверхность глубокаго измѣненія* гористаго пространства сложной тектоники (фиг. 326). Со времени конца палеозоя это пространство было сушей, подвергавшейся процессамъ субъаэральной денудаціи, однообразно понизившей ея поверхность; по отдѣльнымъ высотамъ можно прослѣдить положеніе древнѣйшей пенепленъ, расчлененной послѣдующимъ размывомъ. Вѣроятно, на многихъ пространствахъ Восточной Сибири можно было бы указать остатки такихъ же древнихъ поверхностей денудаціи (см. фиг. 327 и 329).

Разнообразіе гидрографическихъ системъ. Изъ предшествующаго обзора условій развитія рѣчныхъ системъ можно видѣть, какое генетическое разнообразіе онѣ могутъ представлять. Можно различать съ точки зрѣнія исторіи развитія рѣчной системы:

1) рѣки, соотвѣтствующія одному циклу эрозіи, законченному въ области однородной по геологическому составу и строенію,—первоначальныя рѣки (originelles французскихъ и primitives американскихъ авторовъ *); 2) рѣки, соотвѣтствующія одному же циклу эрозіи, но пересѣкающія различныя геологическія области, изъ которыхъ каждая придаетъ соотвѣтствующему участку системы особую физіономію,—сложныя рѣки (composites); 3) рѣки, образованныя соединеніемъ нѣсколькихъ вѣтвей, различнаго возраста и слѣдовательно неодинаково подвинувшіяся въ своей работѣ размыванія,—составныя (composées, compound); 4) наконецъ, рѣки, вошедшія въ новый циклъ эрозіи, слѣдствія котораго, такъ сказать, покрываютъ слѣдствія первоначальнаго, но еще не уничтожили совершенно,—преобразованныя рѣки (complexes).

Геологическіе процессы могутъ или соединить къ одному стволу сѣти первоначально независимыя, или наоборотъ разъединить въ отдѣльные бассейны сѣть,



Фиг. 327. — Дер. Каменская при устьи р. Каменки въ Ангару. Терраса размыва въ плотныхъ доломитизированныхъ известнякахъ и окраина пенеплена на заднемъ планѣ.

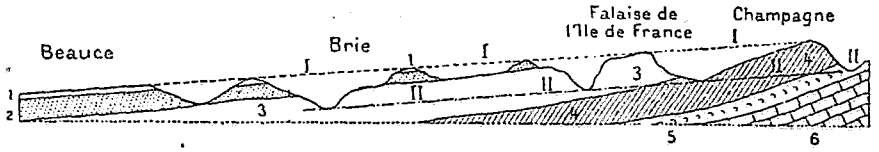
первоначально представлявшую одно генетическое цѣлое. Само собою разумѣется, что рѣчная система тѣмъ проще и топографія ее окружающая тѣмъ однообразнѣе, чѣмъ однороднѣе соотвѣтствующій ей геологическій бассейнъ. Если этотъ бассейнъ сложный, и различіе въ генетическихъ или петрографическихъ условіяхъ различныхъ выходовъ породъ велико, то и топографія будетъ неодинакова въ различныхъ точкахъ совершенно независимо отъ какой-либо продолжительности работы проточной воды; но извѣстные участки рѣки среди породъ, менѣе упорныхъ эрозіи будутъ носить общіе признаки зрѣлости, между тѣмъ какъ другіе будутъ казаться еще юными. Слѣдовательно, отнюдь нельзя руководствоваться одними топографическими признаками при оцѣнкѣ степени эволюціи рѣчной системы на ея жизненномъ циклѣ.

Изъ рѣкъ наиболѣе изслѣдованныхъ въ этомъ отношеніи, Рейнъ относится къ

*) Ихъ можно было бы назвать однородными, но такое названіе дано Зупаномъ рѣкамъ, имѣющимъ только или равнинное, или горное теченіе, слѣдовательно съ орографической точки зрѣнія; неоднородными онъ называетъ рѣки, имѣющія горное и равнинное теченіе: такія въ свою очередь имѣютъ или двойное теченіе, или чередующееся, когда горное и равнинное теченіе чередуются многократно; двойныя онъ называетъ иначе нормальными.

числу одновременно сложныхъ, составныхъ и преобразованныхъ, а Сена относится къ сложнымъ и преобразованнымъ. Сена представляетъ одинъ изъ лучшихъ примѣровъ рѣки въ періодѣ зрѣлости, достигшей состоянія полнаго равновѣсія на многихъ изъ ея главныхъ притоковъ. Если мысленно соединить одинаковые элементы рельефа около различныхъ рѣкъ ея бассейна, достигшихъ такого состоянія равновѣсія, то намѣчается уже и будущая поверхность денудаціи, будущая пенеплень. Первый циклъ эрозіи бассейна Сены закончился съ существованіемъ олигоценоваго бассейна, который постепенно сократился въ сторону Луары, а бывшее дно его было приподнято на сѣверо-востокѣ около Парижа до отмѣтокъ 170—180 м. Одновременно съ такимъ сокращеніемъ базиса эрозіи рѣки этого олигоценоваго бассейна, пришедшія въ состояніе равновѣсія и удлиненныя при его отступленіи, оживили свою размывающую работу, расчленяя поверхность денудаціи олигоценоваго времени; остатки этой поверхности представляютъ теперь извѣстные обрывы (falaise) Шампаньи, Иль-де-Франсъ, Argogne и друг. изъ мѣловыхъ и третичныхъ породъ. (Фиг. 328).

Въ такой громадной гидрографической сѣти, какую представляетъ Европейская Россія, не только различныя рѣки, но и части однѣхъ и тѣхъ же относятся къ областямъ, ставшимъ сушей разновременно и испытывавшимъ различныя геологическія преобразованія. Академикъ Карпинскій *) суммировалъ сложную геологическую жизнь пространства Европ. Россіи въ замѣчательныхъ схемахъ, открывающихъ все новые горизонты. Онъ показалъ, что морскіе бассейны на этомъ пространствѣ, оставившіе свои слѣды въ видѣ разновременныхъ геологическихъ образованій, представляютъ послѣдовательное чередованіе морей, простирающихся въ широтномъ направленіи и протягивающихся почти меридіанально (см. соотвѣтствующія карты



Фиг. 328. — Діаграмма Парижскаго бассейна. 1 — известнякъ (Beauce), 2 — олигоценовые пески; 3—эоценовыя отложенія; 4—мѣловыя; 5—нижне мѣловыя; 6—юрскіе известняки. I—олигоценовая поверхность денудаціи; II—поверхность по кривой нормальнаго паденія современныхъ рѣкъ.

въ V гл., I т.). Пониженія земной коры, вызывающія такое распредѣленіе бассейновъ въ широтномъ направленіи, обнимаютъ среднюю и южную части Европейской Россіи; меридіанальныя пониженія располагаются въ ея восточной части. Оказывается, что только въ сѣверо-западномъ районѣ теперешней Россіи находится площадь, остававшаяся съ отдаленнѣйшихъ геологическихъ временъ почти постоянно сушей, а на юго-востокѣ, въ предѣлахъ Астраханской губерніи, является пространство, которое освободилось отъ моря, покрывавшаго его съ верхне-девонской эпохи, только во время пліоцена, но затѣмъ послѣ значительнаго промежутка времени снова во время постъ-пліоцена покрылось водами Каспійской трансгрессіи. Этой послѣдниковой трансгрессіи соотвѣтствуетъ и одновременное наступленіе Сѣвернаго океана отъ западнаго склона Урала и до упомянутаго сѣверо-западнаго района Россіи. Вдоль западнаго склона Урала въ области Поволжья и Прикамья трансгрессіи Каспійская и Сѣверная почти сомкнулись; снова впадина принимаетъ меридіанальное направленіе. Пространство Европ. Россіи относится къ числу такъ называемыхъ спокойныхъ или устойчивыхъ площадей; только что упомянутыя чередованія въ распредѣленіи морскихъ бассейновъ прошлаго показываютъ, что распространеніе ихъ могло зависѣть отъ образованія пологихъ геосинклиналовъ различнаго направленія, то широтнаго, то меридіональнаго. Зависимость между орографіей Россіи и тектоникой на ея площади была уже нами разсмотрѣна (т. I, стр. 380—384) и было указано, что обособленіе двухъ главныхъ орографическихъ элементовъ площади Евр. Россіи, именно Средне-Русской и Приволжской возвышенностей, представляетъ результатъ сложныхъ и разнообразныхъ дислокацій, но вѣроятно на ихъ обособленіи отражается даже древнѣйшая до-кембрійская дислокація. Эти возвышенности уже были ко времени ледниковаго періода, когда сплошной покровъ льда долженъ былъ совершенно измѣнить существовавшую къ тому вре-

*) См. т. I, глава V и VI (стр. 380—384).

мени гидрографическую сѣть. Эта сѣть могла развиваться со времени верхняго мѣла; она должна была испытывать крупныя измѣненія во время, напр., колебаній въ распространеніи неогеновыхъ бассейновъ юга Россіи до эпохи сармата, какъ эпохи значительнаго расширенія моря. Вѣроятно, что къ этому времени вся поверхность Евр. Россіи достигла состоянія почти равнины съ тѣми же главными элементами рельефа, что и теперь. Распространеніе ледниковаго покрова представляетъ настолько сильный факторъ въ моделировкѣ формъ поверхности Россіи, что можно говорить только о рѣкахъ, образовавшихся въ предѣлахъ распространенія этого покрова и внѣ его. Главнѣйшія особенности, такъ или иначе управлявшія развитіемъ современной гидрографической сѣти, кромѣ условій ледниковаго періода, выражаются еще—въ вліяніи тектоники на созданіе главныхъ элементовъ рельефа Евр. Россіи, въ мощныхъ послѣ-ледниковыхъ трансгрессіяхъ Каспійской и Сѣверной, въ новѣйшей исторіи развитія Черноморскаго бассейна на югѣ (см. т. I, стр. 299—300) и Балтійскаго моря на сѣверо-западѣ (т. I, стр. 716—720). Гидрогра-

Фиг. 329. — Петропавловскій пріискъ на р. Мал. Шаарганъ. Пенепленъ восточной Сибири, бассейнъ р. Енисея.

фическая сѣть Евр. Россіи относится преимущественно къ замкнутымъ бассейнамъ, сокращенія и расширенія которыхъ связаны тѣснѣе съ климатическими условіями суши; приложеніе къ исторіи развитія нашихъ рѣкъ общихъ положеній американскихъ географовъ становится труднѣе и оставляетъ много еще не разрѣшенныхъ вопросовъ.

Волга и Днѣпръ представляютъ сложныя, составныя и преобразованныя системы. Бассейнъ Камы и Бѣлой въ крупныхъ чертахъ значительно древнѣе, чѣмъ бассейнъ верхней Волги, представлявшій морскую поверхность въ нижне-мѣловую эпоху; тамъ мы видѣли и рѣки антецедентныя (Ай, Бѣлая, Чусовая). Значительная часть Камы и все нижнее теченіе Волги приблизительно отъ Нижняго древнѣе верхняго теченія Волги, такъ какъ эти участки проложены внѣ распространенія ледниковаго покрова. Правыя вершины Припяти, идущія съ Прикарпатской возвышенности, древнѣе верхняго бассейна и средняго теченія Днѣпра, развившихся только послѣ отступленія ледниковаго покрова. Донъ, Донецъ и Волга, отъ Нижняго (приблизительно) совершенно обособились уже во время ледниковой эпохи. Многіе участки различныхъ рѣкъ относятся къ типу наложенныхъ (долины ихъ эпигенетичны) не соотвѣтственно преобладающему уклону, а другіе проходятъ въ долинахъ, унаслѣдованныхъ отъ ледниковыхъ потоковъ (долины древнѣе рѣкъ). Волга въ ея цѣломъ представляетъ рѣку, приспособившуюся къ болѣе древнимъ тектоническимъ направле-

ніямъ, а не по уклонамъ преобладающихъ элементовъ рельефа. Направленія средняго теченія Днѣпра, Дона и Донца обусловлены тектоникой и положеніемъ древней кристаллической полосы юга Россіи. Замѣчательные изгибы къ юго-западу, которые дѣлаютъ Днѣпръ, Донъ и Донецъ въ своихъ нижнихъ теченіяхъ соотвѣтствуютъ широкому пониженію, опредѣляющему берега Азовскаго моря, сѣверо-западный берегъ Крыма и западный берегъ Чернаго моря около Одессы, равно какъ и пониженіе, занятое нижнимъ теченіемъ Дуная между Болгаріей и Румыніей. Эти отклоненія рѣкъ южной Россіи происходятъ какъ разъ на пересѣченіи ими ясно выраженной линіи Польско-Мангишлакской дислокаціи, вдоль которой слѣдуютъ эти рѣки раньше.

Время развитія рѣкъ Новороссіи относится къ эпохѣ неогена. При постепенномъ сокращеніи Сарматскаго бассейна до степени незначительнаго бассейна Каспійскаго типа въ предѣлахъ Чернаго моря *) рѣки юга Россіи достигли своей максимальной эрозіонной дѣятельности. Наибольшее сокращеніе и пониженіе уровня бассейна Чернаго и Азовскаго морей, почти одновременное и регрессіи Каспія, соотвѣтствуетъ времени образованія лёсса и лёссовиднаго суглинка при условіяхъ степнаго климата на всемъ пространствѣ юга Россіи даже сѣвернѣе границы уже отступившаго ледниковаго покрова. Количество воды въ рѣкахъ юга Россіи значительно при этомъ уменьшается, какъ это слѣдуетъ думать и по сокращенію Каспія къ этому времени, но вслѣдствіе пониженія базиса эрозіи они продолжаютъ еще углублять свои русла въ низовьяхъ. По мнѣнію Соколова пониженіе уровня Чернаго моря надо предполагать по крайней мѣрѣ на 40—50 мет., и къ этому времени относится углубленіе низовій черноморскихъ рѣкъ, также образованіе Днѣпровскихъ пороговъ. Схема физико-географическихъ условій юга Россіи, набрасываемая Соколовымъ въ упомянутомъ изслѣдованіи для времени отъ до-ледниковаго до эпохи наибольшаго сокращенія Черноморскаго бассейна, даетъ право назвать этотъ промежутокъ времени тѣмъ не менѣе періодомъ наступающей старости гидрографической сѣти. Къ концу оледенѣнія это пространство достигло состоянія почти равнины, высшія точки которой поднимаются до 240 м. надъ уровнемъ Чернаго моря. Одновременно съ углубленіемъ руселъ въ низовьяхъ слабое смываніе на пространствѣ всей сѣти ведетъ къ отложенію по склонамъ лёссовидныхъ породъ и къ общей нивеллировкѣ страны. Мы встрѣчаемся съ интереснымъ фактомъ настолько быстрыхъ колебаній базиса эрозіи, что вліяніе этой причины не передается до вершины гидрографической сѣти, подчиняющейся всей суммѣ физико-географическихъ условій. Иначе рѣшительно невозможно было бы согласовать съ временемъ сокращенія Чернаго моря образованіе лёсса и лёссовидныхъ породъ, какъ продуктовъ намыванія и эоловой дѣятельности при ослабѣвающемъ размывѣ. Усиленіе размыванія въ низовьяхъ должно было совершенно устраняться значительнымъ уменьшеніемъ количества воды. За эпохою наибольшаго пониженія базиса эрозіи наступаетъ быстрое повышеніе его, вслѣдствіе соединенія Чернаго моря съ Средиземнымъ и образованіе лимановъ въ низовьяхъ рѣкъ; замѣтное измѣненіе климата въ связи съ развитіемъ лёсовъ на сѣверной окраинѣ гидрографической сѣти дѣлаетъ снова рѣки болѣе многоводными. Этотъ періодъ характеризуется значительнымъ оживленіемъ размыва и выработкой современныхъ формъ рельефа южныхъ степей. Періодъ оживленія размыванія наступилъ, повидимому, до завершенія жизненнаго цикла рѣкъ; мы видимъ, что сочетаніе различныхъ причинъ можетъ многократно прерывать жизненный циклъ страны, полное развитіе котораго повторяется въ исторіи земли далеко не такъ часто.

Главнѣйшіе періоды новѣйшей исторіи бассейна Волги не будутъ совпадать съ такими же періодами для юга Россіи. Наибольшее развитіе Каспійской трансгрессіи не сопровождалось какимъ-либо расширеніемъ Черноморскаго бассейна; это время, независимо отъ поднятія базиса эрозіи, было эпохой выработки многихъ широкихъ долинъ ледниковыхъ рѣкъ. Новѣйшія нарушенія залеганія вносятъ еще новыя причины въ распредѣленіе гидрографической сѣти, задержавшія развитіе состоянія равновѣсія рѣкъ, равно какъ и сложныя условія мореннаго ландшафта въ предѣлахъ распространенія ледниковаго покрова. Какъ отражалась Каспійская трансгрессія на развитіи рѣчныхъ долинъ прекрасно прослѣжено Чернышевымъ **) на рѣчныхъ террассахъ притоковъ Камы и Бѣлой; верхнія террассы, сложенныя изъ лёссовидныхъ глинъ, представляютъ отложенія, оставленныя рѣками при ослабленіи ихъ паденія и размыванія во время Каспійской трансгрессіи; при послѣдующемъ отступленіи моря, т. е. пониженіи базиса эрозіи, рѣки начали углублять свои русла, и возникли отчетливыя террассы.

---

*) Sokolow, Der Mius-Liman und die Entstehungszeit der Limane Süd-Russlands, Зап. Имп. Сп. Мин. Общ., т. XL, 1902. Его же, О происхожденіи лимановъ южной Россіи, Тр. Геол. Ком., т. X, № 4, 1895.

**) Guide des excursions du VII Cong. géol., стр. 15—16 (III).

Развитіе рѣчныхъ системъ представляетъ такое сложное слѣдствіе всей геологической исторіи каждой страны, что нерѣдко приходится пока ограничиваться указаніями только на отдѣльные моменты исторіи развитія рѣки. Въ особенности недостаточно еще матеріаловъ для исторіи рѣкъ Сибири. Для Оби, представляющей сборный бассейнъ всей западно-сибирской низменности, можно, напр., только отмѣтить вѣроятное значеніе на ея развитіе олигоценовой трансгрессіи съ запада по Тургайскому проливу; слѣдовательно, трансгрессіи, вліявшей только на развитіе верхняго теченія, а не всего бассейна, какъ сѣверная постъ-пліоценовая трансгрессія. Направленіе и положеніе Оби, Енисея и Лены становятся понятными лишь на основаніи схемы геологическаго строенія всего сѣвера Сибири, и мы вернемся къ этому въ заключительной главѣ книги.

ГЛАВА VI.

Стоячія воды суши.

Озера.

Озеромъ называютъ всякое замкнутое со всѣхъ сторонъ углубленіе (Wanne, cuvette) на поверхности земли, заполненное водою и не имѣющее непосредственнаго сообщенія съ моремъ.

Геологическая роль озеръ несравненно ограниченнѣе, нежели проточныхъ водъ; тѣмъ не менѣе изученіе ея имѣетъ большое значеніе для выясненія физическихъ измѣненій, происходящихъ на поверхности земли. Озера, являясь большею частью слѣдствіемъ этихъ измѣненій могутъ, наоборотъ, своими свойствами и географическимъ распредѣленіемъ свидѣтельствовать о характерѣ ихъ,—напр., превращеніе проточныхъ озеръ въ непроточныя, прѣсныхъ въ соленыя и пр., прямо указываетъ на перемѣну влажнаго климата въ сухой; нахожденіе такъ называемыхъ реликтовыхъ озеръ на большой абсолютной высотѣ можетъ свидѣтельствовать о громадныхъ тектоническихъ процессахъ и т. д. Но, кромѣ того, озера для насъ важны по своимъ осадкамъ, изученіе которыхъ разъясняетъ происхожденіе аналогичныхъ образованій древнихъ эпохъ.

Озерные осадки раздѣляются на механическіе и химическіе. Химическія отложенія, какъ, напр., образованіе гипса, каменной соли, глауберита и пр., кромѣ геологическаго, имѣютъ громадное экономическое значеніе; такъ-называемыя соленыя озера представляютъ главные источники для добычи поваренной соли, глауберита, буры и пр.; мы разсмотримъ эти отложенія подробнѣе, особенно по отношенію къ Россіи, гдѣ они достигаютъ огромнаго развитія.

Озера, по справедливому замѣчанію Зупана [1]), составляютъ такую же противоположность съ островами, какъ моря съ материками. Подобно тому, какъ острова раздѣляются на континентальные и океаническіе, озера также можно раздѣлить на материковыя, образовавшіяся самостоятельно, благодаря орографическимъ и климатическимъ условіямъ, и морскія, т. е. отрывки или части моря, отдѣлившіеся вслѣдствіе какихъ бы то ни было процессовъ; ихъ иначе называютъ реликтовыми озерами, по сохранившейся въ нихъ морской фаунѣ. Но общая площадь озеръ далеко уступаетъ площади острововъ; послѣдніе составляютъ 7,6% суши или 2,2% моря, тогда какъ площадь озеръ даже въ областяхъ преобладанія ихъ, напр. въ Россіи и въ Американскихъ Соединенныхъ Штатахъ, составляетъ только 1,3% и 0,8% поверхности.

Каспійское озеро, самое большое (439,418 кв. кил.), едва равняется Суматрѣ, но оно единственное; слѣдующія по величинѣ три озера: Верхнее (82,877 кв. к.), Укереве (75,205) и Аральское (34,932). не превышаютъ Ирландіи. Площадь обширнѣйшей группы канадскихъ озеръ (238,971) уступаетъ Новой Зеландіи. Изъ большихъ горныхъ озеръ Байкалъ занимаетъ первое мѣсто, имѣя 34,932 кв. кил. Затѣмъ въ Европѣ Ладожское—18,139, Женевское—573 кв. к. Величина озеръ весьма разнообразна и варьируетъ отъ громадныхъ до маленькихъ лужъ,. Подобно островамъ озера также находятся или по-одиночкѣ, или гораздо чаще группами. Абсолютная высота ихъ также разнообразна; нѣкоторыя залегаютъ ниже уровня моря, наприм. Каспійское на 25 м., Мертвое море на 394 м., тогда какъ другія—оз. Тсана въ Абиссиніи лежитъ на высотѣ 1942 м., оз. Титикака на 3808 м., Каракуль на Памирѣ 4400 м. и проч. Самое высокое озеро Аское въ Тибетѣ лежитъ на высотѣ 5066 м.

Озера находятся почти подъ всѣми широтами, за исключеніемъ тропической Африки, но наибольшаго развитія достигаютъ къ сѣверу отъ 40° с. ш. и къ югу отъ 40° ю. ш. Такъ, въ Швеціи площадь озеръ составляетъ 8,4%, въ Финляндіи болѣе 11%, въ Прибалтійской и Сѣверной Россіи 3,8%. Въ Соединенныхъ Штатахъ поясъ озеръ тянется отъ Миннезота чрезъ Нью-Іоркъ до Майна, составляя 3,3%, но въ Миннезотѣ 4,6, а въ Майнѣ 7%; по Ратцелю, въ первомъ около 10,000 озеръ, а во второмъ 1,568. Въ Помераніи 960 озеръ, въ Восточной и Западной Пруссіи 450 и т. д. Съ другой стороны въ нѣкоторыхъ обширныхъ областяхъ, напр., на всемъ материкѣ Южной Америки, за исключеніемъ южной оконечности, озеръ совершенно нѣтъ. Географическое распредѣленіе озеръ главнымъ образомъ зависитъ отъ климата; чѣмъ больше атмосферныхъ осадковъ, тѣмъ больше проточныхъ озеръ, а при сухомъ климатѣ преобладаютъ непроточныя и соленыя озера, или же только сухія котловины, напр. въ Сахарѣ, Туранской низменности и пр., залегающія часто ниже уровня моря.

Такія озера, поверхность которыхъ лежитъ ниже уровня моря, представляютъ пониженія на поверхности земли, которыя называютъ депрессіями; между ними различаютъ прибрежныя и внутреннія. Первыя обыкновенны на многихъ низкихъ побережьяхъ за плотинами и дюнами, напр., вдоль Балтійскаго и Нѣмецкаго морей; такія депрессіи часто имѣютъ ничтожную глубину. Гораздо большей глубины достигаютъ внутреннія депрессіи, напр., въ Африкѣ, гдѣ въ Сахарѣ оазисъ Араджъ имѣетъ глубину—75 м. а озеро Ассальское около Краснаго моря даже—174 м.; впадина Люкчуна къ югу отъ Турфана въ Центральной Азіи расположена на 90 м. Самой обширной депрессіей является Каспійское море (—25 м.), а самой глубокой Мертвое море (—394 м.). Значительно болѣе такихъ озеръ, только дно которыхъ лежитъ ниже уровня моря; сюда относятся, напр., Байкалъ, Аралъ, Ладожское и Онежское озера, многія скандинавскія и англійскія, нѣкоторыя альпійскія и канадскія озера и др. Глубочайшія углубленія суши представляютъ: дно Каспійскаго моря 1124 м., Байкала 896 м. (глубина его 1373 и даже 1650 м.), Мертваго моря 793 м., озера Гарда 281 м. ниже уровня моря. Если поверхность озеръ лежитъ выше уровня моря, а дно ихъ ниже, то такія впадины называютъ криптодепрессіями, или скрытыми. Между настоящими и скрытыми депрессіями существуетъ, конечно, только климатическое различіе; нѣкоторыя скрытыя депрессіи на нашихъ глазахъ превращаются въ настоящія, вслѣдствіе превышенія испаренія надъ притокомъ, напр., Биркетъ-Эль-Керунъ въ Фаюмѣ (Египетъ).

При разсмотрѣніи происхожденія озеръ или генезиса ихъ, нужно рѣшить два вопроса: во-первыхъ, о причинѣ образованія углубленія, составляющаго ложе озера, а, во-вторыхъ, объ источникахъ воды, питающихъ озеро. Такъ какъ углубленія на поверхности земли происходятъ отъ различныхъ причинъ, равно какъ и источники питанія озеръ, поэтому новѣйшія раздѣленія озеръ основываются на этихъ двухъ главныхъ факторахъ безъ отношенія къ величинѣ, глубинѣ, свойствамъ воды озера и пр., какъ это дѣлали прежде и дѣлали неосновательно, потому что упомянутыя явленія часто вовсе не связаны съ генезисомъ озера, весьма непостоянны и зависятъ отъ условій жизни озера.

Классификаціи озеръ, основанныя на генезисѣ, подобно новѣйшимъ классификаціямъ острововъ, появились только весьма недавно. Не говоря о раздѣленіяхъ Дезора, Коля и Рютимейера, какъ имѣющихъ слишкомъ частное значеніе, первыя попытки въ этомъ направленіи принадлежатъ: Рихтгофену [2]), Пешелю [3]), Зонклару [4]), Буэ [5]), Р. Креднеру [6]), Девису [7]) и отчасти Гейницу [8]). Всѣ

эти классификаціи имѣютъ свои достоинства и недостатки, но лучшія изъ нихъ, Рихтгофена, Пешеля, Дэвиса и новѣйшія Пенка *), основаны на однихъ и тѣхъ же принципахъ и отличаются только или группировкою, или же большею или меньшею дробностью дѣленія. Съ другой стороны, ни одна изъ этихъ классификацій не обнимаетъ всего разнообразія озеръ и часто излишнею дробностью затемняетъ только основные принципы раздѣленія ихъ; поэтому мы не будемъ строго придерживаться ни одной изъ существующихъ классификацій, а подобно тому, какъ это сдѣлано въ учебникѣ Зупана [9]), ограничимся только изложеніемъ главнѣйшихъ подраздѣленій озеръ, основанныхъ на происхожденіи источниковъ питанія и озерныхъ котловинъ.

За послѣднее время изученіе озеръ развилось въ особую вѣтвь землевѣдѣнія, такъ называемую лимнологію (озеровѣдѣніе), задача которой состоитъ въ изученіи жизни озеръ въ прошедшемъ, настоящемъ и будущемъ; кромѣ такой общей лимнологіи выдѣляютъ еще спеціальную, имѣющую задачей выяснить характеръ всѣхъ озеръ земного шара и причины распредѣленія ихъ на земной поверхности (Марковъ, см. дальше). Лимнологія при такомъ опредѣленіи соединяетъ задачи геологическія съ физико-географическими. Генезисъ озерной котловины и ея прошедшія и современныя измѣненія, подъ вліяніемъ тектоническихъ и денудаціонныхъ причинъ, требуютъ приложенія геологическихъ методовъ изслѣдованія; это составляетъ собственно морфологію озера. Съ другой стороны морфометрія озернаго бассейна, т. е. его числовая характеристика въ вертикальномъ и горизонтальномъ направленіяхъ, и изученіе физико-химическихъ особенностей озеръ требуютъ приложенія самыхъ разнообразныхъ физико-географическихъ пріемовъ; напр., термальныя условія воды озеръ всецѣло относятся къ области метеорологіи, т. е. наукѣ объ атмосферѣ, также колебанія уровня озеръ могутъ зависѣть отъ климатическихъ причинъ и становятся понятными только путемъ метеорологическихъ наблюденій. Лимнологія имѣетъ слѣдовательно, если даже исключить изъ нея морфологическое описаніе озеръ, что относится къ геологіи,—какъ описательный, такъ и объяснительный характеръ (Seenkunde, Limnologie); въ такомъ даже объемѣ изслѣдованіе озеръ требуетъ разнообразныхъ и сложныхъ пріемовъ, описаніе которыхъ разсѣяно въ многочисленныхъ монографіяхъ озеръ и недавно собрано въ сочиненіи Е. С. Маркова **); съ опредѣленіемъ объема этой отрасли землевѣдѣнія, какъ устанавливаетъ его Марковъ, нельзя однако согласиться.

Выше было указано, что озера, подобно островамъ, могутъ быть раздѣлены на материковыя и морскія. Это дѣленіе основано на первоначальномъ источникѣ питанія, т. е. образовалось ли озеро на счетъ атмосферной или материковой воды или же на счетъ морской воды и представляетъ только отрывокъ моря. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ эти два рода озеръ легко отличить: напр., чисто морское Аральское озеро отличается такими рѣзкими признаками отъ чисто материковаго озера Сонъкуля въ центральномъ Тянь-шанѣ, что смѣшать ихъ невозможно; но часто признаки эти такъ сглаживаются въ послѣдующей жизни озера, что отличить материковое озеро отъ морского бываетъ затруднительно. Это происходитъ отъ того, что послѣ образованія озера дальнѣйшее существованіе его зависитъ отъ климатическихъ условій; соленое морское озеро можетъ превратиться въ прѣсноводное и лишиться всѣхъ представителей морской фауны и, наоборотъ, прѣсноводное материковое озеро можетъ сдѣлаться соленымъ и даже иногда, какъ показалъ Кребнеръ, населиться представителями морской фауны. Кромѣ того, между чисто морскими и материковыми озерами существуютъ переходные типы, образовавшіеся отчасти на счетъ морской воды, а отчасти на счетъ материковой, напр. многія прибрежныя озера; въ такомъ случаѣ раздѣленіе ихъ становится еще болѣе затруднительнымъ. Несравненно легче

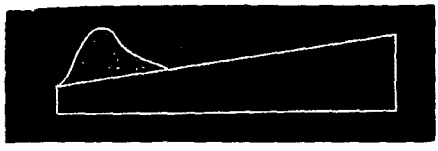
*) Morphologie der Erdoberfläche, II, 1894, 203.

**) О методахъ изслѣдованія озеръ. Методика лимнологіи, ч. I, 1902, съ подробной литературой.

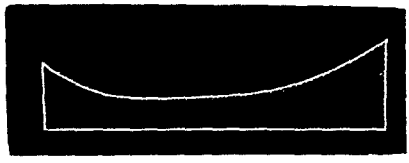
раздѣлять озера по способу происхожденія ихъ котловинъ, и потому большинство ученыхъ этому элементу отдаютъ предпочтеніе.

Какъ ни разнообразны способы происхожденія котловинъ морскихъ и материковыхъ озеръ, тѣмъ не менѣе всѣ они могутъ быть раздѣлены на двѣ категоріи. Однѣ котловины или, вообще говоря, озерныя углубленія образовались вслѣдствіе тектоническихъ процессовъ, или вообще вслѣдствіе измѣненія въ залеганіи породъ, напр. складчатости, сдвиговъ, сбросовъ, проваловъ, или сноса породъ, напр. отъ размыва водой, льдомъ и пр. Другія же обусловлены накопленіемъ новаго матеріала и образованіемъ изъ него плотинъ или запрудъ, которыя могутъ быть прямолинейныя, какъ, напр., береговые валы, дюны и пр. на берегахъ моря, или полукруглыя, какъ, напр., многія морены, или же, наконецъ, совершенно кольцеобразныя, какъ, напр., кратерныя углубленія.

Въ силу двойного способа образованія котловинъ, всѣ озера, какъ морскія, такъ и материковыя, можно раздѣлить на озера котловинные (Depressionssee), между которыми громадное большинство собственно тектоническихъ озеръ, и озера плотинныя (Abdammungssee), т.-е. происходящія отъ запрудъ; эти послѣднія, согласно съ Пешелемъ, называютъ также зонкляровыми озерами по имени одного изъ первыхъ изслѣдователей — Зонкляра. Различіе ихъ видно на схематическихъ профиляхъ; на фиг. 331 изображенъ профиль котловиннаго озера, а на фиг. 330—профиль плотиннаго озера.



Фиг. 330. — Схема плотиннаго озера.



Фиг. 331. — Схема котловиннаго озера.

Разсмотримъ сначала плотинныя, а потомъ котловинныя озера и въ заключеніе остановимся подробнѣе собственно на тектоническихъ морскихъ озерахъ, какъ имѣющихъ наибольшее значеніе для исторіи земли.

Плотинныя озера.

Къ плотиннымъ озерамъ принадлежатъ какъ чисто материковыя, такъ морскія и смѣшанныя; первыя особенно распространены въ ледниковыхъ и вулканическихъ областяхъ, а два послѣднихъ—на окраинахъ континентовъ или въ береговой полосѣ, особенно въ устьяхъ рѣкъ и среди дюнъ. Озера эти раздѣляются на столько же разновидностей, сколько существуетъ родовъ запрудъ. Главнѣйшія изъ нихъ слѣдующія:

1) Озера ледниковыя, происходящія вслѣдствіе запруды текучей воды возрастающимъ ледникомъ; они находятся или на самомъ ледникѣ, при встрѣчѣ бокового ледника съ главнымъ,—но въ этомъ случаѣ никогда не достигаютъ большихъ размѣровъ,—или же сбоку ледника, при запираніи имъ какихъ-нибудь боковыхъ ущелій съ проточными водами, напр. Мервеленское озеро на ледникѣ Алечь въ Альпахъ, нѣсколько ма-

ленькихъ озеръ на лѣвой сторонѣ нижней части Зеравшанскаго ледника и пр. Повидимому, этотъ процессъ въ большихъ размѣрахъ происходитъ на ледникѣ Федченко на Памирѣ, который, возрастая, упирается въ противоположный скалистый склонъ долины Баляндъ-кіикъ и, запружая рѣку, производитъ озеро. Всѣ такія озера существуютъ весьма недолго; такъ, ледниковое озеро, образованное ледникамъ Гурглеръ въ 1717—1718 г., прорвалось уже въ 1846 г., а въ 1865 г. совершенно обсохло, хотя послѣ того опять возобновляется; ширина его, по Зонкляру около 652 м., а глубина—отъ 25 до 126 м.

2) Лавинныя озера еще менѣе долговѣчны, нежели предыдущія; они происходятъ отъ случайныхъ запрудъ, производимыхъ снѣговыми или ледяными завалами, напр., по Ляйэллю такое озеро образовалось въ 1818 г. въ долинѣ Ванъ и имѣло 200 м. ширины и 60 м. глубины.

3) Озера, происходящія отъ обваловъ осыпей или скалъ, отличаются большимъ постоянствомъ, напр. три озера Дерборенса въ Бернскомъ Оберландѣ, образовавшіяся отъ запрудъ обвалами 1714—1719 гг., существуютъ до сихъ поръ; тоже озеро Дорферъ въ долинѣ Кайзера въ Тауэрнѣ.

4) Озера, происходящія отъ коническихъ наносовъ въ боковыхъ горныхъ потокахъ, еще болѣе постоянны и достигаютъ до 1 кв. кил. Они весьма часты во всѣхъ горныхъ кряжахъ, напр., озеро Рехенъ въ долинѣ Эчъ, Кутбанъ-куль въ долинѣ Кара-казыкъ въ Алайскомъ хребтѣ. Иногда большія накопленія наносовъ боковыми притоками запруживаютъ озеро въ главной долинѣ; но иногда происходитъ обратный процессъ, т. е. главная долина своими наносами запираетъ боковые ручьи и превращаетъ ихъ въ озера, напр. изслѣдованныя Пенкомъ озера: Ахенское и Планское въ системѣ долины Инна, тоже въ Зальцбургскихъ Альпахъ въ долинѣ Заалахъ. Къ этой же категоріи можно отнести мелкія озера, образующіяся изъ старицъ, напр. въ долинахъ нашихъ рѣкъ: Волги, Воронежа, Оки, Дона и пр. Подобныя же озера находятся во внутреннихъ континентальныхъ областяхъ, гдѣ рѣки не доходятъ до моря и разливаются въ озера отъ запрудъ, образованныхъ собственными осадками или летучими песками, напр. озеро Саумалькуль въ устьѣ р. Чу, Лобъноръ въ устьѣ Тарима и пр.

5) Моренныя озера, т.-е. происходящія отъ запрудъ ледниковыми моренами, современными или древними, боковыми или конечными. Очевидно, распространеніе этихъ озеръ связано съ развитіемъ ледниковъ современныхъ или древнихъ. Сюда принадлежитъ много новыхъ и древнихъ озеръ въ Тянь-шанѣ (Кара-казыкъ, Кокъ-су, Ашу-куль и пр.), въ Скандинавіи (озера, залегающія между озами), въ Альпахъ; многія сѣверо-германскія озера причисляются къ тому же типу. По Спенсеру, большія канадскія озера также обусловлены запрудой ледниковыми наносами; если изслѣдованіе Спенсера справедливо, то это самыя большія изъ моренныхъ озеръ.

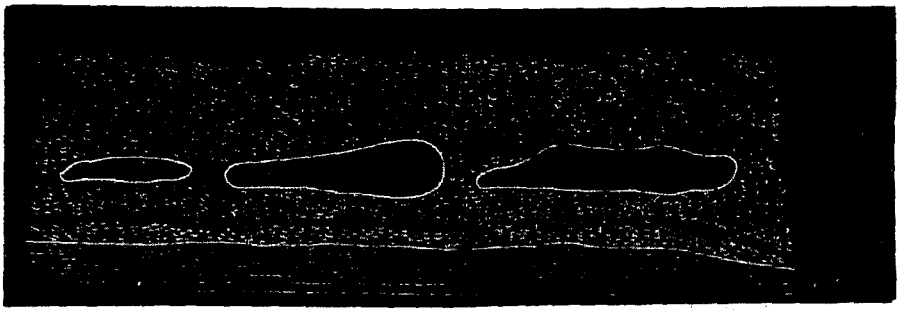
Всѣ до сихъ поръ перечисленныя озера находятся преимущественно въ области высокихъ горъ, гдѣ развиты ледники, гдѣ размытіе и вывѣтриваніе, образующія осыпи, обвалы и пр., достигаютъ наибольшей интенсивности. Изслѣдованія Вальманна [10]) о вертикальномъ распро-

страненіи озеръ въ Альпахъ доказываютъ, что количество ихъ увеличивается съ высотою: наибольшее число озеръ находится на высотѣ отъ 6.000 до 8.000 ф.; меньшее — отъ 4.000 до 6.000 ф. и только весьма малое—отъ 2.000 до 4.000 ф.

6) Кратерныя озера встрѣчаются рѣже предыдущихъ, напр. озера: Неми, Альбано, Гокча *) и др.; къ нимъ принадлежатъ и такъ называемые маары, которые, вѣроятно, бываютъ двухъ родовъ; одни представляютъ эмбріональные кратеры, а другіе обусловлены вулканическими провалами; эти послѣдніе въ сущности должны бы быть отнесены къ группѣ котловинныхъ озеръ, но выдѣлить ихъ очень трудно. Вѣроятно, къ этому типу относятся крупныя и мелкія озера Камчатки, какъ Кроноцкое, Курильское, Паланское и др.

Всѣ до сихъ поръ разсмотрѣнные типы озеръ принадлежатъ къ материковымъ.

Но слѣдующіе принадлежатъ большею частью или къ смѣшаннымъ, или къ морскимъ, такъ какъ образуются отъ запрудъ въ береговой по-



Фиг. 332.— Простѣйшій видъ береговыхъ плотинныхъ озеръ.

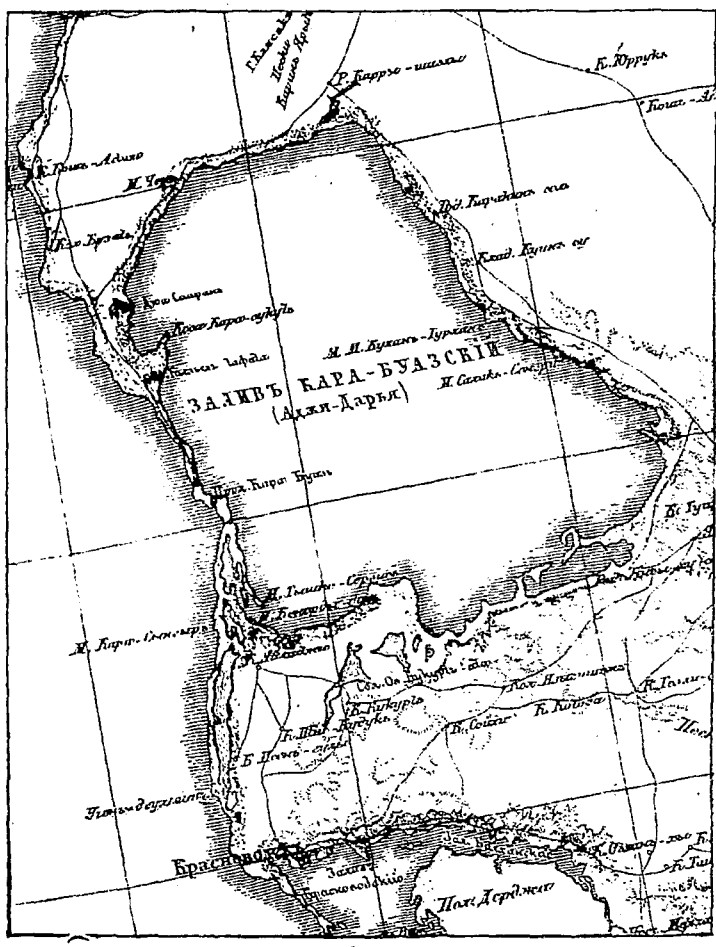
лосѣ моря и извѣстны подъ общимъ названіемъ береговыхъ озеръ; простѣйшій видъ ихъ представленъ на фиг. 332. Они представляютъ переходный типъ отъ чисто материковыхъ озеръ къ морскимъ бухтамъ и, смотря по своему положенію, приближаются то къ однимъ, то къ другимъ. Къ нимъ принадлежатъ:

7) Дюновыя озера, обусловленныя запрудами дюнъ; они располагаются въ котловинахъ между дюнами и питаются отчасти атмосферными осадками, а отчасти водою, просачивающеюся изъ моря; качество воды ихъ весьма разнообразно въ зависимости отъ преобладанія того или другого источника питанія (см. фиг. 64 и 66 на стр. 97 и 100). Они имѣютъ, какъ выше описано (стр. 100), большею частью овально-эллиптическую форму и длинною осью располагаются параллельно прилегающему берегу. Такихъ озеръ много по берегамъ Франціи, напр. étang на атлантическомъ берегу между Гаронною и Пиренеями, по берегамъ Средиземнаго моря между Пиренеями и Роной, по берегамъ Нѣмецкаго моря и пр. Къ нимъ же должны быть отнесены наши мелкія озера, большею

*) См. напр. Ивановскій, Озеро Гокча, Землевѣдѣніе, кн. II—III, 1895.

частью превратившіяся въ болота, по берегамъ Балтійскаго моря и часть озеръ по восточному побережью Арала и Каспія.

8) Дельтовыя озера происходятъ отъ запрудъ рѣчными осадками и питаются рѣчной или морской водой; поэтому они представляютъ всевозможные переходы отъ материковыхъ къ морскимъ озерамъ. Они развиты почти въ каждой морской дельтѣ. Для примѣра приведемъ озера

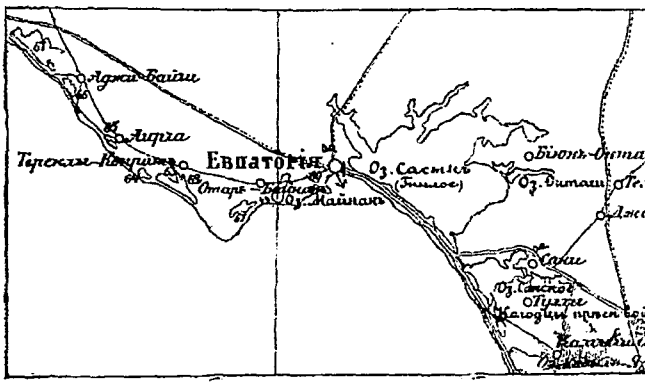


Фиг. 333.— Карта залива Кара-бугазъ (масштабъ $\frac{1}{2,520.000}$ = 60 в. въ д.).

въ дельтѣ Аму-дарьи и Дуная, гдѣ одни озера имѣютъ материковый характеръ, другія только-что отдѣлились отъ моря наносами рѣки, третьи сохраняютъ еще характеръ лимана; тоже въ дельтѣ Миссиссипи у Новаго Орлеана; въ дельтѣ Волги у Астрахани (фиг. 312) береговыя озера или ильмени, съ одной стороны, питаются материковыми ручьями, называемыми ериками, а съ другой—водою Каспія; поэтому составъ воды въ нихъ рѣзко измѣняется въ зависимости отъ вѣтровъ и половодья. Во время половодья они опрѣсняются; при морскихъ вѣтрахъ, называемыхъ

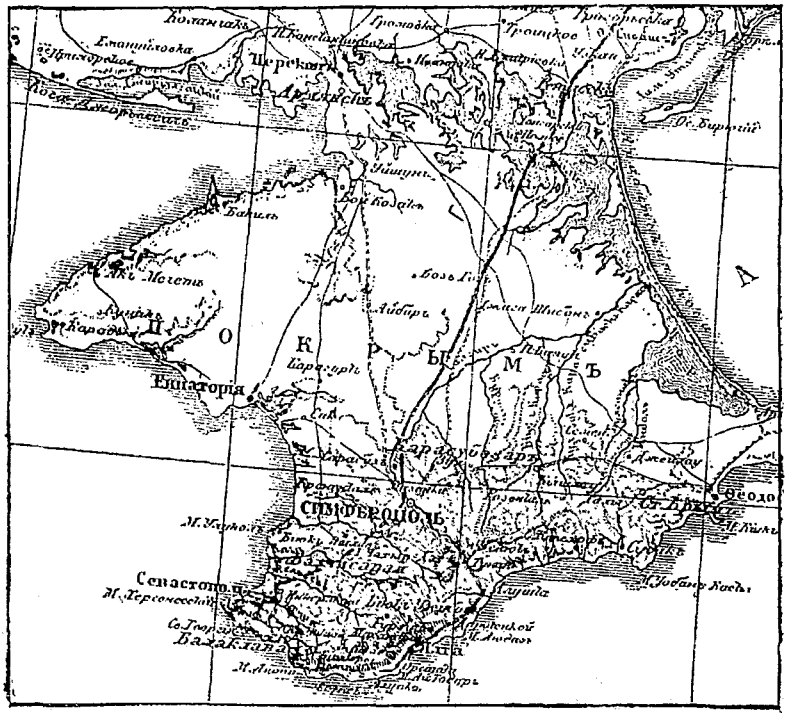
на мѣстѣ моряной, напротивъ, вода ихъ становится солонѣе. Даже въ историческое время, благодаря дельтовымъ запрудамъ, нѣкоторыя морскія бухты превратились въ озера, напр. озеро Лохъ-эве въ Шотландіи, озеро Акисъ на малоазіатскомъ берегу; гавани у Смирны предстоитъ та же участь.

9) Озера, происходящія отъ запрудъ береговымъ валомъ, стоятъ весьма близко къ дельтовымъ и часто находятся вмѣстѣ, напр. озеро Палеостонъ у Поти близъ устья Ріона; но образуются и самостоятельно, напр. озера по побережью Крыма, гдѣ встрѣчаются всѣ разновидности, начиная отъ засухъ, солончаковъ и кончая солеными озерами и лиманами. Они образуются изъ каждой бухтообразной вырѣзки, произведенной моремъ или устьемъ впадающаго оврага. Береговое теченіе и прибой волнъ, встрѣчая какую бы то ни было бухту, уменьшаютъ свою силу и отлагаютъ передвигаемыя ими минеральныя вещества на внѣшней окраинѣ бухты. Эти накопленія, возрастая, образуютъ валъ изъ песку, галекъ, раковинъ, называемый у насъ пересыпью. Пересыпь, отдѣляя бухту отъ моря, превращаетъ ее въ озеро. Разумѣется, это превращеніе дѣлается постепенно. Сначала съуживается входъ въ бухту, такъ что образуется только мелкій протокъ, соединяющій ее съ моремъ,—напр. въ такомъ состояніи находится заливъ Кара-бугазъ на Каспіи (фиг. 333); дальнѣйшую стадію представляютъ нѣкоторые лиманы Одессы, въ которые вода входитъ узкими протоками, называемыми проранами или гирлами, и то не всегда. Далѣе всѣ прораны въ пересыпи закрываются, и морская вода входитъ въ отдѣляющуюся бухту только во время сильныхъ бурь, перекатывая волны черезъ пересыпь, напр. Гнилое море или Сасыкъ у г. Евпаторіи. Наконецъ, пересыпь настолько возрастаетъ, что даже во время бурь волны не перекатываются черезъ нее, и тогда бухта совершенно превращается въ озеро, напр. оз. Майнакъ и знаменитое озеро Саки у г. Евпаторіи (фиг. 334). Дальнѣйшая судьба озеръ зависитъ отъ климатическихъ условій. Если испареніе превышаетъ осадки, то уровень такихъ озеръ понижается, становится ниже уровня моря, и если озеро не получаетъ питанія, то высыхаетъ и превращается въ засуху и солонецъ. Но обыкновенно озера эти, понизивъ уровень, питаются все-таки морскою водою, просачивающеюся черезъ пересыпь,—напр. это доказано для одесскихъ пересыпей и при изслѣдованіи въ 1885 и 1894 гг. озера Саки, которое лежитъ на 1 м. ниже уровня моря. Къ этому типу озеръ принадлежатъ многія изъ озеръ



Фиг. 334.— Карта озеръ Саки, Сасыкъ и др.

Керченскихъ, Кинбурнскихъ, Евпаторійскихъ, Одесскихъ и пр.; ихъ считаютъ сотнями, и мы подробнѣе укажемъ на нихъ, когда будемъ говорить объ озерныхъ отложеніяхъ, такъ какъ всѣ эти озера производятъ отложенія солей, имѣющихъ весьма важное промышленное значеніе. Геническое озеро и восточная часть Сиваша или Гнилого моря, отдѣлено отъ Азовскаго, повидимому, тѣмъ же самымъ процессомъ; а Арабатская стрѣлка (фиг. 335) есть не что иное, какъ громадная пересыпь, образован-



Фиг. 335. — Карта Крымскаго п-ва (масшт. $\frac{1}{2.520.000}$).

ная, по мнѣнію Гюо, восточными вѣтрами и производимыми ими теченіями.

Если такое отдѣленіе происходитъ въ устьяхъ фіордовъ, то озера называются фіордовыми. Многія изъ этого рода озеръ, особенно крупныхъ материковыхъ и отчасти фіордовыхъ образуются также при содѣйствіи тектоническихъ процессовъ, а потому ниже еще возвратимся къ нимъ.

Котловинныя озера.

Котловины или углубленія могутъ произойти или отъ какихъ-нибудь внѣшнихъ причинъ, напр. отъ размыванія водой, льдомъ, воздухомъ, или отъ внутреннихъ тектоническихъ, напр. сдвиги, сбросы, складчатость и измѣненіе поверхности геоида.

Сообразно происхожденію котловинъ, и озера эти можно раздѣлить на нѣсколько группъ.

10) Озера, происходящія въ котловинахъ размытія. Выше мы видѣли, что вывѣтриваніе, механическая дѣятельность вѣтра и воды, можетъ производить углубленія на поверхности. Одни изъ этихъ углубленій прямо заполняются атмосферной водой и превращаются въ озера; другія же превращаются въ озера только при содѣйствіи тектоническихъ процессовъ и измѣненія поверхности геоида, т. е. положенія конечнаго базиса эрозія, напр., многія озера въ поперечныхъ долинахъ, прорѣзывающихъ новые хребты, когда размытіе задерживается болѣе плотными породами. Также всѣ озера, происшедшія, по мнѣнію Пенка, вслѣдствіе измѣненія поверхности геоида, связаннаго съ концомъ ледниковаго періода.

Выше было указано, что измѣненіе поверхности геоида, вызванное развитіемъ ледяного покрова, измѣнило абсолютныя высоты и дало рѣкамъ иное направленіи теченія. По окончаніи ледниковаго періода, когда возстановилось прежнее положеніе поверхности геида, снова произошло измѣненіе абсолютныхъ высотъ и направленія рѣкъ. Многія изъ послѣднихъ при этой перемѣнѣ превратились въ озера, которыхъ форма и расположеніе, очевидно, должны соотвѣтствовать постпліоценовымъ долинамъ размытія. Къ этой категоріи принадлежатъ многочисленныя, вытянутыя въ меридіанальномъ направленіи, озера Прусско-Померанской области. Всѣ они, по словамъ Пенка [11]), залегаютъ среди мощныхъ постпліоценовыхъ отложеній, образовавшихся при отступаніи ледниковъ потоками, которые размывали и сносили моренныя накопленія.

Многія изъ этихъ озеръ представляютъ, такъ сказать, переходный типъ къ плотиннымъ, и потому нерѣдко весьма трудно отдѣлить ихъ отъ плотинныхъ, особенно, если дѣло касается единичныхъ озеръ. Въ этомъ случаѣ вопросъ разъясняется только при изслѣдованіи большой озерной области.

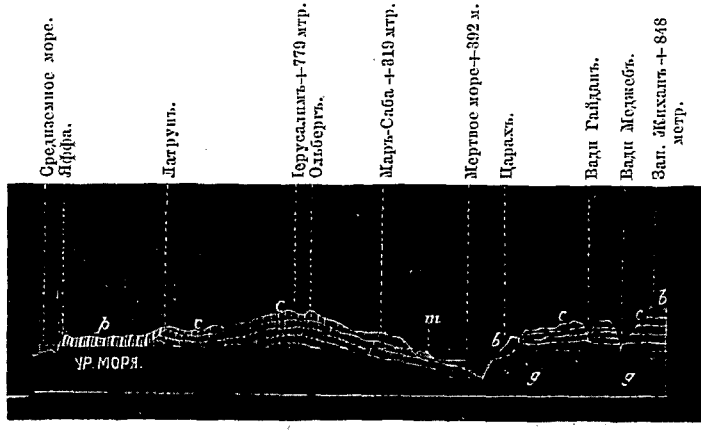
Такъ въ области озеръ верховій Волги и Зап. Двины проф. Анучинъ *) различаетъ по формѣ занимаемыхъ озерами впадинъ или „ваннъ“ три типа: 1) неправильно округленныя или лопастныя впадины; 2) длинныя узкія ложа и 3) округленныя котлообразныя ямы. Первый типъ отражаетъ въ своихъ очертаніяхъ и рельефѣ дна общій характеръ мѣстности, рельефъ которой обусловливается неравномѣрнымъ отложеніемъ на ней мореннаго наноса; слѣдовательно, это озера плотиннаго характера: Двинье, Жижицкое, Соломенное, Снѣ, Глубокое. Ихъ можно подраздѣлить на озера „конечныхъ моренъ“ и озера „основной морены“. Другой типъ слѣдуетъ признать за большія долины, которымъ недостаетъ только равномѣрнаго уклона; такія ложа были, повидимому, руслами потоковъ, періодически истекавшихъ изъ подъ ледника: Долосцо, Бросно, Улинъ, Ракомлё, Охватъ, Заелинское, также оз. Селигеръ; эти озера обыкновенно расположены между высокими берегами. Наконецъ, третій типъ представляетъ вымоины дѣйствіемъ поверхностныхъ ледниковыхъ потоковъ, достигавшихъ основной морены по трещинамъ ледника, т. е. котловины произошли на подобіе исполиновыхъ котловъ. Другіе авторы впрочемъ такимъ котловинамъ (Sölle и Pfühle въ Германіи) приписываютъ провальное происхожденіе отъ стаиванія остатковъ глыбъ ледника въ моренномъ покровѣ; сюда относятся: группа маленькихъ озеръ между Стержомъ и Березовскими плесами Селигера, также озера по нижнему теченію р. Торопы, какъ Солоденье, Круглое, Заднее и друг. Второй и третій типъ относятся, слѣдовательно, къ котловиннымъ озерамъ.

11) Озера, происходящія отъ проваловъ. Намъ нѣтъ надобности распространяться о нихъ, потому что образованіе проваловъ и примѣры происходящихъ при этомъ озеръ были изложены уже выше, въ главѣ о

*) Верхневолжскія озера и верховья Зап. Двины, въ Трудахъ для изс. источн. главн. рѣкъ Евр. Россіи, 1897.

подземной дѣятельности воды (см. стр. 344). Замѣтимъ только, что между этими озерами встрѣчаются часто такъ называемыя періодическія, напр. Циркницкое (см. фиг. 214), озеро Копаисъ въ Беотіи и др., которыя, въ зависимости отъ подземныхъ токовъ, періодически измѣняютъ свой уровень, то наполняются, то почти совершенно изсякаютъ.

12) Дислокаціонныя озера. Сюда принадлежитъ, во первыхъ, озера опусканія, вслѣдствіе сдвиговъ и сбросовъ (дизъюнктивно-дислокаціонныя), напр. озера у Новаго Мадрида; образовавшіяся на мѣстѣ опустившейся части въ долинѣ Миссисипи послѣ землетрясенія въ 1811 г., озеро Готахи въ Экуадорѣ, происшедшее тоже отъ землетрясенія 1868 г.; озера Платтенъ въ Венгріи, Викторія Ніанза въ Африкѣ также считаются происшедшими вслѣдствіе сбросовъ. Но самымъ замѣчательнымъ



Фиг. 336. — Поперечный разрѣзъ отъ Яффы до Жихана.

примѣромъ этого рода озеръ служитъ Мертвое море, которое вмѣстѣ съ Тиверіадскимъ озеромъ, долиною Іордана, вади Арабахъ и заливомъ Акабахъ, лежитъ на одной огромной трещинѣ сброса. Хотя прежде утверждали, что Мертвое море принадлежитъ къ морскимъ озерамъ, отдѣлившимся отъ Краснаго моря, вслѣдствіе вулканической дѣятельности, однако Фраасъ и Лартэ *), а за ними и другіе доказываютъ, что оно чисто материковое и произошло изъ атмосферныхъ осадковъ и источниковъ. Слѣдующій разрѣзъ этой замѣчательной котловины (фиг. 336) объясняетъ ея геологическое строеніе, а вмѣстѣ съ тѣмъ даетъ понятіе объ озерахъ сброса **).

Къ этой категоріи относятся, напр., Байкалъ (см. дальше), вѣроятно также Телецкое озеро на Алтаѣ и многія друг.

Озера опусканія, связанныя съ долинами, отличаются необыкновенно равномѣрною глубиною, напр. Урнерское озеро въ Альпахъ; по измѣренію Гейма, глу-

*) Lartet, Voyage d'exploration à la Mer Morte, de la Palestine et de l'Idumée, par le Duc de Luynes, t. III, Géologie, 1877. Также Blanckenhorn, Die Structurlinien Syriens und des Roten Meeres, 1893, въ Festschr. Ferd. Richthofen и въ Zeitschr. d. Deutsch. Palastina-Vereins, XIX, 1896.

**) Этотъ разрѣзъ приведенъ по Lartet; въ дѣйствительности, какъ показалъ Blanckenhorn, депрессія Мертваго моря ограничивается и съ запада не только флексурами, но и сбросомъ.

бина его почти нигдѣ не уклоняется отъ 200 м.; то же показалъ Симони для озеръ Зальцкамергута. По мнѣнію Зупана, такая равномѣрность глубины и вертикальность береговъ, даже въ подводной части объясняется только тѣмъ, что опустившаяся часть еще раньше была размыта рѣкой, слѣдовательно такія озера связаны съ образованіемъ долинъ. Такимъ образомъ, многія альпійскія озера обязаны своимъ происхожденіемъ двумъ факторамъ: размытію и дислокаціи.

Къ дислокаціоннымъ озерамъ принадлежатъ также озера, обусловленныя складчатостью (складчато-дислокаціонныя). Прежде, по почину Дезора, озера эти раздѣляли на мульдовыя, комбовыя и клюзовыя. Но такъ какъ это теоретическое раздѣленіе въ природѣ почти не находится въ чистомъ видѣ, то большинство изслѣдователей не придаетъ ему значенія.

Многія крымскія озера, какъ увидимъ дальше, должны быть отнесены къ дислокаціоннымъ, напр. Перекопскія и Сивашъ.

Особенно важное значеніе имѣютъ морскія дислокаціонныя озера, къ которымъ принадлежитъ многія изъ самыхъ обширныхъ озеръ суши. Дислокація земной коры, происходящая на обширномъ пространствѣ, обусловливаетъ континентальное расчлененіе, какъ въ горизонтальномъ, такъ и въ вертикальномъ направленіи, слѣдовательно результатомъ ея является распредѣленіе материковъ и морей. Съ другой стороны, измѣненіе поверхности геоида также оказываетъ вліяніе на отношеніе материковъ и морей. Оба эти явленія связаны между собою такъ тѣсно, что раздѣлить ихъ трудно, тѣмъ болѣе, что результаты ихъ въ отношеніи озеръ одинаковы. Благодаря имъ, отъ морей отдѣляются значительные бассейны, которые превращаются или во внутреннія средиземныя моря, или же въ центрально-материковыя озера.

Если море отступаетъ, понижается или, все равно, происходитъ поднятіе материка, то выступающія, возвышенныя части неровнаго морского дна превращаются въ материкъ, а разнообразныя большія и маленькія углубленія, заполненныя соленой морской водой, образуютъ озера, которыя или, испаряясь, высыхаютъ, или заносятся осадками, или же, наконецъ, прорывъ себѣ каналъ, существуютъ неопредѣленно долгое время. Морская фауна въ нихъ измѣняется, смотря по увеличенію или уменьшенію солености воды. Отдѣльныя формы вымираютъ, другія, измѣняясь, приспособляются къ новой средѣ, но только весьма немногія переносятъ полное опрѣснѣніе. При такомъ преобразованіи могутъ быть различные случаи [13]).

а) Если отдѣлившаяся часть соединяется съ океаномъ достаточно глубокимъ проливомъ, чтобы уровни ихъ были одинаковы, то дальнѣйшая судьба ея зависитъ отъ количества притока прѣсной воды и испаренія. Если притокъ прѣсной воды значительно превышаетъ испареніе, то образуется верхнее теченіе воды къ океану; въ то же время, если проливъ глубокъ, то произойдетъ нижнее теченіе изъ океана въ средиземный бассейнъ. Въ такомъ случаѣ полное опрѣснѣніе никогда не наступитъ въ новомъ озерѣ. Такой случай представляетъ Азовское море по отношенію къ Черному, Черное — по отношенію къ Эгейскому морю, Балтійское море—къ Сѣверному. Напротивъ, если испареніе превышаетъ притокъ прѣсной воды, какъ, напр., въ Средиземномъ и Красномъ моряхъ, то соленость и удѣльный вѣсъ воды ихъ возрастаютъ. Если при этомъ еще каналъ или проливъ мелокъ, то происходитъ только теченіе изъ моря, пополняющее убыль отъ испаренія, а обратнаго стока къ морю нѣтъ, напр. въ заливѣ Карабугазъ въ Каспійскомъ морѣ происходитъ только

притокъ изъ моря по проливу, имѣющему 146 м. ширины и только 6,4 м. глубины (см. фиг. 333). Результатъ этого процесса—концентрація солей, которая увеличивается настолько, что различныя соли выдѣляются и осаждаются на днѣ.

b) Второй случай состоитъ въ томъ, что если обособляющійся бассейнъ, вслѣдствіе измѣненія уровня, совершенно отдѣлится отъ моря то, при преобладаніи осадковъ надъ испареніемъ, онъ будетъ имѣть стокъ къ морю; со временемъ онъ совершенно опрѣснится и при дальнѣйшей дислокаціи можетъ залегать высоко надъ уровнемъ моря и далеко отъ береговъ во внутренности материка. Отдѣльныя формы морскихъ организмовъ, какъ выше замѣчено, разнообразно измѣняются и нѣкоторыя, видоизмѣнившись, приспособятся къ новымъ условіямъ и сохранятся. По этимъ оставшимся формамъ такія озера, по почину Лейкарта и Пешеля, называютъ реликтовыми озерами. Реликтовая фауна прѣсноводныхъ озеръ прежде считалась лучшимъ доказательствомъ происхожденія ихъ изъ моря, но этимъ доказательствомъ нужно пользоваться съ большою осторожностью, потому что морскіе организмы могутъ заходить въ материковыя озера по рѣкамъ, при посредствѣ птицъ или какимъ-либо другимъ, еще неизвѣстнымъ намъ, путемъ. Такъ, по изслѣдованію Р. Креднера, въ кратерныхъ озерахъ Альбано и Неми въ Италіи находятся тѣ же морскія формы (Blennius vulgaris, Palaemonetes lacustris), что и въ реликтовомъ озерѣ Гарда. Отсюда ясно, что для доказательства морского происхожденія озера недостаточно руководствоваться реликтовой фауной, а необходимо изслѣдовать отжившую фауну на днѣ и въ окрестностяхъ озера; только такой геологическій путь можетъ привести къ несомнѣнному убѣжденію въ морскомъ происхожденіи озера.

Перенося способъ доказательствъ изъ біологической въ геологическую область, Креднеръ *), какъ справедливо замѣчаетъ Зупанъ, дѣлаетъ лишнимъ самое понятіе о реликтовыхъ озерахъ въ ихъ генетической классификаціи, хотя самъ Креднеръ и не исключалъ этого понятія, противопоставляя его озерамъ материковымъ или внутреннимъ. Дѣйствительно, въ исторіи многихъ озеръ погруженіе, занятыхъ ими, впадинъ подъ уровень моря было только однимъ изъ эпизодовъ.

Такъ озера Ладожское, Онежское, Пейпусъ и рядъ озеръ южной Швеціи, какъ Веперъ, Веттеръ, Меляръ и друг. только временно входили въ составъ Іолдіеваго моря, соединявшаго Балтійское море съ Ледовитымъ океаномъ (см. т. I, стр. 716—717).

Рѣшающимъ признакомъ для опредѣленія исторіи такихъ озеръ служитъ только происхожденіе углубленія. Креднеръ считаетъ для отнесенія озера къ реликтовому необходимыми:

1) доказательство прежняго морского покрытія разсматриваемой озерной области и

2) доказательство существованія впадины современнаго озера раньше времени такого покрытія.

Съ такой точки зрѣнія, очевидно и озера Финляндіи и сѣвера Россіи нужно отнести къ реликтовымъ. Въ Ладожскомъ (высота его по Тилло [14]) 5 м. надъ Финскимъ заливомъ), Онежскомъ и друг. озерахъ Кесслеръ, а въ озерахъ южной Швеціи Ловенъ нашли морскія рыбы:

Lothus quadricornis, Liparis barbatus, раки: Mysis relicta, Idotea entomon, черви: Polynoe sorci, Terebellidi stramii; доказательства недавняго существованія пролива были указаны уже раньше въ I т.

Лапландія и Финляндія **) представляетъ обширный отломокъ архейскихъ образованій, собранныхъ въ складки до силурійскаго времени; онъ окруженъ поясомъ почти

---

*) Die Reliktenseen, I u. II Theil, Erg.-Heft. Peterm. Mitt., № 86 и № 89, 1887 и 1888 гг.

**) См. сводку по этому вопросу: Suess, Das Antlitz der Erde, II.

горизонтальныхъ палеозойскихъ отложеній, и формы поверхности его обязаны денудаціи водою и льдами ледниковаго періода; поверхность этого отломка покрыта безчисленнымъ множествомъ небольшихъ озеръ, соединяющихся запутанной сѣтью протоковъ. Этотъ отломокъ, названный Зюссомъ „балтійскимъ щитомъ", по своему положенію и роли имѣетъ гомологичное образованіе на сѣверѣ Америки въ «канадскомъ щитѣ», обнимающемъ сѣверо-востокъ сѣв. Америки отъ устья рѣки св. Лаврентія до устья р. Мекензи съ прилежащими островами Ледовитаго океана. Съ двухъ сторонъ архейскія образованія балтійскаго щита ограничены въ поясѣ, гдѣ къ нимъ примыкаютъ палеозойскія отложенія, рядомъ крупныхъ заливовъ и внутреннихъ озеръ. Граница щита проходитъ отъ береговъ Швеціи, противъ Олянда, черезъ Балтійское море сѣвернѣе острововъ Готландъ и Даго, ограничиваетъ Финскій заливъ и Ладожское озеро, ближе къ южнымъ берегамъ ихъ, и далѣе отклоняется къ сѣверу черезъ южную часть Онежскаго озера, достигаетъ до береговъ моря около гор. Онеги, пересѣкаетъ полуостровъ и Архангельскую губу и скрывается подъ уровнемъ моря въ Мезенской губѣ по направленію къ мысу Воронова. Балтійское море представляетъ покрытіе части этой архейской площади, подобно Гудзонову заливу въ С.-Америкѣ. Финскій заливъ, озера Ладожское и Онежское и соотвѣтствующія части Бѣлаго моря занимаютъ положеніе совершенно аналогичное положеніе озеръ Верхняго, Виннипегъ, Атабаска и другихъ сѣверо-американской озерной страны, гдѣ обыкновенно сѣверныя берега ихъ сложены изъ архейскихъ породъ, а южные изъ палеозойскихъ; группа озеръ, расположенныхъ среди палеозойскихъ отложеній къ югу отъ этой окраинной группы депрессій балтійскаго щита, какъ Пейпусъ, Ильмень, Бѣлое, соотвѣтствуетъ такимъ же озерамъ въ Америкѣ, какъ Виннипегозисъ, Манитоба и другія.

Балтійская граница щита окаймляется, какъ стѣной, вертикальными разрѣзами головъ горизонтальныхъ слоевъ палеозойскихъ отложеній. Эти обнаженія въ прибалтійскомъ краѣ носятъ названіе глинта; этотъ терминъ Зюссъ предложилъ примѣнять для обозначенія всѣхъ крупныхъ обнаженій, когда они возникли вслѣдствіе размыванія, а не разлома.

Въ Скандинавіи можно замѣтить другую линію глинта, которая ограничиваетъ съ востока палеозойскія отложенія, залегающія на кристаллическихъ сланцахъ, и проходитъ приблизительно отъ 64° с. ш. до Ледовитаго океана около Варангеръфіорда; эта линія пересѣкаетъ цѣлый рядъ озеръ (какъ Hornafvan, Saggat Fräsk, Torneа Fräsk и друг.) подобно тому, какъ и линія Балтійскаго глинта. Между положеніемъ озеръ и заливовъ, окаймляющихъ какъ Балтійскій, такъ и Канадскій щиты, и линіями глинта существуетъ тѣсная связь. Для Швеціи Тёрнебомъ, Натгорстъ и другіе показали, что простираніе рѣчныхъ долинъ и озеръ часто совпадаетъ съ направленіями сбросовыхъ линій, разбившихъ всю Финноскандію на множество отдѣльныхъ частей, испытавшихъ неравномѣрное перемѣщеніе. Депрессіи, занятыя Великими озерами сѣв. Америки, опредѣлились также тѣми широкими дислокаціонными явленіями, которыя частью продолжаются, какъ мы видѣли (стр. 406) до сихъ поръ. Можно намѣтить и зависимость депрессій вдоль балтійскаго глинта отъ древней дислокаціи, нарушавшей залеганія архейскихъ и палеозойскихъ слоевъ (см. т. I, стр. 383). Во время ледниковаго періода конфигурація области Великихъ озеръ сѣв. Америки и Балтійскаго глинта должна была испытать сильныя измѣненія.

Къ концу этого періода, когда возникли мощныя конечныя морены, служившія плотинами, на мѣстѣ Великихъ озеръ на границѣ Канады и Соед. Штатовъ были два обширныя озера, именуемыя Warren и Iroquois (также озеромъ Альгонквинъ); озера Виннипегъ, Виннипегозисъ и Манитоба представляютъ только остатки болѣе сѣвернаго послѣдниковаго озера Агассица. Послѣ совершеннаго отступленія ледниковаго покрова наступилъ вслѣдствіе неравномѣрнаго опусканія этой страны, болѣе значительнаго на сѣверѣ (сравнительно съ теперешнимъ положеніемъ Монтреаль былъ расположенъ на 168 м. ниже, а Нью-Гампширъ только на 50), періодъ наступленія моря, которое однако до Великихъ озеръ не достигло; это время называютъ эпохой Champlain (глины съ Leda arctica и Tellina groenlandica), послѣ которой наступила фаза долинообразованія въ связи съ новымъ поднятіемъ, продолжающимся неравномѣрно до сихъ поръ. Во время наступленія моря воды Великихъ озеръ сдѣлались, быть можетъ, солоноватыми, что объясняетъ присутствіе въ Мичиганѣ морского ракообразнаго изъ рода Mysis. Слѣдовательно, область озеръ канадскаго щита не можетъ быть отнесена къ реликтовымъ озерамъ. Мы уже знакомы (т. I, стр. 715—718) съ измѣненіями, какія испытала область озеръ балтійскаго глинта во время послѣледниковой эпохи, и которыя позволяютъ считать эти озера за реликтовыя съ точки зрѣнія Креднера. Гораздо важнѣе для представленія о генезисѣ такихъ озеръ необыкновенная сложность въ исторіи ихъ развитія; въ образованіи депрессій этихъ озеръ и ихъ береговой линіи принимали участіе процессы тектоническіе,

абразіонные (въ чемъ выражается между прочимъ также связь ихъ съ линіей балтійскаго глинта) и дѣятельность ледниковъ.

Къ несомнѣнно реликтовымъ озерамъ относятся нѣкоторыя фіордовыя озера, образовавшіяся въ историческое время, напр. на атлантическомъ берегу шотландскаго графства Россъ оз. Марсе, отдѣляющееся отъ фіорда Лохъ-эве узкимъ перешейкомъ; оно обособилось весьма недавно, что видно уже изъ того, что въ концѣ его находится деревня Кинъ-Лохъ-Эве, что значитъ конецъ фіордъ Эве; слѣдовательно, когда населялась эта деревня, то оз. Марсе составляло продолженіе фіорда. То же въ Ютландіи оз. Конопъ-зундъ образовалось изъ пролива или залива.

Изъ окраинныхъ озеръ Альпъ къ этому типу можно отнести развѣ только немногія, которыя дѣйствительно представляютъ остатки молассоваго моря, распространявшагося съ эпохи нижняго міоцена отъ долины Роны до Дуная. Большая часть озеръ Швейцаріи (Боденское, Цюрихское и друг.) и верхней Италіи, которыя прежде относили къ реликтовымъ, возникла вслѣдствіе опусканія Альпійскаго нагорія во время ледниковой эпохи и превращенія нижнихъ частей рѣчныхъ долинъ въ озера; заполненіе этихъ озеръ затѣмъ ледниками сохранило ихъ отъ занесенія осадками *).

Байкалъ [15]) представляетъ дислокаціонное озеро, никогда не бывшее въ соединеніи съ моремъ. Начало образованія его депрессіи относится къ древнимъ геологическимъ періодамъ, и озеро уже существовало къ концу третичнаго времени **).

Оно состоитъ изъ двухъ частей, своими краями заходящихъ другъ за друга; южная окраина сѣверной части соотвѣтствуетъ Малому морю за островомъ Ольхономъ, а сѣверная окраина южной части продолжается въ долину Баргузина. Обѣ части представляютъ области опусканія, раздѣленныя горстомъ острова Ольхона, составляющаго продолженіе черезъ Святой Носъ Баргузинскаго горста. Фауна Байкала заключаетъ элементы, которые находятся въ Европѣ въ понтическихъ и сарматскихъ отложеніяхъ, а около Омска въ слояхъ левантинскаго горизонта. Опусканіе Байкальской депрессіи и проникновеніе въ нее третичныхъ элементовъ послѣдовало вслѣдствіе разломовъ до времени сармата или даже понтическаго по линіямъ древней складчатости; но эти элементы проникли не изъ морскихъ бассейновъ, а изъ обширнаго внутренняго прѣсноводнаго озера, которое вмѣстѣ съ множествомъ мелкихъ озеръ покрывало въ третичную эпоху всю внутреннюю Азію; считая этотъ водный бассейнъ за море, Рихтгофенъ назвалъ его Ханъ-хаемъ.

Многія озера Троицко-Челябинской группы Аленицинъ [16]) относилъ къ реликтовымъ на основаніи ихъ ихтіологической фауны: напр , озера Курлады, Сары-куль, Дуванъ-куль, Бутамъ, Чесноковское и друг.: характерной морской формой въ нихъ онъ считалъ Artemia salina. По новѣйшимъ изслѣдованіямъ Высоцкаго ***) и Берга, Елпатьевскаго и Игнатова ****) видно, что къ концу олигоценовой эпохи море, покрывавшее Зап.-Сибирскую низменность, уже совершенно разобщилось съ южнорусскимъ и Ледовитымъ океаномъ. Неогеновыя отложенія низменности очень богаты, сѣрнокислыми солями натрія, кальція и аллюминія, какъ слѣдствіе постепеннаго высыханія олигоценоваго озера. Въ оставленныя имъ котловины стали собираться атмосферныя воды, выщелачивавшія отложенія, богатыя горькими солями, и превратившія первоначально прѣсныя озера въ горькія и соленыя. Море принимало, слѣдовательно участіе въ образованіи котловинъ озеръ, но реликтовыми ихъ назвать нельзя, такъ какъ и фауна ихъ, по мнѣнію упомянутыхъ авторовъ, не обнаруживаетъ сходства съ морскою; даже Artemia не можетъ быть сочтена за морскую форму вопреки мнѣнію Аленицина.

Къ настоящимъ реликтовымъ озерамъ въ смыслѣ Креднера можно относить также озера, возникающія вслѣдствіе отдѣленія части моря, образованіемъ пересыпей и тому под., коралловыми постройками и въ особенности вслѣдствіе сокращенія прежнихъ морскихъ бассейновъ, какъ это мы разсмотримъ въ нижеслѣдующемъ третьемъ случаѣ.

c) Третій случай заключается въ томъ, что отдѣлившійся отъ моря бассейнъ испытываетъ испареніе, превышающее осадки; тогда соединеніе съ моремъ совершенно прекратится и бассейнъ будетъ умельшаться до тѣхъ поръ, пока не возстановится равновѣсіе между прибылью и убылью.

---

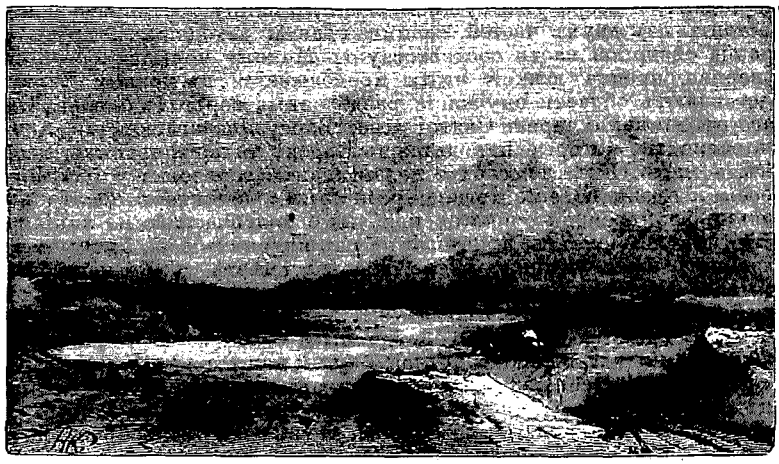
*) Heim, Die Entstehung der alpinen Randseen, Vierteljahrssch. d. naturforschend. Gesellsch. in Zurich, 1894.

**) Suess, Das Antlitz der Erde, III, стр. 71.

***) Геологическія изслѣдованія по лин. Сиб. жел. дороги, вып. V, 1896.

****) О соляныхъ озерахъ Омскаго уѣзда, Изв. Геогр. Общ., т. XXXV, вып. II, 1899.

Равновѣсіе это, однако, нарушается при малѣйшемъ измѣненіи климата въ положительную или отрицательную сторону. Уменьшеніе осадковъ уменьшаетъ притокъ и увеличиваетъ испареніе; увеличеніе ихъ производитъ противоположныя слѣдствія. При сыромъ климатѣ такіе бассейны могутъ нѣсколько опрѣснiться, но затѣмъ, при смѣнѣ сырого сухимъ климатомъ, снова увеличатъ соленость. Прекраснымъ и вмѣстѣ съ тѣмъ грандіознымъ примѣромъ такихъ бассейновъ можетъ служить Арало-Каспійская область, гдѣ находятся такія громадныя озера, называемыя морями, какъ Каспійское, Аральское, и тысячи болѣе мелкихъ озеръ. Они лежатъ на разнообразныхъ высотахъ: одни выше уровня моря, напр. Балхашъ на 900 ф., Алакуль—на 1,000 ф., Аралъ—на 165 ф.; другія залегаютъ ниже уровня моря, напр. Каспій ниже уровня Чернаго моря на 84 ф., такъ что Аралъ превышаетъ Каспій на 249 ф., Баскунчакъ — на 63 ф.



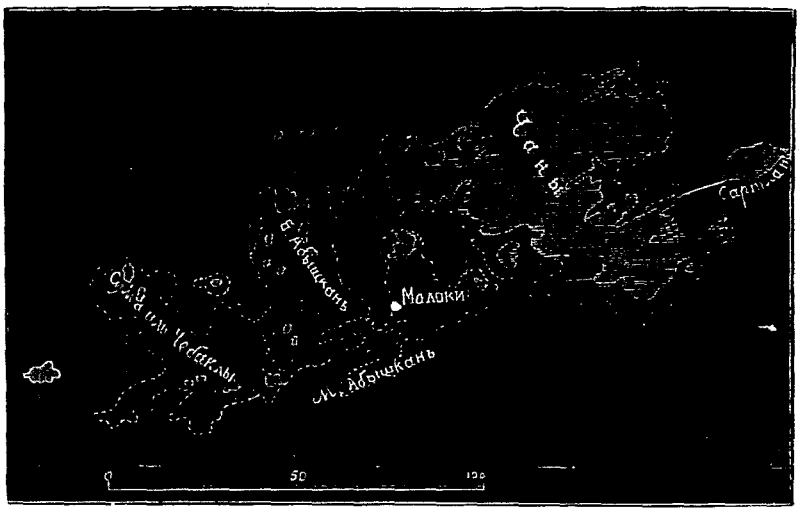
Фиг. 337.— Такыръ въ Кара-кумахъ.

и множество озеръ Астраханской губерніи; озеро Сары-камышъ въ Хивѣ лежитъ даже ниже уровня Каспія на 49 ф. или ниже уровня Чернаго моря на 133 ф.

Вся эта масса озеръ находится на мѣстѣ бывшаго обширнаго Средиземнаго моря. Геологическія изслѣдованія третичныхъ отложеній Восточной Европы и Западной Азіи показываютъ, что въ міоценовую эпоху Арало-каспійскій бассейнъ, Эгейское море, а также Вѣнскій бассейнъ, Венгерская низменность, Зибенгебирге, Валахія и Черное море составляли одно большое море. Этотъ бассейнъ, вслѣдствіе динамическихъ процессовъ въ концѣ міоценовой эпохи, раздѣлился на отдѣльныя части, изъ которыхъ наибольшія—Черное, Каспійское и Аральское моря и множество мелкихъ озеръ. Черное море только уже позднѣе Босфоромъ соединилось съ Средиземнымъ, такъ какъ по окраинамъ его постміоценовые осадки содержатъ только фауну солоноватыхъ водъ, а не чисто морскую. Такая же фауна свойственна Каспію и Аралу.

Всѣ эти озера находятся въ разныхъ періодахъ усыханія. Нѣкоторыя изъ нихъ уже исчезли, и на мѣстѣ ихъ находятся только низменныя солончаковыя котловины, залегающія ниже уровня Каспія, напр. котловины, называемыя такырами, хаками и сорами (фиг. 337) въ Туранской низменности [17-18]), да и само озеро Сары-камышъ уже почти превратилось въ такую котловину. Другія замѣтно уменьшаются, напр. огром-

ное озеро Чаны, по сообщенію Ядринцева [19]), въ теченіе 60 лѣтъ сократилось почти вдвое (фиг. 338); озера Сумы-Чебаклы занимали 100 верстъ въ длину, а теперь осталось отъ нихъ только восемь небольшихъ озеръ, не болѣе 5 верстъ длиною; еще въ 1820 г. они занимали [20]) 8,300 кв. кил., а въ 1880 г. — только 3,400 кв. кил.; то же происходитъ на многихъ другихъ озерахъ, не исключая и большихъ, какъ, напр., Алакуль, Сасыкъ-куль, Балхашъ и Аралъ. Озеро Балхашъ, по сообщенію г. Никольскаго [21]), понижаетъ свой уровень на одинъ аршинъ въ 10 лѣтъ. На сѣв.-вост. конецъ Арала бывшій заливъ съ 1741 г. высохъ и превратился въ пески Барсуки, около 2,230 кв. кил. площадью; а на юго-зап. конецъ съ 1857 г. усохъ заливъ Айбугиръ, имѣвшій около



Фиг. 338.— Озеро Чаны въ 1820 и 1880 г.г.

2,800 кв. кил.; множество несомнѣнныхъ данныхъ свидѣтельствуетъ объ усыханіи Арала и сосѣднихъ съ нимъ озеръ [22]). Г. Шульцъ полагаетъ, что ежегодно усыхаетъ площадь около 100 кв. верстъ [23]).

Изслѣдованія Шульца относятся къ 1880 году, а новѣйшія изслѣдованія Берга *) показали, что за послѣднія 20 лѣтъ въ режимѣ этихъ озеръ произошли существенныя измѣненія. Съ 1880 г. по настоящее время уровень Аральскаго моря повышается; за 18 лѣтъ прибыло не менѣе $1^1/_2$ саж., т. е. въ годъ около 178 мм. Это наблюдается не только на Аралѣ, но и во всей области отъ Арала до Иртыша на протяженіи почти $1^1/_2$ тысячъ верстъ, напр. на озерахъ Омскаго уѣзда (Денгизъ, Теке и друг.) и Тенизо-Кургольджинскаго озернаго бассейна (на границѣ Акмолинскаго и Атбасарскаго уѣздовъ). Тоже самое замѣчено Бергомъ на Балхашѣ, а Воейковъ указываетъ и для Иссыкъ-куля. Все это свидѣтельствуетъ о связи этого явленія съ климатическими факторами, быть можетъ, съ 35-лѣт-

*) Бергъ и Игнатовъ, О колебаніяхъ уровня озеръ Средней Азіи и Западной Сибири, Изв. Геогр. Общ., т. XXXVI, вып. 1, 1900; также сообщенія Берга въ Геогр. Общ., см. замѣтку Воейкова въ Petermanns Mitteilungen, 1902 г., стр. 260 и 1903 г., стр. 285.

ними климатическими періодами Брикнера. Эти факты, конечно, не ослабляютъ общаго положенія, подтверждаемаго всѣми геологическими данными, что Арало-Каспійская низменность и вся Средняя Азія испытываетъ постоянное усыханіе, временно прерываемое увеличеніемъ атмосферныхъ осадковъ.

Интересно, что Россиковъ *) приводитъ данныя, показывающія усыханіе озеръ Кавказа за періодъ времени съ 1881 по 1891 г. на 60 дюймовъ и даже до 202 дюйм. Наоборотъ Гульельми **) показываетъ, что уровень Гокчинскаго озера замѣтно въ тоже время повышается, обнаруживая вообще довольно правильныя періодическія колебанія продолжительностью приблизительно около 25—35 лѣтъ.

Самый большой представитель этой озерной области, Каспій, повидимому, находится въ состояніи равновѣсія. Непосредственныя наблюденія показали только періодическія, небольшія колебанія уровня то въ положительную, то въ отрицательную сторону; слѣдовательно испареніе съ площади Каспія равно количеству притекающей въ него воды.

По вычисленію Воейкова [24]), одна Волга приноситъ въ годъ 291 куб. кил., остальные притоки—97 куб. кил., осадки даютъ 88 куб. кил. Это количество воды, распредѣленное на площадь Каспія (376,236 кв. вер.), должно возвысить уровень его на 1085 мм.; а такъ какъ уровень его постояненъ, то, значитъ этотъ слой около 1 м. толщиною опредѣляетъ испареніе. М. Н. Герсевановъ [25]), на основаніи наблюденій г.г. Петрова, Петерсона и др., указываетъ, что р. Кура, Араксъ и Терекъ возвышаютъ уровень Каспія въ годъ на 11,18 дюйма, а Волга—на 2,22 ф., слѣдовательно нѣсколько меньше предыдущей цифры. Что касается колебаній уровня Каспія, то, по даннымъ, собраннымъ Соколовымъ, оказывается, что

до 1744		года	уровень	Каспія	возвышался
„ 1766		„	„	„	понижался
„ 1809	по 1814	„	„	„	возвышался
„ 1825		„	„	„	понижался
„ 1825		„	„	„	возвышался
„ 1842		„	„	„	понижался
„ 1847		„	„	„	возвышался

Позднѣйшія наблюденія, съ 1851 по 1879 г., принадлежатъ Филиппову, который, между прочимъ, указываетъ, что уровень Каспія находится въ зависимости отъ Волги, которая вливаетъ столько воды, сколько всѣ остальныя рѣки, взятыя вмѣстѣ; напр., при большомъ половодьѣ 1867 г. въ Волгѣ, превышавшемъ всѣ половодья за послѣднія 40 лѣтъ, уровень Каспія возвысился на 2 ф.; это отражалось еще въ 1868—69 г. То же наблюдалось съ 1876 по 1879 гг., такъ что уровень Каспія зависитъ отъ средней годовой температуры и осадковъ.

Не только озера низменности, но и многія горныя озера въ Тянь-шанѣ и Алаѣ несутъ ясные признаки усыханія, напр. озера: Иссыкъ-куль (5,200 ф. высоты, фиг. 339), Сонъ-куль (9,400 ф.), Искандеръ-куль (7,000), гдѣ видны террассы усыханія, Чатыръ-куль (11,000 ф.), Каракуль (13,000 ф.), на Памирѣ и пр. То же наблюдается и на другихъ материкахъ: Австраліи, Африкѣ, Сѣв. и Ю. Америки, особенно въ Великомъ бассейнѣ соленыхъ озеръ между Сіерра-Невадой и Скалистыми горами [26]), гдѣ нерѣдко на крутыхъ берегахъ озеръ отчетливо проявляются террассы усыханія (фиг. 340).

---

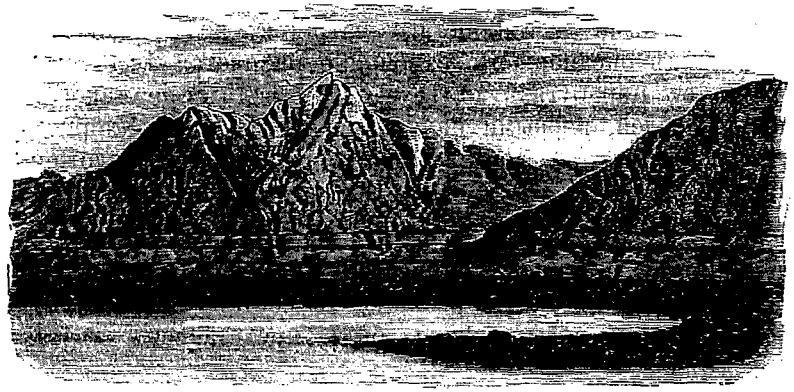
*) Усыханіе озеръ на сѣверномъ склонѣ Кавказскаго хребта, Зап. Кавк. Отд. Императорскаго Русскаго Географическаго Общества, т. XV, 1893.

**) Физическое состояніе Гокчинскаго бассейна, Вѣстникъ Рыбопромышленности, 1889, № 3.

Благодаря осушенію, слѣдовательно концентраціи солей, большинство этихъ озеръ имѣютъ горько-соленую воду; многія же до того концентрировались, что выдѣляютъ самосадочную соль; такихъ озеръ въ одной Астраханской губерніи насчитываютъ до 2,000. Казалось бы, что подоб-

Фиг. 339. — Озеро Иссыкъ-куль въ Тянь-шанѣ.

ный же процессъ осолоненія долженъ бы происходить въ Каспіи, однако, къ удивленію, Каспій въ этомъ отношеніи представляетъ какъ-бы исключеніе. Когда Каспій былъ заливомъ океана, то въ водѣ его должно было



Фиг. 340. — Террассы усыханія Большого Соляного озера (Great Salt Lake) въ С. Америкѣ.

содержаться не менѣе 34 ч.ч. солей на 1,000 ч.ч. воды; послѣ отдѣленія его, при существующемъ испареніи и громадномъ притокѣ воды, еще болѣе увеличивающей количество солей, не было бы удивительно содержаніе до 40 и выше частей солей на 1,000 ч.ч. воды; на самомъ же

дѣлѣ вода Каспія содержитъ только $^{14}/_{1000}$, или 1,4%. Это оригинальное явленіе было впервые основательно разъяснено К. Бэромъ [27]). Онъ доказалъ цифровыми данными, что по берегамъ Каспія, въ заливахъ и култукахъ происходитъ постоянное сгущеніе морской воды, а слѣдовательно выдѣленіе соли изъ моря. Такъ, въ заливѣ Кайдакъ, питающемся водою Мертваго Култука, впослѣдствіи названнаго заливомъ Цесаревича, онъ нашелъ 5,6814% солей; въ водѣ Мертваго Култука, сообщающагося непосредственно съ моремъ,—уже почти въ два раза меньше, и именно 1,832% на 100 ч.ч. воды, а въ водѣ Каспія—1,4, т. е. почти въ 4 раза меньше. Чтобы дать понятіе объ этомъ расходѣ солей въ заливахъ, Бэръ приводитъ Кара-бугазъ, отрѣзанный отъ моря низкою косою и только въ одномъ мѣстѣ соединяющійся узкимъ проливомъ, Черною Глоткою, размѣры которой приведены выше (на стр. 501). Если принять количество воды, протекающей въ часъ черезъ этотъ проливъ въ 200,000 куб. саж., то, при солености даже въ 1,4 процента, морская вода вноситъ въ заливъ Кара-бугазъ ежедневно 34.500,000 пудовъ солей, въ томъ числѣ до 21 милліона пудовъ одной поваренной соли. Допуская даже ошибку въ измѣреніи канала, произведенномъ Жеребцовымъ, и принимая средній притокъ морской воды вдвое менѣе, все-таки, по словамъ Бэра, ежедневно вносится до 17.000,000 п. соли, а изъ нихъ свыше 10.000,000 п. повареной. Ежегодно, по словамъ Бэра, въ этомъ заливѣ скопляется 3.650.000,000 п. соли, т. е. почти во сто разъ больше того, что потребляетъ Россія.

По новѣйшимъ изслѣдованіямъ Андрусова *) и Лебединцева **) этотъ разсчетъ Бэра однако не подтвердился въ томъ отношеніи, что на днѣ Кара-бугаза происходитъ осажденіе не поваренной соли, а гипса, покрытаго въ серединѣ залива отложеніями мирабилита ($Na_2SO_4 . 10H_2O$); мощность этого пласта глауберовой соли оцѣнивается въ 1 саж., а весь запасъ ея по крайней мѣрѣ въ 9 милліардовъ пудовъ. Эта особенность легко объясняется химическимъ составомъ воды Каспійскаго моря. Вода его очень богата сѣрнокислыми солями; отношеніе между количествами сѣрнокислой магнезіи и хлористаго натрія въ водѣ Каспія составляетъ 1 : 2,6, а въ водѣ океановъ это отношеніе равняется 1 : 11. При концентраціи воды въ Карабугазѣ до 18 — 22%, вслѣдствіе такого отношенія сѣрнокислыхъ солей, первыми начинаютъ выпадать не хлористыя соли, а сѣрнокислыя. $MgSO_4$ при этомъ вступаетъ въ обмѣнное разложеніе съ NaCl по уравненію:

$$MgSO_4 + 2NaCl = Na_2SO_4 + MgCl_2.$$

Если принять, что все количество $MgSO_4$, могущее находиться въ растворѣ, вступаетъ въ такую реакцію, то составъ Кара-бугазскаго раствора на 100 частей воды можетъ быть представленъ въ такомъ видѣ (по Курнакову):

NaCl . . .	10,55 частей.	$MgCl_2$ . . .	5,30 частей.
Na_2SO_4 . . .	4,80 »	$CaSO_4$ . . .	0,45 »

*) Der Adschi-darja oder Karabugas-Busen, Pett. Mitteil., 1897, H. 11.

**) Physikchemisch. Untersuch. d. Karabugasbusens im Sommer 1897, Зап. Новороссійскаго Унив. 1898, т. 72. Также Cong. géol. int. VII session. Compte rendu, 1897, St. Pétersb., 1899, стр. CLXXXVII.

Проф. Курнаковъ *) на основаніи данныхъ о растворимости смѣсей NaCl и $Na_2SO_4 . 10 H_2O$ указываетъ составъ растворовъ, насыщенныхъ по отношенію къ Na_2SO_4 въ присутствіи различныхъ количествъ NaCl. Такъ напр., насыщенный растворъ смѣси солей NaCl и $Na_2SO_4 . 10 H_2O$ содержитъ:

	Na_2SO_4	NaCl
при 0°	1,77 частей	32,85 частей
» 17,9°	11,10 »	33,22 »

Изъ этихъ цифръ и проведеннаго выше состава разсола Кара-бугаза видно, что при лѣтней температурѣ 18°—20° этотъ разсолъ является далекимъ отъ насыщенія. Для $Na_2SO_4 . 10 H_2O$ эта насыщенность прекращается въ теченіе зимнихъ мѣсяцевъ (января, февраля) при температурѣ около 3°—5° и ниже; тогда разсолъ начинаетъ осаждать кристаллы глауберовой соли. Но по отношенію къ хлористому натрію разсолъ остается ненасыщеннымъ постоянно, при всѣхъ наблюдаемыхъ въ дѣйствительности температурахъ, и не можетъ, слѣдовательно осаждать поваренной соли. «Такъ какъ разсолъ Кара-бугаза представляетъ равновѣсную систему, говоритъ Курнаковъ, составъ которой сохраняется приблизительно постояннымъ въ теченіе цѣлыхъ геологическихъ эпохъ, то слѣдуетъ придти къ весьма важному въ практическомъ отношеніи заключенію, что въ прежнихъ и современныхъ отложеніяхъ Кара-бугаза глауберовая соль выдѣлялась и выдѣляется чистой, безъ примѣси хлористаго натрія».

Лѣтомъ въ Кара-бугазѣ происходитъ отложеніе гипса и горькой соли ($MgSO_4$); зимой магнезіальная соль остается въ растворѣ въ видѣ хлористаго магнія; въ переходныя времена года образуется двойная соль обоихъ сульфатовъ, астраханитъ $Na_2SO_4 . MgSO_4 . 4 H_2O$. На днѣ Кара-бугаза ежегодно отлагается не менѣе 180.000 пудовъ или около трехъ милліоновъ килограммовъ глауберовой соли, имѣющей огромное значеніе въ химической промышленности именно въ производствѣ соды и сѣрной кислоты. Германія производитъ глауберовой соли въ настоящее время около 80.000 тоннъ ежегодно на сумму 2 милл. марокъ, но искусственно; слѣдовательно, въ будущемъ Россія можетъ сдѣлаться опаснымъ конкурентомъ Германіи въ дѣлѣ содоваго производства.

Хотя описанныя озера характерны для внутреннихъ частей материковъ, но, съ другой стороны, нельзя не упомянуть, что не всѣ центрально-материковыя озера принадлежатъ къ этому типу; многія образовались другимъ путемъ, какъ уже это мы видѣли выше, напр. Мертвое море, озера на плоскогоріяхъ Центральной Африки, нѣкоторыя Сѣверо-Американскія озера, въ Атакамѣ, Техасѣ и др.

Даже не всѣ озера Арало-Каспійскаго бассейна можно считать за непосредственные остатки прежняго моря. На примѣрѣ озеро Троицко-Челябинской группы мы видѣли, какъ нужно быть осторожнымъ въ опредѣленіи реликтоваго характера даже соленыхъ и горько соленыхъ озеръ.

Приведенное нами раздѣленіе озеръ, по способу ихъ происхожденія, обусловливаетъ ихъ географическое распредѣленіе. Хотя въ настоящее время далеко не всѣ озера изучены съ надлежащею полнотою, и потому часто невозможно рѣшить, почему въ однихъ мѣстахъ они отсутствуютъ, въ другихъ сильно развиты, тѣмъ не менѣе, согласно съ Рихтгофеномъ [28]), возможно выдѣлить нѣсколько озерныхъ областей по ихъ географическому распредѣленію, а именно:

1) Область береговыхъ озеръ, куда относятся озера морскихъ побережій: дюнныя, отъ береговыхъ валовъ, тектоническія и др.

*) Зап. Мин. Общ., 1900 г., т. 38, стр. 26—27, протоколы.

2) Область озеръ рѣчныхъ впзменностей, напр. всѣ устьевыя и дельтовыя озера, озера въ заливныхъ долинахъ, происшедшія изъ старицъ, и проч.

3) Область озеръ складчатыхъ горъ; сюда относятся частью тектоническія, частью плотинныя.

4) Область озеръ дизъюнктивныхъ горъ; напр. Мертвое море, Урнерское озеро и пр.

5) Область вулканическихъ озеръ.

6) Область ледниковыхъ озеръ, куда принадлежатъ всѣ ледниковыя, моренныя и пр. озера.

7) Область центрально-материковыхъ озеръ.

8) Изолированныя озера, которыхъ происхожденіе или еще недостаточно выяснено, или обусловлено какими либо частными причинами, не распространявшимися на большое пространство, напр. Байкалъ, Титикака, Тана въ Абиссиніи, Валенсія въ Венецуэлѣ и др.

Разумѣется, при дальнѣйшемъ изученіи генезиса озеръ, области ихъ географическаго распредѣленія могутъ еще болѣе увеличиться въ особенности на счетъ изолированныхъ озеръ.

Составъ озерной воды и нѣкоторыя ея физическія свойства.

Вышеизложенный краткій обзоръ генезиса озеръ показываетъ, что озера не отличаются постоянствомъ; на нихъ весьма чувствительно отражаются всякія перемѣны, происходящія на поверхности земли, но въ особенности тектоническія и климатическія, которымъ они главнѣйше обязаны своимъ происхожденіемъ. Соленыя морскія озера могутъ сдѣлаться прѣсными и, наоборотъ, береговыя—центрально-материковыми и пр.; слѣдовательно, какъ замѣчено выше, свойства воды озеръ не могутъ играть никакой роли въ дѣлѣ выясненія генезиса ихъ; но для изученія озерныхъ осадковъ они имѣютъ большое значеніе, потому что отъ тѣхъ или другихъ качествъ озерной воды зависитъ характеръ производимыхъ озеромъ отложеній.

Озерныя отложенія по способу ихъ происхожденія могутъ быть раздѣлены на двѣ группы: механическія и химическія отложенія.

Первыя обязаны своимъ происхожденіемъ притокамъ озеръ, т.-е. рѣкамъ; они разсмотрѣны нами въ предыдущей главѣ, и потому нѣтъ надобности больше останавливаться на нихъ; замѣтимъ только, что, заполняя озера, они измѣняютъ его уровень, глубину и могутъ даже совершенно уничтожить озеро безъ отношенія къ климату и дислокаціи. Эти измѣненія уровня отличаются отъ измѣненій уровня, производимыхъ климатомъ, тѣмъ, что всегда имѣютъ частный характеръ, не распространяющійся на всѣ озера данной области, какъ это бываетъ при измѣненіи климата.

Кромѣ того, нужно отличать періодическія колеба́нія уровня озеръ въ зависимости, во-первыхъ, отъ періодичности питанія, какъ выше указано, а также, во-вторыхъ, отъ давленія атмосферы, на подобіе колебаній барометра, напр. на Женевскомъ озерѣ Боденскомъ, Веперъ, Ветеръ и др. [29]).

Колебанія воды озера, которыя происходятъ не вслѣдствіе какой-либо мѣстной причины, напр. удара вѣтромъ, а отъ причины, захватывающей значительную часть поверхности, и распространяющіяся на всю массу воды озера, называютъ въ отличіе отъ обыкновенныхъ или распространяющихся волнъ волнами стоячими (stehende Wellen), или, какъ ихъ называютъ на Женевскомъ озерѣ, сейшемъ (Seiches, выговаривается Säsch). Они проявляются въ видѣ спокойнаго колебанія поверхности воды вверхъ и внизъ, подобно коромыслу вѣсовъ, причемъ или только приблизительно въ серединѣ озера находится постоянная (узловая) точка (uninodale stehende Welle),

или же каждая половина водной поверхности колеблется подобно всей поверхности въ первомъ случаѣ (binodale stehende Welle). Сейши могутъ быть продольные и поперечные; высота сейша въ различныхъ мѣстахъ берега будетъ, конечно, неодинакова, а въ одномъ и томъ же мѣстѣ первая волна самая значительная, а затѣмъ амплитуда постепенно уменьшается. Наиболѣе продолжительный періодъ сейша былъ наблюдаемъ на Женевскомъ озерѣ въ мартѣ 1891 года въ $7^1/_2$ дней съ періодомъ отдѣльныхъ колебаній въ 73 минуты, а высотою отъ 20 см. Причина сейшей, какъ показали изслѣдованія на Женевскомъ озерѣ, заключается въ измѣненіяхъ барометрическаго давленія. Наибольшая величина сейша была наблюдаема 3 окт. 1841 г. до 1.87 м. Съ тѣхъ поръ, какъ были установлены регистрирующіе приборы, наибольшая высота была отмѣчена 20 авг. 1890 г. въ 63 см. *) Нѣчто подобное наблюдается и въ обособленныхъ частяхъ морей, напр. внезапныя повышенія воды въ Балтійскомъ морѣ, такъ называемый Seebär (это слово не имѣетъ никакого отношенія къ понятію „медвѣдь“, такъ какъ bär есть искаженіе нижненѣмецкаго слова bare—волна), на берегахъ Сициліи—marrobio, въ сѣверной Испаніи (Астурія) – reseca **).

Отложенія химическія исключительно обусловливаются составомъ озерной воды и имѣютъ, какъ выше замѣчено, не только геологическое, но и большое экономическое значеніе. Вода озеръ содержитъ въ растворѣ различныя постороннія вещества, качество и количество которыхъ зависятъ частью отъ состава воды, питающей озеро, частью отъ свойства породъ озернаго бассейна и, наконецъ, частью отъ отношенія испаренія, или расхода къ прибыли, т. е. питанію. Отсюда понятно, что почти всѣ проточныя озера, получающія обильное питаніе, имѣютъ воду прѣсную, съ постоянною температурою у дна около 4° Ц.

Что касается температуры озеръ, то, по словамъ Воейкова [30]), изъ того, что „вода имѣетъ наибольшую плотность при 4° С., слѣдуетъ, что такая температура, или очень близкая къ ней, должна существовать на днѣ прѣсноводныхъ озеръ, если только зимой довольно долгое время температура ниже этого предѣла, а лѣтомъ выше“. Это положеніе до нѣкоторой степени подтверждается непосредственными наблюденіями. По изслѣдованіямъ Симони, на днѣ Гмунденскаго озера (глуб. 191 м.) въ Австрійскихъ Альпахъ, осенью температура колеблется отъ 4,45° до 4,75°, а ранней весной онъ нашелъ 3,25°. Въ сосѣднемъ Аттерскомъ оз. на глубинѣ 171 м. было осенью 4,35°, весною 3,7°.

Г. Форель въ Цюрихскомъ озерѣ нашелъ 25 января 1880 г.:

На глубинѣ	0	20	40	60	80	100	120	133 м.
Температура	0,2°	2,9°	3,5°	3,7°	3,8°	3,9°	4,0	4,0°.

Въ Женевскомъ озерѣ, или Леманъ, тотъ же изслѣдователь опредѣлилъ температуру на глубинѣ 250 м. + 5,2° Ц., и она оставалась постоянною до дна; въ разное время Форель получилъ для этой глубины слѣд. цифры:

23 Октября	1879	г.	5,2°
5 Апрѣля	1880	„	4,5°
20 Іюля	„	„	4,6°
30 Ноября	„	„	4,7°
5 Ноября	1881	„	4,8°
26 Февраля	1883	„	5,0°
15 Марта	1884	„	5,4°
18 Апрѣля	1885	„	5,6°

Изъ этихъ данныхъ видно, что хотя температура у дна довольно постоянна, но тѣмъ не менѣе подвержена небольшимъ колебаніямъ, и полагаютъ, что колебанія эти простираются до 300—400 м., но не ниже *). То же относится до несамостоятельныхъ морей, соединенныхъ съ океанами неглубокими проливами. Нужно замѣтить, что въ то время, какъ атмосфера нагрѣвается снизу, вода получаетъ свое тепло сверху, и поэтому распредѣленіе тепла въ столбѣ воды совершенно иное, чѣмъ въ воздушномъ столбѣ такой же высоты. Прѣсноводныя озера нагрѣваются

*) Forel, Handbuch der Seekunde, 1901.

**) Зупанъ, Основы физической географіи, 1899, стр. 250; Günther, Handbuch der Geophysik, 1899, II т. стр. 452—453, 456—461.

***) Новая данныя см. Воейковъ, Метеорологія, 1903, стр. 167—170.

днемъ и лѣтомъ непосредственно солнечными лучами и благодаря теплопроводности самой воды, а охлаждаются ночью и зимою благодаря теплопроводности и вертикальной циркуляціи. Непосредственное дѣйствіе солнца распространяется только на тонкій поверхностный слой, напр. въ началѣ сентября по наблюденіямъ въ Карнитіи (Гриспигера) только до глубины 12 м. Вертикальная циркуляція при охлажденіи съ поверхности вызывается измѣненіемъ уд. вѣса воды, причемъ охлажденная вода, становится тяжелѣе, опускается внизъ (конвекціонныя или уравнительныя теченія) до тѣхъ поръ, пока не достигнетъ слоя съ одинаковой температурой и плотностью. Болѣе теплые глубокіе слои поднимаются при этомъ вверхъ, въ свою очередь опускаются внизъ и такъ дальше, пока не возстановится наружное равновѣсіе. Въ зависимости отъ распредѣленія температуры въ прѣсновидныхъ озерахъ ихъ дѣлятъ (Форель, Воейковъ) на нѣсколько типовъ, причемъ каждый дѣлится на два класса: I глубокія и II мелкія озера.

A. Тропическій типъ. Вся вода выше 4°. Въ Россіи нѣтъ.

I. Въ глубокихъ слояхъ уже нѣтъ годовыхъ колебаній температуры, напр. въ Женевскомъ.

II. Годовыя колебанія до дна: Чадъ.

B. Типъ среднихъ широтъ. Вода лѣтомъ 4° и выше, зимою 4° и ниже.

I. Годовыя колебанія до нѣкоторой глубины, далѣе до дна температура наибольшей плотности. Въ Россіи Гокча; Констанцское, Веверъ, Великія озера С. Америки.

II. Лѣтомъ вся вода выше 4°, зимою ниже: Ладожское, Онежское, Чудское, Ильмень и другія; Невшательское.

C. Типъ полярный. Температура ниже 4°. I—ниже нѣкоторой глубины температура неизмѣнная въ теченіе года отъ 4° до 0°: Байкалъ единственное озеро. II—лѣтомъ вся вода имѣетъ температуру около 4°, зимою вся холоднѣе: озера сѣвера Сибири, Канады, ледниковыхъ горныхъ странъ.

Въ озерахъ тропическаго типа напластованіе прямое—температура убываетъ сверху внизъ; въ полярномъ типѣ напластованіе обратное—температура увеличивается сверху внизъ; въ умѣренномъ въ теплое время года прямое напластованіе, въ холодное—обратное. Прѣсноводныя озера обнаруживаютъ еще одну особенность въ распредѣленіи тепла; именно, на нѣкоторой глубинѣ существуетъ слой воды съ болѣе быстрымъ паденіемъ температуры, чѣмъ въ слояхъ поверхностныхъ и болѣе глубокихъ. Рихтеръ назвалъ его «слоемъ скачка» (Sprungschicht); такъ на озерахъ Карнитіи онъ находится на глубинѣ 9 — 10 м., гдѣ паденіе температуры составляло 5° на метръ, а выше только 0.3° и ниже 2°, а на глубинѣ отъ 20 до 30 м. всего $^1/_{11}$°. Это явленіе объясняется вертикальной циркуляціей при ночномъ охлажденіи поверхностнаго слоя и смѣшиваніемъ при этомъ воды всѣхъ верхнихъ слоевъ до нѣкотораго опредѣленнаго, который и обнаруживаетъ скачокъ температуры. По мнѣнію Фореля осенью онъ долженъ исчезать, а также во время сильныхъ вѣтровъ; Анучинъ (l., c., стр. 111—113) показалъ крайнее непостоянство положенія этого слоя даже въ одномъ и томъ же озерѣ, зависящее отъ погоды, т. е. температуры воздуха, облачности и проч. Въ озерахъ незамерзающихъ температура на поверхности выше, а на днѣ ниже средней годовой воздуха, и если температура водъ не опускается ниже температуры наибольшей плотности, то температура всего столба воды ниже температуры воздуха, и чѣмъ глубже водоемъ, тѣмъ болѣе эта разница. Въ озерахъ замерзающихъ явленія сложнѣе: осенью и до полнаго замерзанія они оказываютъ согрѣвающее вліяніе; послѣ полнаго замерзанія и до таянія льда вліяніе воды крайне слабо, и весной, до средины или конца лѣта озеро охлаждаетъ температуру воздуха (подробности см. Forel, Handb. d. Seekunde и Воейковъ, Метеорологія).

Совсѣмъ другое дѣло въ соленыхъ озерахъ, въ которыхъ точка замерзанія воды измѣнятся съ % содержаніемъ солей; такъ, по Розетти, въ растворахъ хлористаго натрія:

%	Температура наибольшей плотности.	Точка замерзанія.
$^1/_2$	3, 0° Ц.	0,32° Ц.
1	1,77	0,65
2	0,58	0,27
3	3,24	1,90
4	5,63	2,60
6	11,07	3,91
8	16,62	5,12
Въ водѣ Адріатическаго моря	3,55	2, 0

Наблюденія Ю. А. Листова надъ замерзаніемъ соленаго Илецкаго озера, вода котораго содержитъ до 17% NaCl и др. солей, показали, что замерзаніе происходило

только при—10°, а въ сосѣднемъ, съ содержаніемъ 26% солей, вода не замерзала даже при 20°—30° морозахъ. Распредѣленіе температуры въ океанахъ разсмотримъ ниже.

Прѣсныя озера богаты механическими осадками, а химически-растворенныя вещества уносятся изъ нихъ истоками, тогда какъ въ озерахъ безъ истока, или непроточныхъ, гдѣ протекающая вода уходитъ только путемъ испаренія, количество химически-растворенныхъ веществъ должно постепенно увеличиваться, концентрироваться; поэтому вода такихъ озеръ становится соленою, негодною къ употребленію и сами озера называются соленымп. Только немногія изъ непроточныхъ озеръ имѣютъ воду прѣсную, напр озеро Чадъ въ Африкѣ, Тетенъ въ Средней Америкѣ и нѣсколько мелкихъ въ С.-З. Россіи, Финляндіи, Швеціи и т. д. Отсутствіе солей въ нихъ можно объяснить или тѣмъ, что они еще геологически недавно превращены въ непроточныя, или же тѣмъ, что окружающія ихъ породы не содержатъ солей, легко выщелачиваемыхъ водой, особенно натріевыхъ и магніевыхъ. Если концентрація солей доходитъ до такой степени, что превосходитъ предѣлъ насыщенія, то избытокъ солей выдѣляется изъ воды и отлагается по берегамъ или на днѣ озера въ видѣ болѣе или менѣе правильныхъ слоевъ; такого рода озера называютъ самосадочными озерами.

Количество солей въ различныхъ озерахъ весьма различно, какъ видно изъ слѣдующей таблицы, составленной по даннымъ Ю. Рота [31]):

Куку-норъ	1,07	на 100 ч.	воды.
Аральское море	1,08	»	»
Каспійское море	1,40	»	»
Ванъ	1,91	»	»
Горькое озеро у Суэзскаго канала	5,37	»	»
Большое соленое озеро Ютахъ	18,60	»	»
Урміа	21,05	»	»
Мертвое море	23,75	»	»
Индерское озеро	26,15	»	»
Сакки	27,10	»	»
Елтонъ, Баскунчакъ	28,42	»	»
Красное озеро у Перекопа	32,87	»	»
Гусгундагъ на Маломъ Араратѣ	36,80	»	»

Такимъ образомъ, количество солей въ нѣкоторыхъ озерахъ въ 10 разъ больше, нежели въ открытомъ океанѣ, гдѣ соленость рѣдко превосходитъ 3,5%.

Но не только въ различныхъ озерахъ, но даже въ разныхъ мѣстахъ одного и того же озера количество солей неодинаково, напр. въ Каспійскомъ морѣ, какъ показываютъ слѣдующія цифры:

Количество солей въ водѣ:

Въ 75 в. отъ устья Волги.	У г. Баку.	Средина Каспія.	Мертвый-култукъ.	Кайдакъ.	Кара-бугазъ.
0,14	1,2	1,4%	3%	5,6	28,5%.

Такъ что соленость воды Каспія несравненно меньше, нежели въ открытомъ океанѣ, но въ заливахъ Каспія гораздо больше и нисколько не уступаетъ солености самосадочныхъ озеръ.

Въ Мертвомъ морѣ количество солей варьируетъ отъ 19% до 26% на 100 чч. воды.

Что касается качества солей, то хотя онѣ въ этомъ отношеніи весьма разнообразны, тѣмъ не менѣе преобладающими являются поваренная соль, гипсъ и сода.

Въ зависимости отъ тѣхъ или другихъ составныхъ частей изъ всѣхъ озеръ выдѣляютъ три главныхъ группы: собственно соленыя, натровыя или, лучше, содовыя и борныя.

Соленыя озера по многочисленности и величинѣ занимаютъ первое мѣсто; за ними слѣдуютъ содовыя и только рѣдко попадаются борныя.

Чтобы показать разнообразіе солей и ихъ относительныя количества, приведемъ анализы одиннадцати наиболѣе извѣстныхъ озеръ и двѣнадцатый анализъ воды Атлантическаго океана для сравненія. Въ таблицѣ первой сопоставлены анализы слѣдующихъ собственно соленыхъ озеръ:

1) Каспійскаго моря — вода взята въ 1876 г. подъ 42° 28′ с. ш. и 37° 55′ с. ш.; среднее изъ пяти анализовъ. Уд. в. 1,011057. Анализъ К. Шмидта.

2) Аральскаго моря—вода со средины Арала взята въ іюлѣ 1873 г. Уд. в. 1,00914. Анализъ К. Шмидта.

3) Елтона. Уд. в. 1,208. Анализъ
4) Баскунчака. Уд. в. 1,2365. Анализъ } Гебеля.

5) Кордуанскаго. Уд. в. 1,25502. Анализъ Федченко.

6) Красное озеро у Перекопа. Уд. в. 1,2211106.
7) Сакскаго. Уд. в. 1,191204. } Анализъ Гассагена.

8) Кукуноръ. Уд в. 1,00907. Анализъ Шмидта.

9) Урміа. Уд. в. 1,175. Анализъ Абиха.

10) Большое соленое озеро Ютахъ. Уд. в. 1,170. Анализъ Аллена.

11) Мертвое море—въ 5 м. къ востоку отъ вади Мрабба—Уд. в. 1,2563.

12) Атлантическій океанъ 52° 9′ с. ш. 15° 13′ з. д.—Уд. в. 1,0265.

Въ 1000 частяхъ воды.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$NaCl$ . .	8,1163	6,2356	71,35	190,00	241,228	147,32	150,70	6,9008	181,16	118,622	36,372	28,139
$MgCl_2$ . .	0,6175	0,0003	165,39	54,35	20,130	132,10	43,61	—	11,52	14,908	159,774	3,145
KCl . . .	0,1339	0,1115	—	1,99	0,146	3,40	5,60	0,2209	—	—	8,379	0,531
$CaCl_2$ . .	—	—	—	9,89	—	16,78	—	—	1,48	—	47,197	—
$MgBr_2$ . .	0,0081	0,0033	—	0,06	—	0,11	0,97	0,0045	слѣды.	—	8,157	—
NaJ . .	—	—	—	—	—	0,39	0,55	—	—	—	—	—
$MgOSO_3$.	3,0859	2,9799	18,58	—	—	—	18,75	0,9324	—	—	—	2,279
$CaOSO_3$.	0,9004	1,3499	0,36	0,28	45,947	—	3,10	—	—	0,858	0,889	1,418
Na_2OSO_3 .	—	—	3,84	—	—	—	—	1,7241	11,34	9,321	—	—
K_2OSO_2 .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,363	—	—
$MgOCO_2$.	—	—	0,38	—	—	—	—	0,4330	—	—	—	—
$FeOCO_2$.	0,0011	0,0016	—	—	—	—	—	0,0028	—	—	—	—
SiO_2 . .	0,0024	0,0032	—	—	—	—	—	0,0098	—	—	—	0,071
	0,0034	0,0030	—	—	—	—	—	0,0055	—	—	—	—
Орган. вещества .	—	—	5,05	—	—	слѣды.	0,45	—	—	—	—	—
Сумма . .	12,9427	10,8416	264,95	256,57	307,451	300,10	224,73	10,7101	205,50	149,079	260,768	36,583

Кромѣ тѣлъ, поименованныхъ въ этой таблицѣ, въ водѣ нѣкоторыхъ озеръ найдены слѣды литія, брома, борной кислоты и др.

Въ слѣдующей, второй таблицѣ приведены анализы почти всѣхъ извѣстныхъ содовыхъ или натровыхъ озеръ, а именно:

1) Ванъ въ Западной Арменіи. Высота 4,800 ф. Уд. в. при 19,5°—1,0157—1,0184. Анализъ Абиха.

2) Озеро у Ташъ-буруна при NW подошвѣ Большого Арарата. Абихъ.

3) Гузгундагъ у SO новаго потока Малаго Арарата. Уд. в. 1,2791. Абихъ.

4) Содовое озеро пустыни Карсонъ въ Невадѣ. Анализъ Аллена.

5) Озеро Палико между Сегединомъ и Терезіополемъ въ Банатѣ. Уд. в. при 26°—1,001. Анализъ Гауера.

6) Натровое озеро Тебенъ въ Египтѣ. Анализъ Вилльяма.

Въ 1000 частяхъ воды содержится.	1	2	3	4	5	6
$Na\ OCO_2$	5,4384	9,81	43,1	29,248	1,2303	1,373
$Na\ Cl$	8,1067	49,74	306,8	64,941	0,5724	1,798
$Na_2\ OSO_3$	2,5868	—	79,9	13,763	0,0956	—
$K_2\ OSO_3$	0,5406	—	—	3,652	—	—
$Mg\ OSO_3$	0,2267	—	—	—	—	—
$Ca\ OCO_2$	—	—	—	0,466	0,0364	0,375
$Mg\ OCO_2$	0,2672	—	—	0,065	0,2599	0,531
$FeO\ CO_2$	—	—	—	—	0,0146	—
$Si\ O_2$	0,0358	—	—	0,205	0,0061	0,057
$Al_2\ O_3$						
$Fe_2\ O_3$	—	—	—	—	—	0,063
$Na\ S$	—	—	—	0,238	—	—
Орг. вещества и потеря .	—	—	—	—	—	0,210
Сумма	17,9022	66,46	429,8	112,578	2,2153	0,21814

Борныя озера всегда вмѣстѣ съ бурою содержатъ много хлористаго натрія и стоятъ въ тѣсной связи съ борнокислыми и сѣрными термами.

Не останавливаясь пока на соленыхъ озерахъ, которыя, какъ имѣющія громадное развитіе въ Россіи, разсмотримъ особо, скажемъ вкратцѣ о содовыхъ и борныхъ озерахъ.

Содовыя озера отличаются содержаніемъ углекислаго натра, который, впрочемъ, всегда находится вмѣстѣ съ сѣрнокислыми солями натрія. Чистыя содовыя озера встрѣчаются сравнительно рѣдко. Выше приведены анализы воды почти всѣхъ извѣстныхъ содовыхъ озеръ. Кромѣ мексиканскихъ и венгерскихъ, озера эти извѣстны въ Невадѣ, особенно озеро Карсонъ, лежащее на высотѣ 4055 ф.; на плоскихъ берегахъ его отлагается трона и гайлюсситъ.

Озера, отлагающія буру, еще рѣже. Они находятся на возвышенностяхъ Тибета и Непала, гдѣ нерѣдко отложеніе буры (тинкалъ) тѣсно связано съ каменною солью; напр. въ озерѣ, лежащемъ въ 15 дняхъ пути отъ Тешу Лумбу въ Тибетѣ, на плоскихъ берегахъ и въ мелкихъ мѣстахъ отлагается тинкалъ, а въ глубокихъ частяхъ его находится каменная соль. Въ западномъ Тибетѣ въ долинѣ Пуга, въ Рупшу въ про-

винціи Ладакъ отложенія буры толщиною около 3 ф., занимаютъ площадь 10.000 ф. длиною и 1.400 ф. шириною. Тоже въ Южной Калифорніи въ 140 въ миляхъ къ NO отъ Бекерфильда, средина озера заполнена солью, вокругъ которой залегаетъ пластъ буры съ сульфатомъ натрія, толщиною до 3 ф.

Къ сѣверу отъ С.-Франциско береговыя озера отлагаютъ вмѣстѣ съ бурою и поваренную соль. Кристаллы буры достигаютъ до 2—3 дюймовъ въ діаметрѣ.

Всѣ эти озера, какъ содовыя, такъ и борныя, тѣсно связаны съ горячими источниками и почти исключительно питаются ими.

Русскія соленыя озера и отложенія въ нихъ.

Соленыя озера встрѣчаются группами, большей или меньшей величины, во всѣхъ материкахъ, но особенно богата ими Сѣверо-западная и Средняя Азія, отъ Каспійскаго моря до крайнихъ восточныхъ предѣловъ Ханъ-хая.

Въ этой обширной области наибольшаго развитія соленыя озера достигаютъ въ Арало-Каспійской низменности, залегающей въ предѣлахъ Россіи. Уже этого одного было бы достаточно, чтобы считать Россію главною владѣтельницею самосадочныхъ озеръ, мало уступающихъ Каспійской. Въ настоящее время центромъ русской солепромышленности являются такъ называемые Приволжскій и Крымскій бассейны, изъ которыхъ первый составляетъ только часть Каспійскаго, а второй—Черноморскаго; другіе бассейны, какъ-то: соленыя озера степей Новороссійскихъ, Прикавказскихъ, Пріуральскихъ, Закавказья и Сибири, хотя также обильны озерами, но къ сожалѣнію не имѣютъ еще того промышленнаго значенія, какъ первыя. Соленыя озера составляютъ главные источники, питающіе Россію солью [32]).

Приволжскій бассейнъ лежитъ по лѣвому берегу Волги, въ Волго-уральской степи и въ низовьяхъ праваго берега Волги. На лѣвомъ берегу онъ начинается около 49° с. ш. самымъ громаднымъ изъ всѣхъ извѣстныхъ самосадочныхъ озеръ—Елтономъ.

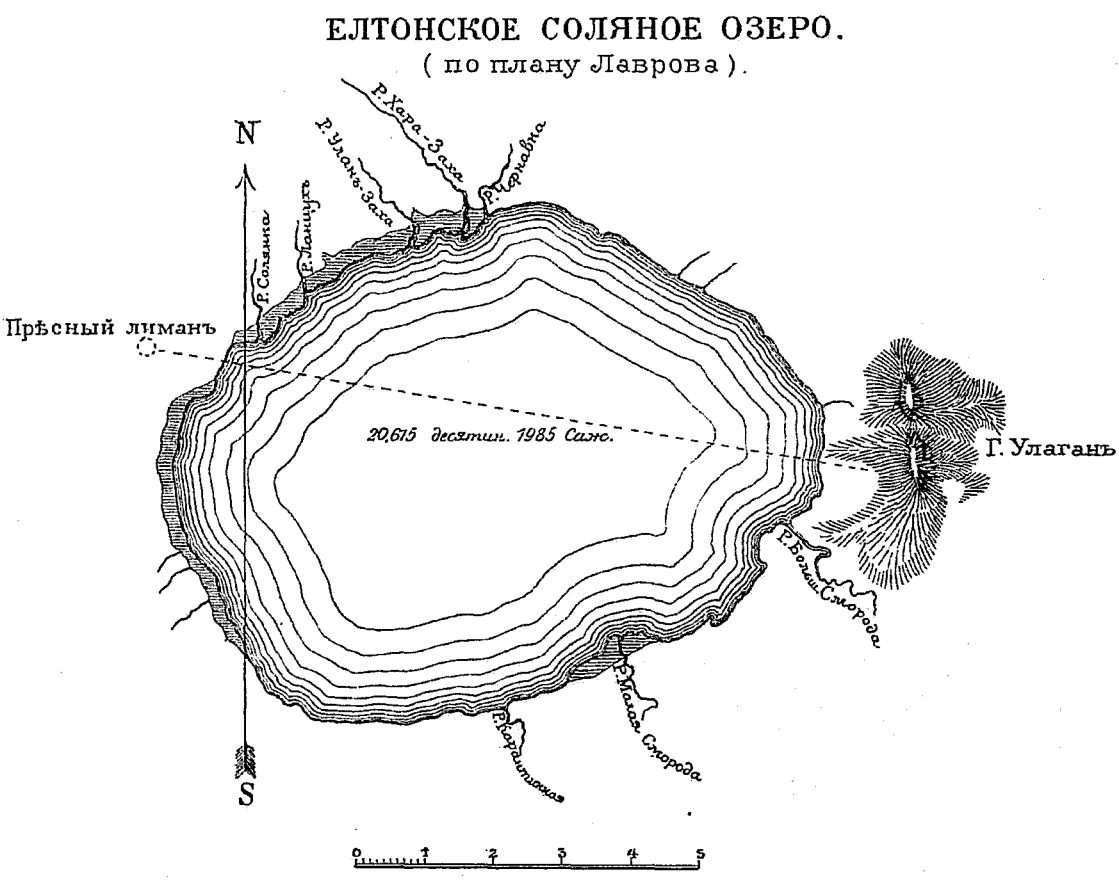
Озеро Елтонъ лежитъ подъ 49° 6′ с. ш. и 64° 20′ в. д. на высотѣ 61,39 ф. надъ уровнемъ Каспія; форма его овальная и довольно правильнаго очертанія (фиг. 341); окружность его 52 вер. 170 саж. Наибольшая длина озера, 18 в. 150 с., простирается отъ западнаго низменнаго берега, гдѣ находится селеніе Елтонъ, къ восточному возвышенному, гдѣ возвышается небольшая гора Улаганъ. Наибольшая ширина 13 вер. 50 с.; площадь его составляетъ около 20.000 десятинъ. Въ него впадаетъ нѣсколько соленыхъ рѣчекъ, изъ которыхъ наибольшая Хара-Заха.

Къ югу отъ озера Елтона, подъ 48° 50′ с. ш. при подошвѣ горы Богдо лежитъ второе по величинѣ, послѣ Елтона, озеро Баскунчакъ, или Баскунчакское (фиг. 342).

Баскунчакъ имѣетъ форму неправильно овальную, удлиненную съ NW къ SO; наибольшая длина его около 17 в., а ширина 9 верстъ; окружность 45 верстъ, а площадь 100 кв. в. или около 10,302 десятинъ. Гора Богдо, представляющая тріасовый островъ среди каспійскихъ осадковъ, окаймляетъ южный берегъ и возвышается на 596 ф. надъ озеромъ, которое лежитъ на высотѣ 21 ф. надъ Каспіемъ.

Между Елтономъ и Баскунчакомъ, равно какъ къ востоку отъ нихъ по линіи отъ дер. Сеитовки къ Рынъ-Пескамъ, залегаютъ еще нѣсколько

мелкихъ озеръ. Кромѣ того, въ полосѣ, шириною верстъ 40, а длиною верстъ 100, залегающей съ одной стороны между Волгою и Ураломъ, а съ другой—между сѣвернымъ берегомъ Каспія и линіею, проведенною параллельно ему отъ дер. Сеитовки, залегаетъ безчисленное множество



Фиг. 341.

озеръ, составляющихъ какъ бы отрывки Каспійскаго моря: напр., Сеитовскія, Кочетавскія, Темнинскія, Леденецкія, Кордуанскія, Бѣлинскія и Коневскія.

Далѣе къ востоку за р. Ураломъ извѣстно много соленыхъ озеръ, между которыми главное—Индерское озеро, до 40 верстъ въ окружности, также озера Мангышлакскаго полуострова, между фортомъ Александровскомъ и Кара-бугазомъ [32]), между Каспіемъ и Ураломъ въ Киргизскихъ степяхъ и въ Сибири. Изъ 71 Челябинскихъ озеръ—9 самосадочныхъ. Въ Западной Сибири больше 100 озеръ, между которыми Коряковское на правомъ берегу Иртыша имѣетъ главное значеніе. Всѣ сибирскія озера еще слишкомъ мало изслѣдованы и число ихъ неизвѣстно даже приблизительно. Въ Восточной Сибири озеръ очень мало, извѣстно не болѣе 10; изъ нихъ разрабатывается Борзинское озеро *).

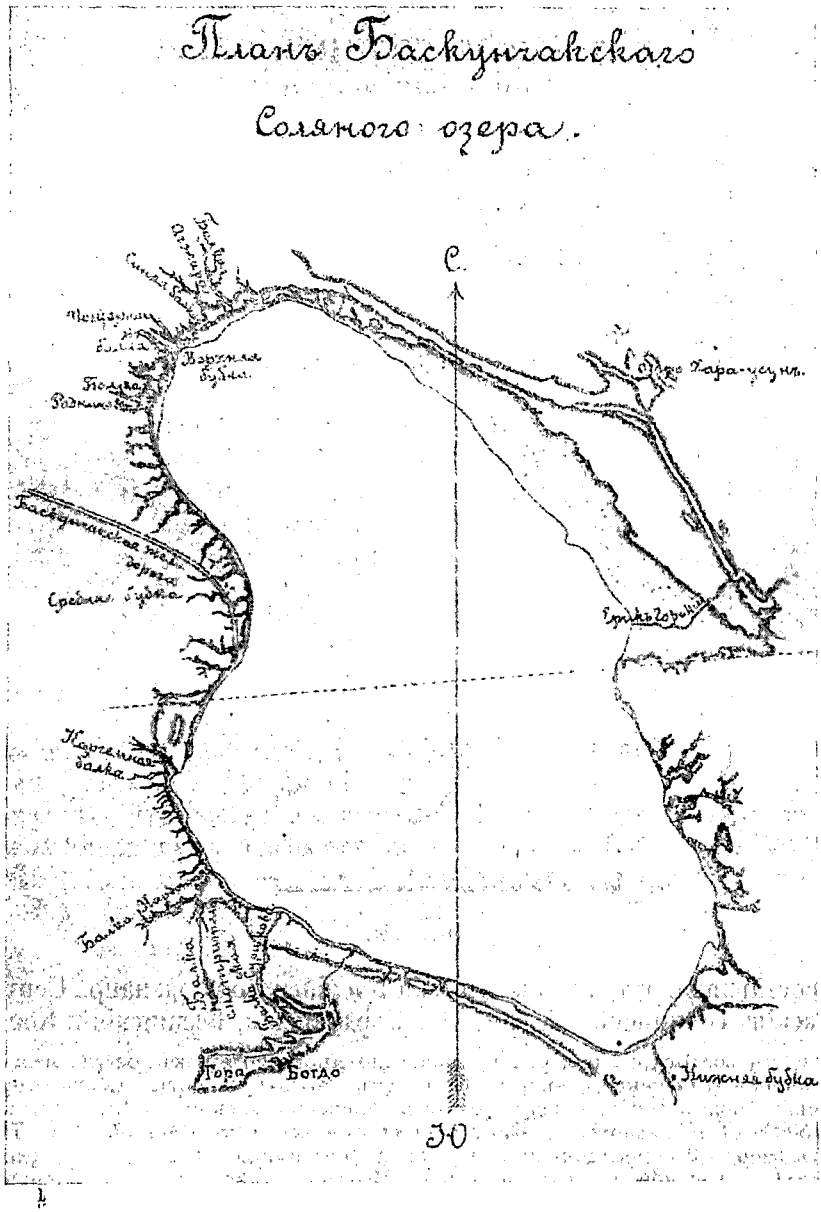
*) Болѣе новыя работы объ озерахъ Сибири:

Клеменцъ. Соленыя озера Минусинскаго и Ачинскаго округовъ и девонскія отложенія на Верхнемъ Енисеѣ. Изв. Вост. Сиб. отд. И. Р. Геогр. Общ., XXXIII, № 3, 1892.

Толмачевъ. Геологическій очеркъ окрестностей озера Широ. Мат. для геол. Россіи, Изд. Мин. Общ., т. XXI, 1903.

Залѣскій. Озеро Инголь. Томскъ, 1892.

На правомъ берегу Волги сѣверная граница ихъ лежитъ на два градуса южнѣе, т.-е. подъ 47° с. ш. приблизительно у ст. Сѣроглазинской, но наибольшее развитіе они получаютъ отъ ст. Лебяженской, лежащей



Фиг. 342.

почти на одной широтѣ съ дер. Сеитовкою. Какъ тамъ, такъ и здѣсь, продолжается полоса, обильная озерами параллельно NW и W берегу Каспія къ югу до р. Кумы. Въ совокупности съ правобережной эта прибрежная полоса тянется почти на 600 верстъ отъ границы Ставропольской губ. до земли Уральскихъ казаковъ; въ ней сосредоточено до 2,000

озеръ. Наибольшая часть эксплоатируемыхъ озеръ на лѣвомъ берегу Волги приходится на соляной участокъ Басинскій и южную половину Дармынскаго.

Хотя, повидимому, озера эти расположены безъ порядка, однако, при внимательномъ разсмотрѣніи, легко прослѣдить двѣ отдѣльныхъ, болѣе или менѣе, параллельныхъ между собой полосы озеръ, протягивающихся съ W на O; въ каждой изъ полосъ можно, въ свою очередь, замѣтить нѣсколько рядовъ озеръ. Къ сѣверной полосѣ относятся озера: Кошкошинскія, Бешкульскія, Дармынскія, Курочкинскія, Байкуцухскія и др.; къ болѣе южной—Малиновскія, Добгынъ-хакъ, Батмачаговскія, Кистенъ-хакъ, Форафонтьевскія, Чапчачи, Басинскія и др.; крайними пунктами изъ побережныхъ озеръ являются Гайдукскія и Можарскія, которыя съ озерами Манычскими и Ставропольскими составляютъ отдѣльную группу, называемую Кавказскою.

Всѣ озера береговой полосы имѣютъ овально-продолговатую форму, вытянутую параллельно прилегающему берегу Каспія. Большинство ихъ имѣютъ не болѣе версты въ окружности. Хотя распредѣленіе ихъ далеко не равномѣрно, однако можно утвердительно сказать, что географическое положеніе ихъ близъ моря и связанныхъ съ нимъ лимановъ не есть только случайность, но фактъ, имѣющій существенное значеніе, обусловленный генезисомъ озеръ, какъ производныхъ отъ Каспія. Исключеніе изъ этого составляютъ только два самыя большія озера: Елтонъ и Баскунчакъ, которыя отличаются отъ остальныхъ величиною, формою и генезисомъ *).

Къ западу Каспійскій бассейнъ, при посредствѣ озеръ Кумо-Манычской низменности, соединяется съ другимъ большимъ Черноморскимъ бассейномъ, центромъ котораго служатъ сѣверное, сѣверо-восточное, юго-западное и отчасти юго-восточное побережья Крымскаго полуострова.

Между Геническомъ и Перекопомъ вдоль по Сивашу залегаютъ до 20 озеръ, издавна славившихся солью, напр. Тузлы, Красное, Круглое, Ангунъ, Чонгары, самый Сивашъ, или Гнилое море, и др.; далѣе къ юго-востоку: Чокракское озеро, Камышъ-бурунъ и др.; первыя составляютъ группу Перекопскихъ озеръ, а вторыя—Керченско-Ѳеодосійскую.

Евпаторійская группа на юго-западной оконечности Крыма содержитъ много озеръ, между которыми первое мѣсто занимаетъ знаменитое озеро Саки, или Сакское, служившее важнымъ пунктомъ солепромышленности еще до присоединенія Крыма къ Россіи, также Майпакъ, Кизылъ-яръ и др.

Кинбурнскія озера, залегающія на Кинбурнской косѣ, называются также прогнойными; ихъ насчитываютъ до 29, а всего съ засухами и лиманами до 400. На всемъ же Крымскомъ полуостровѣ находится до 207 соленыхъ озеръ, а съ мелкими солончаками и засухами до 600.

За Кинбурнскою косою, между Бугомъ и Днѣстромъ, отъ Одессы до Очакова идетъ рядъ морскихъ истоковъ, превращающихся въ озера и примыкающихъ къ Бессарабской группѣ озеръ и лимановъ. Между ними первое мѣсто занимаютъ лиманы Куяльницкій и Хаджибейскій у г. Одессы **).

Вся эта масса озеръ, разумѣется, не одинаковаго происхожденія. Одни изъ нихъ относятся къ плотиннымъ, образовавшимся вслѣдствіе запрудъ морскихъ бухтъ береговымъ валомъ или пересыпью, другія къ котловиннымъ.

Образованіе Крымскихъ озеръ стоитъ въ тѣсной связи съ послѣдними моментами геологической жизни Черноморскаго побережья. Бассейны Каспія и Чернаго моря уже въ началѣ міоценовой эпохи обособились отъ открытаго океана, составляя части обширнаго Сарматскаго

---

*) Подробное техническое и экономическое описаніе прикаспійскихъ озеръ см. Гаркема, Очеркъ мѣсторожденій соли и добыча ея въ Астраханской губ., Астрахань, 1890, съ картой озеръ.

**) О крымскомъ соляномъ промыслѣ см. статьи:

Коншинъ. Крымскій соляной промыселъ, Горн. Журн. 1877 г., № 6—7.

Першке. Соляныя озера сѣвернаго прибрежія Чернаго моря и основанія для раціональной разработки ихъ, Горн. Журн., 1880 г., № 3, № 9 и 1882 г. и № 1.

Гаркема. Крымскій соляной промыселъ. Горн. Журн., 1891 г., № 11.

моря. Въ плiоценовую эпоху на мѣстѣ Сарматскаго моря образовались изолированные солоноватые или полупрѣсноводные бассейны сначала мэотическiе и загѣмъ понтическiе. Черное море представляло одинъ изъ такихъ замкнутыхъ полу-прѣсноводныхъ бассейновъ, уровень котораго во время плiоцена вѣроятно былъ ниже современнаго (по Андрусову). Дальнѣйшая судьба такихъ бассейновъ во время постъ-плiоцена схематически представлена Соколовымъ *) въ слѣдующемъ видѣ:

Раздѣленiе сѣверо-германскихъ четверт. образованiй.		Черное и Азовское моря.	Каспiйское море.
Доледниковое время. I. Оледенѣнiе. I. Междуледниковая эпоха.	Время Elephas trogontherii.	Бассейнъ съ почти прѣсной водой и фауной каспiйскаго типа (Card. trigonoides, C. crassum, Adacna laeviuscula, A. plicata, Dress. rostriformis и друг.). Уровень этого бассейна, сообщавшагося съ Каспiемъ посредствомъ Манычскаго пролива, нѣсколько выше, чѣмъ современный Чернаго моря.	Постепенное вытѣсненiе прѣсноводныхъ отложенiй солоноватоводными къ сѣверу. Максимальн. распространенiе трансгресiи.
II. Оледенѣнiе.	Время Elephas primigenius.	Реликтовый бассейнъ каспiйскаго типа опрѣсняется еще болѣе; уровень его понижается.	Уровень Каспiйскаго моря понижается и размѣры уменьшаются.
II. Междуледниковая эпоха. III. Оледенѣнiе.		Уровень реликтоваго бассейна достигаетъ своего наивысшаго положенiя передъ соединенiемъ съ Средиземнымъ моремъ (эпоха образованiя лёсса южной Россiи). Какъ только произошло это соединенiе въ концѣ этой эпохи, уровень его поднимается, нижнiя части рѣчныхъ долинъ покрываются моремъ: возникаютъ лиманы.	Проникновенiе Cardium edule въ Каспiйское море (эта форма, преобладающая нынѣ въ Каспiѣ и Аралѣ, встрѣчается обыкновенно въ отложенiяхъ не выше 10 м. надъ уровнемъ Каспiя, и способъ ея миграцiи съ запада до сихъ поръ не вполнѣ ясенъ).
Послѣледниковое время.		Опрѣсненiе лимановъ и также Азовскаго моря и сѣверо-западной части Чернаго моря.	

Съ конца перваго оледенѣнiя измѣненiя Каспiя и Чернаго моря нѣсколько расходятся; Каспiйская трансгрессiя почти не отражается на увеличенiи Чернаго моря, а послѣ соединенiя его съ Средиземнымъ оно расширяется въ то время, какъ Каспiйскiй бассейнъ непрерывно до сихъ поръ сокращается. Рѣки, впадающiя въ Каспiй (Волга, Терекъ, Кура), образуютъ обширныя дельты, а Днѣпръ, Бугъ, Днѣстръ, Донъ, Кубань и др., впадающiя въ Черноморскiй бассейнъ, расширяются въ лиманы, т. е. расширенныя устья, заполненныя соленой или солоноватой водой. Донъ образуетъ обширную подводную дельту, занимающую весь Таганрогскiй заливъ, который представляетъ также лиманъ; глубокiе каналы,

*) Der Mius-Liman, Зап. Мин. Общ. 1902.

прорѣзывающіе эту подводную дельту, такъ называемые «гирлы», представляютъ прежніе дельтовые протоки, затопленные при поднятіи уровня Азовскаго моря.

Сложная исторія колебаній уровня Чернаго моря не могла не отразиться на развитіи озеръ Черноморскаго побережья. Прежде всего, здѣсь можно указать озера, представляющія преобразованные лиманы.

Само собою разумѣется *), что, хотя лиманы вызваны поднятіемъ уровня моря, но послѣдующія ихъ измѣненія далеко не одинаковы и зависѣли отъ различныхъ условій: главнымъ образомъ, отъ первоначальныхъ размѣровъ устья рѣки, отъ уклона долины размыва, отъ количества приносимой воды и наносовъ, отъ характера береговыхъ морскихъ теченій, направленія господствующихъ вѣтровъ, орографіи и горизонтальнаго расчлененія береговъ и проч., а потому понятно, что въ настоящее время лиманы имѣютъ разный характеръ. Одни изъ нихъ, принимающіе большія многоводныя рѣки, хотя значительно сократились, благодаря наносамъ, но еще сохранили свои типичныя очертанія, напр., Бугскій, Днѣпровскій, Днѣстровскій, Молочный и друг. **). Другіе имѣютъ весьма широкія устья и сократились такъ мало, что имѣютъ видъ скорѣе морскихъ заливовъ, чѣмъ лимановъ, напр., Таганрогскій въ устьяхъ Дона. Третьи, благодаря обилію наносовъ и благопріятнымъ орографическимъ условіямъ, отдѣлились отъ моря пересыпью, за которою лиманъ скоро заполнится наносомъ и превратится въ обширную дельту, напр., въ устьѣ Кубани, гдѣ непропорціональность между размѣрами дельты и величиною рѣки объясняется именно отгороженностью устья Кубани отъ моря большою пересыпью. Нѣкоторые изъ лимановъ, питающіеся многоводными рѣками съ громаднымъ количествомъ минеральныхъ осадковъ, не только заполнились, но и отодвинулись назадъ выше дельты, такъ что остатки лимана находятся только въ боковыхъ долинахъ, напр., въ устьѣ Дуная, гдѣ рядъ лимановъ представляетъ только отвѣтвленія прежняго Дунайскаго лимана. Четвертые, наконецъ, образовавшіеся преимущественно въ устьяхъ балокъ совершенно отдѣлились отъ моря глухою пересыпью и превратились въ изолированные бассейны или прибрежныя озера, которыя въ свою очередь переживали различныя измѣненія въ зависимости отъ характера ихъ ложа, отъ величины пересыпи, отъ продолжительности ихъ существованія, отъ количества наносовъ и пр.; къ такому типу преобразованныхъ лимановъ принадлежатъ, напр., Куяльницкій, Хаджибейскій, а также многія соленыя озера Крыма, напр. Сакское, представляющее устьевое расширеніе двухъ балокъ, Кызылъ-яръ, Донузлавъ, Джарылгачъ, Бакалъ и всѣ Керченскія за исключеніемъ Опука и Акъ-Таша. Въ отличіе отъ такихъ устьевыхъ озеръ, какъ преобразованныхъ лимановъ въ устьяхъ балокъ, можно выдѣлить заливныя соленыя озера, представляющія участки моря или широкій заливъ, отдѣленный отъ моря пересыпью; такими являются напр. озера Сасыкъ-Сивашъ около Сакскаго озера, Майнакъ, Копратъ, Аджи-Байчи, Ойбуръ, Караджа, Санкъ и др., а также

*) Мушкетовъ, Замѣтка о происхожденіи крымскихъ соляныхъ озеръ, Горн. Журн., 1895 г., № 6.

**) См. также Соколовъ, О происхожденіи лимановъ южной Россіи, Тр. Геол. Комитета, т. X, № 4, 1895.

восточная часть Сиваша, отдѣляющаяся отъ моря Арабатской стрѣлкой. Третьимъ типомъ Крымскихъ озеръ являются материковыя соленыя озера, напр., всѣ Перекопскія, какъ Старое, Красное, Круглое и друг. Озеро Сакское питается только частью просачиваніемъ морской воды черезъ пересыпь, а теперь съ 1885 г. искусственно морской водой по каналу. Озеро Сасыкъ-Сивашъ питается какъ просачиваніемъ морской воды, такъ и непосредственно черезъ наиболѣе узкую и низкую часть пересыпи, но самосадки не даетъ, вслѣдствіе значительнаго притока прѣсныхъ водъ. Морская вода, просачивающаяся черезъ пересыпь или попадающая непосредственно, испаряясь, превращается въ густой разсолъ, называемый рапой (или ропой), и отлагаетъ или, какъ говорятъ, садитъ соль; другія озера даютъ садку только періодически или превращаются въ несолеродныя озера, какъ, напр., Сасыкъ-Сивашъ, Джарылгачъ и др. Просачиваніе морской воды происходитъ тѣмъ больше, чѣмъ уровень лимана или озера ниже и чѣмъ сильнѣе прибой морскихъ волнъ. Материковыя озера питаются источниками на счетъ выщелачиванія окружающихъ породъ; составъ озерныхъ отложеній, совершенно не заключающихъ морскихъ раковинъ, показываетъ, что эти озера никогда съ моремъ не соединялись. По характеру своего ложа материковыя озера относятся къ котловиннымъ, возникшимъ вслѣдствіе пологой складчатости и незначительныхъ поперечныхъ сбросовъ. Наиболѣе отчетливо тектоническое происхожденіе котловинъ такихъ озеръ замѣтно на бассейнѣ Сиваша, занимающаго синклинальную впадину въ третичныхъ отложеніяхъ простиранія OSO—WNW. Сивашская мульда сдѣлалась пріемникомъ атмосферныхъ водъ, постепенно дѣлавшихся солеными; но въ эпоху послѣдняго поднятія уровня Чернаго моря воды Азовскаго моря проникли въ Сивашскую мульду, образовавъ одинъ общій сильно расчлененный бассейнъ Сиваша или Гнилого моря. Нѣкоторыя озера этой мульды уцѣлѣли, сохранивъ свою самостоятельность; къ такимъ и относятся Перекопскія, представляющія различныя стадіи усыханія отъ самосадочныхъ (Старое, Красное) до солончаковъ и засухъ, высыхающихъ лѣтомъ.

Разница въ происхожденіи озерныхъ котловинъ и въ источникахъ питанія имѣетъ и важное практическое значеніе. Дѣйствительно, морскія озера, какъ солеродные бассейны отличаются не только богатствомъ солью, но и неистощимостью ея запасовъ, тогда какъ материковыя при усиленной разработкѣ легче истощаются и съ трудомъ возобновляются, какъ это доказываютъ въ особенности нѣкоторыя уже заброшенныя озера Астраханской губ.

Важнымъ вопросомъ для эксплоатаціи соляныхъ озеръ является измѣненіе состава соляной массы озерной ропы, съ теченіемъ времени. Эти измѣненія могутъ быть естественнаго характера, вслѣдствіе измѣненія условій питанія, но для солепромышленности также имѣетъ значеніе и искусственное измѣненіе, какъ слѣдствіе постояннаго извлеченія поваренной соли и возвращенія въ озера горькихъ солей. Напр., для Сакскаго озера полагали, что нормальное отношеніе $NaCl$ къ горькимъ солямъ, какое существуетъ въ морѣ $\left(\frac{80\,NaCl}{20\text{ горьк. солей}}\right)$, измѣнилось въ озерѣ отъ естественныхъ и искусственныхъ причинъ въ отношеніе $\frac{54\,NaCl}{46\text{ горьк. солей}}$, отъ

чего соль стала получаться недоброкачественной. Изслѣдованія проф. Курнакова *) не подтвердили однако этого заключенія; по его мнѣнію часть горькихъ солей метаморфизуется въ ропѣ естественнымъ путемъ, такъ что отношеніе $\frac{MgSO_4}{MgCl_2}$ («коэффиціентъ метаморфизаціи») остается постояннымъ при опредѣленныхъ геологическихъ условіяхъ. Для Крымскихъ и Черноморскихъ озеръ и лимановъ съ ропой морского характера это отношеніе измѣняется отъ 0,5 до 0,7. Въ Сакскомъ озерѣ это отношеніе въ теченіе всего столѣтія колеблется около 0,35—0,4. Вліяніе материковаго питанія озера выражается въ уменьшеніи этого отношенія, которое для типическихъ материковыхъ соленыхъ озеръ приближается къ нулю. Такими разсолами обладаетъ группа Перекопскихъ озеръ; въ разсолахъ, напр., Кіятскаго и Кирскаго озеръ отношеніе равняется нулю, такъ какъ $MgSO_4$ въ ихъ разсолахъ не заключается; для Геничскаго озера на сѣверномъ концѣ Арабатской стрѣлки отношеніе также меньше, чѣмъ для ропы морского характера, именно 0,349. Для материковыхъ озеръ астрахапскаго края отношенія между $MgSo_4$ и $MgCl_2$ уже иныя, какъ увидимъ дальше, вслѣдствіе обилія горькихъ солей въ водѣ Волги, источникѣ питанія многихъ озеръ.

Въ Каспійской области несравненно больше, чѣмъ плотинныхъ, котловинныхъ озеръ, образовавшихся въ готовыхъ углубленіяхъ дна при спадѣ воды Каспія. Памятниками прошедшей эпохи остались мощные и весьма неравномѣрные каспійскіе осадки, отлагавшіеся на неровное дно и вслѣдствіе этого образовавшіе многочисленные бугры съ залегающими между ними ильменями, солеными озерами, солончаками и пр., совершенно изолированными или же соединяющимися еще съ моремъ протоками или ериками. Чѣмъ ближе къ современному берегу Каспія, тѣмъ всѣ эти элементы, особенно бугры и ильмени, выступаютъ несравненно рѣзче, тогда какъ съ удаленіемъ, напр., къ сѣверу они постепенно сглаживаются, замѣняются солончаками и, наконецъ, простыми котловинами и плоскими увалами. Благодаря чередованію бугровъ съ ильменями, сѣверныя и сѣверо-западныя побережья Каспія, особенно при устьѣ Волги, отличаются замѣчательною расчлененностью, бросающеюся въ глаза даже на картахъ мелкаго масштаба.

Существованіе ильменей и ериковъ, съ одной стороны, поддерживается притоками воды изъ Волги во время половодья, а съ другой—съ моря во время морскихъ вѣтровъ или морянъ. Пока ильмени наполняются прѣсною водою, то хотя и сообщаются съ моремъ, но образованіе соленаго озера невозможно; какъ только ильмень изолируется или обособляется наносомъ въ отдѣльную котловину, то въ немъ вода постепенно обогащается солью, и ильмень превращается въ солеродное озеро. Обогащеніе солью происходитъ отчасти вслѣдствіе испаренія, которое, по наблюденіямъ въ Астрахани (въ годъ 744 мм.), въ 5 разъ превышаетъ осадки (156 мм.), но главнымъ образомъ отъ выщелачиванія солей изъ новѣйшихъ, пропитанныхъ солями, каспійскихъ осадковъ.

Очевидно бугристость степи способствуетъ выщелачиванію почвы и

*) Зап Мин. Общ., т. 34, 1896, стр. 68; т. 35, стр. 35, т. 38, стр. 24—25.

образованію соленыхъ озеръ. Въ пользу этого происхожденія соли въ самосадочныхъ озерахъ свидѣтельствуютъ всѣ лучшіе изслѣдователи Приволжскаго бассейна, какъ-то: Бэръ [35]), Барботъ-де-Марни [36]), Федченко [37]) и др. Не рѣдки примѣры такого превращенія на глазахъ у туземцевъ: напр., Хочатинскія озера, лѣтъ за 60 до изслѣдованія Бэра, были настолько прѣснымъ ильменемъ, что на немъ были водопои и водилась частиковая рыба; тоже озера: Шавердово, Новонайденное у дер. Басы и др. Этимъ объясняется, что соленыя озера въ Астраханской степи рѣдко лежатъ по-одиночкѣ, а всегда группами. Такъ какъ соль въ почвѣ распредѣлена неравномѣрно, то, очевидно, и солеродность озеръ весьма неодинакова. Озеро будетъ тѣмъ богаче солью, чѣмъ почва солонѣе, чѣмъ значительнѣе площадь выщелачиванія и чѣмъ продолжительнѣе періодъ образованія озера. Питаніе озеръ солью путемъ выщелачиванія доказывается не только вновь образующимися озерами, но также и старыми, долго разрабатывающимися. Вообще говоря, какъ ни богаты астраханскія озера солью, но постоянный промыселъ замѣтно истощаетъ ихъ богатство. Большею частью при усиленной добычѣ озеро истощается въ три, четыре, пять лѣтъ, и только немногія переносятъ многолѣтнюю разработку. При оставленіи промысла многія озера черезъ нѣсколько лѣтъ снова возстановляли свои богатства: другія же превращаются въ горькія и даже въ солончаки, напр., Горкинское озеро въ началѣ нынѣшняго столѣтія давало до 200.000 пуд. соли, а съ 1849 г. превратилось въ солончакъ. Иногда причиною истощенія озера является водополь, напр., по словамъ Бергштрессера [38]), послѣ сильнаго половодья въ Волгѣ въ 1865 г. многія самосадочныя озера были залиты водою и потеряли самосадку, напр. Джураковское, Кобыльское, Хоттага.

Въ мѣстахъ развитія летучаго песка соленыя озера часто совершенно заносятся пескомъ. Такія озера называются подпесочными; разъ выработанныя, они уже не возобновляются, потому что съ развитіемъ летучаго песка почва лишается солей, и выщелачиваніе ея не доставляетъ уже питанія озеру.

Нерѣдко озера вслѣдствіе разработки или естественнымъ путемъ становятся горькими, потому что содержатъ много горькихъ хлористыхъ и сѣрнокислыхъ солей магнія.

Въ тѣхъ частяхъ степи, которыя удалены отъ моря и уже давно выщелачиваются или въ которыхъ солей было мало, вмѣсто самосадочныхъ озеръ образуются только худжуры или засухи, или полупрѣсноводныя озера, напр. около Ергеней, или солонцы, раздѣляющіеся на сухіе солончаки и мокрые, вонючіе, топкіе солончаки, называемые хаки или соры.

Сообразно различнымъ переходамъ ильменей въ озера, а этихъ послѣднихъ въ солончаки, а также различнымъ степенямъ выщелачиванія почвы степей, самая растительность рѣзко измѣняется. Ильмени, освѣжаемые прѣсною водою, обладаютъ поемною флорою, которая становится бѣднѣе и однообразнѣе съ удаленіемъ отъ устья Волги. Но разъ ильмень превращается въ соленое озеро, то поемная растительность смѣняется солончаковой, способной цвѣсти на почвѣ, усыпанной кристаллами соли, и питаться насыщеннымъ соленымъ растворомъ. Такихъ формъ съ толстыми, пропитанными солью, листьями или даже просто зелеными бородавками, немного, напр., Frankenia hispida, Atriplex crassifolia, Salicornia herbacea, Asperula hamifusa, Statice caspica, Solsola mutica, Aleuropus littoralis, Halimoenemum strobi-

laccum, Halimoenemis crassifolia, H. glauca, H. volvax. При дальнѣйшемъ выщелачиваніи почвы и опрѣснѣніи озера солонцовая флора смѣняется комфоросмовой и полынной: Artemisia fragrans, Ar. monogyna, Comphorosma ruthenicum, Kochia prostrata, Kochia hyssopifolia, Triticum repens, Brachilepis salsa, и наконецъ при полномъ выщелачиваніи типчакомъ, тонконогомъ и ковылью—Stipa Lessingiana. Такимъ образомъ, поемная флора смѣняется солончаковою, послѣдняя—комфоросмовою и полынною, а эти замѣняются флорою ковыльныхъ степей. Наоборотъ, по характеру флоры, можно заключить о степени выщелоченности. Въ районѣ соленыхъ озеръ встрѣчаются всѣ типы растительности, тогда какъ на сѣверѣ калмыцкая степь превратилась уже въ ковыльную *).

Итакъ одни соленыя озера Приволжскаго бассейна произошли путемъ прямого сгущенія морской воды, другія же—при посредствѣ выщелачиванія солей изъ почвы. Третьи, наконецъ, самыя обширныя и богатыя солью, обусловлены, вѣроятно, выщелачиваніемъ коренныхъ залежей каменной соли, хотя это еще далеко не доказано съ точностью. Къ такимъ принадлежатъ только два: Елтонъ и Баскунчакъ и, можетъ быть, Индерское озеро. Они во всемъ отличаются отъ остальныхъ озеръ Приволжскаго бассейна, начиная съ ихъ изолированнаго положенія и кончая громадными толщами самосадки, которая ни въ одномъ изъ другихъ озеръ не достигаетъ такой мощности. Оба эти озера представляютъ по истинѣ неисчерпаемый запасъ соли. Болѣе 600 милліоновъ пудовъ, вынутыхъ изъ Елтона, даже не оказали никакого замѣтнаго вліянія на запасы его. Если принять мощность соли только въ одну сажень, она на самомъ дѣлѣ гораздо больше, а площадь вмѣсто 20.000 принять только въ 18.000 десятинъ, то запасъ соли въ Елтонѣ равняется 6.300 милліонамъ пудовъ. Въ Баскунчакѣ ни въ какомъ случаѣ не менѣе, если только не болѣе; буреніемъ 1883 г. доказана толща самосадки болѣе 4 саж. [39]), что опредѣляетъ запасъ Баскунчака больше Елтона. Если принять за среднюю толщину самаго верхняго пласта соли 3 саж., то запасъ соли = = 75.000.000 куб. с., или 45.000.000.000 пудовъ.

Образованіе ихъ возможно приписать провалу отъ выщелачиванія нижележащей залежи соли, на мѣстѣ котораго произошло озеро, заполнившееся самосадочною солью, вынесенною подземными источниками, которыхъ дѣйствительно на озерѣ много и теперь. Таково предположеніе, но нельзя сказать, чтобы оно было вполнѣ доказано. Во всякомъ случаѣ, хотя и можно предполагать, что Баскунчакъ и Елтонъ образовались на мѣстѣ штоковъ каменной соли, но тѣмъ не менѣе и выщелачиваніе степной почвы также не оставалось безъ вліянія.

Послѣднія изслѣдованія г. Православлева **) показали, что въ окрестностяхъ Елтонскаго озера имѣются выходы палеогена, мѣла и верхней юры и арало-каспійскіе осадки. Пласты палеогена, мѣла и юры выведены изъ горизонтальнаго положенія и образовали, повидимому, почти поперечный сбросъ простиранія NNO, на опустившемся крылѣ котораго и расположена значительнѣйшая часть озера (фиг. 343). Современная котловина озера была уже обозначена въ общихъ чертахъ къ началу каспійской трансгрессіи, какъ видно по утолщенію арало-каспійскихъ осадковъ по мѣрѣ приближенія къ озеру. Весьма возможно, что этотъ сбросъ составляетъ продолженіе дислокаціи направленія близкаго къ общему направленію берега Волги, доказанной проф. Павловымъ. Въ зависимости отъ упомянутой дислокаціи Православлевъ указываетъ распредѣленіе грунтовыхъ водъ вокругъ озера. Слои опу-

*) Мушкетовъ. Геологич. изслѣд. въ Калмыцкой степи. Тр. Геол. Комитета, т. XIV, № 1, 1895.

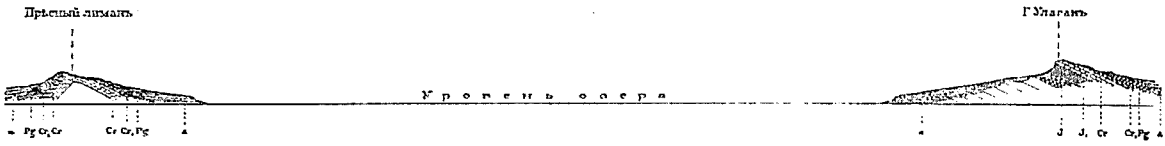
**) Къ познанію геологическаго строенія окрестностей Елтонскаго озера. Изъ Геол. Кабинета Варш. Унив., 1902, съ картой и спискомъ всей литературы.

стились отъ NW къ SO къ подножію возвышенности Улаганъ; на NW сторонѣ озера и открываются сильные источники прѣсной воды: съ этой же стороны озеро получаетъ и большую часть притоковъ (р.р. Солянка, Ланцухъ, Уланъ-Заха, Хара-Заха, Черная). Воды этихъ рѣчекъ, питающихся родниками, обнаруживаютъ тѣмъ большую соленость, чѣмъ дальше къ востоку отъ западнаго берега озера расположена рѣчка. Берега озера восточный, юго-восточный и южный вообще небогаты ключами и грунтовой водой, что вполнѣ соотвѣтствуетъ тектоникѣ окрестностей котловины.

Соль залегаетъ въ озерѣ сплошной толщей, состоящей изъ ряда чередующихся слоевъ соли и вязкаго ила, отъ $^1/_2$ вершка до 5 вершковъ мощностью каждый отдѣльный слой. На глубинѣ около 2 саж. въ озерѣ находится толща соли неизвѣстной мощности, состоящая изъ болѣе плотной и прозрачной соляной массы.

Православлевъ высказываетъ весьма вѣроятное предположеніе, что часть залежи соли, составляющей дно озера на глубинѣ около 2 саж., могла образоваться еще въ до-арало-каспійское время. Каспійская трансгрессія могла оставить на днѣ котловины только пластый слой, что впрочемъ для Елтона не доказано, а при послѣдующемъ сокращеніи бассейна начинается процессъ выщелачиванія атмосферными осадками солей изъ окружающихъ породъ. Какую роль играютъ въ этомъ процессѣ арало-каспійскіе осадки и болѣе древнія соленосныя породы, остается всетаки нерѣшеннымъ. Присутствіе послѣднихъ есть только догадка, основанная на выходахъ гипса въ устьѣ р. Хара-Заха.

Не менѣе интересны изслѣдованія того же автора окрестностей Баскунчакскаго озера *). Въ окрестностяхъ озера обнажаются породы нижняго тріаса и, повидимому, перми; затѣмъ породы нижне- и верхне-мѣловыя, палеогеновыя, каспійскія съ фауной болѣе древней, чѣмъ собственно арало-каспійскія, и наконецъ эти послѣднія. Породы тріаса и подчиненныя имъ, различнымъ образомъ нарушенныя, составляютъ основаніе, на которомъ несогласно залегаютъ остальныя. Православлевъ различаетъ слѣды четырехъ тектоническихъ нарушеній въ видѣ сбросовъ NNW—SSO (сѣверная половина горы Богдо-висячее крыло одного изъ такихъ сбросовъ), складокъ простиранія ONO—WSW, NW и NNO—SSW. Котловина Баскунчакскаго озера обязана своимъ образованіемъ сочетанію такихъ разнородныхъ и, вѣроятно, разновременныхъ тектоническихъ элементовъ, а не проваламъ въ гипсахъ (Федченко) или разлому антиклинальной складки (Мурчисонъ); тектоническіе процессы закончились ко времени отложенія арало-каспійскихъ осадковъ, когда котловина Баскунчака, подобно Елтонской, орографически уже обозначилась. Эта впадина заполнена чередующимися пластами соли и пластичной глины; въ сѣверной половинѣ озера наиболѣе глубокій пластъ соли доходитъ до глубины болѣе 21 сажени и продолжается ниже. Со дна озера и вокругъ него, особенно въ южной части, пробиваются на поверхность многочисленные ключи. Вопросъ о присутствіи около Баскунчака древней залежи соли остается, конечно, также только догадкой, по аналогіи съ присутствіемъ залежей соли въ Чапчачинскомъ мѣсторожденіи пермскаго возраста; можно предполагать, что нижняя соляная толща въ озерѣ отъ глубины 16 саж. относится къ такой залежи пермскаго возраста, связанной съ гипсами, окружающими сѣверную часть озера. Средній пластъ соли, въ 1 саж. мощностью, Православлевъ относитъ на счетъ процессовъ, связанныхъ съ материковымъ развитіемъ страны до арало-каспійской трансгрессіи, именно путемъ выщелачиванія соленосныхъ осадковъ, т. е. вторичнымъ путемъ; такимъ же путемъ, онъ объясняетъ и образованіе верхняго пласта соли, находящагося и теперь въ процессѣ послѣдовательнаго наращиванія. Выщелачиваніе въ настоящее время происходитъ



Фиг. 343. — Геологическій разрѣзъ Елтонскаго озера (см. фиг. 341).

a — арало-каспійскіе осадки; *Pg* — полеогеновыя образованія; *Cr* и Cr_1 — мѣловые осадки; *J* и J_1 — юрскіе осадки.

*) Православлевъ, Къ геологіи окрестностей Баскунчакскаго озера. Изъ Геол. Кабинета Варшавскаго Унив., 1903, также съ полной литературой, критически разобранной.

какъ на счетъ пермскихъ соленосныхъ породъ, что дѣйствительно подтверждается соленосными ключами въ области гипсовъ сѣверной стороны озера, такъ и болѣе новыхъ поверхностныхъ породъ, въ частности арало-каспійскихъ, заключающихъ отъ 0.22% до 0.36% NaCl, напр., *около* Енотаевска *).

Озера Закаспійскія и Сибирскія, очевидно, также разнообразны по своему происхожденію; одни отдѣлились отъ моря вслѣдствіе усыханія, напр. озеро Сары-камышъ; другія, вѣроятно, при посредствѣ тектоническихъ процессовъ, напр. нѣкоторыя изъ Троицко-Челябинскихъ озеръ, какъ указано выше.

Отложеніе солей. Лѣтомъ большинство самосадочныхъ озеръ пересыхаетъ; поверхность ихъ покрывается сплошнымъ болѣе или менѣе толстымъ слоемъ соли или такъ называемой новосадки, которая издали кажется льдомъ или снѣгомъ. Только по окраинамъ озера виднѣется полоса жидкости, окрашенная то синеватымъ, то зеленоватымъ, то слабомалиновымъ цвѣтомъ. Эта жидкость, представляющая маточный разсолъ, оставшійся отъ кристаллизаціи новосадки, извѣстна подъ именемъ рапы. На однихъ озерахъ кора новосадки совершенно суха, и небольшой слой рапы находится подъ нею; на другихъ же рапа остается въ теченіе всего лѣта, покрывая новосадку, напр. на Елтонѣ, на озерѣ Старомъ въ Крыму, гдѣ нерѣдко обиліе разсола служитъ причиною неурожая соли.

Рапа напоминаетъ собою маслянистую жидкость, разъѣдаетъ кожу, горька и непріятна на вкусъ. Иногда она бываетъ окрашена въ желтоватый или красный цвѣта, зависящіе отчасти отъ окисловъ желѣза, а отчасти отъ органическихъ веществъ. Густота рапы измѣняется, и плотность ея, по словамъ Федченко [40]), колеблется отъ 1,245 до 1,320. Словомъ, рапа является насыщеннымъ растворомъ, испаряющимся весьма медленно, при измѣненіи температуры то растворяющимъ, то выдѣляющимъ соль въ кристаллическомъ видѣ.

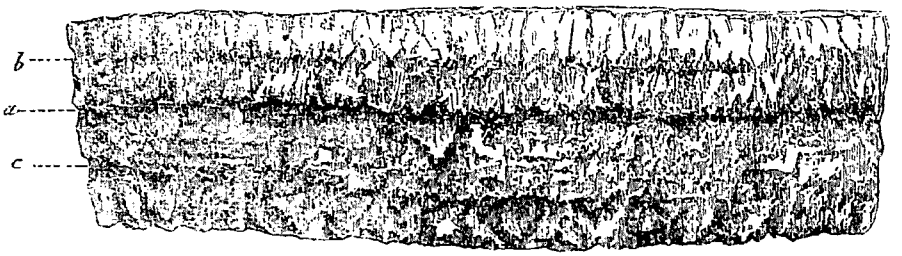
Самосадочная соль (самосадка), верхній слой которой называется новосадкой въ отличіе отъ нижнихъ слоевъ, образуетъ пластъ отъ $1^1/_2$ вершка до 3 вершковъ толщиною. Сверху пластъ покрытъ мелкими снѣжно-бѣлыми кристаллами, легко разсыпающимися и отличающимися отъ нижнихъ, болѣе крупныхъ кристалловъ. Этотъ разсыпчатый слой называется пикотью, и такъ какъ онъ содержитъ горькія соли, то при добычѣ отмывается въ рапѣ отъ крупныхъ, чистыхъ кристалловъ поваренной соли, называемой бузуномъ.

Пластъ самосадочной соли сверху имѣетъ гладкую поверхность, тогда какъ нижняя сторона бугорчата и состоитъ изъ хорошо образованныхъ кристалловъ. Тонкими прослойками песка или ила онъ раздѣляется на нѣсколько слоевъ. На слѣдующемъ разрѣзѣ (фиг. 344) изображенъ пластъ новосадки изъ мелкаго озера Аджи-гуджи; толщина его 1,4 д.; прослойкомъ *aa*, состоящимъ изъ песка, онъ раздѣленъ на два слоя, верхній толщиною до 0,6 д., нижній—0,8 д.; кромѣ того, замѣтно еще два менѣе ясныхъ прослойка *bb* и *cc*. Эти различные слои соли имѣютъ неодинаковое сложеніе; верхніе—болѣе мелкозернистые и рыхлые, средніе ноздреваты, а нижній образуетъ плотную щетку кристалловъ, называемую часто зубомъ соли.

*) Мушкетовъ, Геол. изсл. въ Калмыцкой степи.

На другихъ, болѣе крупныхъ озерахъ, бываетъ три и болѣе широкихъ иловатыхъ прослойка; но всегда слои соли, раздѣленные иловатыми или песчаными прослойками, различны по своему строенію и верхніе болѣе рыхлы, разсыпчаты и горьки, нежели нижніе; поэтому на взглядъ промышленника они представляютъ соль несозрѣвшую, молодую, негодную для выволочки, до тѣхъ поръ, пока она не освободится отъ горькихъ солей. Какъ ни разнообразны эти прослойки въ различныхъ озерахъ, тѣмъ не менѣе они вездѣ указываютъ на ту послѣдовательность, съ какою шло и нынѣ идетъ накопленіе самосадочной соли.

Подъ новосадкою залегаетъ слой вязкаго, чернаго или сипевато-чернаго ила, смѣшаннаго съ глиною и пескомъ. Это такъ называемый баткакъ. На мелкихъ озерахъ онъ образуетъ самое ложе мѣсторожденія и подъ нимъ не встрѣчается болѣе соли. На крупныхъ озерахъ баткакъ составляетъ только промежуточный слой, подъ которымъ въ иловатой массѣ лежитъ еще пластъ соли, по своему строенію отличающійся отъ



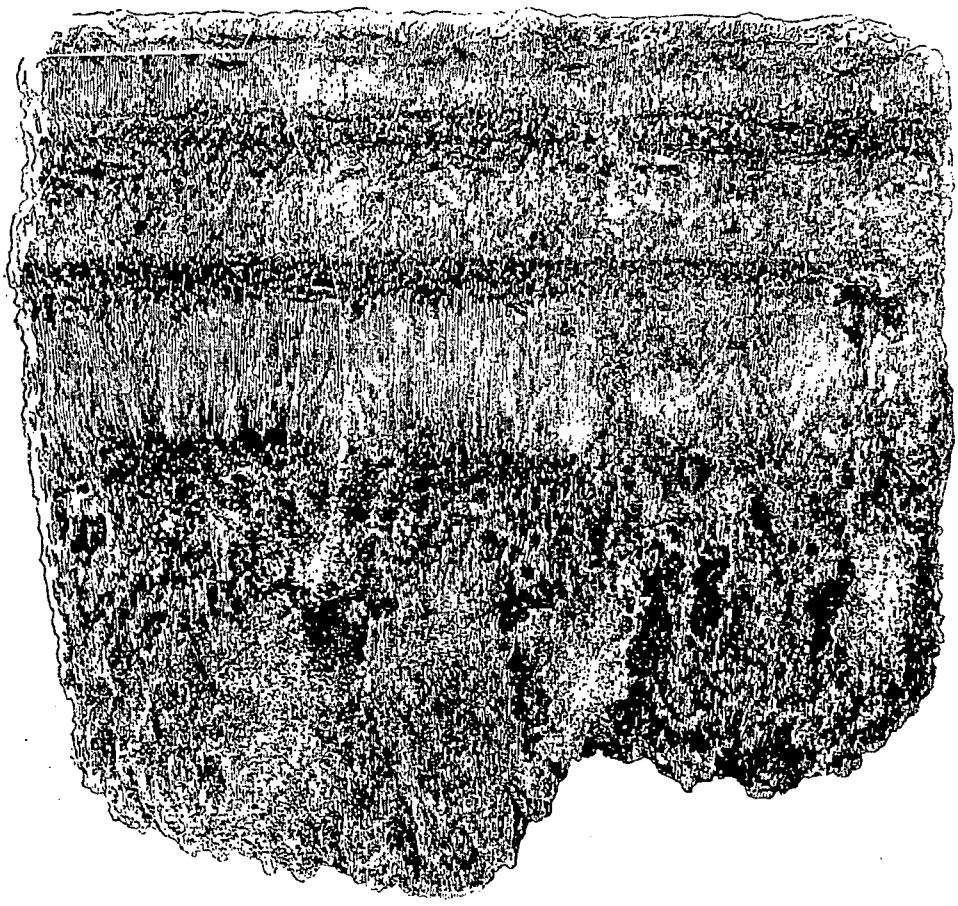
Фиг. 344. — Пластъ самосадочный соли въ оз. Аджи-Гуджи (въ натур. велич.).

новосадки; онъ имѣетъ видъ неслоистой, большею частью поздреватой массы, смѣшанной съ иломъ и безъ правильныхъ прослойковъ. Этотъ нижній пластъ у солепромышленниковъ извѣстенъ подъ именемъ: корня, матки озера, сердца соли. Въ однихъ озерахъ корень представляетъ, какъ сказано, неслоистую массу, мѣстами ноздреватую, синевато-сѣраго цвѣта, въ пустотахъ наполненную иломъ. Въ другихъ онъ состоитъ изъ отдѣльныхъ болѣе или менѣе крупныхъ кристалловъ, разсѣянныхъ въ илѣ до значительной глубины. Въ большихъ озерахъ между новосадкой и корнемъ бываетъ еще промежуточный или переходный слой.

Фиг. 345 представляетъ разрѣзъ соли съ Баскунчака. Верхній слой, или собственно новосадка, имѣетъ 1 д. толщины; подъ нимъ идутъ два прослойка, раздѣленные слоемъ соли въ 0,4 д. толщины. Подъ нижнимъ слоемъ ила находится второй слой соли въ 1,25 д. толщины; этотъ слой нѣсколько плотнѣе верхняго; мѣстами въ немъ пустоты заполнены иломъ; на нижней поверхности ея выступаютъ неправильные сталактитообразные отростки, кристаллы соли, углубленные въ плъ. Этотъ слой составляетъ переходъ къ корню, который лежитъ подъ иловато-песчанымъ слоемъ до 2 вер. толщины и представляетъ значительную мощность. Три буровыя скважины въ 1883 г. на Баскунчакѣ до глубины 21 саж. показали, что подъ верхнимъ слоемъ соли отъ 3 до 4 саж. толщиною залегаетъ пластическая глина до глубины 9 саж. 1 арш., подъ ней—второй слой соли въ 1 саж. толщиною, затѣмъ опять та же глина, а на глубинѣ 16 саж.—снова толща соли, по которой прошли 5 с. 6 вер., но до окончанія не дошли. Характеръ верхняго пласта соли въ сѣверной части озера нѣсколько другой, нежели въ южной; въ первой подъ новосадкой, отъ 1 до 2 вер. толщиною, залегаетъ слой такъ называемой чугунной или свинцовой соли, неравномѣрной толщины, отъ 4 верш. до 2 арш.; цвѣтъ ея зависитъ отъ прослойковъ грязи. Подъ нимъ лежитъ слой соли, называемой гранатка, представляющій чи-

стую кристаллическую соль съ 98% NaCl. Въ южной части озера чугуннаго слоя недостаетъ, но прямо подъ новосадкой залегаетъ гранатка.

Корень, разумѣется, происходитъ изъ того же источника питанія, что и новосадка, но онъ образовался прежде и представляетъ самый древній слой въ толщѣ самосадки. Въ случаѣ уменьшенія питанія озера, корень служитъ запасомъ, изъ котораго можетъ образоваться новосадка; отсюда и произошло убѣжденіе у солепромышленниковъ, что корень, какъ матка озера, питаетъ его солью и родитъ новосадку. Иногда въ



Фиг. 345. — Пластъ самосадочной соли въ оз. Баскунчакѣ.

корнѣ находится выдѣленіе другихъ солей, кромѣ поваренной, напр., кристаллическіе сростки гипса въ Большомъ Бобхынъ-хакѣ.

На нѣкоторыхъ Астраханскихъ озерахъ подъ верхнимъ слоемъ самосадки, по свидѣтельству проф. Марковникова [41]), находятся прослойки эпсомита (семиводная сѣрнокислая магнезія $SO_4Mg+7H_2O_2$; воды содержитъ 51,21%, а SO_4Mg — 48,78 = 99,99), напр. на Джелонскомъ озерѣ въ группѣ Алгаринскихъ озеръ.

Эпсомитъ образуетъ самостоятельный слой $^1/_2$ д. толщиною, подчиненный поваренной соли. Въ Малиновскомъ озерѣ Басинскаго участка

эпсомитъ образуетъ «толстыя щетки» на вертикальныхъ стѣнкахъ трещинъ, прорѣзывающихъ слой астраханита.

Астраханитъ находится во многихъ горько-соленыхъ озерахъ въ Астраханской губ. По изслѣдованію проф. Марковникова, астраханитъ въ озерахъ праваго берега Волги является главнымъ представителемъ горькихъ солей. Онъ всегда встрѣчается съ примѣсью поваренной соли, количество которой варьируетъ въ различныхъ озерахъ. Астраханитъ по составу представляетъ двойную соль: $SO_4Na_2 + SO_4Mg + 4H_2O$ (воды 21,5%, сѣрнокислаго натрія 42,21%, сѣрнокислаго магнія 35,92%); онъ всегда образуетъ нижній пластъ соли, лежащій на баткакѣ или даже въ самомъ баткакѣ, составъ котораго обусловливаетъ наружный видъ и степень загрязненія соли. Въ большинствѣ случаевъ астраханитъ совершенно черенъ, вслѣдствіе примѣси баткака, и замѣчательно, что это свойство дѣлать черную соль, по словамъ Марковникова, принадлежитъ только астраханиту. Такъ какъ баткакъ въ одномъ и томъ же озерѣ бываетъ различнаго состава, мѣстами онъ богатъ органическими примѣсями и воняетъ сѣроводородомъ, мѣстами же состоитъ только изъ ила,— то поэтому грязный, черный и чистый астраханитъ находятся въ одномъ и томъ же озерѣ. Въ крупныхъ озерахъ, кромѣ нижняго пласта астраханитъ еще образуетъ нѣсколько верхнихъ второстепенныхъ, переслоенныхъ иломъ или поваренною солью. Въ большомъ Басинскомъ озерѣ самосадка состоитъ изъ четырехъ пластовъ съ 15 прослойками, и только подъ самымъ нижнимъ находятся отдѣльныя гнѣзда астраханита. Въ Большомъ Малиновскомъ озерѣ слои астраханита, залегающіе подъ восемью слоями самосадки, постепенно утолщаются къ срединѣ озера, гдѣ доходятъ до 6 вер. толщины; къ берегамъ же выклиниваются. Кромѣ того, астраханитъ находится въ Маломъ Кордуанскомъ, Джелонскомъ, Добхынъ-хакѣ и др.; изъ нихъ самое важное—Малое Кордуанское, гдѣ корень состоитъ изъ астраханита и еще въ сороковыхъ годахъ эксплоатировался для переработки въ глауберовую соль.

Присутствіе горькихъ солей въ астраханскихъ озерахъ, по мнѣнію проф. Марковникова, обусловливается вліяніемъ воды Волги, такъ какъ только въ этомъ источникѣ имѣется запасъ ихъ, поэтому, пока сообщеніе озера съ Волгой не прекратилось, до тѣхъ поръ оно будетъ обогащаться горькими солями, преимущественно астраханитомъ.

Въ Крымскихъ озерахъ точно также горькія соли отлагаются вмѣстѣ съ поваренной, напр. въ Сакскомъ озерѣ. На Кавказѣ, напр., около г. Баталпашинска сѣрнокислыя соли настолько преобладаютъ, что озера разрабатываются исключительно на глауберовую соль. Еще значительнѣе въ этомъ отношеніи нѣкоторыя озера Закавказья, напр. озеро Гори въ Тифлисской губ., Нодорбизевъ на сѣверномъ склонѣ хребта Квернаки, нѣкоторыя озера въ Шемахинскомъ уѣздѣ, но особенно замѣчательна такъ называемая Мухраваньская залежь въ 30 вер. отъ Тифлиса по Сигнахскому тракту, въ 20 вер. отъ Закавказской желѣзной дороги. Она представляетъ значительную толщу (180 с. длиною и 60 с. шириною), не пройденную еще на 17 ф. глубины, чистой десятиводной глауберовой соли или мирабилита [42]) съ примѣсью 4% до 12% землистыхъ веществъ. Соль прикрыта наносомъ до 3 ф. толщины. Судя по изслѣдованію Абиха,

Закавказскія соляныя озера получили соль, благодаря дѣятельности подземныхъ источниковъ.

Въ Иркутской и Забайкальской областяхъ также извѣстны озера, садящія глауберку или такъ называемый гуджиръ, напр. озеро Дабаготуйское въ Верхоленскомъ округѣ, Бѣлое въ Нерчинскомъ, Оронгой въ Верхнеудинскомъ и др. *).

Такимъ образомъ, отложенія солей въ озерахъ весьма разнообразны и соли часто располагаются послойно, слѣдуя степени ихъ растворимости. Въ самыхъ нижнихъ прежде всего отлагаются сѣрнокислыя соли кальція, затѣмъ магнія и натрія и, наконецъ, хлористыя соли натрія и магнія. При неравномѣрномъ питаніи онѣ бываютъ перемѣшаны, и тогда горькія соли ухудшаютъ качество поваренной соли, и озеро не эксплоатируется. Въ самомъ чистомъ видѣ поваренная соль отлагается въ подпесочныхъ или такъ называемыхъ сухихъ озерахъ. Въ нихъ самосадка, будучи прикрыта пескомъ и постепенно промываема атмосферною влагою, просачивающеюся чрезъ песокъ, очищается настолько совершенно, что походитъ скорѣе на каменную соль, нежели на самосадочную; образованіе ея указываетъ на условія происхожденія толщъ чистой каменной соли, напр. въ нѣкоторыхъ озерахъ Гуйдукскихъ и Алгаринскихъ. Очень можетъ быть, что чистая залежь Мухраньскаго мирабилита обязана подобнымъ же условіямъ.

Мертвое море. Подобно тому какъ въ Елтонѣ и Баскунчакѣ, процессъ отложенія поваренной соли происходитъ непрерывно въ Мертвомъ морѣ. Воды его, вслѣдствіе непрерывнаго испаренія, находятся въ состояніи маточнаго разсола, отличающагося необыкновенно высокимъ содержаніемъ хлористаго магнія (см. табл. на стр. 514), какъ слѣдствіе прогрессивнаго выдѣленія изъ раствора хлористаго натрія по мнѣнію Бишофа. Іорданъ, главный притокъ озера, отличается несоразмѣрно большимъ содержаніемъ въ водѣ растворенныхъ веществъ, преимущественно $NaCl$ и $MgCl_2$; на 100000 частей воды 52 $NaCl$ и 30 $MgCl_2$. При постепенной концентраціи воды озера, изъ нея выдѣляется сначала $NaCl$, а $MgCl_2$ и $CaCl_2$ остаются въ растворѣ. По мѣрѣ обогащенія воды хлористымъ магніемъ, она теряетъ свою способность растворять $NaCl$, слѣдовательно отложеніе поваренной соли происходитъ непрерывно при продолжающемся притокѣ хлористыхъ солей, хотя содержаніе $NaCl$ въ водѣ озера не превышаетъ 8.31%—15.05%. Отложеніе поваренной соли происходитъ исключительно на счетъ притока рѣчной воды, которой обязанъ своимъ возникновеніемъ и маточный разсолъ съ содержаніемъ 253—260 частей солей на 1000 частей воды. Во время дождей избытокъ прѣсной воды отлагаетъ въ озерѣ слои ила; прежніе берега озера обнаруживаются чередованіемъ слоевъ ила или голубоватаго мергеля и гипса съ солью. Если бы озеро подверглось совершенному испаренію съ прекращеніемъ притока свѣжей воды, то на днѣ его отложилась бы залежь солей, состоящая существенно изъ $MgCl_2$, $NaCl$, $CaCl_2$, KCl и $MgBr_2$.

*) Извѣстное мѣсторожденіе глауберита (двойной сѣрнокислой соли Na и Ca) въ Испаніи около Аранжуэца (Cien-Pozuelos) подчинено міоценовымъ прѣсноводнымъ отложеніямъ.

Интересныя соленосныя отложенія современнаго происхожденія были встрѣчены при постройкѣ Суэцкаго канала. Тонкіе слои соли въ перемежаемости съ пластами глины съ кристаллами гипса образуютъ на Суэцкомъ перешейкѣ залежи длиною до 21 мили, шириною около 8 миль и мощности до 30 футовъ. Подобныя же отложенія глины и гипса были встрѣчены еще на глубинѣ 112 и 70 метровъ.

Большое Соляное озеро въ штатѣ Ютахъ представляетъ одинъ изъ остатковъ обширнаго озернаго бассейна (озера Bonneville и Lahontan) длиною до 500 км. и шириною до 200 км., уровень котораго, какъ видно по древнимъ береговымъ линіямъ, былъ выше современнаго болѣе чѣмъ на 300 м. Этотъ бассейнъ сократился до нынѣшняго положенія вслѣдствіе усыханія и содержитъ теперь 22,3% солей, преимущественно NaCl (см. табл. анализовъ, стр. 514). На плоскихъ берегахъ его отлагается твердый пластъ соли. Интересное явленіе представляетъ также отложеніе на берегахъ этого озера оолитовыхъ зеренъ $CaCO_3$, происходящаго изъ притоковъ озера, въ водѣ котораго углекислаго кальція не оказывается. Берега древняго Лагонтанскаго озера отмѣчены поясомъ известковаго туфа толщиною до 6—20 м. Эти отложенія считаютъ псевдоморфозой на счетъ гайлюссита, т. е. воднаго карбоната кальція и натрія, отлагавшагося (въ видѣ такъ называемаго тинолита) въ періодъ, когда содержаніе солей въ озерѣ было повышеннымъ *)

Геологическое значеніе соленыхъ озеръ. Всѣ эти многочисленные примѣры отложенія различныхъ солей въ настоящее время въ озерахъ какъ морского, такъ и исключительно материковаго питанія разъясняютъ намъ способъ происхожденія тѣхъ громадныхъ толщъ каменной соли и гипса, которыя образовались въ древнія геологическія эпохи. Каково бы ни было питаніе озера, но необходимымъ условіемъ для отложенія въ немъ солей является климатъ съ высокимъ испареніемъ, незначительнымъ количествомъ атмосферныхъ осадковъ. Дальше мы познакомимся съ возраженіями, которыя приводятся противъ возможности отложенія залежей соли непосредственно изъ морской воды; здѣсь же замѣтимъ, что, опираясь на эти возраженія, давно уже были высказываемы взгляды о исключительномъ происхожденіи залежей соли вторичными процессами выщелачиванія соленосныхъ осадковъ въ лишенныхъ стока материковыхъ котловинахъ. Эта теорія впервые была формулирована Пошепнымъ **), причемъ онъ приписывалъ особенную роль атмосферѣ въ дѣлѣ увлеченія частицъ соли изъ распыляемой морской воды и отложенія ея въ почвахъ при выпаденіи атмосферныхъ осадковъ. Позднѣе эта теорія была развита проф. Вальтеромъ ***), который главный источникъ выщелачиваемой соли видитъ въ горныхъ породахъ морского образованія, всегда заключающихъ, по его мнѣнію, до 1% солей. Главнымъ факторомъ въ дѣлѣ концентраціи солей является климатъ пустынь, рано или поздно вызывающій отложеніе солей во всякомъ ра-

*) Russell, Geological History of Lake Lahontan, Monogr. XI, U. S. G. Surv., 1885. Gilbert, Lake Bonneville, Monogr., U. S. G. Surv., 1890.

**) Zur Genesis der Salzablagerungen. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wissensch. Wien, B. LXXVI, H. 1, 1878.

***) J. Walther, Das Gesetz der Wüstenbildung, 1900.

створѣ, какого бы онъ ни былъ происхожденія, т. е. будетъ ли это участокъ моря, отторгнутый отъ него пересыпью, или материковое озеро. Опираясь на фактъ, что въ большинствѣ залежей соли и гипса и сопровождающихъ ихъ слояхъ глины нѣтъ остатковъ морскихъ организмовъ, Вальтеръ приписываетъ такимъ мѣсторожденіямъ материковое происхожденіе, независимо отъ гипсометрическаго положенія лишеннаго стока бассейна, исключительно подъ вліяніемъ соотвѣтствующихъ условій климата. Нѣтъ никакого сомнѣнія, что каждая залежъ соли и гипса являются свидѣтелями вполнѣ опредѣленныхъ климатическихъ условій, именно континентальнаго характера, но отсюда еще далеко до совершеннаго игнорированія дѣятельности моря въ процессѣ образованія залежей соли. Ссылка на процессы, совершающіеся теперь въ Кара-Бугазѣ, не можетъ имѣть рѣшающаго значенія, такъ какъ особенность этихъ процессовъ зависитъ отъ химическихъ свойствъ самой воды, т. е. состава раствора; на этомъ же примѣрѣ мы видимъ, какую огромную роль на насыщенность раствора при значительномъ даже измѣненіи въ количествѣ одной изъ солей, заключающихся въ растворѣ, можетъ имѣть температура. Новѣйшія изслѣдованія знаменитаго химика Вантъ-Гоффа (J. H. van't Hoff) открываютъ въ этомъ отношеніи новые горизонты, ставя проблему образованія залежей соли изъ морской воды въ совершенно иномъ свѣтѣ.

Геологическая дѣятельность крупныхъ озеръ приближаетъ насъ къ процессамъ, совершающимся въ морѣ; къ этому мы вернемся въ слѣдующей главѣ, а въ заключеніе объ озерахъ замѣтимъ, что главная роль ихъ состоитъ въ отложеніи различныхъ осадковъ, и въ этомъ отношеніи они представляютъ контрастъ съ дѣятельностью проточныхъ водъ, которыя, помимо отложеній, производятъ громадныя и разнообразныя формы размытія. Размывающая дѣятельность озеръ ограничивается только узкою полосою береговъ, и то въ ничтожныхъ размѣрахъ, какъ это видно на нѣкоторыхъ изъ большихъ усыхающихъ озеръ, на крутыхъ берегахъ которыхъ остаются небольшія террассы размытія, напр. на Искандеръ-кулѣ, Иссыкъ-кулѣ, соленомъ озерѣ Югахъ и пр. Размытіе береговъ прибоемъ волнъ достигаетъ громаднаго развитія только въ открытыхъ моряхъ, съ приливами и отливами, теченіями и сильными волнами; а такъ какъ эти явленія мы разсмотримъ при описаніи дѣятельности моря, то здѣсь на нихъ не будемъ останавливаться.

Временность существованія озеръ. Накопленіе озерныхъ и рѣчныхъ отложеній постепенно видоизмѣняетъ озерную котловину, выполняя ее. Слѣдовательно, даже при постоянствѣ климатическихъ факторовъ, благопріятствующихъ существованію озера, оно представляетъ временное явленіе. Форель *) различаетъ слѣдующія фазы развитія или періоды возраста озера:

Первая фаза: періодъ юности. Отложенія еще не оказали замѣтнаго вліянія на форму озернаго ложа; первоначальный рельефъ котловины еще не измѣненъ ни рѣчнымъ, ни озернымъ аллювіемъ.

Вторая фаза: періодъ зрѣлости. Озерный аллювій образовалъ вокругъ озера береговую отмель; грубые рѣчные наносы около устья при-

*) Handb. d. Seenkunde, стр. 43—45.

токовъ создали дельты; тонкій рѣчной илъ отложился на днѣ озерного ложа и выравнялъ его. Первоначальный рельефъ ложа еще не сглаженъ окончательно.

Третья фаза: періодъ старости. Повсюду преобладаетъ аллювій; склоны первоначальной котловины исчезли подъ толщей наносовъ. Все озерное ложе состоитъ изъ центральной горизонтальной равнины (изъ тонкаго ила), окаймленной откосами дельтъ и отсыпями озерного ложа (изъ болѣе грубаго рѣчнаго аллювія).

Четвертая фаза: озеро превратилось въ прудъ (періодъ дряхлости). Центральная равнина настолько повысилась отложеніями ила, что сравнялась съ береговыми отмелями; въ озерномъ ложе нѣтъ склоновъ, за исключеніемъ склона побережья. Прудъ—мелкое озеро одинаковой глубины, все пространство котораго можетъ быть заселено прибрежной озерной флорой.

Пятая фаза: превращеніе въ болото; вслѣдствіе уменьшенія глубины отъ продолжающагося отложенія ила и дѣятельности растеній озерная флора уступаетъ мѣсто болотной. Флора озеръ и прудовъ характеризуетъ свѣжую воду (lebendes Wasser); флора болотъ—застаивающуюся (totes Wasser). Само собою разумѣется, что не всякій прудъ или болото представляютъ конечную стадію жизни озера; они могутъ возникать и самостоятельно, но каждое озеро рано или поздно должно превратиться въ прудъ и болото, если какія нибудь активныя причины не нарушатъ его нормальнаго развитія.

ГЛАВА VII.

Дѣятельность моря.

Наибольшая масса воды заключается въ открытыхъ моряхъ или океанахъ, которые представляютъ главные питомники всѣхъ материковыхъ водъ. Соотвѣтственно величинѣ морскихъ бассейновъ, занимающихъ три четверти земной поверхности, дѣятельность ихъ проявляется въ громадныхъ размѣрахъ. Во всѣ геологическія эпохи, начиная съ самой древней и кончая современной, море оказывало наибольшее вліяніе на преобразованіе земной коры. Прибой волнъ и вѣковыя колебанія уровня обусловливаютъ характеръ горизонтальнаго расчлененія материковъ и, слѣдовательно, степень доступности ихъ, а также отношеніе площадей воды и суши въ разныя геологическія эпохи. Морскія отложенія по своему разнообразію, мощному вертикальному и горизонтальному развитію не имѣютъ себѣ равныхъ и характеризуются такими отчетливыми признаками, которые послужили главнымъ основаніемъ для раздѣленія геологическихъ системъ и установленія геологической хронологіи.

Дѣятельность моря, подобно материковымъ водамъ, выражается въ разрушеніи горныхъ породъ, въ перенесеніи ихъ и особенно въ образованіи мощныхъ отложеній. Такъ какъ во всѣ времена характеръ этой дѣятельности, по крайней мѣрѣ въ основныхъ чертахъ, не измѣнялся и оставался такимъ же, какимъ онъ является въ настоящее время, то поэтому изученіе современныхъ морскихъ бассейновъ и результатовъ ихъ дѣятельности ведетъ къ точнѣйшему познанію условій образованія древнихъ морскихъ осадковъ, распространенныхъ во всѣхъ геологическихъ системахъ.

Дѣятельность моря главнымъ образомъ зависитъ, съ одной стороны, отъ разнородныхъ движеній морской воды, а съ другой — отъ физическихъ и химическихъ особенностей ея, которыя, въ свою очередь, обусловливаютъ распредѣленіе морскихъ организмовъ, принимающихъ ближайшее участіе въ работѣ моря. Въ силу этого, прежде чѣмъ перейти къ изложенію результатовъ дѣятельности моря, необходимо познакомиться, хотя бы въ самыхъ общихъ и краткихъ чертахъ, словомъ, насколько это нужно для геологической цѣли, съ главнѣйшими физическими особенностями океановъ, т. е. воспользуемся основными выводами океанографіи, подобно тому, какъ при изложеніи дѣятельности атмосферы воспользовались данными метеорологіи и климатологіи.

Въ главѣ объ элементахъ земного шара было указано раздѣленіе морей на самостоятельныя, или собственно океаны, и несамостоятельныя, или средиземныя моря; были приведены также ихъ пространственныя

отношенія, средняя глубина, положеніе уровня и орографическія особенности морского дна, а потому теперь разсмотримъ свойства морской воды, а именно: распредѣленіе теплоты въ ней, составъ, плотность, прозрачность и различнаго рода движенія ея.

Свойства морской воды.

Еще не болѣе двадцати лѣтъ тому назадъ знанія физическихъ особенностей океановъ были настолько несовершенны, что истинныя наблюденія смѣшивались съ самыми ложными понятіями, и не представлялось возможнымъ сдѣлать какія бы то ни было общія заключенія. Только благодаря замѣчательнымъ экспедиціямъ послѣдняго времени, во главѣ которыхъ стоитъ экспедиція англійскаго военнаго корабля «Чэлленджера» (1872—1876), наши знанія объ океанахъ настолько подвинулись впередъ, что является возможность на основаніи отдѣльныхъ, до того разобщенныхъ наблюденій, сдѣлать нѣкоторые общіе выводы о физическихъ особенностяхъ океановъ. Между ними распредѣленіе температуры имѣетъ весьма важное значеніе для геологіи, потому что теплота, во первыхъ, оказываетъ существенное вліяніе на распредѣленіе морскихъ организмовъ, а слѣдовательно на распредѣленіе производимыхъ ими отложеній, и, во вторыхъ, на образованіе химическихъ осадковъ моря и на распространеніе морского льда.

Первымъ толчкомъ къ систематическому изслѣдованію глубинъ океана послужили факты, неожиданно открывшіеся при работахъ прокладки перваго трансатлантическаго кабеля въ 50-хъ годахъ прошлаго столѣтія. Оказалось, что органическая жизнь существуетъ на глубинахъ болѣе чѣмъ 1000 саженей. Проф. Эдинбургскаго унив. Уэвиллю Томсону принадлежитъ честь перваго снаряженія научной экспедиціи для изслѣдованія морскихъ глубинъ; съ 1868 г. по 1870 г. въ Атлантическомъ океанѣ и Средиземномъ морѣ былъ исполненъ рядъ работъ съ военныхъ судовъ «Лейтнингъ» и «Поркупинъ». Успѣхъ этой экспедиціи вызвалъ единогласное рѣшеніе англійскаго парламента о снаряженіи экспедиціи для изслѣдованія глубинъ всѣхъ океановъ, и въ 1872 г. была отправлена экспедиція на корветѣ «Чэлленджеръ» подъ руководствомъ У. Томсона, Бэканана (Buchanan) и Мэррея (Murray). Результаты обработки матеріаловъ этой экспедиціи составляютъ 38 томовъ, и въ этой обработкѣ приняли участіе наиболѣе выдающіеся ученые всѣхъ странъ. Почти одновременно съ этой экспедиціей американцы при прокладкѣ кабеля между Америкой и Японіей изучили сѣверную часть Тихаго океана на кораблѣ «Тускарора». Вслѣдъ за этимъ судно германскаго флота «Газель» дало замѣчательныя изслѣдованія по океанографіи и зоологіи, хотя и не океаническихъ глубинъ. Съ тѣхъ поръ почти всѣ націи приняли участіе въ изученіи морскихъ глубинъ, посылая спеціальныя экспедиціи. Въ 1876—78 гг. работала норвежская экспедиція на суднѣ «Vöringen» въ сѣверной части Атлантическаго океана подъ руководствомъ Мона и Сарса. Французы, начиная съ 1880 г., послали цѣлый рядъ экспедицій на судахъ «Talismaur» и «Travailleur» въ восточный Атлантическій океанъ и Средиземное море, подъ руководствомъ Мильнъ Эдварса. Экспедиціи американцевъ на

«Bache» и «Blake», итальянцевъ на «Washington», германцевъ на «Drache», австрійцевъ на судахъ «Nautilus», «Deli», «Hertha», «Pelagosa», «Taurus» и въ особенности «Pola» (знаменитое изслѣдованіе Краснаго моря), голландцевъ на «Сибога», датчанъ на «Ингольфъ», дали обширные матеріалы по гидрологіи и зоологіи отдѣльныхъ морей. Русскіе ученые моряки Шпиндлеръ, и Врангель, геологъ Андрусовъ, химикъ Лебединцевъ и зоологъ Остроумовъ изслѣдовали Черное и Азовское моря (на военныхъ судахъ «Черноморецъ», «Донецъ» и «Запорожецъ») и Мраморное море на турецкомъ суднѣ «Селяникъ». Изъ отдѣльныхъ лицъ, посвятившихъ себя изученію океановъ, необходимо упомянуть съ особенной благодарностью адмирала Макарова, давшаго замѣчательныя гидрологическія изслѣдованія на корветѣ «Витязь» во время обычнаго военнаго плаванія (1886—1889), и князя Альберта Монакскаго, отдающаго свои силы и средства на изученіе Атлантическаго океана и арктическихъ морей. Изъ предпріятій послѣдняго времени, направленныхъ исключительно на изученіе глубинъ океана, наиболѣе крупнымъ является германская экспедиція на параходѣ «Вальдивія» (1898—1899 г.г.) подъ руководствомъ проф. Куна (C. Chun) въ восточную часть Атлантическаго океана, антарктическія воды и Индѣйскій океанъ. Наконецъ, полярныя экспедиціи послѣдняго времени, начиная съ австрійской Пайера и Вейпрехта (1872—1874 г.г. на суднѣ «Tegethof») и кончая норвежской Нансена (1893 — 1896 г.г. на «Фрамѣ»), бельгійской Герлаха (1898—1900 г.г. на «Belgica») и друг. дали и продолжаютъ давать все новые факты и по океанографіи. Подъ этимъ названіемъ выдѣляютъ ученіе о водахъ, омывающихъ материки, т. е. объ океанахъ и моряхъ. Материковыя воды, какъ рѣки, озера, ключи и источники составляютъ предметъ континентальной гидрологіи.

Температура морской воды.

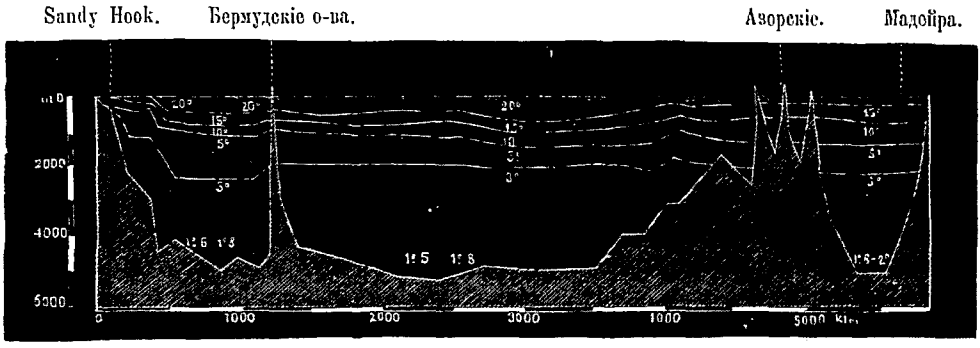
При разсмотрѣніи температуры океановъ нужно отличать температуру поверхности, т. е. верхняго слоя воды, и температуру на различныхъ глубинахъ до дна. Что касается температуры поверхности воды океановъ, то она, завися отъ широты и морскихъ теченій, довольно близко совпадаетъ съ температурой нижняго слоя воздуха и только немного выше ея (отъ $^1/_2°$ до $1^1/_2°$). Близкое совпаденіе достаточно объясняется большей теплоемкостью воды, такъ что воздухъ, проходя надъ огромною площадью океановъ, постепенно приближается къ ея температурѣ. Поэтому карта изотермъ воздуха (см. карту № 1) даетъ довольно хорошее понятіе и о температурѣ поверхности моря, которая, въ сущности, является главной причиной распредѣленія температуры воздуха [1]). Только въ нѣкоторыхъ случаяхъ, когда вѣтеръ дуетъ съ суши на море, температура воздуха надъ моремъ можетъ значительно отличаться отъ температуры поверхности моря, и то лишь въ небольшомъ разстояніи отъ берега, какъ на это указано выше (см. Гл. I), равно какъ и на то, что вода, медленнѣе нагрѣваясь и охлаждаясь, нежели воздухъ. не подвергается такимъ рѣзкимъ колебаніямъ температуры, какъ атмосфера; maximum и minimum ея нагрѣванія запаздываютъ сравнительно съ атмосферой; такъ, обыкновенно въ среднихъ и низшихъ широтахъ поверхность моря сильнѣе всего охлаждается въ мартѣ, а нагрѣвается въ сентябрѣ.

Какъ въ воздушной, такъ и въ водяной оболочкѣ температура на разныхъ горизонтахъ неодинакова. Въ атмосферѣ она уменьшается съ высотою, а въ океанахъ съ глубиною, гдѣ уменьшаются также и колебанія ея, такъ что на глубинахъ болѣе 200 м. температура въ продолже-

ніе цѣлаго года остается болѣе или меяѣе постоянною, подобно тому, какъ — въ глубокихъ прѣсноводныхъ озерахъ, гдѣ, какъ было указано въ предыдущей главѣ, температура у дна мало отличается отъ температуры наибольшей плотности воды, т. е. + 4° Ц. Въ моряхъ соленая вода наибольшую плотность имѣетъ при болѣе низкой температурѣ — 2,5° и даже — 3° Ц.

Многочисленныя наблюденія надъ температурой на разныхъ глубинахъ и въ различныхъ моряхъ даютъ возможность привести нѣсколько общихъ положеній, которыя, избавляя насъ отъ детальныхъ фактовъ, излагающихся въ океанографіи, наглядно рисуютъ распредѣленіе температуры въ океанахъ, какъ въ горизонтальномъ, такъ и въ вертикальномъ направленіяхъ. Выводы эти указаны проф. Богуславскимъ [2]), и важнѣйшіе изъ нихъ слѣдующіе:

1) Температура морской воды постепенно уменьшается отъ поверхности до дна, сначала до глубины 200 м. быстро, а затѣмъ до 1000 м. медленнѣе, около $^1/_2{}^\circ$ на 100 м.; на глубинѣ между 730 и 1100 м. пре-



Фиг. 346. — Изотермобаты между 30° и 40° с. ш. въ Атлантическомъ океанѣ.

обладаетъ средняя температура около + 4° Ц.; ниже уменьшеніе температуры идетъ еще медленнѣе до дна океана, гдѣ температура очень низка не только въ умѣренномъ поясѣ, но даже и въ тропическомъ; такъ, на глубинѣ 5500 м. она варьируетъ между 0° и + 2°, тогда какъ въ полярныхъ моряхъ опускается до — 2,5° Ц. Температура у дна колеблется вообще между + 2° и — 3°, тогда какъ на поверхности между + 30° Ц. въ тропическихъ моряхъ и — 3° въ полярныхъ.

2) Температура у дна въ тѣхъ частяхъ моря, которыя свободно сообщаются съ полярными, гораздо ниже температуры дна морей, охлаждающихся только зимнимъ холодомъ, и только немного выше температуры дна полярныхъ морей.

3) Общее пониженіе температуры дна и глубокихъ слоевъ воды зависитъ не отъ верхнихъ полярныхъ теченій, возмѣщающихъ убыль воды у экватора вслѣдствіе теплыхъ теченій, направляющихся къ полюсамъ, а отъ огромнаго холоднаго потока, мощностью 3680 м., идущаго у дна отъ полюса къ экватору, гдѣ онъ восходитъ даже близко къ поверхности.

4) Чѣмъ больше и свободнѣе сообщеніе съ полярнымъ моремъ, тѣмъ пониженіе температуры на глубинахъ сильнѣе. Низшая температура подъ однѣми и тѣми же широтами и на одинаковой глубинѣ въ Тихомъ и

Индійскомъ океанахъ сравнительно съ Атлантическимъ, а также превышеніе ея въ сѣверныхъ частяхъ океановъ сравнительно съ южными, объясняется большею доступностью Антарктическаго океана, свободно сообщающагося съ остальными, тогда какъ Арктическій океанъ сообщается только узкими проливами, что̀ видно изъ слѣдующей таблички, гдѣ указаны ширина, глубина и поперечный разрѣзъ соединительныхъ каналовъ для обоихъ полярныхъ морей:

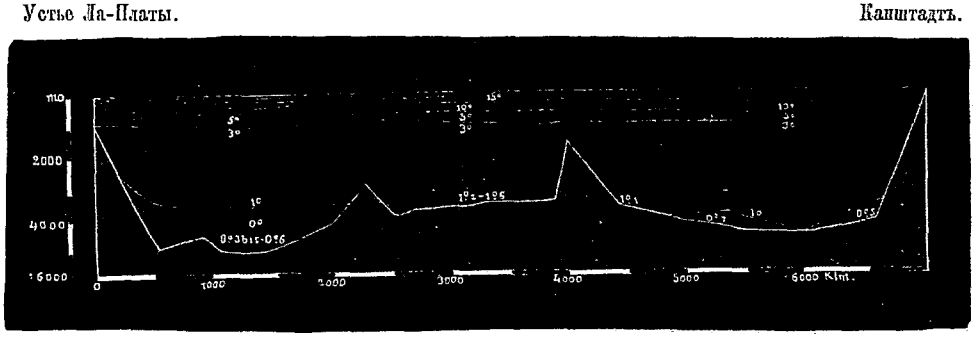
	Шир.	Глуб.	Поперечный разрѣзъ.
Арктическій . . .	1521 килом.	585 килом.	890 кв. кил.
Антарктическій . .	9181 »	2740 »	25510 » »

Слѣдующая табличка, составленная Воейковымъ, наглядно подтверждаетъ это; въ ней указаны среднія температуры Атлантическаго и Тихаго океановъ для разныхъ широтъ, вычисленныя по многочисленнымъ даннымъ [3]).

Широты.	Океаны: Атлантическій.	Тихій.
40° — 20° с.	5,3	3,2
20° — 0° »	4,3	3,7
0 — 20 ю.	4,1	4,1
20° — 40° »	3,5	3,3

Болѣе подробное для разныхъ глубинъ и широтъ распредѣленіе температуры въ тѣхъ же океанахъ можно найдти въ курсахъ Шпиндлера, Лекціи по Физической Географіи, вып. I и II, 1903, стр. 466 — 489 и Воейкова, Метеорологія, 1903, стр. 189 — 200.

5) Температура дна въ полярныхъ моряхъ достигаетъ до — 2° и даже — 3° Ц.; вблизи дна — отъ 0° до — 1,5°; въ среднихъ и нижнихъ сѣ-

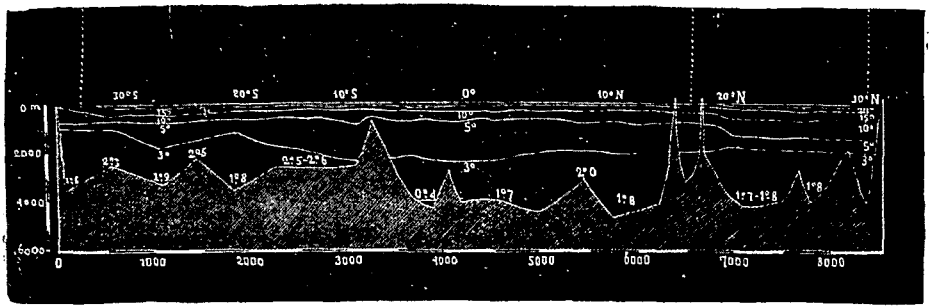


Фиг. 347. — Изотермобаты между 30° и 40° ю. ш. въ Атлантическомъ океанѣ.

верныхъ широтахъ на глубинахъ отъ 3650 до 5500 м. температура + 1° до + 2°; подъ экваторомъ и въ южныхъ широтахъ во многихъ мѣстахъ близка къ 0° или даже ниже 0°.

Это явленіе объясняется существованіемъ нижняго холоднаго теченія, медленно идущаго (со скоростью около 20 м. въ сутки изъ Антарктическаго моря къ экватору и называемаго нерѣдко ползучимъ (a creeping flow). Причину его нѣкоторые, какъ Уэвиллъ Томсонъ [4]), видятъ въ преобладаніи осадковъ надъ испареніемъ въ южныхъ моряхъ, но, по замѣчанію Зупана [5]), предположеніе это произвольно. Правильнѣе толкованіе Воейкова [6]), объясняющаго различіемъ отношеній воды и и суши въ сѣв. и южн. полушаріяхъ и вліяніемъ этой разницы на термическія явле-

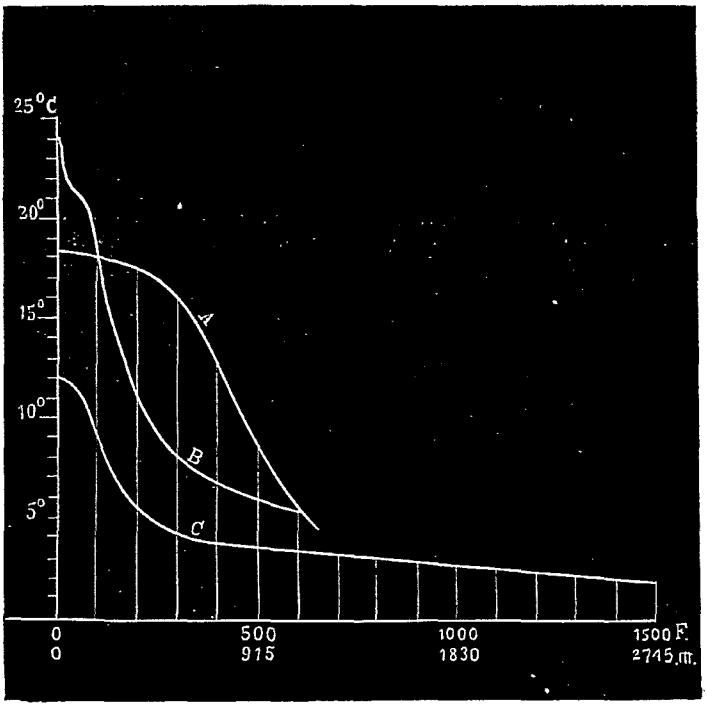
нія внутри и на поверхности земного шара. Онъ предполагаетъ, что потеря внутренней теплоты земного шара происходитъ главнымъ образомъ черезъ южныя моря и выражается тѣмъ, что холодные слои воды, уже теперь занимающіе болѣе двухъ



Фиг. 348. — Изотермобаты въ меридіанальномъ направленіи въ Атлантическомъ океанѣ.

третей толщины въ тропическихъ моряхъ, становится еще толще, и температура у дна океановъ понижается, а холодная вода все болѣе и болѣе проникаетъ въ сѣверное полушаріе, даже до среднихъ широтъ.

6) Мѣстныя физико-географическія условія и орографія морского дна производятъ мѣстами явленія, уклоняющіяся отъ вышеприведенныхъ общихъ положеній о распредѣленіи температуры. Такъ, въ полярныхъ моряхъ и у береговъ ихъ иногда температура поверхности ниже температуры глубинъ или же холодный слой воды залегаетъ между теплыми нижнимъ и верхнимъ, напр. у западныхъ береговъ Норвегіи температура у дна почти на 8,7° выше средней годовой.



Фиг. 349. — Изотермобаты Гольфстрема.
A—восточная граница Гольфстрема; C—западная граница Г.; B—Гольфстремъ.

Въ средиземныхъ моряхъ, наприм. въ европейскомъ Средиземномъ морѣ, отдѣленномъ отъ океана подводнымъ перешейкомъ, температура, доходящая на поверхности лѣтомъ до 27°, хотя уменьшается съ глубиною, но уже на глубинѣ 560 м., достигнувъ +13° Ц., сохраняется таковою до дна; то же наблюдается въ тепломъ Красномъ морѣ и въ холодномъ

Охотскомъ. Дѣло въ томъ, что въ прѣсноводныхъ озерахъ существуетъ только одно средство — охлажденіе, чтобы вода съ поверхности опустилась внизъ, а во внутреннихъ моряхъ, т. е. въ соленой водѣ, еще и другое средство—испареніе; по мѣрѣ испаренія нагрѣтой поверхностной воды, она становится солонѣе, тяжелѣе и опускается внизъ. Температура 13° въ Средиземномъ морѣ соотвѣтствуетъ приблизительно средней температурѣ воздуха въ Январѣ. Бываютъ и другія уклоненія, но въ каждомъ частномъ случаѣ они объясняются или орографіею дна моря, или морскими теченіями и пр., какъ это обнаруживается, напр., въ области вліянія Гольфстрема *). Подробное разсмотрѣніе ихъ завело бы насъ слишкомъ далеко, и потому мы ограничимся только основными вышеприведенными положеніями [7]).

Замѣтимъ только, что распредѣленіе температуры въ моряхъ, какъ и въ воздухѣ, выражаютъ графически, изотермами, которыя, въ отличіе отъ воздушныхъ, называются морскими или изотермобатами (по Томсону); напр. слѣдующіе чертежи, фиг. 346, 347 и 348, показываютъ вертикальное распредѣленіе температуры въ Атлантическомъ океанѣ по наблюденіямъ Чэлленджера. Иногда же выражаютъ вертикальное распредѣленіе температуры посредствомъ профиля, составляющагося такимъ образомъ, что на оси абсциссъ отлагаютъ глубины, а на оси ординатъ — температуры. Слѣдующій рисунокъ, фиг. 349 (по J. Wild'y), поясняетъ сказанное. Этотъ способъ обозначенія былъ введенъ Prestwich'емъ въ 1873—74 г.г.

Соленость морской воды.

Морская вода содержитъ въ растворѣ различныя соли и газы, вслѣдствіе которыхъ она обладаетъ горько-соленымъ вкусомъ и особымъ запахомъ. Въ настоящее время изъ 70 элементовъ найдено въ морской водѣ 32, т. е. менѣе половины; большинство изъ нихъ—въ такихъ ничтожныхъ дозахъ, что не поддаются количественному опредѣленію и открываются только спектральнымъ анализомъ.

Юстусъ Ротъ [8]), на основаніи изслѣдованій Форгаммера и др., перечисляетъ слѣдующіе элементы:

1) Кислородъ. 2) Водородъ. 3) Хлоръ. 4) Бромъ. 5) Іодъ — въ золѣ водорослей. 6) Фторъ открытъ въ известковыхъ коралловыхъ постройкахъ и въ накипяхъ котловъ. 7) Сѣра. 8) Фосфоръ. 9) Азотъ. 10) Углеродъ—въ видѣ соединеній и поглощенной углекислоты. 11) Кремній. 12) Боръ открытъ въ золѣ водорослей Zostera maritima и Fucus vesiculosus. 13) Серебро находится въ низшихъ организмахъ и въ кораллѣ Pocillopora aleicornis до $^1/_{3000000}$. Оно осаждается на мѣдныхъ обшивкахъ кораблей. Вычисляютъ, что всего серебра въ морѣ находится на сумму 350 милліардовъ марокъ.

14) Мѣдь въ кораллахъ Pocillopora $^1/_{500000}$ и Heterogora abrotemmides $^1/_{350000}$, также въ золѣ Fucus vesiculosus и др. водорослей.

15) Свинецъ открытъ въ тѣхъ же кораллахъ, гдѣ мѣдь и серебро, но въ большемъ количествѣ, до $^1/_{50000}$.

16) Цинкъ открытъ непосредственно въ морской водѣ и въ водорослях Zostera maritima и Fucus vesiculosus.

17) Кобальтъ } въ золѣ Zostera maritima.
18) Никкель }

19) Желѣзо — найдено непосредственно въ водѣ и во многихъ организмахъ.

20) Марганецъ—въ золѣ водорослей до 4% и въ соединеніи съ другими тѣлами.

21) Алюминій.

22) Магній въ видѣ сѣрнокислой соли находится въ большомъ количествѣ и въ Serpula filigrana находится 1,349 $MgCO_3$.

---

*) Работы Нансена, Peter. Mitt., 1902. стр. 240, Книповича, Научно-промысловыя морскія изсл. у берег. Мурмана, 1899 г.; Шотта, см. у Шпиндлера, l. c.

23) Кальцій—главнѣйше въ видѣ сульфата; карбонатъ кальція, несмотря на громадный приносъ его рѣками, въ морской водѣ почти отсутствуетъ, потому что идетъ на питаніе морскихъ организмовъ.

24) Стронцій } въ водѣ и въ водорослях.
25) Барій }

26) Натрій } въ большомъ количествѣ особенно натрій.
27) Калій }

28) Мышьякъ, 29) Литій, 30) Цезій, 31) Рубидій и наконецъ 32) Золото *) въ ничтожныхъ количествахъ. Но, кромѣ того, есть указанія на кадмій, талій, индій и др.; словомъ, число элементовъ, находящихся въ морской водѣ, впослѣдствіи значительно увеличится.

Между всѣми составными частями главную роль играютъ только нѣсколько соединеній, которыя, по изслѣдованію Форгаммера [9]), сдѣлавшаго огромное количество анализовъ морской воды, сохраняютъ замѣчательное постоянство и мало колеблются въ открытыхъ моряхъ, вдали отъ береговъ. Въ среднемъ, по Форгаммеру, въ 1000 чч. морской воды содержится:

		Содержаніе солей въ %:
$NaCl_2$	26,862	78,32
$MgCl_2$	3,239	9,44
$MgOSO_3$	2,196	6,40
$CaOSO_3$	1,350	3,94
KCl	0,582	1,69
Остатокъ	0,071	0,21
($CaOCO_3$ — 0,04, SiO_2 = 0,009, амміакъ — 0,013 и др.)		
	34,300	100,00

Изъ этого состава видно, что хлористыя соли являются преобладающими; онѣ составляютъ 89,45% всѣхъ другихъ солей, сульфаты — 10,34%, а карбонаты и др. меньше всѣхъ—0,21%.

По мнѣнію Форгаммера, хлоръ, легко и точно опредѣляющійся, можетъ служить для опредѣленія отношенія отдѣльныхъ составныхъ частей морской воды къ общему содержанію соли въ ней; это отношеніе называется хлорнымъ коэффиціентомъ; онъ получается отъ раздѣленія суммы солей на количество хлора. Средняя величина хлорнаго коэффиціента въ океанахъ по Форгаммеру = 1,811; minimum находится въ Тихомъ океанѣ между островами Алеутскими и Товарищества 1,807; maximum 1,814 въ Атлантическомъ океанѣ между экваторомъ и 30° ю. ш., также въ Индійскомъ океанѣ между Африкой, Борнео и Малаккой.

Опредѣленіе содержанія хлора служитъ однимъ изъ способовъ для опредѣленія содержанія всѣхъ солей. Другими способами, практикуемыми на борту корабля, служатъ: чаще всего опредѣленіе уд. вѣса посредствомъ ареометра и рѣже изслѣдованія показателя преломленія морской воды, зависящаго также отъ содержанія солей. Болѣе точное опредѣленіе содержанія соли возможно только въ лабораторіи, что не исполнимо для многихъ частей океановъ **).

Количество солей въ открытыхъ моряхъ довольно постоянно и колеблется только на большихъ пространствахъ, а значительно измѣняется только у береговъ отъ влія-

---

*) Д. Коноваловъ (Отчетъ о выставкѣ въ Чикаго. Промышленность Соед. Шт. С. Ам. и современные пріемы химической технологіи. Спб., 1894, стр. 85) приводитъ интересныя данныя о содержаніи золота въ морской водѣ. Такъ въ 1872 г. Зонштадтъ (Sonstadt, On the Presence of Gold in Sea-Water, Chem. News, т. XXVI, стр. 159) доказалъ присутствіе около 50 миллиграмм. (менѣе 1 грана) золота въ тоннѣ воды, а Мюнстеръ (On the Possibility of Extracting the Precious Metals from Sea-Waters, Journal of the Chemic Industry, 1892, т. XI) нашелъ въ одной тоннѣ воды у Христіаніи 5 миллиграмм. золота. Принимая количество воды равнымъ 400 куб. милямъ, общій запасъ золота въ океанѣ получимъ равнымъ 10250 милл. тоннъ, что при средней добычѣ въ годъ 200 тоннъ составило бы почти неистощимый запасъ золота. Оно находится въ водѣ океановъ въ видѣ іодистыхъ соединеній. Позднѣе содержаніе золота въ водѣ океановъ было подтверждено еще A. Liversidge (Gold and Silver in Seawater, Journ. of the Royal Society of N. S. Wales, 1895, vol. XXIX), который нашелъ въ водѣ океана около береговъ Австраліи 0,03—0,06 гр. на тонну, или 130—260 тоннъ золота на кубич. милю воды.

**) Подробное изложеніе пріемовъ всесторонняго изслѣдованія свойствъ морской воды и описаніе примѣняемыхъ при этомъ приборовъ см. I. Б. ф. Шпиндлеръ, l. c., отд. II.

нія материковыхъ водъ и въ средиземныхъ моряхъ, гдѣ, напр. въ Средиземномъ, доходитъ до 3,79%, а въ Красномъ до 4%; съ другой стороны, въ Черномъ морѣ до 1,82%, въ Балтійскомъ до 0,49%. Собственно въ океанахъ maximum найдено [10]):

Въ Атлантическомъ океанѣ	(38°18′ с. ш. 43°14′ з. д.)	. .	3,69%
„ Тихомъ „	(22°6′ ю. ш. 70°16′ з. д.)	. . .	3,68%
„ Индійскомъ „	(8,5 с. ш. 68°3′ з. д.)	. . .	3,67%

По расчету Реклю, количество солей во всѣхъ моряхъ равно 27.000.000 куб. м., и если бы вся вода испарилась, то получился бы пластъ солей около 900 ф. толщиною, причемъ на долю поваренной соли пришлось бы болѣе 600 ф. мощности.

Многочисленныя опредѣленія солености въ разныхъ мѣстахъ океановъ показываютъ, что географическое распредѣленіе солености, завися отъ широты и температуры, подчиняется слѣдующимъ правиламъ [11]):

1) Соленость морской воды уменьшается къ берегамъ морей, очевидно отъ вліянія материковыхъ водъ.

2) Соленость достигаетъ наибольшей величины въ обоихъ пассатныхъ поясахъ, т. е. въ поясахъ наибольшаго испаренія, а наименьшей величины—въ экваторіальной области штилей, гдѣ осадки преобладаютъ надъ испареніемъ; вообще же она увеличивается отъ высокихъ широтъ, гдѣ вода разжижается льдомъ къ срединѣ пассатныхъ поясовъ.

3) Соленость зависитъ отъ отношенія испаренія къ количеству осадковъ; она тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе испареніе и меньше осадковъ; находясь въ тѣсной связи съ морскими теченіями, она составляетъ существенный факторъ циркуляцій океана.

4) Соленость морей составляетъ существенное условіе для развитія и распространенія морскихъ организмовъ.

По картѣ географическаго распредѣленія солености (фиг. 350) видно, что какъ въ Атлантическомъ, такъ и въ Тихомъ океанѣ, южныя части ихъ обладаютъ большею соленостью, чѣмъ сѣверныя, что зависитъ отъ большаго развитія южнаго пассатнаго пояса; причемъ въ Тихомъ океанѣ это обнаруживается рѣзче, чѣмъ въ Атлантическомъ и Индійскомъ. Атлантическій океанъ подъ однѣми и тѣми же широтами обладаетъ наибольшею соленостью, нежели Тихій океанъ; очень можетъ быть, что отчасти это зависитъ отъ высшей температуры Атлантическаго океана и отчасти отъ притока сгущенной воды изъ Средиземнаго моря.

Что касается содержанія газовъ въ морской водѣ, то между ними, кромѣ сѣроводорода, происходящаго мѣстами, напр. въ Черномъ морѣ, отъ гніенія органическихъ веществъ, находятся углекислота, кислородъ и азотъ.

Количество углекислоты, по Бэкананну, въ теплыхъ моряхъ меньше, около 45 млгр. въ одномъ литрѣ воды, нежели въ холодныхъ, гдѣ до 96—100 млгр. (50 к. снтм.) въ одномъ литрѣ; причемъ карбонаты къ бикарбонатамъ относятся какъ 5 : 4. Съ глубиною, повидимому, количество углекислоты увеличивается.

Количество кислорода увеличивается съ уменьшеніемъ температуры. Что касается глубины, то съ глубиною онъ сначала уменьшается, напр. по Бэкананну, на поверхности 33,7, на глубинѣ 400 м. 23,4%, на 550 до 11,4%, а затѣмъ на большей глубинѣ снова увеличивается, на 800—15,5% и на 1600 м. достигъ 22,6% и т. д. Изъ этого видно, что между глубинами въ 400 м. и 800 м. происходитъ наибольшее поглощеніе кислорода, чѣмъ Бэкананъ объясняетъ роскошное развитіе на этой глубинѣ органической жизни въ тропическихъ моряхъ. Отношеніе кислорода къ азоту 31 : 69 и даже 35 : 65. Количество поглощеннаго воздуха въ глубинѣ увеличивается и полагаютъ, что онъ попадаетъ туда только благодаря вертикальнымъ циркуляціямъ воды.

Что касается причины солености океановъ, то мнѣнія объ этомъ весьма разнообразны, но вѣроятно она обусловлена приносомъ солей материковыми водами. Какъ ни ничтожно содержаніе солей въ водѣ рѣкъ (какъ

выше указано, до $^1/_{6000}$), тѣмъ не менѣе, накопляясь въ продолженіе дол-

Фиг. 350. — Картa распредѣленія солености въ океанахъ, выраженной въ уд. вѣсѣ, по даннымъ Чэлленджера.

гихъ геологическихъ періодовъ, онѣ могли причинить современный составъ морской воды. Что касается разницы въ свойствахъ солей морской

и рѣчной воды, то она объясняется переработкою ихъ въ морѣ; напр. карбонатъ кальція, преобладающій въ рѣчной водѣ, почти исчезаетъ въ моряхъ, благодаря переработкѣ его организмами. Гораздо труднѣе объяснить преобладаніе въ моряхъ поваренной соли, находящейся въ ничтожномъ количествѣ въ водѣ рѣкъ, и можно высказывать предположеніе о происхожденіи соли въ современныхъ моряхъ отъ сгущенія первичной атмосферы земли и, слѣдовательно, отъ первичнаго океана.

Плотность морской воды.

Въ тѣсной связи съ соленостью моря находится удѣльный вѣсъ, или плотность, морской воды, который увеличивается съ увеличеніемъ солености и наоборотъ.

Слѣдующая табличка доказываетъ эту связь:

Соленость при 15,56° Ц. или 60° F. въ ‰ . .	3,377	3,505	3,634	3,764	3,895
Удѣльный вѣсъ	1,025	1,026	1,027	1,028	1,029

Зависимость удѣльнаго вѣса s отъ солености p и температуры t выражается формулою Ганна:

$$S = 1{,}02946 - 0{,}000006\ (6{,}7 + t)\ t + 0{,}0077\ (p - 3{,}5).$$

Первое число здѣсь означаетъ нормальную плотность при температурѣ 0° и соленности въ 3,5‰. Отсюда очевидно, что, зная соленость и температуру, можно опредѣлить удѣльный вѣсъ морской воды и, наоборотъ, по удѣльному вѣсу можно узнать соленость. На этомъ основаніи географическое распредѣленіе солености опредѣляютъ, какъ упомянуто, при помощи простыхъ пріемовъ опредѣленія удѣльнаго вѣса ареометрами и рефрактометромъ. При такой связи очевидно географическое распредѣленіе плотности почти не отличается отъ распредѣленія солености (фиг. 350); такъ въ Атлантическомъ океанѣ находятся двѣ области наибольшей плотности воды 1,0295; одна представляетъ замкнутый овалъ, большая ось котораго приблизительно совпадаетъ съ тропикомъ рака; другая образуетъ полуэллипсъ у западныхъ береговъ Бразиліи и параллелью 20° ю. ш. раздѣляется почти пополамъ. Въ Тихомъ океанѣ замкнутая область наибольшей плотности 1,0270 находится между 10° и 25° с. ш. Въ Индійскомъ океанѣ наибольшая плотность 1,0265 (хотя по Либнору 1,0275) представляетъ узкую полосу къ югу отъ мыса Доброй Надежды и въ другомъ мѣстѣ, между Мадагаскаромъ и Австраліею, образуя овальную область.

Для примѣра строгой зависимости удѣльнаго вѣса отъ солености приведемъ слѣдующую таблицу, заимствованную изъ соч. Богуславскаго [12]). Въ ней приведены параллельно соленость и удѣльный вѣсъ въ Атлантическомъ океанѣ черезъ каждые 5° широты.

N Атлантическій океанъ.			S Атлантическій океанъ.		
С. ш.	Удѣльный вѣсъ.	Соленость въ ‰.	Ю. ш.	Удѣльный вѣсъ.	Соленость въ ‰.
55°—80°	1,02665	3,48	0°— 5°	1,02715	3,55
50 —45	1,02688	3,51	5 —10	1,02740	3,53
45 —40	1,02691	3,52	10 —15	1,02786	3,65
40 —35	1,02735	3,58	15 —20	**1,02818**	**3,69**
35 —30	**1,02768**	**3,63**	20 —25	1,02787	3,65
30 —25	1,02759	3,61	25 —30	1,02732	3,58
25 —20	1,02764	3,62	30 —35	1,02717	3,55
20 —15	1,02727	3,57	35 —40	1,02680	3,50
15 —10	1,02697	3,52	40 —45	1,02670	3,49
10 — 5	1,02651	3,47	45 —50	1,02642	3,45
5 — 0	1,02657	3,47	50 —55	1,02576	3,37

Наибольшая соленость и удѣльный вѣсъ въ Атлантическомъ океанѣ достигаютъ исключительной величины: 1,0285 въ сѣверной части между 35°—25° с. ш. и 30°—20° з. д. или между Азорскими, Канарскими и островами Зеленаго мыса; наименьшая—между 15° с. ш. и экваторомъ. Въ южномъ Атлантическомъ океанѣ такая исключительная плотность находится въ двухъ мѣстахъ: между островами Св. Елены и Вознесенія и второе къ сѣверу отъ Тринидата. Изъ таблицы видно, что въ полосѣ между 20°—10° вода южнаго Атлантическаго океана обладаетъ большею соленостью и удѣльнымъ вѣсомъ, нежели сѣверный Атлантическій океанъ, а за 20° ю. ш.—меньшею; причина заключается въ различіи пассатовъ и температуры.

Съ глубиною соленость и плотность варьируютъ различно; обыкновенно наибольшей величины онѣ достигаютъ на глубинѣ 200 м., а затѣмъ уменьшаются до глубины 1640—1830 м., а далѣе, на большихъ глубинахъ, снова возростаютъ; но во всякомъ случаѣ на днѣ всегда менѣе, чѣмъ въ поверхностныхъ слояхъ. Такія отношенія наблюдаются только въ океанахъ; во внутреннихъ моряхъ содержаніе соли съ глубиною увеличивается. Въ океанахъ уже на глубинѣ 200 м. господствуетъ такая плотность, что дальнѣйшее погруженіе насыщенной солью поверхностной воды (вслѣдствіе испаренія) становится невозможнымъ.

Цвѣтъ и прозрачность морской воды.

Цвѣтъ морской воды, но въ особенности прозрачность ея имѣютъ громадное значеніе для вертикальнаго распредѣленія организмовъ.

Изслѣдованія Фукса [13]) показываютъ, что граница между мелководною, или прибрежною, и глубоководною, или пелагическою, фаунами моря опредѣляется только глубиною прониканія свѣта, въ этомъ отношеніи первую можно назвать фауною свѣта, а вторую—фауною тьмы; поэтому опредѣленіе прозрачности или глубины прониканія свѣта въ моряхъ имѣетъ весьма важное біологическое значеніе. Теоретическія вычисленія Бугера [14]) показываютъ, что дневной свѣтъ въ океанахъ не проникаетъ далѣе 200 м. глубины, что отчасти подтверждается опытами.

Непосредственныя наблюденія даютъ весьма разнообразные результаты, что, разумѣется, зависитъ отъ разнообразія свойствъ морской воды, а отчасти отъ разнообразія условій наблюденія. Пуртале въ Атлантическомъ океанѣ опредѣлилъ границу прозрачности 50 м., Секки въ Средиземномъ морѣ—45 м.; Будъ наблюдалъ у Новой Земли прозрачность, превышающую 145 м. Наиболѣе точные опыты съ діафонометромъ Вильда, показали, что слой воды толщиною 5 м. поглощаетъ $^2/_3$ всѣхъ свѣтовыхъ лучей, и что ниже 300 м. свѣтъ не проникаетъ.

Вообще принимаютъ глубину 200 м. крайнимъ предѣломъ прониканія свѣта, и ниже въ морѣ царствуетъ вѣчный мракъ. Нужно замѣтить впрочемъ, что повидимому прозрачность уменьшается съ возвышеніемъ температуры. Форель въ Женевскомъ озерѣ границу прозрачности опредѣлилъ лѣтомъ до 6,6 м. и зимой 12,7 м.; съ другой стороны, на степень ея вѣроятно вліяютъ соленость и плотность воды моря, хотя эта связь еще не выяснена надлежащимъ образомъ, но по нѣкоторымъ даннымъ можно думать, что прозрачность увеличивается съ соленостью; напр. Шлейницъ нашелъ, maximum прозрачности въ соленой морской водѣ на глубинѣ 4,7 м., тогда какъ въ малосоленой—на 2,5 м.

Въ этомъ отношеніи особенно интересны работы женевскихъ физиковъ Фоля (Fol) и Сарразена [14]) (Sarrasin) въ Средиземномъ морѣ у Виллафранка. Сравнительное изслѣдованіе съ чувствительными фотографическими пластинками въ Женевскомъ озерѣ и въ Средиземномъ морѣ показало, что въ первомъ химически дѣйствующіе лучи свѣта не проникаютъ глубже 200 м., тогда какъ во второмъ (наблюденія 25 и 26 марта 1885 г.) они ясно распознаются еще на глубинѣ 380 м. и совершенно поглощаются только на глубинѣ болѣе 420 м.; но это собственно не дневной свѣтъ, а исключительно химически дѣйствующіе лучи, т.-е. фіолетовый и ультрафіолетовый лучи спектра; тепловые же лучи спектра, т.-е. красный и ультракрасный поглощаются на поверхности моря и обусловливаютъ испареніе, за ними погло-

щаются желтые лучи; тѣ и другіе лучи имѣютъ важное значеніе для морскихъ растеній, особенно водорослей, содержащихъ хлорофилъ. Поглощеніе красныхъ и желтыхъ свѣтовыхъ лучей на поверхности обусловливаетъ синій цвѣтъ морской воды. Хотя, вообще говоря, цвѣтъ морской воды весьма разнообразенъ и мѣняется въ зависимости отъ температуры, солености, плотности, различныхъ механическихъ примѣсей и пр. Вообще можно сказать только, что соленой морской водѣ свойственъ голубой или синій цвѣтъ, интенсивность котораго возрастаетъ съ увеличеніемъ солености. Съ уменьшеніемъ солености, синій цвѣтъ переходитъ въ зеленый, свойственный прѣсной водѣ. Голубые лучи отражаются вѣроятно и мелкою мутью, встрѣчающейся и въ самой чистой водѣ; чѣмъ глубже они проникаютъ въ море, тѣмъ цвѣтъ его дѣлается болѣе голубымъ; чѣмъ короче ихъ путь, тѣмъ болѣе примѣшивается желтыхъ лучей, и тѣмъ болѣе цвѣтъ воды становится зеленымъ. Слѣдовательно около береговъ и надъ мелями вода имѣетъ зеленый цвѣтъ.

Цвѣтъ бурый, красный, оливковый, происходитъ въ морской водѣ отъ различныхъ посторонніихъ примѣсей: напр. цвѣтъ Желтаго моря происходитъ отъ наносовъ р. Хуанъ-хо, цвѣтъ Краснаго моря зависитъ отъ водорослей Trychodermium erythreum, цвѣтъ Багрянаго моря (Калифорнскій заливъ) — отъ красныхъ Conchaceen, оливковый цвѣтъ моря у Гренландіи, между 74°—80° с. ш.—отъ скопленія діатомей, которыя привлекаютъ медузъ, птероподъ, энтомостракъ, а послѣднія—китовъ и пр. Нѣкоторыя изъ такихъ примѣсей обусловливаютъ чрезвычайно эффектное явленіе, такъ называемое свѣченіе моря; оно производится животными, издающими фосфорическій свѣтъ, напр. сальпа Pyrosoma atlantica въ Ламаншѣ, микроскопическіе гребненосцы Noctiluca scentillans и пр.

Движенія морской воды.

Механическая дѣятельность океана, выражающаяся, какъ и дѣятельность проточной воды, въ разрушеніи, перенесеніи, обтачиваніи и отложеніи минеральнаго матеріала, главнымъ образомъ обусловливается движеніями морской воды, которыя могутъ быть раздѣлены на волны и теченія; первыя зависятъ какъ отъ теллурическихъ, такъ и космическихъ причинъ, отъ притяженія луны и солнца, а вторыя исключительно отъ теллурическихъ причинъ.

Морскія волны. Морскія волны, происходящія отъ непосредственнаго удара вѣтра, представляютъ самый простой родъ движенія моря; вѣтеръ, ударяя о поверхность моря, воздымаетъ воду въ видѣ болѣе или менѣе высокихъ волнъ, которыя въ зависимости отъ силы вѣтра слѣдуютъ или въ правильномъ порядкѣ, параллельно другъ другу, или же разнообразно сталкиваются и пересѣкаются.

Совершенно правильныя волны наблюдаются лучше всего во время зыби, когда могучіе валы, произведенные предшествовавшимъ вѣтромъ, распространяются по океану въ видѣ прямолинейныхъ гребней, не представляющихъ ни малѣйшаго изгиба на необозримомъ пространствѣ. Въ моряхъ, гдѣ господствуютъ равномѣрные вѣтры, какъ, напр., пассаты, также образуются правильныя волны; тамъ же, гдѣ вѣтры, дуютъ порывисто, съ перемѣнною скоростью, волны очевидно должны имѣть различную высоту и скорость, а гребни ихъ не могутъ развернуться въ видѣ длинной прямой линіи; иногда воздушное теченіе послѣдовательно обходитъ вокругъ всего горизонта, и тогда волны пересѣкаются во всевозможныхъ направленіяхъ, сходясь разомъ изъ всѣхъ частей исполинскаго круга.

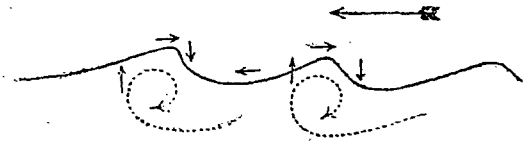
Главные элементы волны: длина L, или разстояніе отъ одного гребня волны до другого, періодъ T, или промежутокъ времени между наступленіемъ двухъ слѣдующихъ одна за другой вершинъ волны, и скорость распространенія C, въ секунду, — находятся въ тѣсной взаимной зависимости; зная одинъ изъ элементовъ, можно получить другіе вычисленіемъ по уравненію трохоиды, съ которой ближе всего совпадаетъ профиль поступательныхъ волнъ:

$$T = \frac{B}{C} = \sqrt{\frac{2\pi}{g}} L = \frac{2\pi}{g} C$$

Четвертый элементъ—высота можетъ быть опредѣлена только по наблюденіямъ, и точнаго способа измѣренія ея до сихъ поръ не выработано.

Высота волнъ чрезвычайно разнообразна, обыкновенно около 4—5 м., но въ глубокихъ моряхъ бываютъ волны до 10 и даже 20 м. высотою; длина ихъ въ среднемъ выводѣ въ 15 разъ превышаетъ высоту; слѣдовательно склоны волны имѣютъ небольшой уклонъ, варьирующій отъ 2.8° до 5,7° (фиг. 351) *).

Поступательное движеніе волнъ есть явленіе кажущееся; хотя вода, подъ вліяніемъ вѣтра, опускается и поднимается, но она почти не мѣняетъ мѣста, и находящіеся на ней предметы двигаются весьма медленно въ сторону распространенія волнъ. Можно наглядно убѣдиться въ этомъ, бросивъ въ воду какой нибудь легкій предметъ, онъ только поднимается и опускается, въ то время какъ вершина и долина волны пробѣгаютъ подъ нимъ. Каждая частица воды движется при этомъ, какъ вращающееся колесо въ вертикальной плоскости: кверху и по направленію двигающей силы, затѣмъ внизъ и въ направленіи обратномъ (фиг. 351). Такой родъ движенія называютъ орбитальнымъ; здѣсь чисто колебательное движеніе (осциляторное или вибраціонное механики) переходитъ въ прогрессивное (трансляторное механики).



Морскія волны.

Фиг. 351.

Когда колесо катится по горизонтальной плоскости, то каждая точка на периферіи описываетъ циклоиду; точки же, лежащія на спицахъ колеса, описываютъ болѣе плоскую кривую трохоиду (простое изложеніе теоріи волнъ и литературу см. Günther, Handbuch der Geophysik, 1899, т. II, стр. 440 — 441). Такъ какъ вѣтеръ представляетъ постоянную горизонтально дѣйствующую силу, онъ долженъ бы былъ передвигать передъ собою частицы воды. Дѣйствительно, при продолжительномъ вѣтрѣ орбитальные пути частицъ воды не образуютъ болѣе замкнутыхъ кривыхъ; каждая частица въ концѣ отдѣльнаго колебанія удаляется немного отъ своего прежняго положенія; возникаютъ такъ называемыя дрейфовыя теченія, а затѣмъ и настоящія океаническія теченія.

Постоянный и продолжительный вѣтеръ вызываетъ дрейфъ, скорость котораго зависитъ отъ длины волнъ и глубины моря; обыкновенно она не превышаетъ 6—10 м. въ секунду и maximum достигаетъ 14 $^1/_2$ м.

Такъ какъ скорость волнъ можетъ быть найдена теоретически, если извѣстны амплитуда (длина) ихъ и глубина моря, то слѣдовательно, наоборотъ, по скорости и амплитудѣ волны возможно опредѣлить глубину моря, какъ это было сдѣлано Гохштеттеромъ, напр. при опредѣленіи глубины южной части Тихаго океана по волнѣ землетрясенія, прошедшей отъ Америки до Австраліи; также при изверженіи Кракатау въ Зондскомъ архипелагѣ 26—27 августа 1883 г., Вербекъ и особенно Неймайеръ [15]) опредѣлили глубину между Зондскимъ проливомъ и Капскою землею 4,200 м., островомъ Родригецъ —4,560 м. и Южною Георгіею—6,340 м., Опредѣленія эти основаны на формулѣ Лагранжа, неправильно называемой формулой Эри, которая опредѣляетъ отношеніе между глубиною (p), скоростью движенія волны (c) и ускореніемъ силы тяжести (g), т.-е. $p = \frac{c^2}{g}$, при ровномъ днѣ моря $p = {}^1/_{10}\ c^2$, но при неровномъ, по Гагену, $p = {}^1/_{15}\ c^2$, по Русселю $p = {}^1/_{32{,}1403}\ c^2$.

Настоящія волны постепенно выростаютъ изъ тѣхъ мелкихъ складокъ водной поверхности, которыя возникаютъ подъ вліяніемъ перваго вѣтра; поверхностный слой всякой жидкости представляетъ какъ бы самостоятельную перепонку, которая первой и изгибается подъ вліяніемъ вѣтра. Извѣстное успокаивающее дѣйствіе масла на волнообразное движеніе именно и объясняется только тѣмъ, что масляный слой, распространяющійся по водѣ, создаетъ новыя условія натяженія. **)

Что касается распространенія движенія волны въ глубину, то, по опытамъ братьевъ Веберъ, глубина распространенія волны въ 350 разъ больше высоты волны, слѣдовательно, теоретически, волны въ 20 м. высо-

*) Это отношеніе измѣняется со скоростью вѣтра, такъ что и уголъ склона волны тѣмъ круче, чѣмъ сильнѣе вѣтеръ; до 11° при скорости вѣтра въ 9 балл., т. е. въ бурю (Schott. Ergänzungesheft 109, Peterm, Mitt.).

**) См. объ этомъ, Клоссовскій, Усмиряющее дѣйствіе масла на морскія волны и инструкція для моряковъ.

тою достигаютъ болѣе 4,000 м. глубины. Такимъ образомъ всякая волна въ 0,5 м. высотою достигаетъ дна Нѣмецкаго моря, средняя глубина котораго около 100 м., а въ открытомъ океанѣ волна въ 12—13 м. высотою проявляется на глубинѣ 4-хъ верстъ; но, разумѣется, на такой громадной глубинѣ дѣйствіе волны безконечно мало, и оно можетъ быть допущено только при томъ условіи, что волненіе на поверхности происходитъ равномѣрно и продолжительное время, напр., при господствѣ постоянныхъ западныхъ вѣтровъ въ высшихъ широтахъ южнаго полушарія. При кратковременныхъ, хотя бы и сильныхъ буряхъ волны не достигаютъ значительной глубины, потому что передача первоначальной скорости волны въ глубину происходитъ чрезвычайно медленно, и вертикальныя колебанія уменьшаются въ геометрической прогрессіи; такъ, на глубинѣ, равной $^1/_{10}$ длины волны, вертикальныя колебанія составляютъ менѣе половины колебанія на поверхности; на глубинѣ равной половинѣ длины волны они составляютъ только 0,04, а на глубинѣ длины волны—только 0,002. Непосредственныя наблюденія доказываютъ, что песчаная рябь и размытіе подводныхъ скалъ происходятъ на глубинѣ 150 м., а при сильныхъ буряхъ поднимается илъ даже съ глубины 200 м., которая считается предѣльной глубиной для прямого дѣйствія морскихъ волнъ.

Наибольшей силы и величины морскія волны достигаютъ при ударѣ о берега материковъ и острововъ, гдѣ волны, замедляясь отъ тренія о дно, соединяются по нѣскольку, и если не происходитъ интерференціи волнъ или такъ называемыхъ стоячихъ волнъ, то образуютъ водяные валы, достигающіе до 50 м. высотою, а у отвѣсныхъ скалистыхъ береговъ еще болѣе, причемъ гребни теряютъ симметричную форму, наклоняются впередъ и опрокидываются. Явленіе это называется прибоемъ волнъ (Brandung). Чѣмъ берегъ положе, тѣмъ прибойныя волны меньше, а слѣдовательно и разрушительная сила ихъ слабѣе, и наоборотъ, на крутыхъ берегахъ сила прибоя громадна. Т. Стефенсонъ нашелъ, что давленіе воды, ударяющейся о маякъ Бель-рокъ, равно 96 п. на 1 кв. ф.; на островѣ Скерриворѣ въ Сѣв. Шотландіи лѣтомъ напоръ волнъ равняется давленію 3.000 кгр. на 1 кв. м., а зимою=10,000 кгрм. на 1 кв. м.; во время сильныхъ бурь давленіе это возрастало до 30,500 кгр. Измѣренія въ Шербургѣ дали 3,250 кгр., въ Алжирѣ 3,500 кгр.; въ Чивитта-веккія maximum 16,000 кгр. на 1 кв. м. Понятно, что при такой силѣ морскія волны могутъ передвигать громадныя глыбы и даже перебрасывать ихъ словно мячикъ черезъ плотины; такъ въ Баррагедѣ на Гебридскихъ островахъ, по словамъ Т. Стефенсона, каменная глыба въ 2,623 пуда была передвинута зыбью на 5 ф. Въ 1867—68 г. въ Біаррицѣ обтесанные камни, вѣсомъ въ 2,196 пуд., стоявшіе на оконечности плотины, были передвинуты на 40 ф., а одинъ изъ нихъ былъ поднятъ на цѣлую сажень, опрокинутъ и унесенъ далеко въ море. Въ Плимутѣ волны подбросили судно въ 200 тоннъ на самую верхушку плотины, не сдѣлавъ въ немъ никакихъ поврежденій и пр. При существованіи такихъ фактовъ нельзя удивляться тѣмъ громаднымъ разрушительнымъ результатамъ, какіе производитъ прибой волнъ на берегахъ.

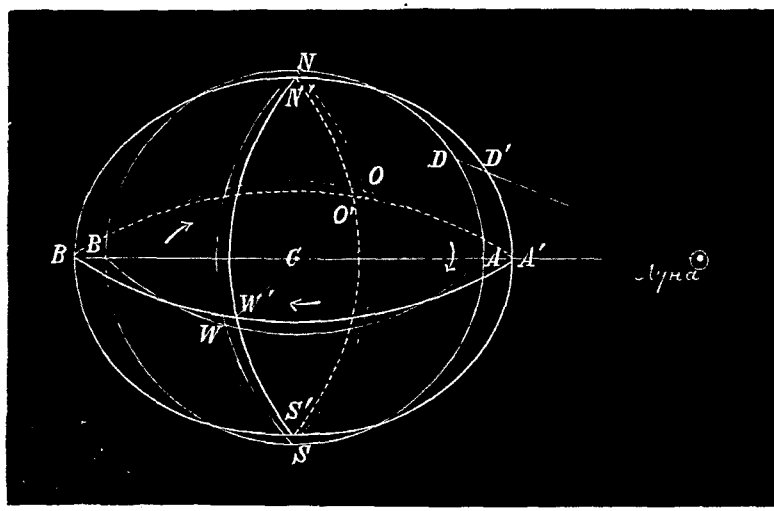
Вліяніе прибоя на крутые берега до нѣкоторой степени можно сравнить съ дѣйствіемъ водопада, съ тѣмъ различіемъ, что прибой дѣйствуетъ въ горизонтальномъ направленіи съ уклоненіемъ вверхъ и притомъ съ напоромъ; поэтому механическій эффектъ его сильнѣе, нежели при водопадахъ, гдѣ дѣйствуетъ только свободное паденіе.

Приливы и отливы (Tiden или Gezeiten, marées, tides). Кромѣ волнъ, происходящихъ отъ дѣйствіе вѣтра, отъ землетрясеній, на поверхности моря наблюдаются еще приливо-отливныя волны, отличающіяся отъ первыхъ замѣчательнымъ постоянствомъ и правильною періодичностью. Въ теченіе лунныхъ сутокъ, т.-е. 24 ч. 50 м., уровень моря два раза поднимается и два раза опускается. Причемъ давно уже замѣчено, что

поднятіе уровня моря, или собственно приливъ (Flut, flux, flow-flux), совпадаетъ съ прохожденіемъ луны чрезъ меридіанъ даннаго мѣста; первый приливъ соотвѣтствуетъ нахожденію луны въ зенитѣ (верхняя кульминація), а второй—въ надирѣ (нижняя кульминація); опусканіе уровня, или отливъ (Ebbe, reflux, ebb-reflux), соотвѣтствуетъ восхожденію и захожденію луны; это совпаденіе указало, что причина приливовъ заключается въ притяженіи, оказываемомъ луною на землю.

Такимъ образомъ, вода моря правильно-періодически, черезъ каждые 6 ч. 12′, измѣняетъ свой уровень, достигая высшаго уровня во время прилива и низшаго—при отливѣ. Наблюдая эти колебанія, возможно вычисленіемъ опредѣлить средній уровень моря, какой бы оно имѣло, если бы на него не оказывало вліянія притяженіе луны.

Теорія приливовъ, изложенная Лапласомъ, отличается замѣчательною простотою и основана на законѣ притяженія Ньютона, т.-е. притяженіе тѣлъ прямо пропор-



Фиг. 352. — Схема возникновенія теоретическаго прилива и отлива.

ціонально ихъ массѣ и обратно пропорціонально квадрату разстоянія. Земля, какъ извѣстно, притягивается всѣми окружающими ее свѣтилами, и этимъ притяженіемъ обусловливается въ значительной мѣрѣ ея движеніе вокругъ солнца, равно какъ и вращеніе луны вокругъ нашей планеты.

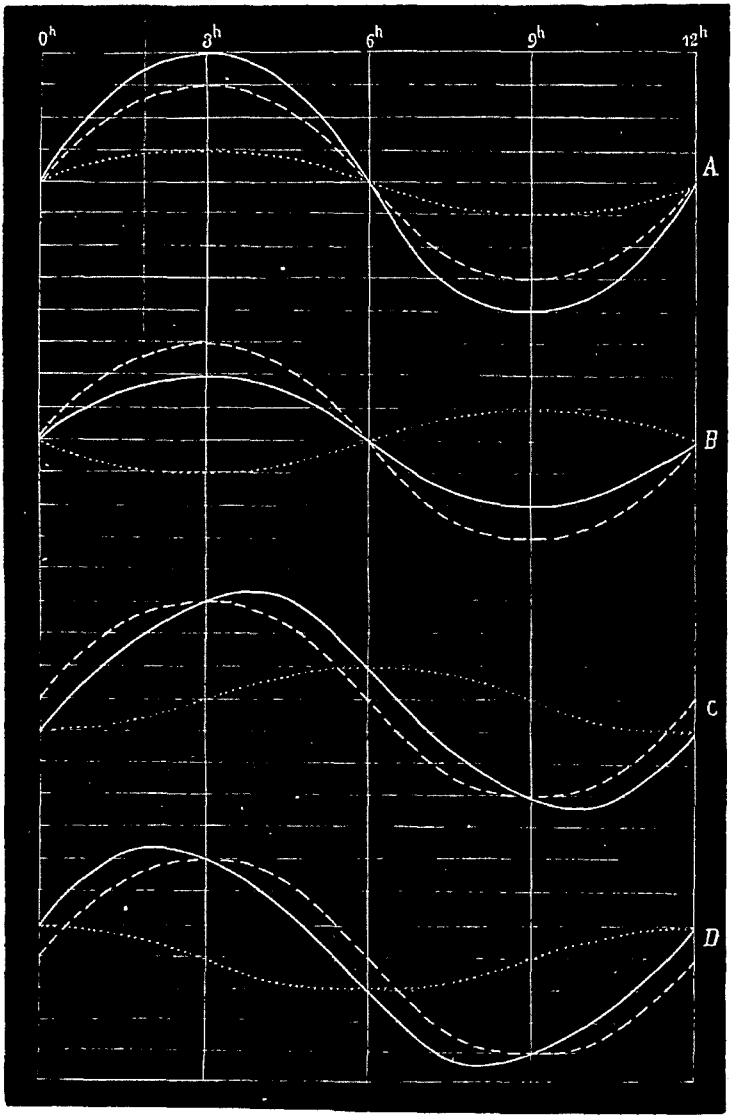
Представимъ себѣ, что весь земной шаръ покрытъ сплошнымъ слоемъ воды и что на него дѣйствуетъ притяженіе только одной луны, находящейся въ плоскости экватора (фиг. 352); тогда верхняя часть планеты A, какъ ближайшая къ лунѣ, испытаетъ болѣе сильное притяженіе, чѣмъ въ C и особенно въ B. Точка A удалится отъ C, а точка C удалится отъ B, гдѣ притяженіе луны дѣйствуетъ всего меньше, и въ концѣ концовъ діаметръ AB удлинится въ A′B′. Вслѣдствіе этого, разумѣется, другой діаметръ OW укоротится на ту же величину и плоскость экватора AOBW приметъ форму A′O′B′W′. Всѣ частицы, лежащія къ сѣверу и югу отъ A и B, также перемѣстятся, но не просто удаляясь отъ C, а вмѣстѣ съ тѣмъ приближаясь къ A и B, такъ что, напр., точка D перейдетъ въ D′; слѣдовательно ось NS также укоротится. Итакъ, въ A и B происходитъ вертикальное движеніе, а во всѣхъ остальныхъ пунктахъ, кромѣ того, и горизонтальное, которое, съ удаленіемъ отъ A и B къ O, W, S, N, возрастаетъ на счетъ вертикальнаго. Благодаря подвижности капельножидкихъ частицъ на передней сторонѣ земли, обращенной къ лунѣ, равно какъ и на противоположной, произойдетъ вздутіе, вершина котораго будетъ находится какъ разъ на идеальной линіи, соединяющей центръ земли и луны, или въ цѣломъ получится форма эллипсоида, большая ось котораго направлена къ лунѣ.

Понижение уровня воды, или низкая вода, на меридианах NOS и NWS и высокая вода въ меридианахъ NAS и NBS также обусловливаютъ себя взаимно, какъ долина и гора въ вѣтровой волнѣ; эти двѣ противоположныя волны перемѣщаются, слѣдуя за видимымъ движеніемъ луны, причемъ волна наибольшаго притяженія постоянно движется въ части, освѣщенной луною, тогда какъ волна наименьшаго притяженія распространяется въ части, наиболѣе удаленной отъ луны. Въ теченіе лунныхъ сутокъ, равныхъ 24 ч. 50 м, обѣ приливныя волны должны совершить полный оборотъ вокругъ земли и общая продолжительность каждой изъ нихъ равна 12 ч. 25 м. Это дѣйствительно и происходитъ подъ всѣми широтами, за исключеніемъ полюсовъ, гдѣ приливъ долженъ быть незначителенъ или даже равенъ нулю, потому что луна въ своемъ движеніи вокругъ земли хотя и перемѣщается къ сѣверу и югу отъ экватора, но постоянно остается въ зенитѣ тропическихъ и близъ-тропическихъ странъ. Такова идеальная приливная волна, но она въ природѣ не встрѣчается, а претерпѣваетъ многоразличныя неправильности, зависящія отъ неравномѣрнаго распредѣленія материковъ и острововъ, морскихъ теченій и пр. Но, кромѣ того, луна—не единственное свѣтило, притяженіе котораго оказываетъ замѣтное дѣйствіе на поверхность океана. Солнце, масса котораго въ $26^1/_2$ милліоновъ разъ больше массы луны, должно бы оказывать въ 162 раза сильнѣе притяженіе, но, благодаря тому, что оно въ 386.7 раза отстоитъ дальше отъ земли, высота волны, образуемая притяженіемъ солнца, относится къ высотѣ лунной волны какъ 4:9. Слѣдовательно на земной поверхности образуются двѣ солнечныя волны въ теченіе 24 час. и двѣ лунныя волны въ теченіе 24 ч. 50 м.; тѣ и другія двигаются съ востока на западъ и въ зависимости отъ перемѣщенія свѣтилъ или сливаются и наступаютъ одновременно, или же интерферируютъ; въ первомъ случаѣ происходитъ наибольшая приливная волна, во второмъ—наименьшая. Во время новолунія, когда луна и солнце одновременно проходятъ черезъ меридіанъ даннаго мѣста, высшая лунная волна соединяется съ высшею солнечною, и получается наибольшая приливная волна или большой приливъ (marée de syzygie или marée de vives eaux, а у моряковъ, malin или reverdi); то же и во время полнолунія—когда нижняя кульминація луны совпадаетъ съ верхнею кульминаціею солнца и слѣдовательно когда также центръ луны, земли и солнца находятся на одной прямой. Дѣйствительная низкая вода въ фазахъ ново- и полнолунія также равна суммѣ обѣихъ низкихъ водъ. Наоборотъ, въ первую и послѣднюю четверть луны или, все равно, во время квадратуры, когда линія, соединяющая центры луны и земли, находится въ перпендикулярномъ положеніи къ линіи, соединяющей центры земли и солнца, и притяженіе свѣтилъ взаимно противоположно, т.-е. низкая лунная волна совпадаетъ съ высшею солнечною,—получается низшій приливъ, равный разности между луннымъ и солнечнымъ приливомъ. Отношеніе этихъ волнъ и средняя происходящая изъ нихъ представлены на фиг. 353. Такимъ образомъ въ теченіе мѣсяца бываетъ два раза максимальный приливъ (Springtiden) и два раза минимальный приливъ (Nipptiden). Отношеніе перваго ко второму какъ $9+4:9-4$; это различіе называется полумѣсячнымъ неравенствомъ приливовъ.

Полумѣсячное неравенство выражается не только въ высотѣ приливовъ, но также и во времени наступленія приливовъ и отливовъ, что видно на кривыхъ C и D (ф. 353), изображающихъ приливную волну въ первомъ или пятомъ октантѣ и въ третьемъ или седьмомъ. Кромѣ того существуютъ еще небольшія неравенства суточныя, зависящія отъ наклоненія луны къ плоскости экватора, и такъ называемыя параллактическія, зависящія отъ измѣненія разстоянія луны и солнца (равныя 10:3) отъ земли. Такимъ образомъ величина приливовъ обусловливается: 1) относительнымъ положеніемъ луны и солнца, 2) склоненіемъ ихъ и 3) разстояніемъ ихъ отъ земли. Теоретически приливы измѣняются съ широтою. На экваторѣ суточныхъ неравенствъ нѣтъ, а въ прочихъ широтахъ ихъ нѣтъ только тогда, когда склоненіе луны и солнца равно нулю. За широтою 28° сѣв. и южн. полушарія приливы уменьшаются къ полюсамъ, гдѣ приливы ничтожны и повторяются только одинъ разъ въ теченіе полумѣсяца.

По гипотезѣ Лапласа, развитой Уэвеллемъ (Whewell), «колыбелью приливовъ» должно считать громадную площадь воды, покрывающую почти всю поверхность южнаго полушарія. Приливная волна, образующаяся въ Антарктическомъ океанѣ, движется съ востока на западъ и такъ сказать заходитъ въ остальныя моря, слѣдовательно, напр, приливы въ Атлантическомъ океанѣ являются, такъ сказать, продолженіемъ главной приливной волны, которая ударяясь о берега Америки и Стараго Свѣта, лежащіе подъ однѣми и тѣми же широтами, почти одновременно достигаетъ бухты Фунди въ С. Америкѣ и Ирландскаго канала, гдѣ имѣетъ наибольшую высоту. Болѣе новыя изслѣдованія, однако, доказываютъ, что приливныя волны образуются самостоятельно въ каждомъ бассейнѣ даже материковомъ, какъ оз. Мичиганъ и др., и изъ центра распространяются во всѣ стороны параллельно общему

простиранію береговъ. Скорость приливной волны прямо пропорціональна глубинѣ; при глубинѣ 8 верстъ скорость ея достигаетъ 850 верстъ въ часъ, при 330 ф.—скорость 96 в., при 33 ф.—только 25 верстъ въ часъ. Вслѣдствіе такихъ задержекъ, время прохожденія луны черезъ меридіанъ и моментъ наступленія прилива значительно разнятся даже въ портахъ, лежащихъ въ близкомъ разстояніи другъ отъ



Фиг. 353. — Солнечная и лунная волны.

Тонкій пунктиръ—солнечная волна. Разорванная линія—лунная волна. Сплошная линія—комбинированная волна.

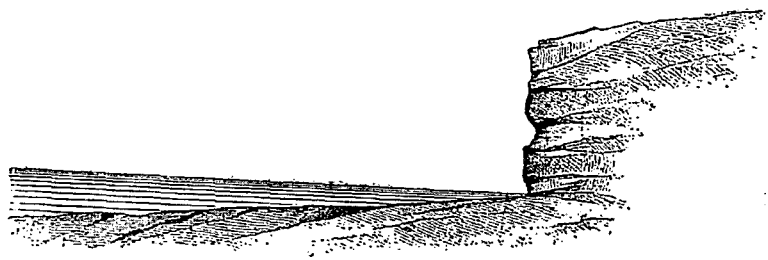
друга; разница эта называется прикладнымъ часомъ. Линіи, соединяющія мѣста одновременнаго прилива, называются изорахіями (по Берггаузу) или линіями приливовъ (cotidal lines, по Уэвеллю).

По представленіямъ Уэвелля эти линіи должны обозначать собою гребни подвигающихся приливныхъ волнъ; это допустимо только для мелкихъ морей и въ ограниченномъ пространствѣ. Неравномѣрность морскихъ глубинъ не позволяетъ приливу слѣдовать съ равною скоростью за видимымъ дневнымъ обращеніемъ солнца и луны; слѣдовательно, теоретическія вычисленія Лапласа практическаго

значенія не имѣютъ, т. е. нельзя установить вычисленіемъ ни прикладного часа, ни высоты прилива.

Высота приливной волны весьма разнообразна; въ открытомъ океанѣ она не превосходитъ $2^1/_2$ м., но на берегахъ материковъ, стѣсняемая глубокими бухтами, она доходитъ до 21,3 м., напр. въ заливѣ Фунди-бай, а въ С.-Мишель во Франціи разница въ высотѣ высокаго и низкаго прилива доходитъ до 15 м. По вычисленіямъ оказывается, что во время большихъ приливовъ количество воды, притекающей въ бухту, равно 47.478.500,000 куб. ф. воды, а въ малый приливъ—24.710 000,000 к. ф.; отсюда понятна громадная разрушительная сила приливной волны на берега материковъ. Въ средиземныхъ бассейнахъ высота приливной волны сравнительно ничтожна: напр. на восточныхъ берегахъ Адріатическаго моря высота прилива только 0,16 м.. въ Венеціи и Тріестѣ—0,7 м.; въ Бельтахъ и Зундѣ она колеблется отъ 0,06 до 0,62 м., на нѣмецкихъ берегахъ Балтійскаго моря во время сизигій достигаетъ 0,01 — 0,11 м., въ озерѣ Мичиганъ у г. Чикаго—0,07 м.

Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ приливныя волны, встрѣчаясь между собою соединяются и усиливаютъ приливъ или же интерферируютъ и уничтожаются, напр. въ лиманѣ Лаплаты. Встрѣчая материковые потоки, приливная волна задерживаетъ ихъ теченіе и проникаетъ по нимъ далеко внутрь материка, напр. на р. Везерѣ на 67 верстъ, по Гангу такъ называемая «бора»—250 в., по Амазонкѣ—320, гдѣ она называется пороро́ка; у насъ на сѣверѣ явленіе это называется маніхой, напр., въ Бѣломъ морѣ и Гижигинской губѣ. Подобныя же измѣненія теченій, подъ вліяніемъ приливовъ, происходятъ и въ узкихъ проливахъ, гдѣ они сопровождаются бурными



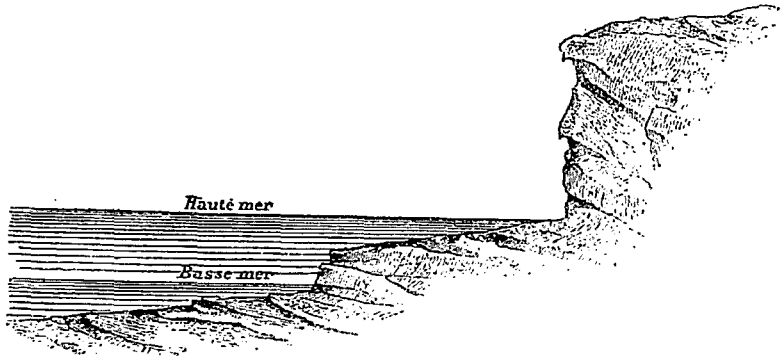
Фиг. 354.

водоворотами, напр. у Лафоденскихъ острововъ Мальстремъ и особенно въ Мессинскомъ проливѣ—извѣстныя Сцилла и Харибда. Кромѣ всѣхъ указанныхъ выше разнообразныхъ вліяній, видоизмѣняющихъ нормальный приливъ, въ послѣднее время Томсонъ и др. указываютъ, что въ приливѣ участвуетъ не только водная оболочка, но и твердая земля, даже если внутренняя часть ея по твердости равна стали или стеклу; слѣдовательно наблюдаемые приливы представляютъ, такъ сказать, дифференціальные приливы, т.-е. равные высотѣ дѣйствительнаго прилива воды безъ высоты прилива твердой земли. Такимъ образомъ явленіе приливовъ, съ перваго взгляда кажущееся простымъ, на самомъ дѣлѣ принадлежитъ къ чрезвычайно сложнымъ явленіямъ природы и до сихъ поръ еще во многихъ отношеніяхъ неразъясненнымъ. Изслѣдованіе приливовъ имѣетъ громадное значеніе не только въ практическомъ отношеніи, но также и для рѣшенія многихъ теоретическихъ вопросовъ и, между прочимъ, какъ указано было въ первомъ отдѣлѣ курса, для познанія внутренняго состоянія земного шара *).

Приливная волна дѣйствуетъ на берега такъ же разрушительно, какъ и вѣтровая, съ тѣмъ, однако, отличіемъ, что на крутыхъ берегахъ, при обыкновенномъ прибоѣ, происходитъ только одинъ уступъ (фиг. 354), а при участіи прилива и отлива—два (фиг. 355); это явленіе объясняется тѣмъ, что сила волнъ гораздо менѣе ощутительна на нѣкоторой глубинѣ, чѣмъ на поверхности моря; поэтому береговые утесы разрушаются лишь въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ ударяются волны; подводные же

*) Дальнѣйшее развитіе теорій прилива и отлива можно найти въ краткомъ изложеніи у Гюнтера, Handb. d. Geophysik, II, стр. 472—486.

скаты ихъ сравнительно защищены отъ разрушительнаго дѣйствія волнъ и представляютъ подводное продолженіе прежняго профиля берега; вслѣдствіе этого на берегахъ средиземныхъ морей безъ прилива или съ незначительнымъ приливомъ обыкновенно образуется только одна подводная площадка, тогда какъ на берегахъ открытыхъ океановъ, гдѣ вслѣдствіе приливовъ уровень моря правильно-періодически измѣняется на нѣсколько метровъ, образуются двѣ, расположенныя одна надъ другою, площадки, изъ которыхъ одна соотвѣтствуетъ горизонту высокой, а другая—горизонту низкой воды (фиг. 355). Во время прибыли воды приливныя волны, часто сопровождающіяся морскимъ вѣтромъ, съ большою силою ударяются объ отвѣсные берега и энергично разрушаютъ ихъ; тогда какъ при отливѣ вода, разбивающаяся о бѣрегъ, сдерживается отливною волною, и потому дѣйствіе ея гораздо меньше, нежели приливной волны; разность силы удара приливной и отливной волны до нѣкоторой степени выражается протяженіемъ усту-



Фиг. 355.

повъ. Въ случаѣ большой неравномѣрности приливовъ и при благопріятныхъ стратиграфическихъ условіяхъ породъ берега, можетъ образоваться нѣсколько береговыхъ уступовъ или террассъ, о которыхъ скажемъ ниже, а теперь разсмотримъ другой родъ движенія моря—теченія.

Морскія теченія. Теченія въ морѣ, вообще говоря, могутъ происходить отъ различныхъ причинъ, даже при нѣкоторыхъ благопріятныхъ условіяхъ приливы могутъ вызвать водоворотныя теченія, напр. Мальстремъ у Лафоденскихъ острововъ или Сцилла и Харибда въ Мессинскомъ проливѣ. Между средиземными морями и океанами устанавливаются постоянныя теченія вслѣдствіе рѣзкой разницы въ солености водъ, какъ уже на это отчасти указано въ главѣ объ озерахъ. Обыкновенно если проливъ, соединяющій два моря, обладаетъ достаточною глубиною, то въ немъ образуются два теченія на разныхъ горизонтахъ: нижнее—изъ моря съ высшею соленостью въ мало-соленое и верхнее—въ обратномъ направленіи, т.-е. изъ солоноватаго моря въ соленое; напр. изъ Балтійскаго моря верхнее теченіе направляется въ Нѣмецкое, а изъ Нѣмецкаго, какъ бы для замѣщенія верхняго, слѣдуетъ нижнее теченіе болѣе соленой воды. Въ Босфорѣ верхнее теченіе, какъ было доказано наблюденіями Макарова [16]), идетъ изъ Чернаго моря, имѣю-

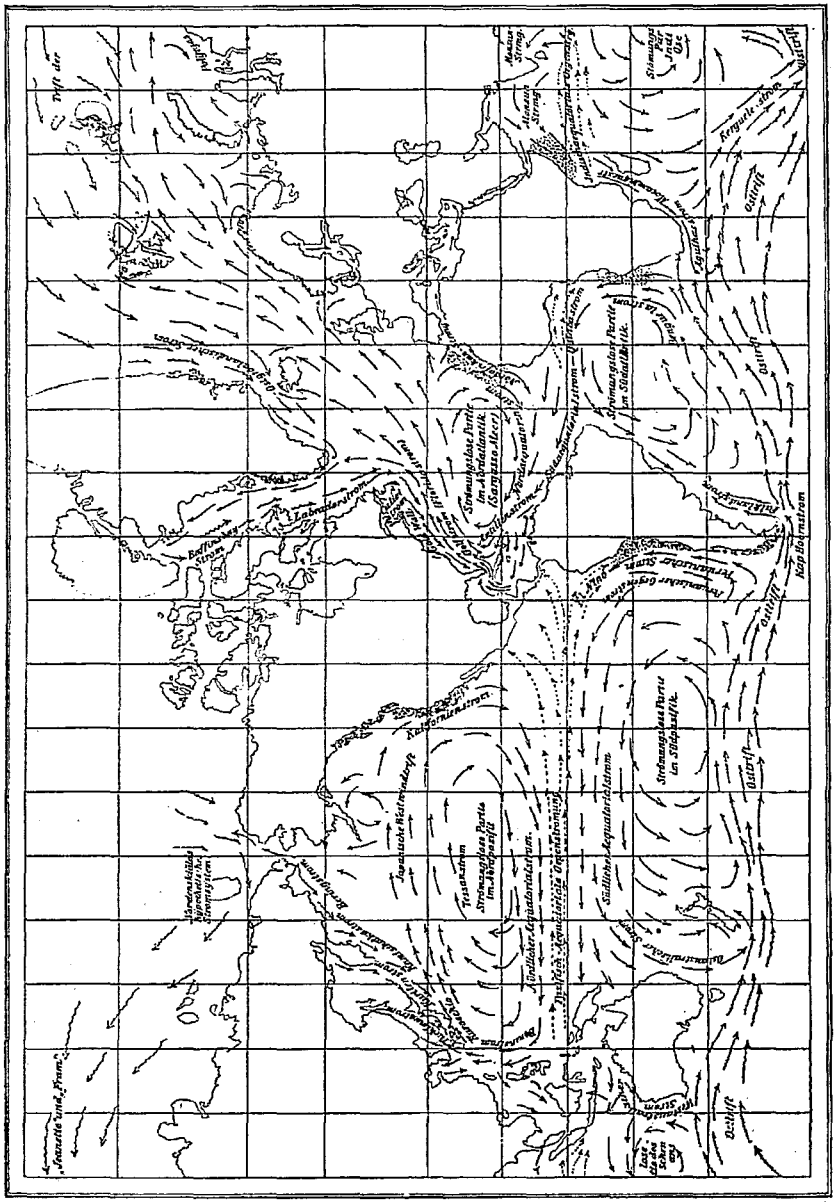
щаго мало-соленую воду, въ Эгейское, а нижнее, наоборотъ, изъ Эгейскаго въ Черное. Сложныя теченія отъ различія солености и температуры были доказаны Макаровымъ, напр., въ Лаперузовомъ проливѣ *). Въ Гибралтарѣ верхнее теченіе идетъ изъ океана въ Средиземное море, вода котораго отличается бо́льшею соленостью, нежели вода Атлантическаго океана. Въ мелкихъ проливахъ нижняго или обратнаго тока нѣтъ, какъ мы уже видѣли въ Кара-бугазѣ и пр.

Но кромѣ этихъ частныхъ теченій, обусловленныхъ орографіею береговъ и разною соленостью, въ открытыхъ океанахъ находятся большія океаническія теченія, которыя играютъ несравненно болѣе значительную роль въ экономіи природы. На схематическихъ картахъ онѣ изображаются въ видѣ громадныхъ рѣкъ съ рѣзкими водяными берегами и съ очень слабымъ паденіемъ; на самомъ дѣлѣ такой опредѣленности нѣтъ, но несомнѣнно существуютъ во многихъ мѣстахъ океановъ постоянныя движенія въ опредѣленномъ направленіи. Кромѣ распредѣленія температуры, доказывающей несомнѣнное существованіе теченій, какъ на поверхности океановъ, такъ и на глубинахъ, тоже подтверждается наблюденіями другого рода; такъ деревья съ американскаго берега пригоняются къ Исландіи и Норвегіи; бутылки, пущенныя у Азорскихъ острововъ, были находимы у Африки. Исторія свидѣтельствуетъ, что Кобраль (1500 г.), желая попасть въ Остъ-Индію, былъ унесенъ теченіемъ къ западу и сдѣлался невольнымъ открывателемъ Бразиліи и пр. Въ каждомъ океанѣ (см. фиг. 356) находятся холодныя и теплыя теченія, напр. въ Атлантическомъ теплое экваторіальное — Гольфстремъ и холодныя — Гренландское, Лабрадорское; въ Тихомъ — теплое Куро-сиво и холодное Берингово, и пр.; въ Индійскомъ—теплое *) Ю.-экваторіальное и холодное З.-австралійское, и пр. Морскія теченія не только разносятъ мелкій минеральный матеріалъ на огромныя пространства океановъ, но, обладая различною температурою, несомнѣнно вліяютъ на распредѣленіе морскихъ организмовъ. Кромѣ того, морскія теченія представляютъ, такъ сказать, регуляторы температуры воздуха: они оказываютъ громадное вліяніе на климатъ прилежащихъ материковъ, а значитъ на распредѣленіе материковой фауны и флоры, на распредѣленіе ледниковъ и проч. Та замѣчательная разница въ климатѣ восточныхъ и западныхъ береговъ, на которую было указано выше (см. главу I), во многомъ обязана морскимъ теченіямъ. Чтобы получить ясное понятіе о вліяніи морскихъ теченій, приведемъ, хотя бы приблизительно, въ абсолютныхъ единицахъ, количество тепла, переносимаго Гольфстремомъ. Гольфстремъ у Флориды имѣетъ 50 англ. миль ширины, 1.000 англ. ф. глубины и течетъ со скоростью 2 англ. миль въ часъ, — отсюда расходъ воды въ сутки равенъ 1896 куб. километрамъ; при этомъ средняя температура его, по словамъ Кролля, у Флориды равна 65° Ф., тогда какъ въ концѣ только 40° Ф., слѣдовательно онъ теряетъ 25° Ф. (13,9° Ц.), что при упомянутомъ расходѣ воды составляетъ громадное количество тепла, равное 10.682.197.000,000

*) „Витязь“ и Тихій океанъ, 1894, т. I, стр. 287 и друг.

**) Въ противоположность обозначенію вѣтровъ, направленіе морскихъ теченій обозначается по странамъ Свѣта, къ которымъ они направляются.

килограмометрамъ въ день, — иными словами, равное количеству тепла. получаемаго отъ солнца поверхностью земли у экватора, равною 4.042,656 кв. километрамъ. Такое сильное согрѣвающее вліяніе вполнѣ оправдываетъ выраженіе, что Гольфстремъ окутываетъ Европу зимой «теплымъ



Пассатныя. Экваторіальныя противотеченія. Полярныя. Области хол. воды, поднимающейся изъ глубины.

Фиг. 356. — Морскія теченія (по Зупану).

покрываломъ» и объясняетъ, повидимому, аномальныя явленія въ родѣ того, что на широтѣ Парижа въ Америкѣ у Ньюфаундлэнда охотятся за бѣлыми медвѣдями, или въ Европѣ подъ $70^3/_4{}^0$ лежитъ цвѣтущій городокъ Гаммерфестъ, гдѣ растутъ вишневыя деревья и воздѣлывается ячмень, а въ Америкѣ подъ тою же широтою погибла экспедиція Франклина.

Разсмотримъ подробнѣе теченія въ Атлантическомъ океанѣ, какъ наиболѣе изученныя. Въ полосѣ между 20° с. ш. и 10° ю. ш. идутъ два экваторіальныхъ теченія: сѣверное съ измѣняющимися границами; южное немного переходитъ экваторъ и лежитъ частью въ сѣверномъ полушаріи. Наибольшая скорость ихъ совпадаетъ съ періодомъ нахожденія солнца подъ тропиками и уменьшается отъ экватора къ краямъ; въ среднемъ для сѣвернаго 24 кил., а для южнаго 30 кил. въ день. Между ними какъ бы вклинивается съ востока Гвинейское теченіе со скоростью 28 кил. въ противоположномъ направленіи; оно, вѣроятно, расширяется къ востоку, а западная вершина его въ среднемъ за годъ лежитъ подъ $35^1/_1$° з. д., но варьируетъ отъ 25° до 40° з. д.

Южное экваторіальное теченіе у мыса С.-Рокъ раздѣляется на двѣ вѣтви; одна изъ нихъ соединяется съ сѣвернымъ экваторіальнымъ теченіемъ и отчасти проходитъ мимо Антильскихъ острововъ на NW, а отчасти чрезъ проливы между островами въ Мексиканскій заливъ, гдѣ питаетъ Флоридское теченіе, начинающееся южнѣе устья Миссисипи и имѣющее лѣтнюю температуру отъ 25,6° до 28,9° Ц., а зимнюю—отъ 16,7° до 25° Ц., скорость 111 кил. въ день (фиг. 356). Флоридское теченіе отдѣляетъ вѣтвь на NW въ Баффиновъ заливъ, но большею массою двигается на NO подъ именемъ Гольфстрема, достигаетъ Новой Земли и отражается на сѣверныхъ берегахъ Азіи *). Вѣтвь отъ Азорскихъ острововъ отдѣляется къ югу и образуетъ меридіанальное *сѣверо-африканское теченіе*, которое оказываетъ охлаждающее вліяніе на поверхность моря. Внутри этого круга теченій въ Сѣверномъ Атлантическомъ океанѣ находится сравнительно спокойная поверхность, обильная водорослями и называемая обыкновенно Саргассовымъ моремъ.

Самое замѣчательное изъ этихъ теченій—Гольфстремъ, котораго изотермобата 5° лежитъ на 650 м. глубже, чѣмъ подъ экваторомъ; о количествѣ приносимой имъ теплоты сказано выше.

Кромѣ теплыхъ теченій, *въ Атлантическомъ океанѣ находятся три холодныхъ*: Лабрадорово теченіе, соединяющееся съ Флоридскимъ у Нью-Фаундлэнда и проходящее на югѣ подъ теплымъ теченіемъ; Восточно-гренландское теченіе; третье теченіе—идущее отъ Медвѣжьихъ острововъ. Всѣ эти холодныя теченія приносятъ большое количество ледяныхъ горъ или айсберговъ.

Въ южной части Атлантическаго океана находится Бразильское теченіе, которое отъ 48° ю. ш. поворачиваетъ на западъ и продолжается въ видѣ холоднаго Бенгуэльскаго теченія. Между Бразильскимъ теченіемъ и восточными берегами южной Америки проходитъ холодное Фальклендское теченіе—вѣтвь антарктическаго теченія, аналогичная лабрадоровой, достигающая до Ріо-Жанейро.

Подобный же круговоротъ, какъ въ Атлантическомъ океанѣ, образуютъ теченія и въ другихъ океанахъ. Теплыя теченія, какъ вѣтви экваторіальнаго, отклоняются восточными берегами материковъ въ высшія широты: Куро-сиво въ Тихомъ океанѣ соотвѣтствуетъ Флоридовому, Восточно-австралійское и Агульясово теченіе—Бразильскому; холодныя теченія отклоняются западными берегами материковъ и сливаются съ экваторіальными: Калифорнійско-мексиканское, Перуанское и Западно-австралійское теченіе въ Тихомъ океанѣ.

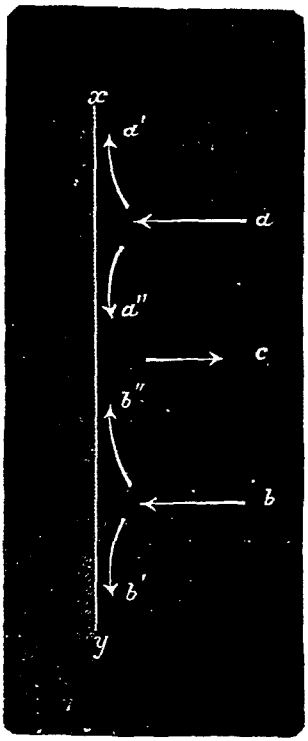
Въ Индійскомъ океанѣ и Китайскомъ морѣ теченія измѣняются въ періодъ смѣны NO пассатовъ SW муссонами. Изъ Антарктическаго океана холодныя теченія простираются до 4° ю. ш. и общее направленіе ихъ восточное или сѣверо-восточное. Однако, вообще говоря, они изучены далеко еще не достаточно.

Основная причина морскихъ теченій, какъ доказываютъ новѣйшія наблюденія и въ особенности работы Цёпприца [17]), заключается въ движеніяхъ атмосферы, т.-е. морскія теченія настоящаго времени представляютъ продуктъ дѣятельности всѣхъ вѣтровъ, вліяющихъ многія тысячелѣтія на поверхность океановъ. Эта связь между морскими и воздушными теченіями дѣйствительно подтверждается сравненіемъ картъ распространенія тѣхъ и другихъ (см. карту № II и фиг. 356). Въ основаніи объясненія Цёпприца лежатъ давно извѣстныя положенія механики; а именно, если нѣкоторый слой воды приведенъ въ движеніе данной скорости, то сосѣдній съ нимъ слой не остается въ покоѣ, а также пріобрѣтетъ движеніе по тому же направленію; если скорость перваго слоя постоянна, то скорость второго будетъ постоянно приближаться къ ней. Отъ второго слоя движеніе передается третьему и т. д. до границъ жидкости, т.-е. до дна, гдѣ оно останавливается. Эта передача движенія нижнимъ слоямъ воды происходитъ чрезвычайно медленно. По вычисленію Цёпприца,

---

*) Зимою Гольфстремъ оканчивается подъ менѣе высокими широтами; прекращаясь только какъ поверхностное теченіе, на глубинѣ онъ продолжается далеко во внутреннее арктическое море, гдѣ его констатировала экспедиція Нансена (1893—96); детали развѣтвленія Гольфстрема изучены также Книповичемъ.

принимавшаго коэффиціентъ тренія равнымъ 0,0146, оказалось что на глубинѣ 10 м. скорость, равная $^1/_{10}$ скорости на поверхности (V°), получится чрезъ 0,41 годъ, а скорость $^1/_2$ V° чрезъ 2,39 лѣтъ; но на глубинѣ 100 м. скорость $^1/_{10}$ V° получится чрезъ 41 годъ, а скорость $^1/_2$ V° чрезъ 239 лѣтъ. При глубинѣ океана въ 4.000 м. черезъ 10.000 лѣтъ на глубинѣ 2.000 м. получится скорость, равная 0,037 V°; по истеченіи 100.000 лѣтъ она уже будетъ близка къ предѣльной величинѣ 0,461 V°, а чрезъ 100.000 лѣтъ получится уже 0,498 V°. Отсюда понятно, что морское теченіе, скорость котораго уменьшается съ глубиною, зависитъ только отъ средняго направленія и скорости господствующаго вѣтра и почти не измѣняется отъ временной перемѣны движенія на поверхности, напр. отъ бурь и вѣтровъ, дующихъ въ другомъ направленіи, чѣмъ господствующій вѣтеръ. Кромѣ того, изъ той же медленной передачи движенія въ глубину можно заключить, что если движеніе на поверхности прекращается, то жидкость также медленно переходитъ къ состоянію покоя; время, потребное для возбужденія и прекращенія скорости, на глубинѣ совершенно одинаково; напр., еслибы нѣкоторая часть океана приводилась въ движеніе пассатными вѣтрами, продолжавшимися такъ долго, что движеніе распространилось на глубину 1.000 м., то хотя бы эти пассаты прекратились назадъ тому 10.000 лѣтъ, то все-таки бывшее вліяніе ихъ обнаружилось бы съ большою силой на значительной глубинѣ. Слѣдовательно объясненіе Цёпприца вполнѣ приложимо не только къ верхнимъ, но и къ нижнимъ теченіямъ, происходящимъ на различныхъ глубинахъ океана, но еще весьма мало изученнымъ.



Фиг. 357.

Правда, еще не совсѣмъ ясно, какъ говоритъ Зупанъ, какимъ образомъ одна и та же сила, въ одной и той же средѣ, можетъ вызвать два столь различныя движенія, какъ волнообразное и текучее. Теорія Цёпприца показала, какъ поверхностный дрейфъ измѣняется въ глубже проникающее движеніе. Остаются неизвѣстными только видъ и способъ перехода одной формы движенія въ другую.

Морскія теченія есть продуктъ вѣтра. Большіе антициклоны около субтропическаго барометрическаго maximum вызываютъ въ тѣхъ же областяхъ круговыя морскія теченія (см. карты №№ II, III и фиг. 356). Холодныя меридіанальныя теченія у западныхъ береговъ материковъ и теплыя экваторіальныя слѣдуютъ за пассатами; отступаніе пассата ведетъ за собой измѣненіе границъ этихъ теченій. Сообразно бо́льшему постоянству пассата южнаго полушарія и переходу его черезъ экваторъ, южныя экваторіальныя теченія также болѣе постоянны и тоже переходятъ чрезъ экваторъ въ сѣверное полушаріе. Восточныя теченія въ высшихъ широтахъ южнаго полушарія соотвѣтствуютъ преобладанію западныхъ вѣтровъ, а арктическія теченія— сѣвернымъ и сѣверо-западнымъ вѣтрамъ.

Распредѣленіе материковъ и форма береговъ могутъ значительно измѣнять характеръ теченій, такъ что теченіе, вызванное, напр., пассатомъ, можетъ продолжаться въ области внѣ пассата и даже въ другомъ направленіи. Положимъ, что теченія *a* и *b* (фиг. 357) ударяются о вертикальную стѣну *xy*, то при столкновеніи каждое изъ нихъ раздѣлится на два тока: *a'*, *a''* и *b'*, *b''* имѣющихъ ту же скорость, но ширина каждаго вдвое меньше. Теченія *a* и *b* Крюммель называетъ вынужденными, т. е. первичными, такъ какъ онѣ находятся въ непосредственной зависимости отъ силы, вызывающей движеніе; теченія *a'*, *a''*, *b'*, *b''* Крюммель называетъ свободными. Теченія *a''* и *b''* соединятся и образуютъ теченіе *c*, противоположное первоначальному, но равное ему по ширинѣ и скорости. Отсюда ясно, что въ природѣ могутъ происходить чрезвычайно сложныя теченія, тѣмъ болѣе, что берега материковъ далеко не прямолинейны, часто ограничены островами, дно морей не-

одинаково и т. д., но при всемъ томъ зависимость морскихъ теченій отъ вѣтровъ выступаетъ довольно рельефно.

Вода представляетъ собою связную неэластическую жидкость, стремящуюся всякую убыль въ любомъ мѣстѣ пополнить притокомъ со всѣхъ сторонъ. Слѣдовательно, всякое дрейфовое движеніе вызываетъ еще движенія въ видѣ системы токовъ, направляющихся къ тому мѣсту, откуда вода вытѣсняется вѣтромъ. Система теченій, вызываемыхъ вѣтромъ, состоитъ, слѣдовательно, всегда изъ двухъ частей:

I. Теченія дрейфовыя, первичныя въ широкомъ смыслѣ:

а) вынужденныя теченія,

б) свободныя теченія.

II. Теченія, вызываемыя непрямымъ воздѣйствіемъ,—вторичныя или компенсаціонныя теченія.

Каждое теченіе отклоняется вращеніемъ земли, но относительно размѣровъ этого отклоненія взгляды расходятся.

Такимъ образомъ, всѣ морскія теченія, по роду ихъ происхожденія, можно раздѣлить на двѣ категоріи:

I. Теченія, происходящія отъ различныхъ частныхъ причинъ, какъ-то: разной солености или плотности воды, отъ приливовъ и пр.; они отличаются незначительной величиной.

II. Теченія, производимыя вѣтромъ, отличаются постоянствомъ, значительной величиной и распространенностью.

Механическая дѣятельность прибоя волнъ и теченій.

Волны моря, ударяясь о берега съ огромною силою, производятъ многоразличныя измѣненія не только въ горизонтальномъ расчлененіи суши, но, при нѣкоторыхъ условіяхъ, и въ вертикальномъ расчлененіи ея; превращеніе живой силы волнъ въ работу, при встрѣчѣ съ берегами, составляетъ одинъ изъ крупныхъ факторовъ въ преобразованіи земной поверхности. Дѣятельность прибоя волнъ настолько значительна по своимъ результатамъ, что давно уже капитанъ Сэксби предлагалъ сдѣлать ее предметомъ особой науки, подъ именемъ Ондоворалогіи.

Прибой волнъ, съ одной стороны, разрушаетъ и отчасти обтачиваетъ берега, а съ другой—переноситъ, сортируетъ и отлагаетъ разрушенный матеріалъ въ видѣ береговыхъ и прибрежныхъ осадковъ; морскія теченія, такъ сказать, расширяютъ работу волнъ, особенно въ дѣлѣ перенесенія и отложенія; они разносятъ измельченный матеріалъ на большія пространства не только вдоль береговъ, но и въ открытомъ океанѣ.

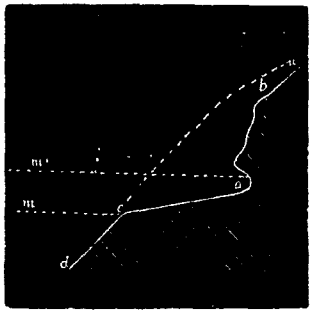
а) Разрушеніе дѣятельностью прибоя волнъ.

Интенсивность и характеръ дѣятельности прибоя волнъ зависятъ отъ многочисленныхъ факторовъ, неодинаковыхъ для различныхъ береговъ и даже измѣняющихся на одномъ и томъ же берегу въ разные періоды времени. Факторы эти кроются, во-первыхъ, въ разнообразіи физическихъ свойствъ моря и атмосферы; во-вторыхъ, въ продолжительности времени дѣйствія прибоя волнъ; въ-третьихъ, въ разнообразіи оро-геологическаго характера береговъ и, въ четвертыхъ, наконецъ, въ присутствіи или отсутствіи положительныхъ и отрицательныхъ движеній береговой линіи, которыя могутъ совершенно измѣнить направленіе и размѣры дѣятельности прибоя волнъ.

Что касается первой группы факторовъ (температура, соленость, движенія моря, вѣтры, сила ихъ и пр.), то замѣтимъ только, что неравномѣрное распредѣленіе ихъ несомнѣнно оказываетъ значительное измѣненіе въ механической дѣятельности прибоя волнъ; выше указано, что въ моряхъ безъ прилива конфигурація размываемаго берега рѣзко отличается отъ конфигураціи, происходящей на берегахъ морей съ приливами (см. фиг. 354 и 355, стр. 553); отношеніе направленія господствующихъ вѣтровъ къ приливнымъ волнамъ въ однихъ случаяхъ можетъ увеличить силу прибоя,—если направленія тѣхъ и другихъ совпадаютъ, а въ другихъ, наоборотъ, можетъ уменьшить,—если направленія ихъ противоположны; характеръ вывѣтриванія береговыхъ породъ въ однихъ случаяхъ помогаетъ разрушенію отъ прибоя волнъ, а въ другихъ, напротивъ, отложенію. Низкая температура, обусловливая накопленіе льдовъ, помогаетъ механическому разрушенію; высокая, напротивъ, способствуя развитію морскихъ организмомъ, иногда задерживаетъ разрушеніе и т. д.; словомъ, вліяніе ихъ на интенсивность механической дѣятельности прибоя волнъ очевидно и не требуетъ особаго разсмотрѣнія помимо того, которое уже сдѣлано выше (см. начало этой главы, гл. I, гл. II).

Относительно времени можно сказать, что чѣмъ продолжительнѣе дѣйствуетъ прибой волнъ, тѣмъ разнообразнѣе результаты его. На неподвижныхъ берегахъ, т.-е. не испытывающихъ ни положительнаго, ни отрицательнаго движенія, самое разрушительное дѣйствіе волнъ по истеченіи значительнаго времени превращается въ созидательное, т.-е. вмѣсто энергичнаго размыва тотъ же прибой производитъ осадки. На берегахъ съ положительнымъ движеніемъ площадь размыва значительно увеличивается, а на берегахъ съ отрицательнымъ движеніемъ уменьшается. Чтобы уяснить самый процессъ дѣйствія прибоя волнъ на неподвижные берега въ теченіе неопредѣленно долгаго періода времени, разсмотримъ ближе характеръ его. Положимъ, что прибой дѣйствуетъ на крутой или даже отвѣсный берегъ, то, очевидно, волны, ударяясь о скалы и постепенно подмывая или подтачивая ихъ снизу, образуютъ углубленіе или желобъ на высотѣ постояннаго прибоя (фиг. 354). При дальнѣйшемъ увеличеніи желоба нависшія скалы обрушаются и тѣмъ скорѣе, чѣмъ онѣ рыхлѣе или трещиноватѣе. Присутствіе большихъ трещинъ въ береговыхъ породахъ не только помогаетъ разрушенію, но обусловливаетъ собою нѣкоторыя оригинальныя явленія, какъ, напр., вышеописанные приливные колодцы, береговые фонтаны и проч. (см. стр. 234). Черезъ нѣкоторое время, продолжительность котораго зависитъ отъ геологическаго состава берега, прибой образуетъ на берегу одинъ или, при участіи приливовъ, два уступа, какъ уже указано выше. Если a b c d представляло очертаніе прежняго берега, то послѣ нѣкотораго дѣйствія прибоя оно получитъ другой видъ (фиг. 358) и превратится въ *abocd*, причемъ *c o* представляетъ волноприбойную террассу размыва (plate-forme littorale), а *o b* представляетъ волноприбойный уступъ (фиг. 358*a*), при достаточной высотѣ, принимающій видъ крутаго берега (falaise, cliff). Волноприбойная терраса между горизонтами прилива и отлива носитъ названіе plage, beach. При дальнѣйшемъ дѣйствіи прибоя терасса *c o* еще

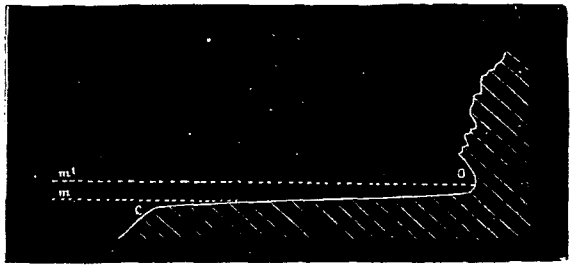
болѣе удлиняется, а вмѣстѣ съ тѣмъ сглаживается и выравнивается (фиг. 359), потому что обвалившіяся массы породъ, передвигаемыя волнами, частью обтачиваютъ ее, а частью отлагаются на пей. Волноприбойная терраса *o c*, достигнувъ значительной величины, начинаетъ оказывать серьезное сопротивленіе напору волнъ, разрушительная сила которыхъ постепенно ослабѣваетъ вслѣдствіе вліянія тренія; чѣмъ длиннѣе эта терраса, тѣмъ волны больше тратятъ своей силы, тѣмъ больше



Фиг. 358.

Фиг. 358*a*. — Утесы (falaise) кварцеваго песчаника по берегамъ Ляо-дуна (Корейскій заливъ).

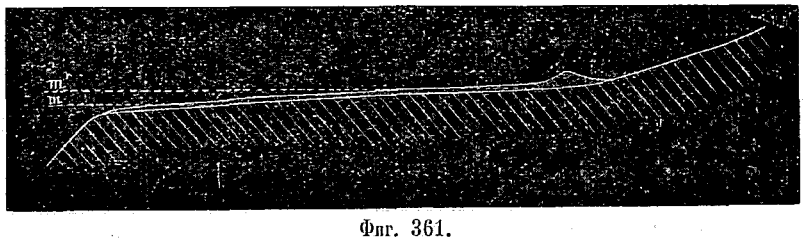
ослабѣваютъ онѣ при подходѣ къ обрывистому берегу. Вслѣдствіе этого очевидно, что чрезъ нѣкоторый періодъ времени, при извѣстной длинѣ террасы, до желоба *o* будутъ доходить только самыя высокія приливныя волны, и слѣдовательно возрастаніе желоба и разрушеніе берега замедлятся сравнительно съ первоначальнымъ; наконецъ, при дальнѣйшемъ развитіе террасы крутой берегъ совершенно выйдетъ изъ сферы дѣйствія даже высшихъ приливовъ и будетъ разрушаться развѣ только исключительно большими волнами, происходящими при самыхъ сильныхъ буряхъ; въ этой стадіи разрушеніе берега отъ прибоя волнъ почти останавливается, только вывѣтриваніе продолжаетъ свою работу, постепенно сглаживая крутой берегъ до тѣхъ поръ, пока не превратитъ его въ отлогій; въ то же время на волноприбойной террассѣ оторвавшіяся глыбы перетираются, сортируются и отлагаются въ видѣ болѣе или менѣе ровнаго слоя галекъ и песка (фиг. 360), утолщающагося только на границѣ прибоя и представляющаго самую вѣрную защиту отъ дальнѣйшаго разрушенія берега. Въ концѣ концовъ, крутой



Фиг. 359.

или отвѣсный берегъ получаетъ совершенно другую форму, представленную ва фиг. 361, характеризующуюся не разрушеніемъ, а накопленіемъ осадковъ. Этотъ процессъ отложенія въ сущности начинается еще въ первую стадію развитія волноприбойной террассы и продолжается во все время образованія ея, постепенно усиливаясь какъ бы на счетъ уменьшенія размыва, и, наконецъ, совершенно замѣняетъ размывъ. Матеріаломъ для этихъ отложеній служатъ не только продукты разрушенія берега, но также продукты вывѣтриванія его и особенно продукты, приносимые материковыми потоками и морскими теченіями; чѣмъ больше доставляется этихъ матеріаловъ, тѣмъ самыя накопленія возрастаютъ быстрѣе, тѣмъ меньше образуется волноприбойная терраса и тѣмъ скорѣе, слѣдовательно, наступаетъ смѣна процесса разрушенія процессомъ созиданія. Кромѣ защищающаго вліянія, тѣ же накопленія, особенно при началѣ образованія, дѣйствуютъ обратно, т.-е. помогаютъ размыву, усиливая обтачиваніе и шлифованіе берега и производя тѣмъ особыя формы размыва, какъ, напр., береговые исполиновые котлы, пещеры и проч.; но о нихъ скажемъ ниже, а теперь разсмотримъ третью группу

Фиг. 360.



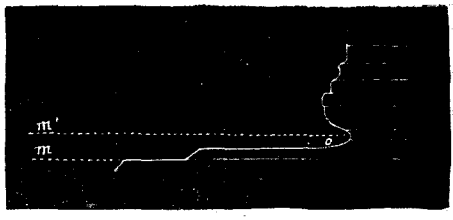
Фиг. 361.

факторовъ, измѣняющихъ направленіе и интенсивность механической дѣятельности прибоя волнъ, именно оро-топографическій характеръ и геологическій составъ береговъ.

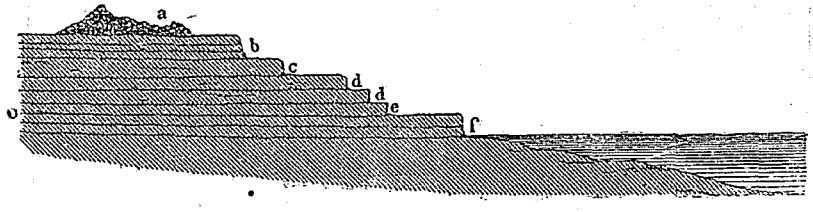
Давно уже замѣчено, что волны моря нападаютъ съ гораздо бо́льшею яростью на высокіе, отвѣсные и скалистые берега, нежели на плоскіе и низменные; при всѣхъ другихъ равныхъ условіяхъ первые разрушаются быстрѣе, нежели вторые. Разница эта настолько, велика, что первые большею частью представляютъ области размыва—убыли суши, а вторые, напротивъ,—области отложенія, прибыли суши. Такое вліяніе орографіи береговъ понятно изъ предыдущаго изложенія, т.-е. на низменныхъ берегахъ, спускающихся постепенно подъ уровень воды, ударъ волнъ ослабляется вслѣдствіе тренія о дно. Съ другой стороны,

чѣмъ берегъ расчлененнѣе, иззубреннѣе, тѣмъ онъ представляетъ большую поверхность для нападенія волнъ, тѣмъ слѣдовательно, онъ быстрѣе разрушается, чѣмъ прямолинейные, не имѣющіе горизонтальнаго расчлененія берега. Высокіе, скалистые берега Нормандіи размываются чрезвычайно энергично, тогда какъ низкіе берега французскихъ ландъ выравниваются и наростаютъ. Самые расчлененные берега Ирландіи, Греціи, Норвегіи испытываютъ большее измѣненіе, нежели плосковолнистые берега сѣверной Африки, Аравіи и пр.

Вліяніе геологическаго состава еще разнообразнѣе; оно обусловливается стратиграфическими и петрографическими свойствами породъ. Если пласты падаютъ отъ моря къ материку, какъ приведено выше (см. фиг. 358 и 359), то подмытые пласты обрушаются легче и обтачиваніе головъ пластовъ происходитъ энергичнѣе, нежели въ совершенно горизонтальныхъ пластахъ (фиг. 362), гдѣ, напротивъ, энергичный размывъ происходитъ только въ началѣ; горизонтальные пласты, особенно, если они различной твердости, способствуютъ быстрому возрастанію волноприбойныхъ террасъ, а, вмѣстѣ съ тѣмъ, ослабленію размыва; обтачиваніе поверхности однороднаго пласта, образующаго террасу, гораздо труднѣе, нежели головъ разнородныхъ пластовъ. Кромѣ того горизонтальное пластованіе способствуетъ образованію не только одной или двухъ террасъ (фиг. 362), но цѣлаго ряда ихъ особенно если величина приливо-отливныхъ волнъ варіируетъ въ большихъ предѣлахъ; въ этомъ отношеніи замѣчательно западное поморье Ирландіи у Инишмора, гдѣ на берегу наблюдается семь террасъ на подобіе уступовъ гигантской лѣстницы (фиг. 363); самая верхняя изъ нихъ загромождена большими камнями въ видѣ берегового вала (a), обозначающаго верхнюю границу волнъ, происходящихъ во время сильныхъ бурь; подъ нею лежитъ вторая терраса (b), соотвѣтствующая большимъ приливамъ; затѣмъ слѣдуетъ третья (c), произведенная обыкновенными приливами. Еще ниже слѣдуютъ двѣ промежуточныя террасы (dd) и, наконецъ, шестая (e) и седьмая (f) соотвѣтствуютъ горизонту отлива, верхняя (e) — обыкновеннаго, а нижняя (f) — равноденственнаго.



Фиг. 362.

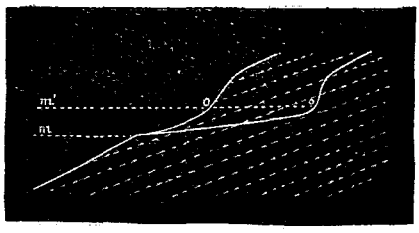


Фиг. 363. — Волнообразныя террассы у Иншмора.

Еще большую устойчивость обнаруживаютъ пласты, падающіе по направленію къ морю (фиг. 364), и чѣмъ меньше уголъ паденія, тѣмъ

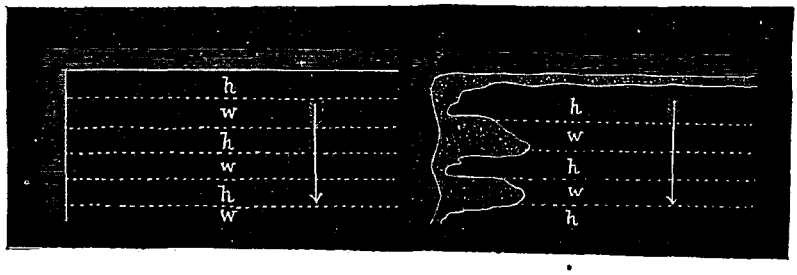
больше ихъ устойчивость противъ размыва. На такихъ берегахъ волны, взбираясь вверхъ по паденію, скользятъ по однородной плоскости напластованія, теряютъ свою силу отъ тренія и производятъ только слабый размывъ; подмытые пласты настолько устойчивы, что обрушаются рѣдко; волноприбойная терраса возрастаетъ весьма медленно и рѣдко достигаетъ значительной величины.

Если свита пластовъ разнородной твердости съ паденіемъ къ материку омывается моремъ съ двухъ сторонъ, изъ которыхъ одна параллельна простиранію, а другая перпендикулярная къ первой, то результатъ размыва будетъ различный на обѣихъ сторонахъ. Берегъ, направленіе котораго совпадаетъ съ простираніемъ пластовъ (фиг. 365 a), останется прямолинейнымъ, но перпендикулярный къ нему получитъ сложное расчлененіе; мягкіе пласты (w) размоются скорѣе и на мѣстѣ ихъ образуются бухты, а твердые (h) выступятъ въ видѣ мысовъ; впослѣдствіи бухты заполнятся береговыми осадками и берегъ снова выровнится (фиг. 365 b).



Фиг. 364.

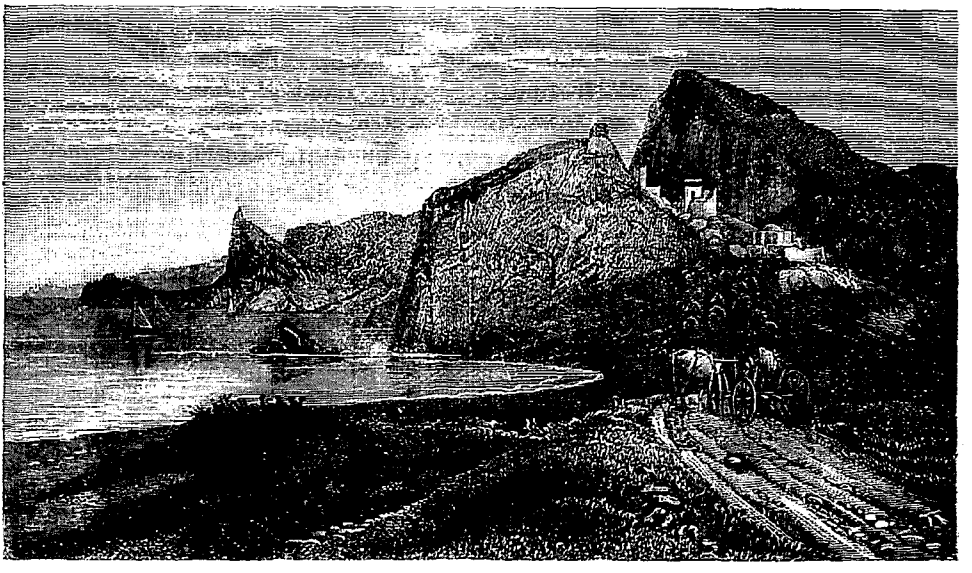
Кромѣ стратиграфическихъ, петрографическія свойства породъ также оказываютъ существенное вліяніе на характеръ измѣненія береговъ отъ прибоя волнъ. Очевидно, что прибой волнъ быстрѣе разрушаетъ мягкія или рыхлыя породы, нежели твердыя или массивныя: въ то время какъ, напр., рыхлые вулканическіе туфы, известковистые песчаники и пр. совершенно разрушаются, смываются подъ напоромъ волнъ, массивные



Фиг. 365 *a*. Фиг. 365 *b*.

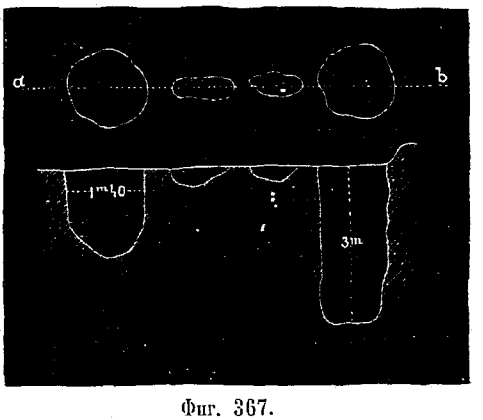
граниты, базальты и пр. обнаруживаютъ только едва замѣтные слѣды дѣйствія ихъ. Вслѣдствіе этого на спокойныхъ, даже прямолинейныхъ берегахъ, но сложенныхъ или изъ пластовъ различной твердости, какъ въ предыдущемъ случаѣ (фиг. 365), или, еще лучше, изъ разнородныхъ осадочныхъ и массивно-кристаллическихъ породъ, по прошествіи уже небольшого періода времени, появляются выступающіе мысы изъ твердыхъ породъ и бухты, врѣзывающіяся въ мягкія породы. Чѣмъ большій періодъ времени дѣйствуетъ прибой, тѣмъ иззубренность или горизонтальное расчлененіе берега становится сложнѣе и больше, хотя, въ концѣ концовъ, съ наступленіемъ періода отложенія иззубренность берега снова сглаживается. Выступающіе мысы подъ вліяніемъ напора

волнъ съ теченіемъ времени разрываются на нѣсколько частей, отдѣляются отъ материка и образуютъ мелкіе прибрежные острова, которые при дальнѣйшемъ размывѣ нерѣдко превращаются въ подводныя скалы или шхеры, напр. на южномъ берегу Крыма у Гурзуфа, Судака (фиг. 366) и проч.



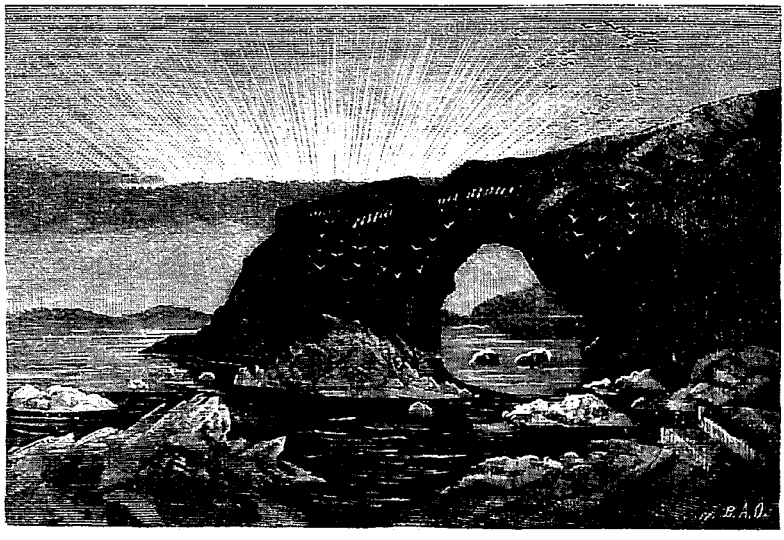
Фиг. 366. — Южный берегъ Крыма у Гурзуфа.

Волны разрушаютъ берега не только однимъ напоромъ, но употребляютъ для истиранія и подтачиванія ихъ валуны и гальки болѣе твердыхъ породъ, обрушившихся отъ размыва и перекатываемыхъ по дну. При помощи такихъ валуновъ волны производятъ нѣчто въ родѣ буренія въ болѣе слабыхъ мѣстахъ скалъ и образуютъ совершенно такіе же исполиновые котлы (marmits de géant, Riesekessel), какъ и проточная вода при крутомъ паденіи (см. стр. 393), но только не вертикальные, а горизонтальные и наклонные, въ родѣ эоловыхъ котловъ, но отличающихся отъ эоловыхъ большими размѣрами. Особенно замѣчательны этого рода образованія находятся, по сообщенію Добрэ, на берегахъ Скандинавіи, напр., у Гельстальмена (фиг. 367), гдѣ обрывистые береговые утесы изсѣчены множествомъ извилинъ, въ которыхъ перекатываемыя глыбы гранита производятъ сверленіе. Углубленія эти иногда возрастаютъ до величины большихъ гротовъ или пещеръ, напр. такъ называемый Лазурный гротъ на островѣ Капри; знаменитый по величинѣ (около 980 м. длиною), сквозной гротъ въ скалѣ Торгаттенъ у береговъ сѣверной Норвегіи, еще болѣе удивительныя такъ называемыя



Фиг. 367.

Чайковыя или Желѣзныя Ворота (фиг. 368), промытыя въ отвѣсныхъ скалахъ (высотою до 75 м.) трудно-доступнаго Медвѣжьяго острова и гдѣ Норденшельдъ поставилъ 19 іюля 1864 г. большой желѣзный клинъ на высотѣ 1,3 м. надъ уровнемъ воды, чтобы будущіе изслѣдователи могли опредѣлить степень положительнаго или отрицательнаго движенія берега. Но кромѣ котловъ и гротовъ размытіе выступающихъ мысовъ образуетъ чрезвычайно разнообразныя, иногда фантастической формы, береговыя скалы. Шотландскіе, Оркадскіе, Гебридскіе острова, побережья Скандинавіи и пр. богаты подобнаго рода образованіями, напр. такъ называемые дронги, т.-е. гранитныя скалы, оставшіяся отъ размытія острововъ, описанныя Ляйэллемъ [19]); оригинальныя «Иглы»



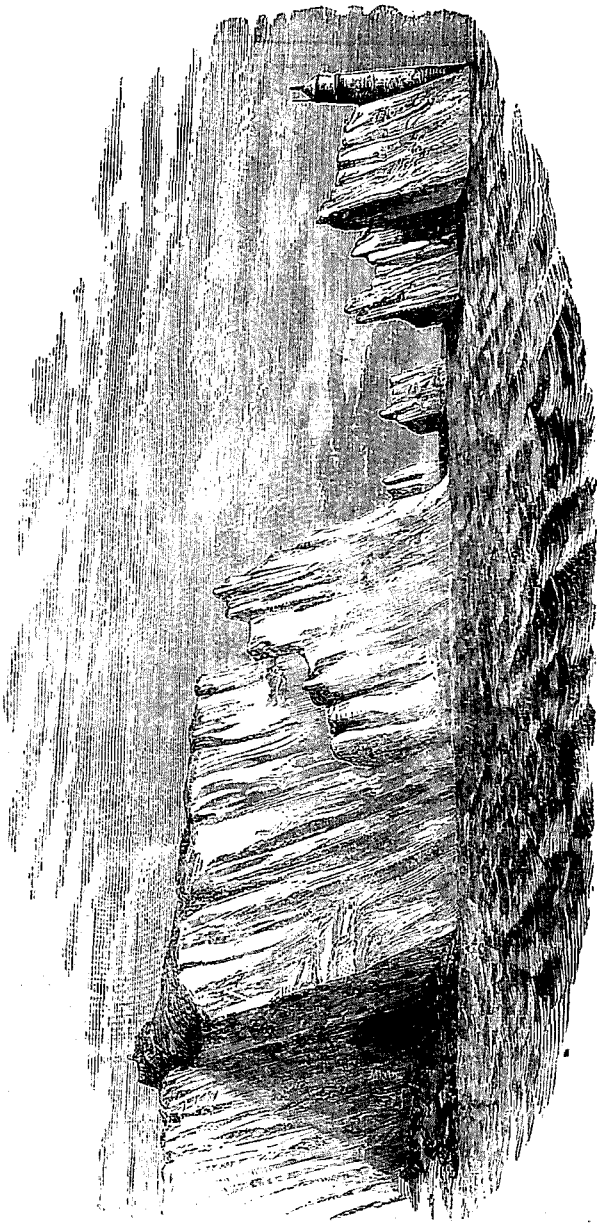
Фиг. 368. — Чайковыя ворота на Медвѣжьемъ островѣ.

(The Needles) на островѣ Уайтѣ (фиг. 369), знаменитая скала Гестманденъ въ Сѣверной Норвегіи и пр. Очевидно, форма образующихся скалъ зависитъ не только отъ силы и направленія прибоя, но, главнымъ образомъ, отъ большей или меньшей однородности сложенія породъ и особенно отъ системы трещинъ въ ней; при совершенно однородныхъ плотныхъ породахъ, залегающихъ среди слабыхъ осадочныхъ, выступающіе мысы имѣютъ болѣе правильныя и спокойныя очертанія, напр. красивый діабазовый мысъ Аю-дагъ (медвѣдь-гора на южномъ берегу Крыма). Въ Англіи изолированнымъ скаламъ, напоминающимъ трубы, даютъ названіе «Chimney rocks»; у насъ часто называютъ «братьями», «сестрами», «монахами».

Что касается быстроты размытія береговъ и отступанія суши подъ вліяніемъ прибоя волнъ, то къ сожалѣнію въ этомъ отношеніи наблюденія немногочисленны и далеко не равномѣрны, тѣмъ не менѣе уже существующіе факты свидѣтельствуютъ о значительномъ отступаніи береговъ даже въ историческое время.

Процессы разрушенія береговъ лучше всего изучены въ Великобританіи. На восточномъ берегу Шотландіи сравнительно недавно снесенъ старый городъ Файндгорнъ; въ Форфаширѣ при Арбротѣ, выстроенномъ на красномъ песчаникѣ, многіе сады и дома были разрушены, а маякъ въ устьѣ Тейскаго лимана пришлось перенести. Весь Іоркширскій берегъ, отъ устья Тея до устья Гумбера, состоящій изъ

лейяса, оолита и мѣла, постепенно разрушается, но быстрѣе всего между мысомъ Флямборою и Голдернейскимъ берегомъ, гдѣ ежегодно уносится до $1^1/_2$ метр., такъ что берегъ утратилъ около мили со времени норманскаго нашествія и болѣе двухъ миль со времени занятія Іорка римлянами; многія древнія поселенія смыты, какъ, напр. Оборена, Хартбарна, Гайда [20]) и др. На мѣстѣ прежняго значительнаго города Ревенспуръ, нѣкогда соперничавшаго съ Гуллемъ и отличавшагося прекраснымъ портомъ (въ 1332 г.), бушуютъ волны и мѣстами образовались песчаныя мели. Въ Норфолькѣ и Соффолькѣ разрушеніе мѣловыхъ береговъ происходитъ съ такою очевидностью, что при постройкѣ капитальныхъ зданій на берегу расчитываютъ время, когда море подойдетъ къ нему, напр. между Вейбоурномъ и Шерингамомъ, гдѣ въ 1829 г. море имѣло до 20 фут. глубины въ мѣстахъ, гдѣ за 48 лѣтъ до того возвышались утесы до 50 ф. высотою; сигнальный флагштокъ три раза переносился между 1814 и 1829 гг. Вся мѣстность, занятая древнимъ Кромеромъ, составляетъ теперь часть Нѣмецкаго моря; несмотря на высоту береговъ до 300 фут., многія фермы и деревни, по словамъ Тейлора, разрушены, напр., Шипденъ, Упмпуэль и Экклесъ; еще въ 1605 г. жители просили короля Іакова I объ уменьшеніи податей вслѣдствіе потери земли, унесенной моремъ. Разрушеніе Дунича подтверждается многими историческими данными. Указываютъ, что Гарвичъ въ Эссексѣ обязанъ своимъ происхожденіемъ разрушенію города Оруэлля, стоявшаго на мѣстѣ, нынѣ извѣстномъ подъ названіемъ „Западныхъ скалъ“ и поглощеннаго вторгнувшимся моремъ послѣ завоеванія Англіи норманами; существуютъ опасенія, говоритъ Ляйэлль [21]), что перешеекъ, на которомъ стоитъ Гарвичъ, въ непродолжительномъ времени превратится въ островъ, такъ какъ разрушеніе происходитъ энергично на утесахъ Виконъ-клифъ. Подобные же слѣды разрушенія наблюдаются по берегамъ лимана Темзы и особенно на островѣ Шеппэй, гдѣ въ теченіе 20 лѣтъ (1810—1830 г.) уничтожилось до 50 акровъ земли. Весь берегъ Соссекса съ незапамятныхъ временъ разрушается и указываютъ факты уничтоженія площадей до 400 акровъ; городъ Брайтонъ, существовавшій еще во времена Елизаветы, разрушенъ и на мѣстѣ его находится отмель. По берегамъ Франціи отступаніе доходитъ до 1 ф. ежегодно, напр. въ департаментѣ Нижней Сены; скалы Кальвадоса ежегодно отступаютъ на 10 дюймовъ. То же замѣчается, по словамъ К. Кольда [22]), во многихъ мѣстахъ Греческаго архипелага, напр. на берегахъ Геллеспонта; по Страбону, ширина пролива была 1250 м. при Абидоса, теперь же — около 2000 м., слѣдовательно онъ расширился на 750 м. въ теченіе 1800 лѣтъ.



Фиг. 369. — Иглы на островѣ Уайтъ.

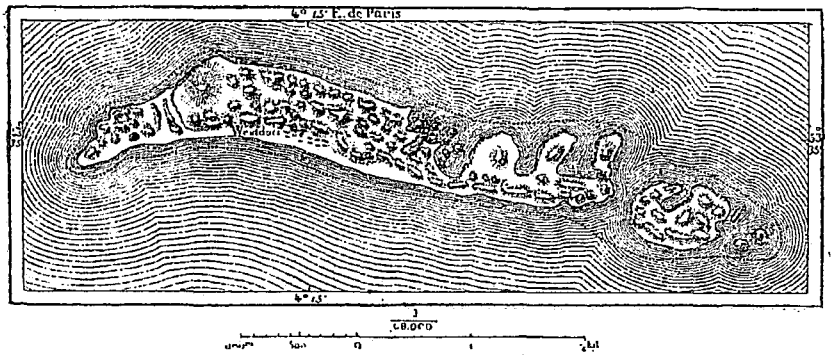
Въ Америкѣ, именно въ Делаварскомъ заливѣ Соединенныхъ Штатовъ, доказано наблюденіями при Капъ-мей съ 1804 по 1820, что берегъ отступаетъ около девяти фут. въ годъ; въ Чарльстонской гавани въ Южной Каролинѣ въ теченіе трехъ лѣтъ (1783—1786) разрушено около четверти мили.

Сопоставляя отдѣльные многочисленные факты разрушенія береговъ, оказывается, что берега Ламанша отступаютъ около 2 м. въ годъ, а ежегодная убыль

Фиг. 370. — Островъ Гельголандъ.

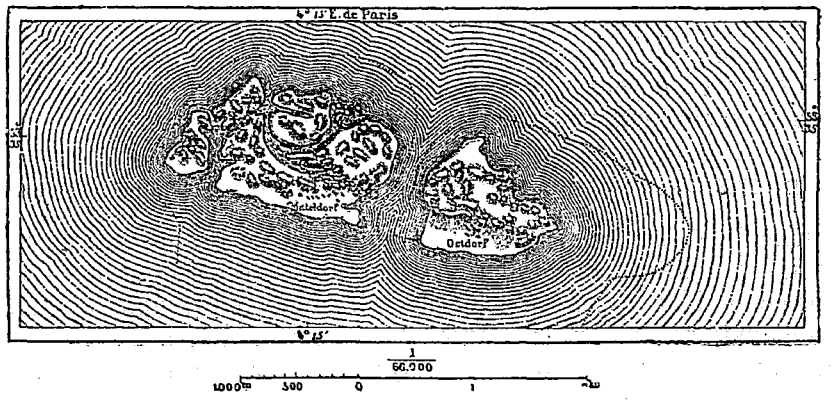
южныхъ и восточныхъ береговъ Англіи доходитъ до $3^1/_2$ ф., и потому неудивительно, что со времени римскаго владычества нѣкоторыя мѣстности, напр., въ графствѣ Гудунна отступили на 6 верстъ и превратились въ обширныя мели. По вычисленіямъ Маршаля, масса ежегодно размываемыхъ породъ по берегамъ Ламанша составляетъ около 350.000.000 куб. ф. Также значительны результаты размытія по берегамъ Па-де-кале, который постоянно расширяется; по наблюденіямъ Томе де-Гамона, утесъ Гринэ (Grisnez) отступаетъ на $82^1/_2$ ф. въ столѣтіе. Если бы процессъ размытія совершался съ такою же быстротою и раньше и берегъ не испы-

тывалъ бы положительныхъ или отрицательныхъ движеній, то, по словамъ Реклю, возможно бы было заключить, что перешеекъ, соединявшій Англію съ материкомъ, былъ прорванъ волнами за 60.000 лѣтъ до нашего времени. Указанныя цифры слѣдуетъ считать однако преувеличенными; такъ Lennier *) оцѣниваетъ отступаніе обрывовъ (falaise) Гавра въ 0,20 м.—0,25 въ годъ; для береговъ Іоркшира считаютъ наиболѣе вѣроятнымъ 0,125 м. въ годъ. Глыбы, оторванныя отъ береговъ, постепенно



Фиг. 371. — Островъ Боркумъ въ 1738 году.

перетираются, измельчаются, переносятся теченіями въ Сѣверное море и отлагаются въ видѣ ила или песка, образуя многочисленныя банки или прибрежныя мели на берегахъ Фландріи, Голландіи, Восточной Англіи и пр., такъ что польдеры Голландіи, болота Норфолька и Линкольнъ-шейра происходятъ на счетъ разрушенія береговъ Ламанша и Па-де-Кале. Такъ какъ обвалившіяся глыбы защищаютъ берегъ отъ дальнѣйшаго размытія, особенно если состоятъ изъ твердыхъ породъ, то на-



Фиг. 372. — Островъ Боркумъ въ 1825 году.

сильно убывающихъ берегахъ ихъ производятъ искусственно для замедленія или предохраненія отъ размыва; такъ, англичане, чтобы спасти знаменитый мѣловой мысъ Шекспира, въ Англіи, энергично подмывавшійся волнами, взорвали верхнюю часть утеса: оторвавшіяся глыбы образовали прибрежную плотину, которая защищаетъ утесъ отъ размыва.

Еще очевиднѣе размывающее дѣйствіе волнъ на нѣкоторыхъ островахъ, напр. на островѣ Гельголандъ (Святая земля; древнее имя его—по словамъ Реклю—Галлигландъ, т. е. земля съ мелями, затопляемыми моремъ), по словамъ К. Миллера [23]), еще въ 1072 г. имѣлъ 900 кв. вер. и славился пловородіемъ, но въ настоящее время

*) Lapparent, Traité etc., 1900, стр. 238.

представляетъ однюкую треугольную скалу съ отвѣсными склонами, состоящую изъ краснаго песчаника, бѣдную пастбищами и не болѣе 2 верстъ длиною, 280 саж. шириною. Благодаря рыхлости песчаника и однородности сложенія его, размытіе идетъ быстро и размытый матеріалъ, превращаясь въ мелкій песокъ, не образуетъ предохранительнаго каменнаго вала, а только песчаныя мели, которыя при выступаніи изъ воды обусловливаютъ происхожденіе дюнъ. На прилагаемой карточкѣ острова Гельголанда [24]) (фиг. 370) штрихи обозначаютъ современные контуры его, а пунктирныя линіи и цифры — глубины въ метрахъ; восточнѣе острова находятся мели, превратившіяся уже въ дюны.

Островъ Боркумъ также значительно уменьшился въ объемѣ въ теченіе менѣе одного столѣтія, какъ видно изъ сравненія его очертаній въ 1738 г. (фиг. 371) и въ 1825 г. (фиг. 372). Островъ Нордстрандъ съ начала XVII стол. уменьшился на $^{11}/_{12}$ своей поверхности, и изъ 24 острововъ, которыми онъ былъ окруженъ 300 лѣтъ тому назадъ, осталось всего одиннадцать; на мѣстѣ центра бывшаго острова въ настоящее время глубина 46 ф. О-въ Ціа у береговъ Эвбеи (500 стадій или 90,5 кил. длиною, по Страбону) уменьшился на $^1/_5$ часть, по Кольду.

Такія же примѣры наблюдаются и на другихъ материкахъ, напр. восточный берегъ Америки ежегодно убываетъ на девять футъ и пр., но въ Европѣ они лучше изучены.

Плоскіе берега также подвергаются размыванію моремъ, какъ это доказываетъ исторія нѣмецкихъ и англійскихъ береговъ Нѣмецкаго моря, но прибой проявляетъ здѣсь свою разрушающую силу не постоянно, а когда море затопляетъ обширныя пространства; напр., на низменныхъ берегахъ Голландіи, Фрисландіи, Шлезвига и Ютландіи, гдѣ вѣроятно главная причина кроется въ положительномъ движеніи этихъ береговъ, доказанномъ для многихъ изъ нихъ. Въ послѣднія шестнадцать столѣтій населеніе этихъ береговъ нерѣдко страдало отъ страшныхъ наводненій, отъ которыхъ гибли сотни тысячъ народа. Около половины XII ст. наводненіе превратило озеро Флево въ заливъ, который въ 1225 г. значительно увеличился и образовалъ обширный Зюдерзее. Въ 1277 г. увеличился заливъ Доллартъ и пр. Въ 1825 г. море прорвало весь полуостровъ Ютландію проливомъ Лимфіордъ *).

На плоскихъ берегахъ механическая работа моря существенно измѣняетъ свой характеръ изъ разрушительной въ созидающую.

в) Разрушеніе, производимое приливными теченіями.

Измѣненія береговъ, вызываемыя приливными теченіями, гораздо слабѣе, чѣмъ разрушеніе дѣйствіемъ прибоя, но имѣютъ большое геологическое значеніе. При разсмотрѣніи дѣйствія прибоя мы принимали во вниманіе приливы только, какъ факторъ, измѣняющій уровень воды; но приливы и отливы вызываютъ около береговъ поперемѣнныя теченія, которыя достигаютъ между островами, въ каналахъ, въ устьяхъ рѣкъ значительной силы. Водныя частицы при этихъ движеніяхъ движутся почти одновременно и съ одинаковой силой отъ поверхности до дна, такъ какъ длина приливной волны во много тысячъ разъ превосходитъ глубину воды. Эрозіонная сила этихъ волнъ должна быть значительна и дѣйствуетъ, соотвѣтственно характеру движенія, линейно, а не поверхностно, какъ прибой **).

Сила размыва приливной волны по мнѣнію Крюммеля прямо пропорціональна разницѣ высоты прилива и отлива и обратно пропор-

*) Подробнѣе, въ особ. мѣры борьбы, см. Gerhardt, Handbuch des deutschen Dünenbaues, 1900.

**) Krümmel. Ueber Erosion durch Gezeitenströme, Peterm. Mitt., 1889, B. 35, H. VI.

ціальна корню квадратному изъ глубины. На окончательное выраженіе скорости, возбуждаемаго при этомъ, теченія оказываетъ вліяніе и ширина потока; окончательное выраженіе Крюммель даетъ въ видѣ $v = CH\sqrt{B}$, гдѣ v — скорость въ метрахъ въ $1''$, H — вся высота прилива, B — ширина потока, а C—постоянная величина, опредѣляемая наблюденіями и зависящая отъ глубины.

Скорость такихъ приливо-отливныхъ волнъ, напр., около С.-Малё измѣряется 6—7 узлами; около Оркадскихъ острововъ—8—9 узловъ, а въ проливѣ Пентлендскомъ между этими островами и Шотландіей до 11 узловъ. Скорость въ 10 узловъ соотвѣтствуетъ скорости въ 5 метр. въ секунду; такія теченія должны оказывать уже значительный механическій эффектъ и именно на глубинѣ.

Въ заливѣ Фунди (отдѣл. Новую Шотландію, С. Америка), знаменитомъ высотою приливовъ есть протоки, напр., Паррсборо, гдѣ теченіе въ 7—8 узловъ захватываетъ глубины до 70—100 метровъ и болѣе; въ то время какъ большая часть залива имѣетъ дно илистое и галечниковое, такіе проходы имѣютъ дно и берега изъ твердыхъ породъ. По мнѣнію Крюммеля именно теченіе препятствуетъ отложенію здѣсь наносовъ, также какъ и въ Пентлендскомъ проливѣ. Повидимому теченія работаютъ надъ совершеннымъ отдѣленіемъ Новой Шотландіи; перешеекъ между Саквиллемъ и Зеленой бухтой имѣетъ уже только 20 кл. ширины. Подобное явленіе ясно обнаруживается около береговъ Фрисландіи и Шлезвига, гдѣ мелководное пространство, такъ называемое Wettenmeere, ежедневно дважды во время отлива осушающееся на значительныхъ пространствахъ, перерѣзано цѣлой системой каналовъ (Gezeitenkolke или wadden, watterringhes) глубиной часто до 32—34 м. (напр., каналъ List къ сѣверу отъ о-ва Сильта), т. е. такой глубины, которая въ Нѣмецкомъ морѣ дальше встрѣчается только въ разстояніи 60 кл. отъ берега. Такія изолированныя углубленія англійскіе моряки называютъ — pits, а нѣмецкіе — Kulen. Происхожденіе такихъ каналовъ и углубленій объясняютъ размываніемъ приливо-отливными теченіями.

Карты глубинъ около береговъ, подвергающихся еще усиленному разрушенію прибоемъ, показываютъ сильную расчлененность подводной части берега приблизительно до глубинъ около 20 м., напр., около береговъ Бретани, гдѣ приливы имѣютъ также значительную высоту. Эта расчлененность обнаруживается прихотливымъ положеніемъ батиметрическихъ кривыхъ, которыя глубже располагаются все болѣе правильно. Лаппаранъ *), опираясь на эти факты считаетъ, что дѣятельность приливныхъ теченій и вообще разрушающая дѣятельность моря не можетъ обнаруживаться глубже 20—30 м., въ направленіи перпендикулярномъ къ берегу. Приливныя теченія, направленныя вдоль берега, могутъ производить размываніе значительно глубже, до 100 м. и можетъ быть больше.

Вѣроятно, что Ламаншъ, на днѣ котораго не отлагается въ настоящее время никакихъ образованій, есть слѣдствіе механической работы приливныхъ теченій въ сочетаніи съ работой прибоя.

Работа приливо-отливныхъ теченій производитъ каналы достаточной

*) Leçons de Géogr. phys., 1898, стр. 269—271.

глубины и во всѣхъ эстуаріяхъ; отливное теченіе болѣе сильное вслѣдствіе вліянія рѣки, выноситъ осадки, отлагаемые во время прилива вслѣдствіе прекращенія теченія рѣки, препятствуя образованію дельты (Темза, Эльба, Обь, Енисей).

Во всякомъ случаѣ механическая работа приливныхъ теченій представляетъ явленіе ограниченное, и если мы встрѣчаемъ подводное продолженіе въ море долинъ, занимаемыхъ теперь слабыми потоками, то скорѣе всего нужно искать причину образованія такихъ долинъ въ размывающей работѣ проточной воды въ предшествующую геологическую эпоху. Именно такой случай представляютъ фіорды, о которыхъ мы скажемъ подробнѣе дальше, а также многочисленныя подводныя долины, напр., при устьи Конго, р. Св. Лаврентія, Понтріе (Pontrieux) въ Бретани или извѣстный каналъ Fosse du cap Breton въ Бискайскомъ заливѣ *). Интересно было бы въ этомъ отношеніи изслѣдованіе канала около мыса Гамова въ заливѣ Петра Великаго въ Японскомъ морѣ; Макаровъ **), открывшій это углубленіе, врѣзывающееся глубинами въ 200 саж. въ ровную покатость глубиною въ 50 саж., высказывалъ предположеніе о происхожденіи его вліяніемъ теченій.

Намываніе.

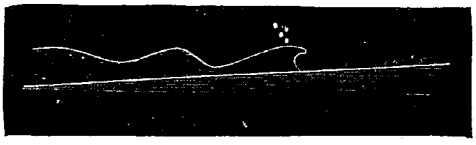
Разрушительная дѣятельность моря съ перваго взгляда кажется преобладающею, но на самомъ дѣлѣ, какъ уже замѣчено выше, она составляетъ только часть работы волнъ; другая же часть заключается въ созиданіи. Процессъ созиданія начинается на самомъ мѣстѣ разрушенія, а потому каждая волна исполняетъ двойную работу: подтачивая скалистые выступы, она уноситъ обломки и тотчасъ же отлагаетъ ихъ на сосѣднихъ берегахъ; въ одно и то же время она заставляетъ мысъ отступать внутрь материка и выдвигаетъ берега бухты въ море или, все равно, срываетъ выступы суши и отдѣляетъ или засыпаетъ бухты. Благодаря такой двоякой дѣятельности прибоя, береговая линія постепенно измѣняется; каковы бы ни были первоначальныя ея очертанія, мало-по-малу она стремится пріобрѣсти нормальную форму, состоящую изъ ряда углубленій съ незначительною вогнутостью, перемежающихся съ такими же плоскими выступами; кривую эту сравниваютъ съ слабо натянутою цѣпью, поддерживаемою на нѣкоторыхъ разстояніяхъ; изгибы ея соотвѣтствуютъ изгибамъ волнъ, которыя, созидая подобные берега, какъ бы отпечатлѣваютъ на нихъ правильность своихъ очертаній. Чѣмъ глубже первоначальный заливъ, тѣмъ бо́льшую изогнутость принимаютъ волны при движеніи въ немъ и тѣмъ значительнѣе изгибъ береговой линіи — и наоборотъ. Кривая эта представляетъ наибольшее сопротивленіе ударамъ волнъ, и потому Эли де-Бомонъ назвалъ ее кривою наибольшей устойчивости. Такъ какъ она главнымъ образомъ, свойственна берегамъ, на которыхъ происходитъ созиданіе или новыя отложенія, то поэтому берега съ очертаніемъ кривой наибольшей устойчивости, въ противоположность разрушающимся, можно назвать намывными берегами (plage, strand).

---

*) Penck, Morphologie der Erdoberfläche, II, стр. 618—620.
**) „Витязь“, стр. 160—161.

Они имѣютъ обширное развитіе, особенно въ моряхъ съ незначительными приливами, и способствуютъ возрожденію морскихъ дюнъ, какъ это уже указано въ главѣ II.

Чтобы выяснить образованіе намывныхъ береговъ и вмѣстѣ съ тѣмъ опредѣлить характеръ и форму волноприбойныхъ отложеній, разсмотримъ подробнѣе самый процессъ намыванія. Наблюдая прибой во время сильнаго волненія, не трудно замѣтить, что за движеніемъ волнъ слѣдуютъ и рыхлые продукты разрушенія, тѣмъ крупнѣе, чѣмъ сильнѣе прибой. Волны, одна за другой набѣгая на берегъ, постепенно воздымаются по мѣрѣ приближенія къ нему и на нѣкоторой опредѣленной линіи вспѣниваются и опрокидываются (фиг. 373), а масса воды, составлявшая волну, пріобрѣтаетъ поступательное движеніе и несется болѣе или менѣе толстымъ слоемъ впередъ и вверхъ, взбираясь на полого-поднимающійся берегъ; при такомъ подъемѣ, очевидно, движеніе воды постепенно замедляется и, наконецъ, совершенно прекратится, когда энергія надвигающагося слоя израсходуется на преодолѣніе сопротивленія самаго берега, на треніе о его поверхность, на противодѣйствіе воздуха и собственной тяжести. Достигнувъ извѣстной границы, наступающій водяной слой на мгновеніе останавливается и, затѣмъ, подчиняясь дѣйствію тяжести, получаетъ обратное, постепенно ускоряющееся движеніе, т. е. сливается съ пологаго склона къ подножію слѣдующей наступающей волны, образуя такъ называемое отливное теченіе, существованіе котораго доказывается не только наблюденіями, но и прямыми опытами Гагена [25]). Отливное теченіе, вначалѣ тихое, достигаетъ въ концѣ значительной скорости и тѣмъ большей, чѣмъ круче наклонъ берега. Очевидно, что при существованіи двухъ противоположныхъ теченій количество намываемаго матеріала будетъ зависѣть отъ отношенія скоростей обоихъ теченій; при равномѣрности ихъ песчинки и гальки, слѣдуя за движеніемъ воды, будутъ катиться вверхъ и внизъ; на крутыхъ склонахъ, гдѣ скорость отливного теченія превышаетъ скорость наступающей волны, будетъ преобладать смываніе, а на пологихъ берегахъ — наоборотъ — намываніе, потому что скорость отливного теченія меньше и оно не въ состояніи уносить обратно матеріалъ, приносимый наступающей водой. Наблюденія и опыты показываютъ, что этотъ послѣдній случай происходитъ преимущественно только на крайне пологихъ берегахъ, склонъ которыхъ составляетъ съ горизонтомъ уголъ отъ 2° до 10° въ зависимости отъ крупности отлагаемаго матеріала; чѣмъ мельче песокъ, тѣмъ меньше этотъ уголъ: такъ, для песка въ $^1/_2$ мм. діаметромъ онъ не превосходитъ 1°—2°, для песка до 1 мм. діаметромъ онъ доходитъ уже до 5°, а при крупномъ пескѣ въ 3 мм. углы доходятъ до 7°—$8^1/_2$°, при галькахъ—до 10°, а при валунахъ—до 20° и даже 35°. Гагенъ при своихъ опытахъ въ волнообразовательномъ аппаратѣ получилъ устойчивый склонъ въ намывномъ пескѣ въ 5°42′. На подобныхъ берегахъ приливная волна имѣетъ еще ту характерную особенность [26]), что въ самой верхней части склона, куда



Фиг. 373.— Прибойная волна.

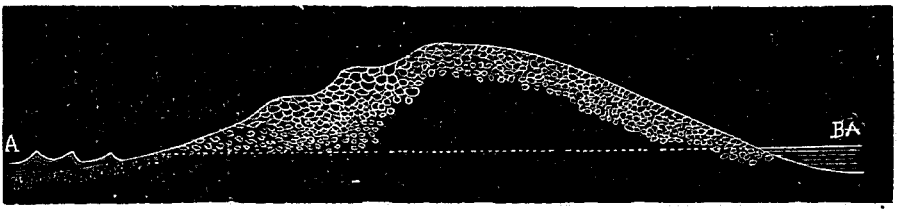
доносится послѣдній всплескъ набѣгающей волны, происходитъ моментальное всасываніе пескомъ воды, образующей тутъ, обыкновенно, тонкій слой, такъ что отливное теченіе начинается не отъ той линіи, до которой доходитъ вода при поступательномъ движеніи, но немного отступя. Полоса, гдѣ происходитъ всасываніе, легко опредѣляется по матовой поверхности тускнѣющаго песка; ширина ея весьма разнообразна и находится въ зависимости отъ наклона берега и силы волненія; г. Соколовъ, при сильныхъ буряхъ на берегахъ Балтійскаго моря, наблюдалъ ширину ея до сажени и болѣе. На этой-то полосѣ, не имѣющей отливнаго теченія, разумѣется, могутъ отлагаться не только крупныя гальки, но и самыя мелкія песчинки; впрочемъ, болѣе крупный гравій можетъ осаждаться по склону и нѣсколько ниже той линіи, откуда начинается отливное теченіе, такъ какъ вначалѣ оно имѣетъ незначительную скорость.

Этимъ объясняется также замѣчательная сортировка намывнаго песка различной крупности и состава, какъ на берегахъ морей, такъ и озеръ, напр. на берегахъ Иссыкъ-Куля въ Тянь-шанѣ [27]). На берегахъ Иссыкъ-куля мѣстами наблюдается пять полосъ, довольно рѣзко раздѣляющихся между собою по крупности песка и галекъ, а верхнія двѣ хотя состоятъ изъ песка одинаковой крупности, но разнаго состава: самая верхняя—изъ кварцеваго песка, а слѣдующая за ней—изъ зеренъ чистаго магнитнаго желѣзняка; мѣстами онъ достигаетъ такого развитія, что магнитно-желѣзный песокъ эксплуатируется какъ богатая желѣзная руда; выработанныя мѣста послѣ ряда бурь снова возобновляются, такъ что мѣсторожденія эти, хотя на первый взглядъ и небольшія, тѣмъ не менѣе могутъ удовлетворять мѣстныя потребности.

Благодаря такой естественной сортировкѣ можетъ произойти скопленіе, напр., золота при переработкѣ дѣйствіемъ прибоя первоначально слабо золотосодержащихъ образованій прибрежной полосы, напр., на берегахъ Аляски (знаменитое Номе), Орегона, Калифорніи, Нов. Зеландіи.

Вслѣдствіе разной крупности отлагающихся осадковъ, наклонъ въ разныхъ мѣстахъ одного и того же склона нѣсколько измѣняется. Но вообще въ природѣ намывные берега тѣмъ положе, чѣмъ сильнѣе прибой; а такъ какъ сила его измѣняется въ зависимости отъ силы вѣтра, то и наклонъ намывного берега варьируетъ въ небольшихъ предѣлахъ. Результатомъ намыва, производимаго прибоемъ волнъ на плоскихъ берегахъ, появляется слой изъ песка, галекъ или валуновъ, утолщающійся кверху и оканчивающійся (см. фиг. 360—361 на стр. 562) выше уровня воды небольшою, болѣе или менѣе правильною грядою, которую обыкновенно называютъ береговымъ валомъ (Cordon littoral). Береговые валы тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе волненіе, образующее ихъ; на пологомъ склонѣ большого берегового вала нерѣдко налегаютъ маленькія, второстепенныя грядки, соотвѣтствующія болѣе слабымъ волненіямъ; наименьшая изъ нихъ находится въ самой нижней части склона и соотвѣтствуетъ самому слабому волненію. Совокупность грядокъ придаетъ намывному берегу ступенчатый видъ. Склонъ берегового вала, обращенный къ морю, имѣетъ небольшую вогнутость, которая повторяется и на второстепенныхъ грядахъ, какъ это наблюдалъ г. Соколовъ, на небольшихъ валахъ, состоящихъ изъ мелкаго песка близъ Дубковъ въ Финскомъ заливѣ. Ступенчатость и вогнутость свойственны не только песчанымъ валамъ, но и состоящимъ изъ галекъ и даже крупныхъ валуновъ, какъ это доказываютъ образованія на Крымскихъ берегахъ Чернаго моря, гдѣ, напр., между оз. Саки и г. Евпаторіею береговой валъ со ступенчатымъ и вогнутымъ пологимъ склономъ состоитъ изъ

весьма разнообразныхъ матеріаловъ: мелкаго и крупнаго песка, гравія съ орѣхъ величиною, округленныхъ галекъ до 15 стм. въ діаметрѣ и различныхъ черноморскихъ раковинъ—отъ нѣжныхъ Hydrobia, Dreissensia до большихъ и толстыхъ Cardium и Ostrea. На южномъ берегу Крыма, по изслѣдованіямъ проф. Леваковскаго [28]), береговыя накопленія состоятъ изъ крупныхъ валуновъ кварца, песчаника, различныхъ сланцевъ, известняковъ и кристаллическихъ породъ. Величина и характеръ ихъ измѣняются по простиранію берега и иногда на небольшихъ разстояніяхъ, напр. въ Ялтѣ, они мельче, нежели у мыса Св. Іоанна, также у Оріанды и проч. Кромѣ того, даже въ одномъ и томъ же мѣстѣ валуны имѣютъ неодинаковую крупность въ различныхъ разстояніяхъ отъ берега. Они образуютъ нѣсколько уступовъ различной ширины и высоты, оканчивающихся скатомъ съ вогнутою поверхностью. Наиболѣе крупные валуны, до 8 п. вѣсомъ, попадаются на самомъ верхнемъ уступѣ, соотвѣтствующемъ наиболѣе сильнымъ волненіямъ въ большія бури (см. рис. 366 на стр. 565); по мѣрѣ приближенія къ



Фиг. 374.— Разрѣзъ берегового вала въ бухтѣ Одіернъ. *A*—средній уровень моря. *B*—береговое озеро. Уступы склона соотвѣтствуютъ высшему и низшему приливу.

уровню моря, во время тихой погоды, величина ихъ уменьшается; но далѣе отъ берега въ глубь моря камни снова увеличиваются и притомъ до такихъ громадныхъ размѣровъ, какихъ не бываетъ на сушѣ. Число, положеніе и направленіе уступовъ берегового вала, находясь въ зависимости отъ силы волненія, подвержены частымъ измѣненіямъ. Въ открытыхъ океанахъ, съ правильными приливами и отливами, различные уступы, соотвѣтствующіе высотѣ наибольшихъ и наименьшихъ приливовъ, являются болѣе постоянными и рѣзче обособленными, даже въ береговыхъ валахъ, состоящихъ изъ крупныхъ галекъ, напр. на берегахъ Атлантическаго океана въ бухтѣ Одіернъ (фиг. 374).

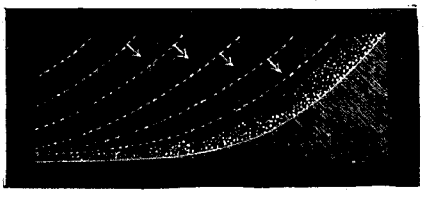
Петрографическій характеръ намывныхъ береговыхъ отложеній чрезвычайно разнообразенъ и измѣняется съ измѣненіемъ геологическаго состава береговъ, а также съ характеромъ движенія морской воды. Если берегъ состоитъ изъ разнородныхъ породъ—твердыхъ и мягкихъ, то болѣе крупный матеріалъ—валуны, гальки изъ твердыхъ породъ и крупныя раковины—слагаютъ собственно гребень берегового вала, тогда какъ на пологомъ склонѣ его и особенно въ полосѣ всасыванія залегаютъ и нѣжныя раковины или ихъ осколки, и мелкій песокъ, зерна котораго, впрочемъ, не менѣе 0,1 м. въ діаметрѣ. Первыя представляютъ безпорядочныя накопленія, безъ всякихъ признаковъ слоистости на подобіе осыпей горныхъ склоновъ; вторыя же обладаютъ нѣкоторою слоистостью въ родѣ рѣчныхъ осадковъ, а поверхность ихъ покрыта песчаною рябью. При составѣ берега изъ какихъ-либо однородныхъ слабыхъ породъ намывной берегъ состоитъ изъ болѣе или менѣе однороднаго песка, и, какъ выше замѣчено, въ этомъ случаѣ береговой валъ не достигаетъ большой высоты. Хотя песокъ намывного берега преимущественно кварцевой, тѣмъ не менѣе въ нѣкоторыхъ мѣстахъ попадаются и другіе минералы, какъ то: гранатъ, магнитный желѣзнякъ, оловянный камень, пиритъ и др., напр., на плажѣ Виссана въ Па-де-Калѣ скопляется

въ большомъ количествѣ пиритъ; у Пулэна замѣчательный песокъ состоитъ изъ граната, корунда, и кварца; на берегахъ Нормандіи и Пикардіи преобладаетъ аморфный кремнеземъ; на Иссыкъ-кулѣ—магнитный желѣзнякъ. Наконецъ въ нѣкоторыхъ мѣстахъ получается известковый песокъ и даже илъ, напр. у Олерона, у острова Ре зеленовато-сѣрый илъ, называемый terre de Bri, состоитъ изъ глины, песка и до 10% известковыхъ обломковъ раковинъ. На берегахъ Бретани въ намывныхъ отложеніяхъ участвуютъ водоросли нуллипоры, которыя даютъ известковый maërl, употребляющійся на удобреніе полей. Примѣсь осколковъ раковинъ даетъ осадокъ, наз. въ Бретани tгаёz; илъ съ большимъ количествомъ діатомей, также играющій большую роль въ удобреніи, называется tangue [29]). Въ губѣ Болье у Ниццы морскія водоросли образуютъ массы отъ 10 до 13 ф. мощностью. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ намывныя береговыя отложенія, при дѣйствіи воды, содержащей въ растворѣ углекислый кальцій, цементируются и превращаются въ твердую породу: песчаникъ или конгломератъ, напр. у Роіана на Атлантическомъ берегу Франціи, у Гельзингера, гдѣ въ известковыхъ отложеніяхъ попадаются старинныя датскія монеты, у главнаго устья Роны, на сѣверныхъ берегахъ Сициліи, на Аравійскомъ берегу Краснаго моря, но особенно на берегахъ Антильскаго моря въ Гваделупѣ, гдѣ известковый туфъ побережья до того плотенъ, что разрабатывается, какъ строительный матеріалъ. Онъ растетъ весьма быстро, такъ сказать подъ руками рабочихъ, и потому названъ ими «Божьими камнями». На островѣ Вознесенія Дарвинъ наблюдалъ известковые конгломераты, не уступающіе по удѣльному вѣсу каррарскому мрамору. Однако большею частью отложенія эти остаются рыхлыми и, развѣваясь вѣтромъ, производятъ дюны, причемъ собственно береговые валы или скрываются подъ летучимъ пескомъ, или же совершенно уничтожаются. Къ такимъ же образованіямъ относятся магнезіальные известняки на берегахъ Средиземнаго и Адріатическаго морей, такъ называемые пелагозиты (Pélagosite).

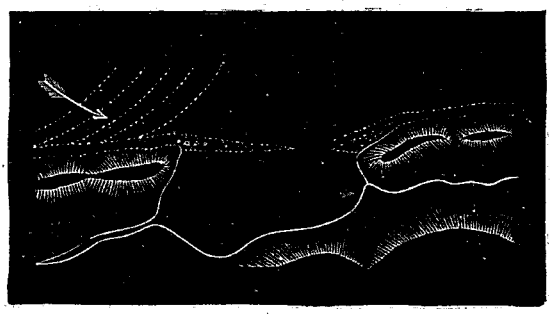
Высота намывныхъ отложеній надъ уровнемъ моря весьма небольшая и зависитъ отъ высоты волнъ прибоя и отъ крупности матеріала. На берегахъ Балтійскаго моря наибольшая высота даже береговыхъ валовъ не превосходитъ $1^1/_2$ м. надъ поверхностью берега и $2^1/_2$ м. надъ уровнемъ моря; при этомъ, чѣмъ мельче матеріалъ, слагающій ихъ, тѣмъ высота меньше; напр. у г. Либавы, гдѣ намызной песокъ около 0,2 мм. въ діаметрѣ, высота береговыхъ валовъ менѣе $^1/_2$ м., а въ сильныя бури совсѣмъ сглаживается. На берегахъ Антлантическаго океана песчаные береговые валы также невысоки, но валы, состоящіе изъ галекъ и крупныхъ валуновъ, достигаютъ 5 м. высоты со склонами въ 25° (см. фиг. 374).

Ширина намывного берега зависитъ, главнымъ образомъ, отъ отношенія направленія надвигающихся волнъ и простиранія берега. Если волны набѣгаютъ перпендикулярно къ берегу, то намывная полоса получается шире, нежели въ томъ случаѣ, когда онѣ ударяютъ подъ какимъ-либо острымъ угломъ. Если же волны идутъ параллельно берегу, то намыванія почти не происходитъ, а минеральный матеріалъ движется вдоль берега до тѣхъ поръ, пока не встрѣтитъ благопріятный для отложенія берегъ. Такъ какъ простираніе берега и направленіе волнъ разнообразно измѣняются, особенно на извилистыхъ берегахъ, то, очевидно, ширина намывного берега весьма непостоянна и измѣняется на небольшихъ разстояніяхъ. Положимъ, что волны набѣгаютъ на берегъ подъ косымъ угломъ, то, очевидно, сила ихъ при ударѣ о берегъ раздѣлится на двѣ, изъ которыхъ одна перпендикулярна къ берегу, а другая параллельна; первая производитъ намываніе, а вторая двигаетъ наносъ вдоль берега; чѣмъ уголъ острѣе, т.-е. чѣмъ волна ближе къ параллельному положенію, тѣмъ въ данномъ мѣстѣ меньше будетъ отлагаться и, напротивъ, больше переноситься, и наоборотъ; поэтому на одномъ и томъ же берегу, простираніе котораго измѣняется, получится

намывная полоса неодинаковой ширины; въ тѣхъ мѣстахъ она будетъ шире, гдѣ волны будутъ ближе къ направленію перпендикулярному къ берегу — и наоборотъ. При постепенномъ переходѣ параллельнаго направленія къ перпендикулярному, напр. на плосковогнутыхъ берегахъ намывная полоса будетъ постепенно изъ узкой переходить въ широкую, т.-е. расширяется отъ перваго ко второму, гдѣ и достигаетъ наибольшей ширины (фиг. 375). Если берегъ сильно иззубренъ, имѣетъ много вдающихся въ материкъ бухтъ, то при надвиганіи волнъ сила ихъ претерпѣваетъ значительное ослабленіе при встрѣчѣ со спокойными бассейнами бухтъ; вслѣдствіе этого наносъ, передвигаемый вдоль берега или прямо надвигаемый на берегъ въ мѣстахъ ослабленія или уменьшенія силы волнъ, будетъ обильно отлагаться на границѣ встрѣчи волнъ съ бухтою, на подобіе того, какъ это происходитъ при замедленіи теченія въ потокахъ при впаденіи ихъ въ озеро или море. Результатомъ этого процесса съ одного или двухъ краевъ бухты (фиг. 376) выдвигаются низкія намывныя косы, представляющія настоящія жетэ, свободные концы которыхъ постепенно сближаются. Сомкнувшись на



Фиг. 375.



Фиг. 376. — Образованіе намывныхъ косъ.

полдорогѣ между двумя мысами, ограничивающими бухту, косы эти сливаются въ одну большую дугу круга, обращенную вогнутою стороною къ морю, а выпуклою—къ старому берегу бухты. Эти песчаныя косы, отдѣляющія бухты и превращающія ихъ въ лагуны, называютъ плотинами, нерунгами, лидо, а у насъ—стрѣлками и пересыпями на (сѣверѣ кошками). Въ сущности, онѣ представляютъ тѣже береговые валы и имѣютъ тѣ же особенности, которыя описаны выше. Большею частью онѣ состоятъ изъ мелкаго песка, но бываютъ сложены также изъ гравія, галекъ и даже валуновъ, напр. валъ изъ гравія въ бухтѣ Одіернъ на Атлантическомъ берегу (фиг. 374), въ которомъ на пологомъ склонѣ находятся уступы, соотвѣтствующіе наибольшему и наименьшему приливу. Свободно выступающія въ море косы называютъ Haken (загибы) или пойнтъ (point, остріе); подъ уровнемъ моря онѣ часто продолжаются въ видѣ плоскихъ банокъ (shoals), очень опасныхъ для судовъ, огибающихъ такія косы.

Всѣ песчаныя стрѣлки, какъ и вообще намывные берега, отличаются геометрически правильными очертаніями; форма ихъ, говоритъ Реклю [30]), служитъ, такъ сказать, наглядным изображеніемъ законовъ распространенія волнъ.

Нужно замѣтить, что образованіе лагунъ, слѣдовательно, береговыхъ валовъ, выдвинутыхъ значительно впереди стараго берега, замѣчается обы-

кновенно тамъ, гдѣ приливы сравнительно невелики или вовсе отсутствуютъ; напр. въ Балтійскомъ морѣ, Средиземномъ или въ Мексиканскомъ заливѣ; даже въ Голландіи высота прилива не болѣе 2 метровъ. Это и понятно, ибо береговой валъ только изъ песка представляетъ недостаточно прочное сооруженіе, чтобы выдерживать натискъ моря далеко впереди стараго берега.

Наиболѣе характерной чертой береговыхъ валовъ является, что они служатъ границей между областью собственно моря, окаймляемаго, разъ возникъ береговой валъ, уже линіями прямыми или плоскими дугами, и областью стараго расчлененнаго берега. Это пространство сзади береговыхъ валовъ, остаются ли тамъ лагуны (какъ, напр., Фришъ-Гафъ и Куришъ-Гафъ) или такъ называемыя étang (какъ въ Ландахъ), рано или поздно становится твердой землей. Всѣ болѣе значительныя лагуны представляютъ устья рѣкъ; слѣдовательно, значительная часть матеріала, выносимаго такими рѣками должна отлагаться уже сзади пересыпей или нерунговъ, т. е. въ лагунахъ и постепенно заполнять ихъ. Медленнѣе идетъ заполненіе озеръ, étang, сзади линіи береговыхъ валовъ, такъ какъ въ такія озера не впадаютъ болѣе или менѣе значительныя рѣки. Часто такое заполненіе даже лагунъ происходитъ премущественно дюнными отложеніями, напр. въ Курляндіи или въ Англіи, гдѣ эстуарій р. Яръ (Yare) превратился при наступленіи дюнъ въ песчаное пространство съ множествомъ маленькихъ озеръ. Растительность, постепенно развивающаяся даже на площадяхъ, осушающихся во время отлива сзади берегового вала, напр. на берегахъ Фрисландіи, задерживаетъ все болѣе ила при каждомъ послѣдующемъ приливѣ; мѣсто повышается, такъ что обыкновенный приливъ уже не въ состояніи затоплять поверхность. Новые злаки и травы продолжаютъ повышать и укрѣплять почву, которую начинаютъ утилизировать сначала въ качествѣ луга, такъ называемыя heller, а затѣмъ, когда она вполнѣ уже защищена отъ моря береговымъ валомъ, ее превращаютъ въ плодородную пахотную почву, polder.

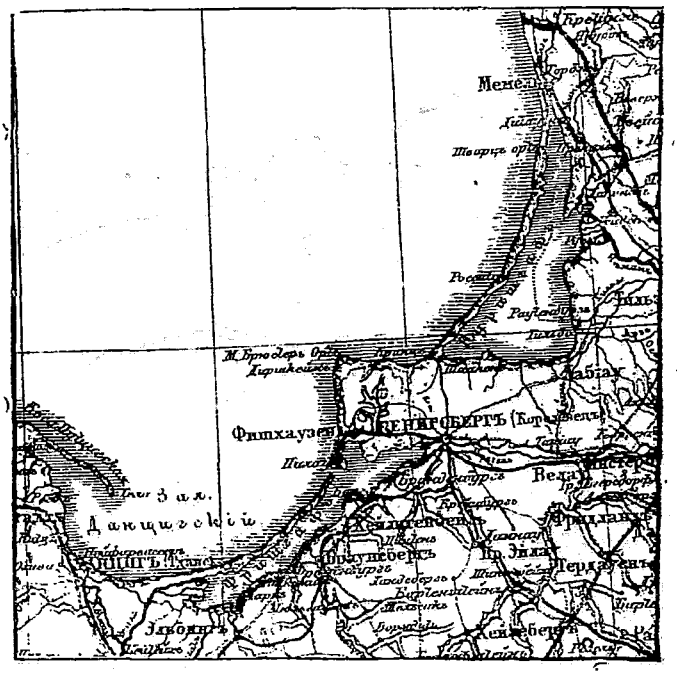
Въ другихъ случаяхъ сзади берегового вала развиваются торфяники, также постепенно повышающіе проверхность пространства, отнятаго отъ моря. Заилованіе луговъ (heller) отложеніями сосѣднихъ рѣкъ является средствомъ, одновременно повышающимъ и скрѣпляющимъ пространство. Каждый разливъ рѣки или даже внезапный прорывъ моря оставляютъ въ то же время и матеріалъ для послѣдующаго предотвращенія бѣдствія. Такіе естественные и искусственные процессы не могутъ, конечно, предотвратить бѣдствія, если страна испытываетъ вѣковое опусканіе; въ такихъ условіяхъ находились берега Голландіи, когда образовалось Зюдерзее, и повидимому находятся и теперь.

На германскомъ побережьи Нѣмецкаго моря старый берегъ, т. е. болѣе твердую землю называютъ геестъ (Geest), а ту часть берега, которая представляетъ незамѣтные переходы отъ суши къ морю (amphibische Bildung, земноводное образованіе, по Ратцелю), называютъ маршами. Каждый маршъ прежде былъ ваттомъ; въ направленіяхъ медленно текущихъ водъ марша часто можно признать прежніе извилистые каналы ватта.

Однако не всегда песчаныя стрѣлки представляютъ сплошныя плотины, а только тамъ, гдѣ отдѣляемая бухта не принимаетъ никакихъ материковыхъ потоковъ, напр.

Арабатская стрѣлка въ Крыму (см. фиг. 335) и отчасти Кара-бугазъ, стрѣлка котораго, вѣроятно, скоро замкнется (см. фиг. 333), также песчаныя стрѣлки, превратившіяся въ дюны на берегу французскихъ ландъ у Аркашона и Казо и пр. Во всѣхъ этихъ случаяхъ бухты отдѣленныя отъ моря, превращаются въ лагуны, нерѣдко передвигаемыя дюнами внутрь материка, въ соленыя озера, въ самосадочныя озера, въ солончаки и пр., словомъ—претерпѣваютъ измѣненія, описанныя выше (см. главу объ озерахъ—VI).

Въ тѣхъ же случаяхъ, когда внутренняя бухта принимаетъ въ себя одну или нѣсколько рѣкъ, то масса изливающейся въ нее воды естественно ищетъ себѣ выхода въ море и пробиваетъ пересыпь или стрѣлку въ томъ мѣстѣ, гдѣ послѣдняя представляетъ наименьшее сопротивленіе, чаще всего у одного изъ концовъ пересыпи, напр. Фришъ-Гафъ и Куришъ-гафъ на южномъ побережьѣ Балтійскаго моря, изъ которыхъ первый принимаетъ рр. Ногатъ, Прегель и мн. др., а второй—р. Нѣманъ и др., вслѣдствіе чего Фришъ-Нерунгъ и Куришъ-Нерунгъ (ф. 377) разорваны у своихъ сѣверо-восточныхъ концовъ. Въ странахъ, гдѣ два времени года—сухое и дождливое, большая часть прибрежныхъ лагунъ попеременно то разобщаются съ моремъ, то соединяются съ нимъ временными мелководными проливами; какъ только масса дождевой воды вытечетъ въ море, такъ тотчасъ же волны снова задѣлываютъ бреши въ пересыпи. Въ моряхъ съ приливами это явленіе совершается ежедневно, напр. песчаная стрѣлка, отдѣляющая р. Бидоссоа, впадающую въ Бискайскій заливъ на границѣ Испаніи съ Францією, во время прилива совершенно скрывается и сама рѣка съ бухтою превращается въ рукавъ моря въ 3—4 версты шириною; многіе ручьи, впадающіе въ Атлантическій океанъ, два раза въ сутки бываютъ рѣками и два раза болотами. Хотя рѣки пробиваютъ стрѣлки, но съ другой стороны тѣ же стрѣлки, какъ сказано, способствуютъ скорѣйшему заполненію бухты рѣчными осадками или превращенію ея сначала въ мелкое озеро, затѣмъ въ болото и наконецъ въ сушу, причемъ самая стрѣлка также соединяется съ материкомъ и образуетъ обыкновенно намывной берегъ, неразрывно соединяющійся съ дельтою или, лучше сказать, входящій въ составъ дельты, какъ увидимъ ниже.

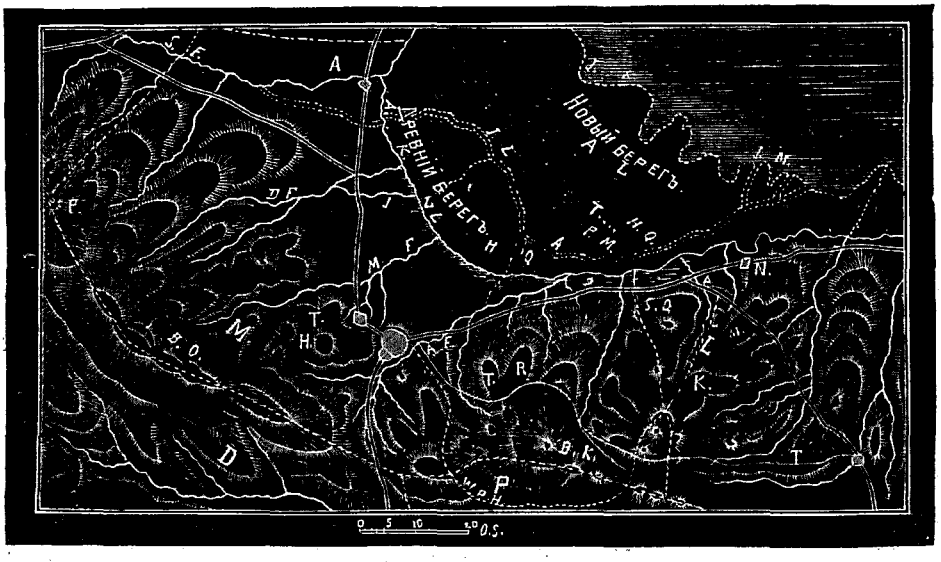


Фиг. 377.— Карта Фришъ-гафа и Куришъ-гафа.

Трудно судить о количествѣ выбрасываемаго волнами минеральнаго матеріала, такъ какъ въ этомъ отношеніи прямыхъ наблюденій весьма мало; тѣмъ не менѣе уже по нѣкоторымъ отдѣльнымъ фактамъ можно думать, что при благопріятныхъ условіяхъ даже одна буря въ состояніи выбросить на берегъ такое громадное количество галекъ, валуновъ и особенно песка, которое при обыкновенныхъ условіяхъ не наносится въ продолженіе года или даже нѣсколькихъ лѣтъ. Такъ, по словамъ Соколова.[31]), во время сильной бури въ Кронштадтскомъ заливѣ 27 августа 1879 г., плоскій сѣверный берегъ претерпѣлъ замѣтное измѣненіе. Во многихъ мѣстахъ на берегу, покрытомъ дерномъ, напр. между Лахтой и Лисьимъ Носомъ на протяженіи 9 верстъ образовался валъ изъ песка, галекъ и гравія около одного метра высотою надъ поверхностью берега и отъ 5 до 15 м. шириною у основанія. По мнѣнію Соколова, въ среднемъ выводѣ можно считать, что на каждый метръ протяженія берега было намыто до 8 куб. м. песку, слѣдовательно на весь берегъ около 80.000 куб. м. На западный берегъ Ют-

ландіи въ 1825 г., близъ Агера былъ намытъ валъ въ 3 м. высотою; въ продолженіе года на этотъ берегъ намывается 6 куб. м. на одинъ метръ протяженія берега. На берега Гаскони, по Бремонтье, намывается до 20 куб. м., а по Ловалю—25 куб. м. на 1 м. берега, а на весь берегъ Гасконн—до 6,000,000 куб. м.

При такомъ количествѣ намываемаго матеріала неудивительно быстрое возрастаніе и измѣненіе конфигураціи нѣкоторыхъ косъ, стрѣлокъ и береговъ. Такъ, мысъ Ферре во Франціи почти въ 60 лѣтъ (1768—1826), выдвинулся на 5 верстъ поперекъ канала, соединяющаго Аркашонскій бассейнъ съ моремъ; такъ что въ юго-восточномъ направленіи онъ удлинялся со среднею скоростью 283 ф. въ годъ или 8—10 дюймовъ въ сутки. Затѣмъ протокъ перемѣстился къ сѣверу и мысъ сталъ размываться, отступилъ на 1 версту 350 саж. и теперь стоитъ неподвижно; но если каналъ снова перемѣстится къ югу, то возрастаніе пойдетъ, вѣроятно, съ такою же быстротою. Этотъ примѣръ указываетъ, что возрастаніе косъ и стрѣлокъ происходитъ чрезвычайно неравномѣрно не только на разныхъ берегахъ, но даже на одномъ и томъ же берегу въ разные періоды. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ степень возрастанія и

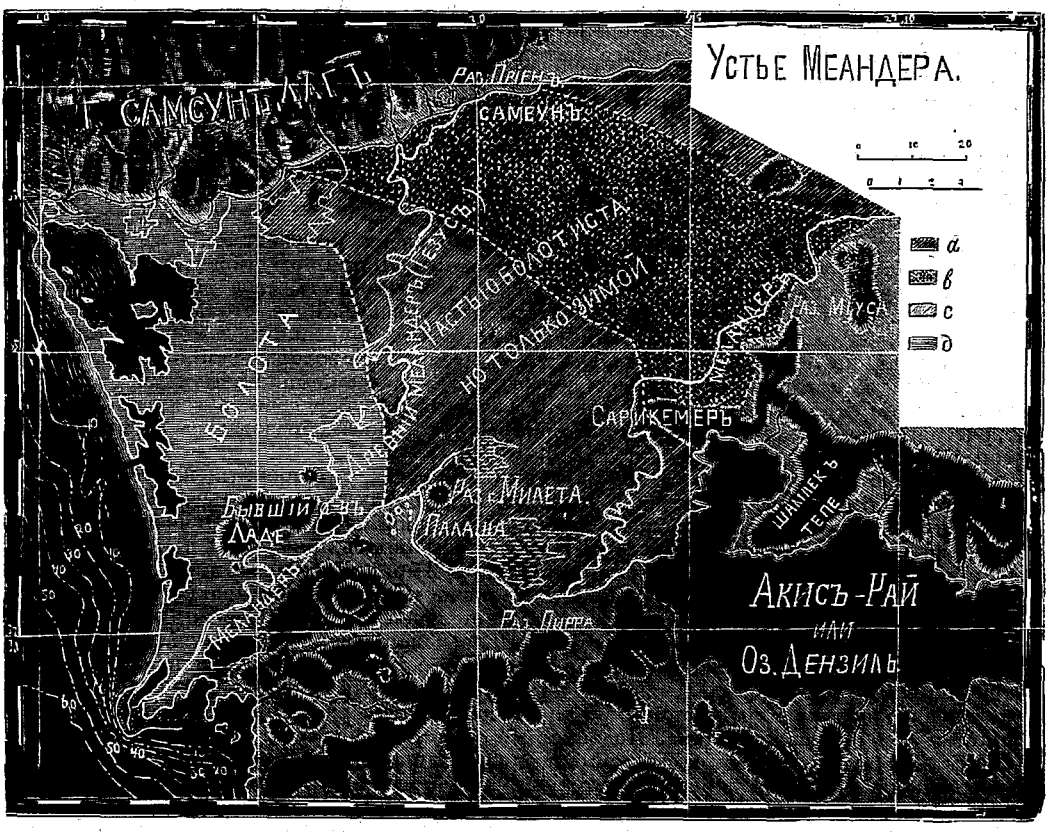


Фиг. 378. — Карта окрестностей Ѳермопилъ (*A*, *P*, *M*). *J*, *K*, *J*, *M*— современный берегъ Ламійскаго залива (Малійскій зал.). *A*, *K*, *L*— древній берегъ. *A*, *L*— намывная полоса. *S*, *F*— древняя р. Сперхей съ устьемъ у *A*. — *J*, *M*— современное устье р. Сперхея. *D*, *F*— р. Дирасъ. *M*, *F*— р. Меласъ. *A*, *F*—р. Азопусъ. *N*—Никея. *P*—гора Пира. *B*, *O*—горы Эта. *B*, *K*—гор. Каллидромосъ. *T*—Тарфа.

измѣненія намывныхъ береговъ, за недостаткомъ непосредственныхъ наблюденій, возможно опредѣлять по сравненію положеній, занимаемыхъ какими-либо исторически замѣчательными пунктами въ древнее и новѣйшее время. Прекрасный примѣръ въ этомъ отношеніи представляетъ знаменитый Ѳермопильскій проходъ, прославленный геройскою защитою благороднаго Леонида противъ полчищъ Ксеркса въ 480 г. до Р. Х. На прилагаемой карточкѣ (фиг. 378), заимствованной изъ сочиненія проф. Г. Ф. Герцберга [32]), показаны очертанія древней и современной береговой линіи Малійскаго или Ламійскаго залива вблизи Ѳермопильскаго прохода, а также всѣ измѣненія происшедшія съ 480 г. до Р. Х. въ направленіи береговыхъ рѣкъ, во главѣ съ р. Сперхей, отъ возрастанія намывного берега. Въ тѣ времена Ѳермопильскій проходъ, соединявшій долину Сперхея съ восточною Лакридою, представлялъ длинную и узкую полосу, мѣстами не болѣе одной колеи, т.-е. около 1 саж. шириною, тянувшуюся между болотистымъ побережьемъ Ламійскаго (Цейтунгъ) залива и крутыми, высокими скалами Каллидрома (горы Восточной Эты). Тогда какъ въ настоящее время, благодаря возрастанію намывного берега, Ѳермопилы отстоятъ отъ берега залива на 3700 м. Море отступило отъ горъ верстъ на 5, а мѣстами, напр. противъ старыхъ устій рр. Меласа и Дираса, болѣе чѣмъ на милю, такъ что средняя скорость возрастанія составляетъ почти три метра въ годъ. Вмѣстѣ съ увеличеніемъ намывного берега рѣки: Сперхей, Дирасъ (теперешняя Гиргопотамосъ), Меласъ (тепер. Мавра Нерія), Азопусъ (теперешняя Курьвинарія) и др. измѣнились и образовали одну систему

р. Сперхея, которая значительно удлинилась и перемѣнила свое устье, какъ видно на карточкѣ. Старое устье ея у Антикира въ настоящее время находится въ 12 верст. отъ моря. По мнѣнію К. Кольда [33]), площадь образовавшейся суши составляетъ около 136 кв. кил.; но такъ какъ большая часть ея покрыта болотами, то Кольдъ полагаетъ, что Ѳермопилы еще не совершенно утратили свое стратегическое значеніе.

Еще бо́льшія измѣненія, приблизительно въ тотъ же періодъ времени, произошли въ Салоникскомъ заливѣ при устьяхъ рѣкъ: Вардаръ, Бистрица и др., также противъ острова Фазосъ при устьѣ Карасу или Места, по берегамъ Ликіи, гдѣ рыхлые осадки, цементируясь углекислымъ кальціемъ, приносимымъ рѣками, превращаются въ твердую породу. Но особенно интересныя и важныя измѣненія произошли у г. Смирны при



Фиг. 379. — *a* — Площадь наноса, образовавшаяся за 500 лѣтъ до Р. Х. *b* — площадь наноса, образовавшаяся до вр. Страбона. *c* — площадь наноса, образовавшаяся отъ Страбона до Павзанія. *d* — площадь наноса, образовавшаяся послѣ вр. Павзанія.

Масштабы: верхній — олимпійскія стадіи, нижній — километры.

устьѣ Гедисъ-чай и у древняго Милета въ устьѣ Меандера (Meander или Menderes, Gaesus древнихъ). Обширная и глубокая бухта, куда нѣкогда впадалъ Меандеръ и гдѣ были расположены цвѣтущіе города, совершенно засыпалась въ теченіе немного болѣе 2.000 лѣтъ; вмѣсто живого, культурнаго центра, бывшаго матерью 70 колоній, въ настоящее время растилается обширная, нездоровая болотистая равнина. Благодаря выдающейся роли, которую играла эта мѣстность въ эпоху классической древности, возможно прослѣдить измѣненія ея въ разные періоды. К. Кольдъ [33]), въ своей интересной монографіи вообще объ измѣненіи береговъ Архипелага, изобразилъ наростаніе берега и заполненіе бухты у Меандра картографически (фиг. 379). Изъ описанія и карты Кольда видно, что еще за 500 лѣтъ до Р. Х. часть Латмійскаго залива, съ нѣкоторыми островами, превратилась въ сушу, и г. Магнезія оказался на материкѣ, но Пріена, нынѣшній Самсунъ, и Міусъ были еще прибрежными; во время Страбона заполненіе настолько подвинулось, что Пріена и Міусъ отстояли отъ берега въ 40 и 35 стадіяхъ, утратили свое прежнее значеніе, и жители изъ Міуса

большею частью переселились въ Милетъ, стоявшій на полуостровѣ, отдѣленномъ отъ устья Меандра заливомъ, шириною около 45 стадій, примѣрно, гдѣ нынѣшній Сарикемеръ.

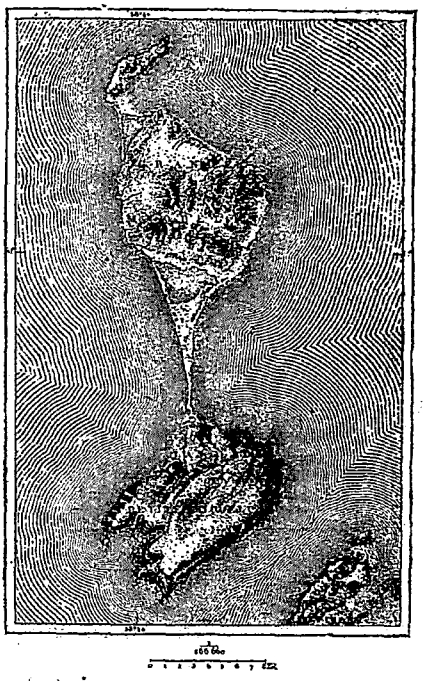
Ко времени Павзанія (160 лѣтъ послѣ Р. Х.) полуостровъ съ знаменитымъ г. Милетомъ присоединился къ материку, и отъ бывшаго залива осталась только ничтожная лагуна Акисъ-чай (Akis-tschaï), или современное оз. Денциль, поверхность котораго равна 120 кв. кил. Въ то время берегъ моря простирался почти отъ Милета прямо къ сѣверу. Но съ того времени до настоящаго намывной берегъ еще болѣе выдвинулся, присоединилъ къ материку бывшій о-въ Ладе и оканчивается правильною стрѣлкою, за которою находятся нѣсколько лагунъ. По разсчету Кольда, съ 500 г. до Р. Х. и до Страбона образовалось 83 кв. кил. новой суши, а со времени Страбона—217, итого 300 кв. кил. Суша образовалась на мѣстѣ Латмійскаго залива. Принимая среднюю глубину залива около 48 м., оказывается, что для заполненія его потребовалась масса минеральнаго матеріала около: 18.820.000.000 куб. метр.,—это въ теченіе 2.300 л., слѣдовательно въ годъ отлагалось 182.609 куб. м., а въ день—22.418 куб. м. Эта колоссальная работа очевидно выполнялась совмѣстно двумя дѣятелями — прибоемъ и рѣкою, хотя роль каждаго изъ нихъ въ данномъ случаѣ выдѣлить весьма трудно; замѣтимъ только, что едва ли одна рѣка могла выполнить такую работу, потому что рѣка Меандеръ, какъ и большинство рѣкъ на Малоазіатскомъ берегу Эгейскаго моря, сравнительно ничтожная и лѣтомъ даже пересыхаетъ.

Нарбонна, по словамъ Страбона, еще во время присоединенія къ Римской имперіи, былъ знаменитымъ торговымъ городомъ и лучшею гаванью всей Галліи, а теперь совершенно отдѣленъ отъ моря и утратилъ свое значеніе. Древніе памятники въ Нарбоннѣ показываютъ, что здѣсь каждое столѣтіе наносится слой въ 30—40 м.; въ послѣдніе семь вѣковъ между Курзаномъ и моремъ образовалась равнина въ 14 кил. длиною. Въ Лангедокѣ новообразованія суши, происшедшія въ историческое время, доказываются названіями мѣстностей; именно всѣ названія мѣстностей внутри страны кельтскаго, а береговыхъ — латинскаго и греческаго происхожденія, такъ какъ прибрежная полоса образовалась и сдѣлалась обитаемой гораздо позже [34]).

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ минеральныя вещества, приносимыя къ устью, при существованіи береговыхъ теченій въ морѣ, не успѣваютъ отложиться въ дельтѣ, а часть ихъ подхватываемая морскими теченіями, разносится на значительное разстояніе въ открытое море или вдоль береговъ. Поучительнѣйшимъ примѣромъ въ этомъ отношеніи могутъ служить берега Гвіаны въ Южной Америкѣ, гдѣ огромное количество минеральныхъ веществъ, приносимыхъ Амазонкою и Эссеквибою, подхватывается быстрымъ экваторіальнымъ теченіемъ и отлагается частью въ прибрежныхъ частяхъ Атлантическаго океана, а частью идетъ на образованіе замѣчательно плодородныхъ намывныхъ береговъ Гвіаны, быстрое возрастаніе которыхъ обусловило отклоненіе теченія рр. Вайни, Борима, Амагура и др. рѣкъ, направляющихся въ настоящее время почти параллельно морскому берегу; то же наблюдается на сѣверныхъ и южныхъ берегахъ Мексиканскаго залива. Подобное же явленіе представляютъ сѣверо-западные берега Адріатическаго моря, гдѣ часть осадковъ, приносимыхъ рр. Изонцо и Тальіаменто, подхватывается береговымъ теченіемъ и отлагается у Венеціи; въ восточной части Средиземнаго моря теченія переносятъ нильскій илъ и отлагаютъ его у береговъ Палестины [35]). Только береговыми теченіями объясняется разница въ береговыхъ отложеніяхъ къ востоку и западу отъ устья Роны. Юговосточные вѣтры образуютъ теченіе по Лангедокскому берегу, которое разноситъ осадки Роны къ западу до гавани Сетты, откуда, по словамъ Фишера [36]), ежегодно необходимо выгребать до 100,000 куб. метр. песка и ила, чтобы поддерживать ее. По изслѣдованію Эли де-Бомона и Дюфренуа, песокъ этотъ петрографически одинаковъ съ пескомъ Роны. Западнѣе Сетты тѣмъ же теченіемъ разносятся осадки Геро, Оды и пр. Съ другой стороны отсутствіе западныхъ теченій, вслѣдствіе рѣдкости и слабости юго-западныхъ вѣтровъ, обусловливаетъ то обстоятельство, что осадочный матеріалъ Роны, несмотря на юго-восточное направленіе главнаго устья, не разносится въ востоку и уже у входа въ гавань Bouc вовсе не встрѣчается. *Вліяніе теченій на образованіе береговыхъ осадковъ наблюдается и въ Крыму, но въ* сравнительно маломъ масштабѣ. По словамъ проф. Леваковскаго [37]), муть, внесенная послѣ дождя Бельбекомъ, при сѣверо-западномъ вѣтрѣ распространяется до Херсонесскаго маяка; въ береговыхъ отложеніяхъ около Евпаторіи гальки діабаза, гранита, сланцевъ и пр. и даже пемзы, могли быть принесены только съ южнаго берега Крыма морскими теченіями, такъ какъ въ окрестностяхъ Евпаторіи нигдѣ нѣтъ выходовъ этихъ породъ.

Подобно тому какъ между мысами, песчаныя стрѣлки могутъ образоваться между островами или между островомъ и материкомъ. Въ первомъ случаѣ значительно уве-

личиваются размѣры острововъ, а во второмъ острова превращаются въ полуострова. Такъ, французскіе острова Большой и Малый Микелонъ, близъ Нью-Фаундлэнда, еще въ 1783 г. были раздѣлены,—въ 1824 г. соединились песчанымъ валомъ, построеннымъ волнами двухъ противолежащихъ заливовъ (фиг. 380). Гваделупа также представляетъ примѣръ соединенія двухъ долей суши различнаго происхожденія; западный островъ, покрытый высокими вулканическими горами, соединенъ съ низменнымъ восточнымъ болотистою равниною съ бассейномъ стоячей воды, назыв. Соленою рѣкою; тоже на островахъ Чаю-канцуни въ Индійскомъ океанѣ. Мысъ Кефало на о-вѣ Имбросъ когда-то былъ самостоятельнымъ островомъ; низкій перешеекъ, соединяющій эти два острова, покрытъ дюнами и солеными озерами и пр. Что касается образованія полуострововъ, то въ этомъ отношеніи, кромѣ вышеупомянутыхъ въ Латмійскомъ заливѣ, замѣчательный примѣръ представляетъ Жіенскій полуостровъ, лежащій между Тулономъ и Гіерскими островами, гдѣ происхожденіе двухъ песчаныхъ стрѣлокъ, связавшихъ островъ Жіенъ съ материкомъ, обязано двумъ противоположнымъ теченіямъ; между стрѣлками находится еще лагуна Пескье. Еще большій примѣръ представляетъ Крымъ соединившійся съ материкомъ посредствомъ Арабатской стрѣлки и Перекопскаго перешейка (см. фиг. 335, стр. 497), а также о-въ Портландъ, превратившійся въ полуостровъ, благодаря образованію на берегу Англіи узкаго перешейка, состоящаго изъ валуновъ и называемаго Чезильскою банкою (фиг. 381).

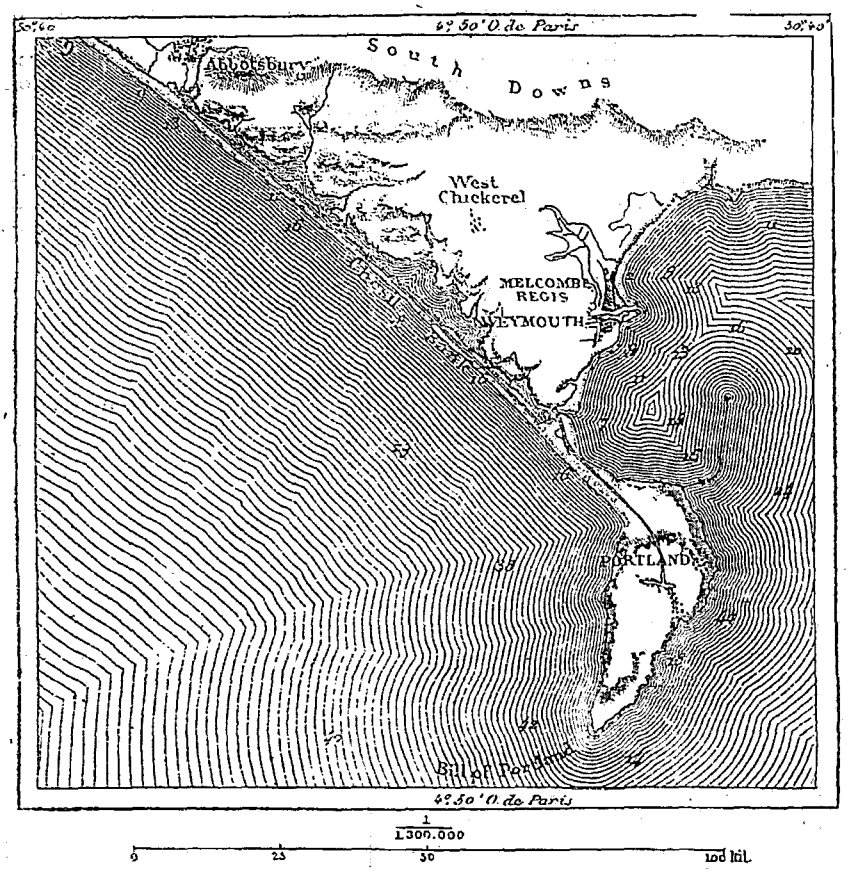


Фиг. 380.— Островъ Микелонъ

Во многихъ мѣстахъ намывные берега тянутся на сотни и даже на тысячи верстъ. Во Франціи низменные берега Ліонскаго залива отъ Аржелѣ-сюръ-мэръ до устьевъ Роны тянутся почти на 200 верстъ. Стрѣлки и лагуны Коммакіо, Венеціи и древней Аквиллеи значительно уменьшили Адріатическое море. На восточныхъ берегахъ Балтійскаго моря стрѣлки мѣстами тянутся на 40—50 верстъ, тоже на южныхъ берегахъ Бразиліи и Гвіаны. Но нигдѣ намывные берега не достигаютъ такого развитія, какъ вокругъ Мексиканскаго залива и на восточныхъ берегахъ Соединенныхъ Штатовъ, гдѣ они достигаютъ громадной длины и тянутся съ небольшими перерывами на протяженіе около 4,000 верстъ, причемъ нѣкоторыя стрѣлки, напр. у Сѣв. Каролины, имѣютъ 350 верстъ длины. По вычисленію Эли де-Бомона длина намывныхъ береговъ составляетъ около одной трети всей длины береговой линіи материковъ; наибольшихъ размѣровъ они достигаютъ въ бассейнахъ съ незначительными приливами.

Дѣятельность прибоя, проявлявшаго свою силу достаточно долго на берегахъ суши, можетъ совершенно измѣнить очертанія ея береговой линіи; нерѣдко уже трудно возстановить ея первоначальное положеніе. Но какъ бы велика ни была сила прибоя, береговые уступы рано или поздно выходятъ изъ сферы вліянія волнъ, и первоначальная работа моря разрушительная по существу смѣняется по существу отлагающей. Гео-

логическій составъ и строеніе суши разнообразно видоизмѣняютъ работу волнъ, и это вліяніе можно назвать пассивнымъ. Дѣятельность моря зна-



Фиг. 381. — Полуостровъ Портландъ и Чезильская банка.

чительно измѣняется и пріобрѣтаетъ непрерывный характеръ при активномъ вліяніи тектоническихъ причинъ, опредѣляющихъ вѣковыя колебанія суши.

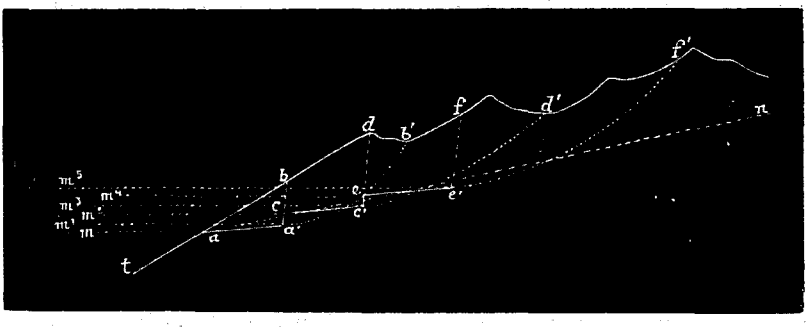
Вліяніе поднятія и опусканія суши на механическую дѣятельность моря.

Вліяніе поднятія (отрицательное движеніе). Мы уже видѣли, (т. I, стр. 709—712), что поднятіе береговъ обусловливаетъ образованіе выше современнаго уровня древнихъ береговыхъ линій, т. е. волноприбойныхъ уступовъ, и древнихъ береговыхъ террасъ, т. е. береговыхъ валовъ или намывныхъ полосъ (reised beaches, plages soulevées). Это вліяніе выражается также въ непрерывномъ приростѣ суши на счетъ намывающей работы моря, которая моделируетъ все новые участки дна моря, поднимающіеся надъ его уровнемъ. Французскіе геологи называютъ такое движеніе émérsion, или геократическимъ (géocratique), какъ увели-

чивающимъ область суши. Тектоническія причины и работа моря способствуютъ при этомъ образованію различныхъ типовъ плоскихъ или намывныхъ береговъ, указанныхъ нами раньше (т. I, стр. 94—95). Оживленіе размыва проточными водами и усиленіе образованія дельтъ присоединяются къ такому сочетанію причинъ, неуклонно направленныхъ къ расширенію суши *).

Вліяніе опусканія (положительное движеніе). При непрерывномъ поднятіи уровня моря (submérsion, движеніе гидрократическое, hydrocratique) существованіе постояннаго берегового уступа (falaise) становится невозможнымъ; онъ непрерывно отступаетъ назадъ, а волноприбойная терраса постепенно расширяется, преобразуясь въ обширную подводную террасу или платформу (континентальная терраса).

Выше мы видѣли, что прибой, подмывая крутые берега, постепенно удлиняетъ волноприбойную террасу, но если при этомъ уровень остается постояннымъ, то терраса возрастаетъ только до опредѣленной, сравнительно небольшой, длины, а затѣмъ вмѣсто размыва происходитъ накопленіе осадковъ и образованіе намывного берега. Если же уровень моря начинаетъ подниматься, то прекратившійся размывъ



Фиг. 382. — Схема поверхности абразіи.

снова наступаетъ, и волноприбойная терраса будетъ возрастать до тѣхъ поръ, пока продолжается положительное колебаніе уровня. Положимъ, согласно съ Рихтгофеномъ [38]), что берегъ состоитъ изъ однородныхъ породъ, падающихъ равномѣрно къ морю, и что интенсивность динамическаго вліянія морскихъ волнъ остается неизмѣнною въ теченіе значительнаго періода времени. Склонъ береговыхъ горъ dt (фиг. 382), постепенно подмываясь, образуетъ между уровнями отлива—m и прилива—m' волноприбойную террасу aa', причемъ масса береговыхъ породъ $aa'b$ обрушается и разносится. При нѣкоторомъ поднятіи уровня моря граница отлива и прилива перемѣстится изъ m и m' въ m^2 и m^3; если на этой высотѣ море останется достаточно продолжительное время, то очевидно, что такимъ же путемъ образуется вторая терраса cc' и разрушится масса $dee'f$; при третьемъ, еще болѣе высшемъ положеніи уровня, когда горизонтъ отлива и прилива изъ m^2 и m^3 перейдетъ въ m^4 и m^5, получится терраса ee' и уничтожится масса $dee'f$ и т. д. Если остановки въ положительномъ движеніи берега не будетъ, то вмѣсто отдѣльныхъ волноприбойныхъ террасъ, спускающихся ступенчато къ морю, получится одна длинная терраса am, весьма полого наклоненная къ морю. Само собой разумѣется, что отступающій берегъ только мѣстами и на небольшую высоту будетъ имѣть такую крутизну, какая представлена на схематическомъ разрѣзѣ, т.-е. $a'b$, $c'd$, $e'f$, но, благодаря вывѣриванію и размыву, склонъ его будетъ гораздо положе, примѣрно $a'b'$, $c'd'$, $e'f'$.

Такой характеръ смыва материка мы видимъ на всѣхъ берегахъ съ положительнымъ движеніемъ или опускающихся. На сѣверныхъ берегахъ Африки (т. I, стр. 713) континентальная терраса имѣетъ ширину до

*) A. Philippson. Über die Typen der Küstenformen, insbesondere der Schwemmlandsküsten. Festschrift Ferd. v. Richthofen, 1893.

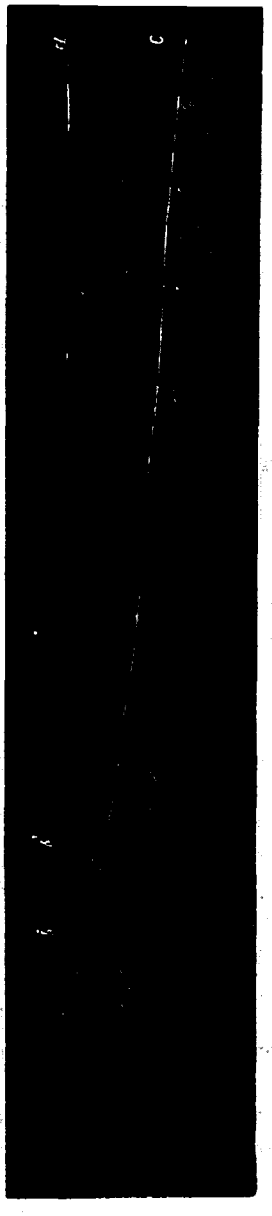
20 кил. Подводный уступъ ея начинается съ глубины 100 м. около Point Pescade и 200 м. у Типаца. Полоса террасы, ближайшая къ берегу шириною отъ 12 до 100 м., покрыта крупными валунами, гальками, выступающими скалами болѣе твердыхъ породъ, словомъ—имѣетъ характеръ свѣжаго разрушенія, тогда какъ слѣдующая полоса, соотвѣтствующая глубинѣ 40—50 м. и шириною отъ 12 или 100 м. до 1,500 м., покрыта уже болѣе мелкими продуктами разрушенія—пескомъ, за которымъ дальше слѣдуетъ тонкій илъ съ раковинными банками, который продолжается уже до большихъ глубинъ. Отсюда ясно, что, во-первыхъ, ширина волноприбойной террасы, на одномъ и томъ же берегу, измѣняется, вѣроятно, въ зависимости отъ величины колебанія уровня, а также отъ твердости породъ; во-вторыхъ, прибрежныя отложенія распредѣляются по крупности: съ удаленіемъ отъ берега они становятся мельче (фиг. 383), отъ крупныхъ валуновъ и песка *b*, *b* переходятъ къ тонкому илу *c*. Очевидно, что съ возрастаніемъ террасы въ одномъ и томъ же мѣстѣ слои изъ крупныхъ матеріаловъ прикрываются слоями мелкаго матеріала, слѣдовательно происходитъ перемежаемость петрографически-различныхъ слоевъ.

На южномъ берегу Крыма, судя по даннымъ Чернявскаго [39]), открывшаго развалины древней Діаскуріи на глубинѣ 10 м. подъ водою и въ 200 м. отъ берега, происходитъ также положительное колебаніе уровня моря. Проф. Леваковскій [40]) наблюдалъ подобныя же террасы. напр., противъ главнаго Севастопольскаго залива, гдѣ дно моря, до глубины около 100 м., образуетъ два уступа. Осадки въ прибрежныхъ частяхъ Крымскаго берега чередуются въ томъ же порядкѣ, какъ и въ Алжирѣ, т.-е. за узкимъ поясомъ валуновъ слѣдуетъ песчаная полоса, а далѣе полоса, покрытая иломъ; на глубинѣ 180—240 ф. появляются раковинныя банки.

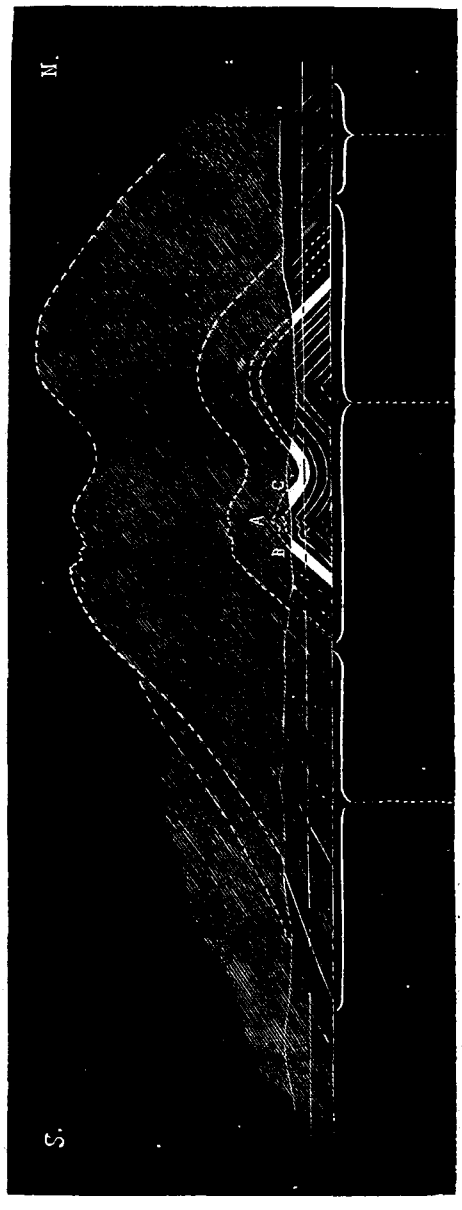
Если положительное колебаніе уровня продолжается безпрерывно значительный періодъ времени, то, очевидно, вся страна будетъ равномѣрно смыта, и вмѣсто расчлененной поверхности, состоящей, напр., изъ складчатыхъ горъ, получится едва замѣтно склоняющаяся площадь, которая при обратномъ, т.-е. отрицательномъ колебаніи уровня или поднятіи суши, освободившись отъ воды, образуетъ обширную равнину. Такія равнины, происшедшія отъ смыва древнихъ породъ, замѣчены еще Рамзаемъ [41]) въ 1847 г. въ Уэльсѣ и названы имъ равнинами морской денудаціи (plaine of marine denudation), затѣмъ Гики (Geiki) въ Ирландіи, Марвиномъ въ Скалистыхъ горахъ Америки и пр.

Рихтгофенъ развилъ понятіе о дѣятельности моря при опусканіяхъ суши въ стройную гипотезу, поставивъ въ связь такую дѣятельность съ трансгрессивными отложеніями; равнинамъ морской денудаціи онъ придалъ новое названіе поверхностей смыва или абразіи (Abrasions fläche), а самый процессъ назвалъ абразіей [42]). Опираясь на обширное распространеніе такъ называемыхъ трансгрессивныхъ образованій, Рихтгофенъ полагалъ, что абразія распространяется на сотни и даже тысячи кв. кл. и производитъ такія громадныя измѣненія въ рельефѣ земной поверхности, что въ этомъ отношеніи съ нею едва ли можетъ сравниться какой либо другой агентъ.

На слѣдующемъ рисункѣ (фиг. 384), представляющемъ разрѣзъ Южнаго Уэльса, наглядно показаны огромныя массы породъ, снесенныхъ абразіей, и необыкновенное вліяніе ея на рельефъ страны, которая благодаря этому



Фиг. 383. — Схема наложенія прибрежныхъ морскихъ осадковъ; *a* — уровень моря; *b b* — конгломератъ и песокъ; *c* — илъ.

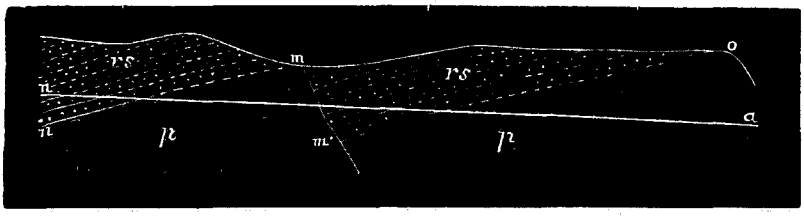


Фиг. 384. — Поверхность абразіи. Верхняя заштрихованная часть смыта, ... пунктиръ означаетъ прежнія складки.

процессу, утратила высокія горы и превратилась почти въ равнину [43]).

По мнѣнію Рихтгофена [44]) поверхности абразіи одинаково находятся на породахъ различной твердости и стратиграфическихъ условій, если только онѣ простираются параллельно берегу; въ доказательство онъ приводитъ слѣдующій интересный разрѣзъ (фиг. 385), въ которомъ *pp* — складчатыя палеозойскія горы, прикрытыя краснымъ песчаникомъ

$r\,s$, сдвинуты по линіи $m\,m'$; очевидно, что линіи $n\,m$ и $m'\,o$ представляютъ древнюю поверхность абразіи, на которой трансгрессивно отложился песчаникъ; затѣмъ произошелъ сдвигъ, и снова наступило дѣйствіе абразіи, которое, при равномѣрномъ поднятіи уровня моря, можетъ воспроизвести новую правильную поверхность абразіи $a\,n$, несмотря на разницу породъ. Но это возможно только тогда, если положительное колебаніе уровня происходитъ равномѣрно и орографія берега не рѣзко измѣняется; а такъ какъ эти идеальныя условія въ природѣ рѣдки, то и поверхности абразіи получаютъ многоразличныя уклоненія отъ совершенной правильности. Уклоненія эти, во-первыхъ, обусловливаются неравномѣрностью возвышенія уровня, т.-е. оно можетъ быть то сильнѣе, то слабѣе, то постоянно, то съ періодами покоя, то, наконецъ, смѣняется отрицательными колебаніями; все это можетъ производить измѣненія на поверхности смыва и дѣлать ее, неровною, ступенчатою. Во-вторыхъ, еще большую неровность поверхность абразіи получаетъ въ томъ случаѣ, когда дизъюнктивныя и складчатыя горы материка, со-



Фиг. 385. — Поверхность абразіи при сдвигахъ.

стоящія изъ различныхъ породъ, простираются перпендикулярно или діагонально къ направленію берега. Выше мы видѣли, что дѣятельность прибоя значительно измѣняется въ зависимости отъ петрографическаго и стратиграфическаго характера береговыхъ породъ. Очевидно, что при дѣятельности абразіи тѣ же элементы вліяютъ въ еще большей степени. При совмѣстномъ участіи указанныхъ условій поверхности абразіи получаютъ значительныя уклоненія отъ правильной равнины. Но кромѣ того абразія иногда встрѣчаетъ нѣкоторыя условія, задерживающія или даже мѣстами останавливающія ее, напр. на поперечныхъ берегахъ, гдѣ прибой, быстрѣе размывая слабыя породы и расширяя бухты, вмѣстѣ съ тѣмъ образуетъ береговые валы, которые ростутъ вмѣстѣ съ поднятіемъ уровня и потому задерживаютъ или мѣстами прекращаютъ дѣятельность абразіи.

Разрушенныя минеральныя вещества, происходящія при дѣятельности абразіи, какъ выше сказано, претерпѣваютъ значительныя передвиженія и распредѣляются неравномѣрно. Крупные валуны при углубленіи покрываются пескомъ, который, въ свою очередь, покрывается иломъ. Всѣ эти продукты служатъ матеріаломъ для новыхъ осадочныхъ образованій, которыя отлагаются моремъ болѣе или менѣе горизонтальными пластами на поверхности абразіи (фиг. 383). Такого рода отложенія называютъ трансгрессивными (Transgredirende Ablagerung); они пластуются несогласно съ нижними смытыми пластами и нерѣдко залегаютъ, какъ говорятъ, на головахъ ихъ. Прекрасный примѣръ подоб-

ныхъ отложеній породъ представляетъ, какъ извѣстно, Эйфель, гдѣ на складчатыхъ девонскихъ осадкахъ залегаютъ трансгрессивно пласты пестраго песчаника. Появленіе трансгрессивныхъ отложеній на поверхностяхъ абразіи совершенно естественно и понятно. Гораздо труднѣе объяснить отсутствіе ихъ, что, по словамъ Рихтгофена, пока возможно только въ отдѣльныхъ частныхъ случаяхъ, и то не всегда.

Приложеніе понятія абразіи къ поверхностямъ, покрытымъ трансгрессивными осадками, требуетъ тѣмъ не менѣе большой осторожности. Многіе геологи полагали возможнымъ объяснять выравниваніе различныхъ пространствъ земной поверхности исключительно абразіонными процессами. Слѣдуетъ однако помнить, что для приложенія къ данной поверхности понятія абразіи нужно доказать, что между временемъ выравниванія и временемъ отложенія трансгрессивныхъ слоевъ нѣтъ перерыва. Признаками этого могутъ служить: грубо-обломочный характеръ нижнихъ горизонтовъ трансгрессивныхъ слоевъ и присутствіе въ нихъ обломковъ покрываемыхъ отложеній, иначе говоря—рѣзко выраженный прибрежный характеръ отложеній. Далеко не всегда можно доказать такое непосредственное воздѣйствіе волнъ моря на трансгрессируемую поверхность, и въ такихъ случаяхъ быть можетъ, больше основанія приписывать выравниваніе страны дѣятельности проточныхъ водъ, какъ это было разсмотрѣно въ V гл. о происхожденіи почти равнинныхъ пространствъ (peneplain). Иногда можно замѣтить, что трансгрессировавшее море наступало такъ медленно и спокойно, что волны его не смывали даже самыхъ рыхлыхъ образованій. Лаппаранъ *) приводитъ интересный примѣръ такой трансгрессіи на плоской поверхности дислоцированныхъ палеозойскихъ слоевъ около Булони (Boulonnais), гдѣ между ними и покрывающими ихъ трансгрессивно юрскими известняками залегаютъ пески и глины съ лигнитомъ, очевидно, образовавшіеся въ спокойныхъ лагунахъ; слѣдовательно, не волны юрскаго моря выравняли поверхность палеозойскихъ слоевъ.

Многія пространства, сглаженную поверхность которыхъ объясняли процессами абразіи, напр. въ Арденнахъ и центральное плато Франціи, испытали продолжительные материковые періоды до послѣдняго наступленія на нихъ моря, и, дѣйствительно, ихъ выравниваніе вѣроятнѣе проточными водами. Тѣмъ не менѣе нельзя отрицать, что абразія представляетъ одинъ изъ крупныхъ физико-геологическихъ факторовъ, измѣнявшихъ формы поверхности земли.

Образованіе подводныхъ долинъ. Фіорды. Подводныя долины своими поперечными профилями напоминаютъ обыкновенныя рѣчныя долины; онѣ представляютъ сравнительно узкія борозды, которыя по мѣрѣ удаленія отъ берега становятся глубже; обыкновенно онѣ являются непосредственными продолженіями рѣчныхъ долинъ. Подводное продолженіе рѣчныхъ долинъ служитъ доказательствомъ расширенія моря на счетъ суши, т. е. ея опусканія, и показываетъ, что прибой волнъ не всегда измѣняетъ особенно замѣтно рельефъ погружающагося берега. Съ другой

*) Leçons de géogr. phys., стр. 283.

стороны не всегда подводное продолженіе рѣчной долины показываетъ и опусканіе. Напр., подводная долина при устьѣ р. Конго имѣетъ глубину въ самомъ устьѣ уже 609 м. при ширинѣ 5.5 кл., въ разстояніи 65 кл. отъ берега на окраинѣ континентальной террасы имѣетъ глубину 1047 м. при ширинѣ 11 кл., а въ самой рѣкѣ Конго еще въ 40 кл. выше устья глубина 275 м. Берега континента обнаруживаютъ здѣсь всѣ признаки поднятія, и вѣроятно эту подводную щель нужно считать слѣдствіемъ дислокаціи, по направленію которой бассейнъ Конго получилъ стокъ къ морю.

Фіорды *) представляютъ собою узкіе заливы съ крутыми берегами, врѣзывающіеся въ сушу иногда болѣе, чѣмъ на 100 кл., и разнообразно развѣтвляющіяся (фиг. 386). Между смежными фіордами иногда находятся поперечныя впадины въ видѣ ущелій въ водораздѣльныхъ гребняхъ. Наиболѣе попиженныя изъ такихъ ущелій, называемыхъ въ Норвегіи эйдами (eide), иногда заняты уже водою, и такимъ образомъ возникаютъ тѣ узкіе проливы, которые соединяютъ отдѣльные фіорды, отдѣляютъ острова отъ материка и создаютъ тѣ внутреннія пути для судоходства, которыми славятся берега Норвегіи и южнаго Чили. Глубина фіордовъ часто значительная, болѣе 200 и 300 м.; мѣстами дно ихъ понижается, но сравнительно на небольшихъ пространствахъ, до 1000 м., такъ при входѣ въ Согнефіордъ глубина его имѣетъ 1224 м. Вообще глубины распредѣлены неправильно и многіе фіорды замѣтно глубже въ средней части, чѣмъ при устьѣ въ море (фиг. 387). Всѣ они обыкновенно продолжаются въ подводныя долины въ сторону открытаго моря, а выше ихъ долины, которыми они оканчиваются (такъ называемыя glens въ Шотландіи), изобилуютъ озерами, расположенными уступами.

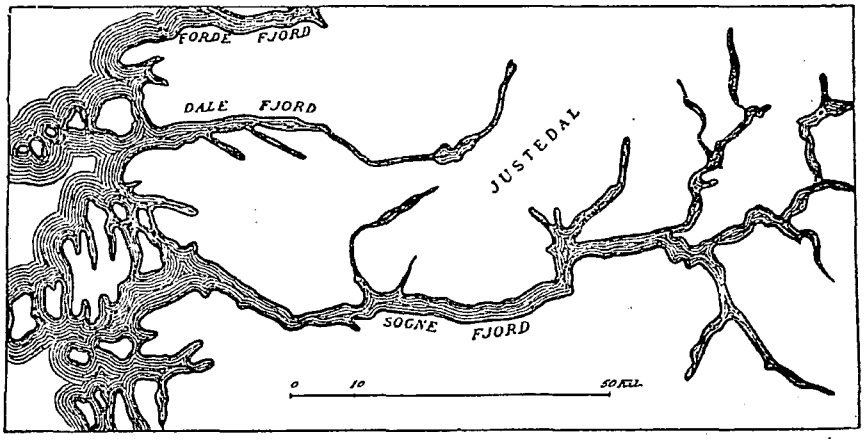
Подводныя сѣдла, которыя часто раздѣляютъ фіорды на отдѣльные бассейны, или обнаруживаютъ моренный характеръ, свидѣтельствуя о прежнемъ присутствіи здѣсь ледниковъ, или сложены изъ скалъ, показывая сильныя нарушенія залеганія. Послѣднее напоминаетъ тѣ дислокаціонныя впадины, которыя заняты тектоническими огромными озерами Альпъ. Фіорды опредѣляютъ собою окраину высокой горной страны и представляютъ подводные каналы глубокіе и узкіе, которыми этотъ край отдѣляется отъ мелководнаго моря, не имѣющаго глубинъ болѣе 200 м. Въ особенности такой характеръ ихъ обнаруживается на берегахъ Шотландіи и Ирландіи, гдѣ глубина фіордовъ (ихъ называютъ здѣсь firth, lochs; въ Америкѣ фіордовыя бухты называютъ обыкновенно inlets; въ Чили— rio, estero) около 140—180 м., а прилежащаго моря только 50—80 м. Слѣдовательно, происхожденіе ихъ скорѣе всего нужно приписать причинамъ тектоническимъ и послѣдующему покрытію моремъ. Ледники, которые заполняли прежде эти впадины, могли препятствовать заполненію ихъ обломочнымъ матеріаломъ при первоначальномъ положеніи впадинъ выше уровня моря, а затѣмъ при погруженіи ихъ защищать бока отъ размыванія атмосферными водами.

---

*) P. Dinse, Die Fjordbildungen. Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdk. zu Berlin, 1894, № 3. Также O. Nordenskjöld, Topograph.-geolog. Studien in Fjordgebieten. Bull. Geol. Inst. Univ. Upsala, 1900, IV, 2, стр. 157—217. Съ подробнымъ указаніемъ литературы о фіордахъ и хорошими изображеніями и картами.

Во всякомъ случаѣ необходимо предполагать, что отступаніе фіордовъ подъ уровень моря произошло сравнительно быстро, такъ что атмосферные агенты не могли значительно видоизмѣнить ихъ склоны. Въ настоящее время область фіордовъ Скандинавіи испытываетъ обратное движеніе, какъ это показываютъ древнія береговыя линіи и террасы.

Когда подобныя же тектоническія причины оказываютъ воздѣйствіе на берега менѣе возвышенные, чѣмъ Скандинавіи или Шотландіи, форма

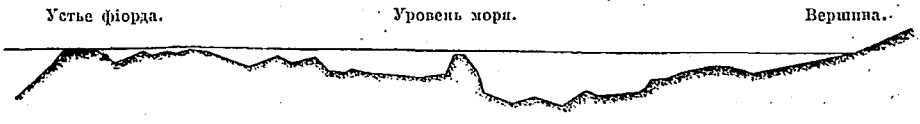


Фиг. 386.—Согнефіордъ въ Норвегіи.

выемокъ и заливовъ, конечно, измѣняется; такъ на берегахъ Швеціи и Финляндіи такими образованіями являются шхеры (schären и fjärd), въ видѣ лабиринта заливовъ, скалъ и острововъ.

Направленіе фіордовъ Норвегіи вполнѣ соотвѣтствуетъ линіямъ дислокаціи Скандинавіи (т. I, фиг. 138); по этимъ же линіямъ произошли и широкіе проливы Швеціи (зунды, sunds).

Фіорды развиваются какъ на поперечныхъ, такъ и продольныхъ берегахъ; наиболѣе развитой формы они достигаютъ на послѣднихъ, но



Фиг. 387.— Продольный разрѣзъ фіорда Лохъ Этивъ (Шотландія).

вообще горное строеніе страны мало отражается на наиболѣе развитыхъ формахъ, которыя врѣзываются въ боковые склоны древнихъ горъ, подвергшихся значительному разрушенію (Норвегія, Гренландія, Шотландія, Ирландія, Новая Зеландія). Ратцель *) опредѣляетъ фіорды, какъ лишь одно изъ выраженій околополюснаго расположенія (ниже 42° с. ш. и ю. ш. онѣ не встрѣчаются) различныхъ полыхъ формъ земной поверхности; то въ качествѣ фіордовъ эти формы расчленяютъ берега, то въ

*) Fr. Ratzel, Die Erde und das Leben, 1901, I, стр. 443 и другія.

видѣ фіордовыхъ проливовъ (inlets, зунды) дробятъ острова; тѣ же полыя формы иногда наполнены прѣсной водой, и тогда онѣ образуютъ озера и рѣки. Фіорды, по своей первичной связи съ тектоникой и послѣдующей—съ дѣятельностью ледниковъ и воды, представляютъ по выраженію Ратцеля какъ бы скелеты древнихъ странъ, съ которыхъ содраны и отвалились мясо и жиръ, и которые почти уже распадаются. Фіордовыя долины и глены возникли задолго до ледниковой эпохи; опусканіемъ части ихъ преобразованы въ глубокіе фіорды, а въ настоящее время они повсюду испытываютъ поднятіе.

Берега типа ріасъ. Названіе ріасъ, взятое отъ расчлененныхъ береговъ Испаніи въ провинціи Галисъ (на сѣверной границѣ Португаліи), примѣняется къ берегамъ, напоминающимъ фіорды, но отличающимся отъ нихъ малой глубиной, меньшей развѣтвленностью и обыкновенно значительно меньшей длиной. Какъ ширина, такъ глубина такихъ заливовъ правильно воронкообразно возрастаютъ въ сторону моря. Глубина при устьѣ рѣдко больше 100 м.; дно покрыто аллювіальными выносами рѣчекъ, изливающихся въ такіе заливы, но размѣры самихъ рѣчекъ совершенно не соотвѣтствуютъ величинѣ и глубинѣ устья залива. Несомнѣнно, что эти берега зависятъ отъ предварительнаго существованія долинъ, частью занятыхъ затѣмъ моремъ при поднятіи его уровня; зависимость формъ берега отъ горнаго строенія отличаетъ это типъ отъ фіордовъ. Такъ какъ этотъ типъ наиболѣе развитъ на берегахъ съ значительными приливами, то глубокіе эстуаріи заливовъ слѣдуетъ считать слѣдствіемъ прилпво-отливныхъ теченій. Нѣкоторые авторы считали эти заливы за фіорды, но не бывшіе занятыми ледниками и слѣдовательно подвергшіеся размыванію и заполненію дѣятельностью проточныхъ водъ, а также и разрушенію дѣятельностью прибоя.

Подобнаго происхожденія незначительные заливы по берегамъ Средиземнаго моря, напр., по берегамъ Прованса между Марселемъ и Кассисъ (т. наз. calanques), на берегахъ Балеарскихъ о-въ (calas), и по берегамъ Аравіи въ Красномъ морѣ (scherm), также шермы Алжира. Къ этому типу относятся и длинные заливы, изрѣзывающіе побережье Чукотскаго полуострова; но опредѣленно выраженная намывающая работа моря, въ связи съ поднятіемъ береговъ этой части Азіи, еще болѣе видоизмѣнила ихъ первоначальныя очертанія; каждый изъ нихъ закрытъ уже барами и пересыпями (кошками).

Рихтгофенъ расширилъ понятіе о берегахъ типа ріасъ, распространивъ это названіе на всѣ поперечные берега, гдѣ окопечности горныхъ цѣпей выдаются въ море въ видѣ полуострововъ, перпендикулярно или діагонально къ направленію берега. При такомъ опредѣленіи этого типа къ нему относится значительное число расчлененныхъ береговъ съ многими превосходными гаванями, число которыхъ всетаки сравнительно невелико съ распространенностью самого типа. Дѣйствительно, гавани возникаютъ только въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ въ такіе заливы не изливаются сколько нибудь значительныя рѣки или которые не засариваются отложеніями вслѣдствіе береговыхъ теченій. Къ такимъ гаванямъ относятся: Нагасаки, Кагошима, Тулонъ, Аяччіо, Ферроль (въ Испаніи), Севастополь; къ гаванямъ типа ріасъ, но принимающимъ значительныя рѣки и

слѣдовательно подверженнымъ измѣненіямъ, относятся: Смирна и въ южномъ Китаѣ Сватоу и Фу-чжоу. Иногда этотъ типъ осложняется присутствіемъ острововъ впереди бухты, и тогда возникаютъ ріасовыя островныя гавани: Гонъ-конгъ, Макао, Чусанъ.

Типъ далматскій. При поднятіи уровня моря около продольныхъ береговъ, море занимаетъ или синклинальныя долины, или разломы, образуя узкіе и глубокіе заливы. Дѣятельность прибоя очевидно сводится при этомъ къ минимуму, такъ какъ иначе море выравняло бы покрываемые имъ гребни. Наиболѣе опредѣленно этотъ типъ и развитъ на берегахъ Адріатическаго моря, гдѣ приливы незамѣтны и дѣятельность прибоя очень слаба. Иногда море распространяется въ продольныя долины, проходя сначала черезъ поперечныя, занятыя устьями рѣкъ, напр., гавани Каттаро и другія Далматскаго берега, Ріо-Жанейро, Санъ-Франциско, Сидней; такіе заливы имѣютъ Т-образную форму; на берегахъ Истріи ихъ называютъ vallone. Отчасти къ этому типу относятся гавани Владивостока и Портъ-Артура, острова и полуострова которыхъ расположены по простиранію Сихота-алинъ и синійской складчатости. Далматскій типъ представляетъ собственно частный случай сложнаго расчлененія береговой линіи, однимъ изъ лучшихъ примѣровъ котораго служитъ побережье греческаго типа, состоящее изъ поперечныхъ и продольныхъ береговъ. Этотъ типъ носитъ ясные слѣды вліянія прибоя волнъ и проваловъ, занятыхъ моремъ.

Къ формамъ морскихъ береговъ, возникшимъ при поднятіи уровня моря, относятся знакомые уже намъ лиманы и нѣкоторыя частныя формы. Кимврійскій типъ въ сѣверной части Кимврійскаго полуострова (Ютландія), въ сѣверо-американскомъ полярномъ архипелагѣ представляетъ захватъ моремъ берега, богатаго бухтами и изрѣзаннаго, обыкновенно при значительномъ участьи ледниковъ. Иногда этотъ типъ очень близокъ къ фіордамъ, обнаруживая въ направленіи узкихъ бухтъ параллелизмъ и пороги при входахъ; на нижненѣмецкомъ нарѣчіи на шлезвигскомъ берегу ихъ и называютъ фёрды (Föhrden). На балтійскомъ побережьи между Траве и Одеромъ подъ именемъ бодденъ называютъ неправильно развѣтвляющіяся бухты, глубоко врѣзывающіяся въ материкъ и отдѣленныя отъ моря островами, полуостровами и дюнами; первоначально это были долины и озера, иногда съ ясными еще слѣдами дѣятельности проточной воды. Кимврійскій типъ и бодденъ представляютъ типичныя намывныя формы береговъ.

Вѣроятное разрушеніе береговъ дѣятельностью моря. Лаппаранъ приводитъ слѣдующій расчетъ относительно разрушающей дѣятельности моря. Для береговъ Англіи считаютъ вѣроятнымъ разрушеніе въ 3 м. въ одно столѣтіе, или 0,03 м. ежегодно. Если принять среднюю высоту волноприбойныхъ скалъ въ 50 м., то на каждый метръ линейный ежегодная убыль материка выразится 1.5 куб. м., или 1500 куб. м. на одинъ километръ берега. Всю длину морскихъ береговъ Лаппаранъ принимаетъ въ 260.000 километровъ и среднюю убыль вдоль ихъ равной убыли береговъ Англіи; ежегодная убыль материка исчисляется при такихъ условіяхъ въ 300 милл. куб. м., или 0.4 куб. кл. Такъ какъ разрушеніе береговъ Англіи гораздо больше разрушенія, напр., береговъ

Средиземнаго и Краснаго моря, то эта цифра вѣроятно даже больше дѣйствительной.

Убыль материковъ отъ дѣятельности моря гораздо, слѣдовательно, меньше, чѣмъ убыль отъ денудаціи проточными водами (10 куб. кл., см. стр. 12 и дальше). Слѣдуетъ, тѣмъ не менѣе, обратить вниманіе, что этотъ разсчетъ относится ко времени болѣе или менѣе постояннаго уровня моря. Въ эпохи наступленія моря отношеніе между денудаціей проточными водами и моремъ, т. е. абразіей, можетъ сдѣлаться и обратнымъ.

Отложенія оставляемыя моремъ.

Образованія, съ которыми мы познакомились при описаніи созидающей работы моря, представляютъ такъ называемыя береговыя отложенія, обусловливающія образованіе или наростаніе намывныхъ береговъ. Эти отложенія состоятъ изъ валуновъ, галечника, песка и иногда ила, около береговъ сложенныхъ изъ глинистыхъ породъ. Мы останавливали вниманіе преимущественно на тѣхъ отложеніяхъ, которыя море оставляетъ выше своего уровня, именно на береговыхъ валахъ, пересыпяхъ и выполненіяхъ лагунъ. Французскіе геологи (Лаппаранъ) всю совокупность этихъ отложеній называютъ appareils littoraux, т. е. береговыми или намывными образованіями въ тѣсномъ смыслѣ.

Теперь перейдемъ къ разсмотрѣнію отложеній собственно на днѣ моря. Одни изъ нихъ мы можемъ видѣть въ низкую воду, во время отлива, это отложенія верхней береговой зоны (Strand-oder Fluthregion, die oberste Strandzone, dépôts de plages по Лаппарану, shore-deposits). Другія мы можемъ изслѣдовать только посредствомъ лота; это отложенія мелководнаго и болѣе глубокаго моря (seichte und tiefe Küstenzone, infralittoral and deeper water deposits) и глубоководныя въ тѣсномъ смыслѣ (Tiefseeablagerungen, пелагическія).

Отложенія верхней береговой зоны.

Матеріалъ, который не использывается моремъ для образованія береговыхъ валовъ, пересыпей, располагается у самаго подножія берега, гдѣ волны замираютъ, и подвергается при этомъ механической сортировкѣ. Возникающія такимъ образомъ отложенія составляютъ непосредственное продолженіе ниже уровня моря тѣхъ отложеній, которыя море набрасываетъ и выше своего уровня. Осадки этой зоны отличаются наибольшимъ петрографическимъ разнообразіемъ, въ зависимости отъ геологическаго состава береговъ, и наибольшей неправильностью залеганія перемежающихся слоевъ песка, гальки, гравія. На характеръ этихъ отложеній въ особенности оказываетъ большое вліяніе наклонъ берега. Наклонъ вліяетъ и на отложенія внѣ этой зоны; такъ около береговъ, круто понижающихся подъ уровень моря, скопленія галечника могутъ достигать значительныхъ размѣровъ и опускаться до значительныхъ глубинъ. Наиболѣе правильно отложенія въ предѣлахъ приливо-отливной полосы образуются, конечно, у отлогихъ береговъ, которые французы называютъ пляжемъ, англичане—beach (бичь).

Мы уже видѣли, что сила волны, наступающей на берегъ, достигаетъ

своего максимума въ моментъ ея опрокидыванія; на линіи опрокидыванія наступающихъ волнъ наивысшаго прилива или во время бурь море и бросаетъ наиболѣе крупный матеріалъ, который волны могутъ поддерживать въ взвѣшенномъ состояніи. Камни здѣсь свободно располагаются другъ на другѣ, такъ какъ въ моментъ ихъ отложенія, послѣ опрокидыванія волны, скорость воды равняется нулю. Скользя обратно по склону такого нагроможденія, вода пріобрѣтаетъ все большую скорость и вмѣстѣ съ тѣмъ увлекаетъ внизъ не только песокъ, но и гальки. Достигая уровня, гдѣ она снова измѣняется въ наступающую, возвратная волна на одно мгновеніе теряетъ свою скорость и оставляетъ матеріалъ передвигаемый ею книзу. Такимъ образомъ мало по малу на отлогомъ плоскомъ берегу возникаетъ полоса тонкаго песка (пляжъ), слабо наклонная, рѣзко ограничиваемая въ верхней части склономъ нагроможденія изъ галекъ и валуновъ. Граница между ними рѣзкая, такъ какъ, разъ уже полоса пляжа возникла, то подножіе склона изъ галекъ и валуновъ представляетъ линію, гдѣ взбѣгающая волна постепенно теряетъ свою силу и отлагаетъ самый тонкій песокъ. Здѣсь же обыкновенно скопляются и раковины, увлекаемые приливомъ, а ниже въ пескѣ всегда находятся только обломки ихъ. Профиль песчанаго пляжа опредѣляется условіемъ, что въ каждой точкѣ существуетъ равновѣсіе между силой тяжести, вызывающей возвратную волну, увлекающую песокъ книзу, и работой восходящей волны, снова перемѣщающей этотъ песокъ кверху.

Вслѣдствіе постояннаго перемѣщенія вверхъ и внизъ песокъ пляжа пріобрѣтаетъ замѣчательное однообразіе зерна и отличается округленностью; матеріалъ болѣе тонкій, поддерживаемый волнующейся водой постоянно въ взвѣшенномъ состояніи, остается болѣе или менѣе угловатымъ, такъ какъ онъ избѣгаетъ такого тренія. По опытамъ въ такомъ состояніи находятся зерна кварца, имѣющія въ діаметрѣ менѣе $\frac{1}{10}$ миллиметра. Этотъ матеріалъ уже не отлагается у самаго берега, а нѣсколько дальше, гдѣ движеніе волнъ сосредоточивается на поверхности воды; падая на дно только подъ вліяніемъ силы тяжести, когда вода приходитъ въ спокойное состояніе, этотъ матеріалъ отлагается уже въ видѣ осадковъ. Эти условія отложенія на пляжѣ и непосредственно около него опредѣляютъ замѣчательную однородность песчаныхъ морскихъ образованій, въ которыхъ въ то же время часто можно видѣть кварцевый песокъ изъ элементовъ то округленныхъ, то угловатыхъ.

Такія условія обычны на берегахъ, гдѣ высота приливовъ не подвергается значительнымъ измѣненіямъ, гдѣ слѣдовательно и высота наивысшаго дѣйствія волны остается болѣе или менѣе постоянной. Въ противномъ случаѣ отложенія на пляжѣ подвергаются частой переработкѣ; правильная послѣдовательность матеріала различной крупности нарушается тогда перемежающимися слоями тонкаго песка и гальки, иногда даже валуновъ. Склонъ изъ галечниковыхъ отложеній обыкновенно представляетъ тогда, какъ мы видѣли, двѣ террассы, соотвѣтствующія высокимъ водамъ прилива обыкновеннаго и во время равноденствія.

Механическая обработка отложеній пляжа вызываетъ часто, какъ было указано (стр. 574), правильную сортировку матеріала по удѣль-

ному вѣсу. Всѣ указанныя раньше оригинальныя отложенія, какъ известковые terre de Bri, maërl, traëz и кремнисто-щелочной tangue, относятся именно къ этой категоріи осадковъ пляжа, отлагаемыхъ моремъ ниже полосы прилива. Часть этихъ осадковъ выше линіи прилива, какъ слѣдствіе дѣятельности прибойныхъ волнъ бурь, наслоена чрезвычайно неправильно; наоборотъ, собственно отложенія пляжа, т. е. ниже линіи прилива, обнаруживаютъ правильную слоистость, параллельную склонамъ пляжа, которые, какъ было указано, измѣняютъ наклонъ отъ 2 до 8° при слабыхъ приливахъ и до 15—20° при сильныхъ, когда измѣняется и самый характеръ слагающаго матеріала. На отложеніяхъ пляжа часто можно видѣть слѣды струйчатости (rill-marks), т. е. бороздки соединяющіяся подъ острымъ угломъ, обращеннымъ къ морю; онѣ возникаютъ вслѣдствіе какихъ-нибудь препятствій при стокѣ возвратной волны. Обломки раковинъ и различные выбросы моря являются характерными для отложеній пляжа. Въ нижней части пляжа часто образуются незначительныя выпуклости, такъ называемая рябь, или волноприбойные знаки (ripple-marks). Образованіе ихъ объясняютъ тѣмъ, что волна перемѣщаетъ передъ собою песокъ до нѣкоторой высоты, дальше которой сила ея теряется и она скатывается черезъ гребень такого песчанаго валика. Вода, испытывая различныя вибраціи, при распространеніи каждой волны, и оставляетъ такіе нѣжные слѣды своего колебанія.

Отложенія пляжа, конечно трудно разграничить отъ тѣхъ, которыя отлагаются, какъ мы говорили, исключительно подъ вліяніемъ силы тяжести изъ взвѣшеннаго состоянія, увлекаемыя волнующейся водой. Отложенія пляжа или приливо-отливной полосы составляютъ переходъ къ осадкамъ мелководнаго моря.

Прибрежныя отложенія.

(Осадки мелководнаго и болѣе глубокаго моря).

Матеріалъ, поддерживаемый волнующимся моремъ въ взвѣшенномъ состояніи, состоитъ изъ обломковъ различныхъ минераловъ, преимущественно кварцевыхъ, діаметръ которыхъ менѣе 0.1 мм., и тонкаго ила, происходящаго отъ истиранія болѣе мягкихъ породъ, глинистыхъ или известняковыхъ. Этотъ матеріалъ имѣетъ качественное сходство съ вышеописанными береговыми отложеніями и состоитъ изъ разрушенныхъ и снесенныхъ частей береговыхъ породъ и вообще суши. Даже наиболѣе тонкій матеріалъ не можетъ перемѣщаться безконечно въ прибрежной полосѣ моря; онъ подвергается фильтраціи, подъ вліяніемъ которой начинаетъ отлагаться въ зонѣ непосредственно за пляжемъ, гдѣ волненіе моря сосредоточивается болѣе лишь около поверхности.

Выше, при описаніи дельтъ, было уже указано, что самая мелкая муть въ морской водѣ осаждается въ 15 разъ скорѣе, нежели въ рѣчной, а по опытамъ Сиденія, Гильгара и др. муть, осаждающаяся въ чистой водѣ въ теченіе 10—14 дней, въ морской успѣваетъ осѣсть въ 14—18 часовъ. По изслѣдованіямъ проф. W. H. Brewer'a [45]) эта разница еще больше, а именно: самая мельчайшая муть, осѣдающая въ прѣсной водѣ въ теченіе 30 мѣсяцевъ, въ морской водѣ требуетъ только 30 минутъ. Эта, такъ сказать, очистительная дѣятельность морской воды зависитъ отъ температуры и солености ея; съ увеличеніемъ той и другой она увеличивается. Это интересное явленіе объясняетъ намъ общераспространенный обычай очищать мутную воду квасцами; оно же объясняетъ болѣе быстрое

отложеніе осадковъ въ морскихъ устьяхъ рѣкъ, образованіе бара и пр., словомъ— имѣетъ *большое значеніе для опредѣленія границы распространенія* на днѣ моря ила, вносимаго рѣками, и дѣлаетъ понятнымъ отложеніе органическаго ила въ пелагическихъ областяхъ (см. дальше).

Эти отложенія образуютъ вокругъ материковъ и острововъ непрерывный поясъ средней ширины около 250 километровъ; мѣстами эта ширина меньше, мѣстами больше; напр., она достигаетъ 600 кл. противъ береговъ Бразиліи, гдѣ осадки, выносимые Амазонкой, относятся значительно дальше морскими теченіями. Рихтгофенъ называетъ эту полосу континентальною зоною морского дна (continentalzone der Meeresgründe). Она не только окаймляетъ берега материковъ и острововъ, но и покрываетъ дно всѣхъ внутреннихъ и красвыхъ морей. Мэррей и Ренаръ называютъ эти осадки терригеновыми, какъ связанные по своему происхожденію съ сушей *). По своимъ петрографическимъ свойствамъ эта континентальная полоса можетъ быть раздѣлена на двѣ части (подзоны), отличающіяся и своимъ положеніемъ относительно берега: песчаная зона и континентальная зона иловъ.

Песчаная зона. Ближайшая къ берегу или вѣрнѣе къ узкой верхней приливо-отливной полосѣ зона состоитъ изъ песка и частью гальки, петрографическій характеръ которыхъ измѣняется съ измѣненіемъ геологическаго состава береговъ. Вокругъ европейскихъ береговъ она занимаетъ всѣ глубины менѣе 100 саженей (200 м.); она образуетъ сначала узкую полосу около береговъ Испаніи и быстро расширяется къ западу, начиная отъ мыса Финистеръ, обнимая всю область Британскихъ острововъ и Нѣмецкаго моря. Въ предѣлахъ этой зоны есть однако мѣста, гдѣ вовсе не отлагается осадковъ; мы упоминали уже о Па-де-Кале, также въ другихъ мѣстахъ Ламанша и мѣстами въ Балтійскомъ морѣ, что объясняется дѣятельностью сильныхъ теченій.

Осадки песчаной зоны отлагаются обыкновенно горизонтальными слоями, такъ какъ отложеніе ихъ происходитъ исключительно подъ вліяніемъ силы тяжести. На поверхности ихъ подъ вліяніемъ вибраціи волнъ до глубины 100 и 150 метровъ должны возникать слѣды ряби (ripple marks). Слои получаютъ наклонъ, если теченія приливо-отливныя достигаютъ достаточной силы; въ такихъ случахъ осадки продолжаютъ отлагаться горизонтально только въ періоды относительнаго покоя во время окончанія прилива и отлива, а въ промежуточное время слои отлагаются нѣсколько наклонно и тѣмъ болѣе, чѣмъ сильнѣе противное теченіе. Такимъ образомъ возникаютъ перемежающіеся слои то горизонтальные, то

*) Другіе авторы называютъ терригеновыми вообще всѣ отложенія, связанныя по своему происхожденію съ сушей (land-derived), противопоставляя ихъ отложеніямъ пелагическимъ или абиссальнымъ. Такъ Гикки (Text-Book of Geology, I, 580) терригеновыя отложенія раздѣляетъ на: α) береговыя (shore deposits) въ предѣлахъ приливо-отливной полосы; β) мелководныя и болѣе глубокой воды (infra-littoral and deeper-water deposits) отъ нижняго положенія отлива до глубины часто 2000 саженей въ поясѣ до 200 миль отъ берега. Отложеніями пелагическими (abysmal or pelagic) Гикки называетъ осадки механическаго же происхожденія, но большихъ глубинъ и удаленные отъ суши, причемъ источникъ самого матеріала этихъ осадковъ далеко не ясенъ; скорѣе всего этотъ матеріалъ происходитъ изъ вулканическихъ выбросовъ какъ островныхъ вулкановъ, такъ и подводныхъ изверженій (Мэррей и Ренаръ). Органическіе илы (ooze) составляютъ уже иную категорію осадковъ на днѣ моря, именно продукты жизнедѣятельности организмовъ.

съ наклонной слоеватостью. Вообще же самая слоистость осадковъ, т. е. ясное появленіе плоскостей напластованія, можетъ обнаружиться только въ тѣхъ случаяхъ, когда движеніе воды подвергается частымъ измѣненіямъ. Плоскости напластованія среди песка совершенно однороднаго зерна свидѣтельствуютъ о временномъ перерывѣ въ процессѣ отложенія, т. е. объ отсутствіи отлагающагося матеріала. Если происходятъ болѣе сильныя колебанія въ напряженности волненія, измѣняется перемѣщающая сила, и слѣдовательно пески могутъ отлагаться поочередно съ гравіемъ или галечникомъ. Если не происходитъ перерыва въ отложеніи, осадки опускаются на дно непрерывно, подобно отложенію изъ химическаго раствора.

Возможно, что болѣе тонкія илистыя частицы, первоначально разсѣянныя среди песчаныхъ, могутъ сосредоточиваться въ небольшія ключковатыя массы, осѣдающія только необыкновенно медленно.

Совершенно неслоистыя образованія въ песчаной зонѣ получаются также при участіи плавающаго льда, когда на днѣ моря отлагается матеріалъ ледниковаго происхожденія, напр., въ Атлантическомъ океанѣ у Нью-Фаундлэнда.

Континентальная зона иловъ. Съ удаленіемъ отъ береговъ составныя части песчаной зоны постепенно уменьшаются, а самыя отложенія становятся петрографически однообразнѣе и, наконецъ, на глубинахъ болѣе 200 м., т. е. внѣ сферы дѣйствія волнъ, песчаная зона смѣняется зоною континентальныхъ иловъ, которая хотя также принадлежитъ къ прибрежнымъ отложеніямъ, но представляетъ осадокъ континентальнаго матеріала въ области вообще болѣе глубокаго моря, отъ 100 саженной глубины до 5000 метровъ. Въ отдѣльныхъ случаяхъ экспедиція Чэлленджера встрѣчала эти отложенія на глубинѣ до 7000 м.; Мэррей и Ренаръ считаютъ предѣлъ глубины его распространенія около 4 миль. Дно всѣхъ внутреннихъ морей, какъ Нѣмецкое, Балтійское, Средиземное, Красное, Японское, Китайское, Черное, даже Каспійское, значительной частью занято отложеніями ила. Во всѣхъ отложеніяхъ этой категоріи находятъ обломки минераловъ діаметромъ максимумъ 0,5 мм. и преимущественно кварца, рѣже слюды, полевого шпата, авгита или роговой обманки.

Континентальные илы занимаютъ особенно обширныя пространства дна въ арктическихъ моряхъ, часто приближаясь совсѣмъ близко къ берегамъ и оттѣсняя песчаную зону до самой узкой полосы. Такъ они преобладаютъ въ моряхъ Баффиновомъ и Гудзоновомъ и въ многочисленныхъ проливахъ арктическихъ странъ. Это понятно, такъ какъ въ арктическихъ моряхъ волненіе остается наименѣе напряженнымъ, вслѣдствіе значительнаго ледяного покрова въ теченіе продолжительныхъ періодовъ; также береговая линія долго остается окаймленной льдами, и дѣятельность прибоя гораздо слабѣе. Ледники арктическихъ странъ доставляютъ огромныя количества тонкаго илистаго матеріала, а остатки организмовъ, именно діатомовыхъ, преобладающихъ въ этихъ водахъ, доставляютъ кремнистые элементы, которые почти не измѣняютъ общаго характера илистыхъ осадковъ арктическихъ морей.

Мэррей и Ренаръ зону континентальныхъ иловъ раздѣляютъ на:

I. Околоконтинентальные и внутреннихъ морей: 1) голубой илъ, 2) зеленый илъ и песокъ, 3) красный илъ.

II. Илы океаническихъ острововъ: 1) коралловые илъ и песокъ, 2) кораллиновый илъ и песокъ, 3) вулканическій илъ и песокъ.

Составъ иловъ.

Синеватый илъ (boue bleuâtre, blue mude) имѣетъ самое обширное распространеніе въ прибрежной полосѣ материковъ и материковыхъ острововъ. Онъ покрываетъ также большую часть дна внутреннихъ и краевыхъ морей и характеризуется темносинимъ цвѣтомъ, часто переходящимъ почти въ черный, подобный цвѣту грифельныхъ сланцевъ; только въ рѣдкихъ случаяхъ, вслѣдствіе разложенія органическими веществами, онъ принимаетъ съ поверхности красноватый оттѣнокъ; въ сухомъ состояніи онъ становится сѣроватымъ; часто онъ издаетъ запахъ сѣроводорода и никогда не обладаетъ плотностью и пластичностью глины. Голубая окраска происходитъ или отъ органическихъ веществъ, или отъ тонко раздробленнаго пирита. Сложеніе его чрезвычайно тонкозернистое; иногда 80% его массы образуютъ обломки минераловъ діаметромъ отъ 0.02 до 0.05 мм. Между ними главную роль играютъ зерна кварца и глауконита. Известковые остатки организмовъ также входятъ въ составъ ила и даже достигаютъ 50% всей массы его. Въ центральныхъ частяхъ болѣе глубокихъ областей примѣшиваются пелагическіе фораминиферы, кораллы, губки и пр., иногда даже обломки діатомей и скелеты радіолярій. Вообще можно сказать, что съ приближеніемъ къ берегамъ исчезаютъ даже слѣды пелагической фауны, но за то появляются представители береговой фауны, причемъ сложеніе ила становится крупнозернистѣе. Въ полярныхъ областяхъ, гдѣ иногда айсберги, растаивая, оставляютъ ледниковый матеріалъ, синеватый илъ принимаетъ сѣроватый цвѣтъ (grey clay); эта сѣрая глина отличается присутствіемъ крупныхъ зеренъ кварца, галекъ и валуновъ; здѣсь слѣдовательно теряется петрографическая разница между прибрежными и болѣе глубоководными терригеновыми отложеніями.

Зеленоватый илъ и песокъ (boue et sable verdâtre, green mude and sand), по своему сложенію, распространенію, сѣроводородному запаху, содержанію организмовъ и пр., почти во всемъ подобенъ синеватому илу, но отличается отъ него, главнымъ образомъ, обильнымъ содержаніемъ глауконита (водный силикатъ желѣза и калія), который находится или въ отдѣльныхъ зернахъ, или массами, сцементированными буроватымъ глинистымъ веществомъ, заключающимъ зерна кварца, полевыхъ шпатовъ, фосфорнокислаго кальція и др. болѣе или менѣе измѣненныхъ минераловъ. Иногда глауконитъ выполняетъ раковины фораминиферъ, какъ наблюдалъ Пурталэ [46]) у береговъ Георгіи и Южной Каролины. Въ сухомъ состояніи зеленоватый илъ имѣетъ землистый видъ и принимаетъ сѣровато-зеленый оттѣнокъ. Зеленый цвѣтъ ила, вѣроятно, зависитъ отъ возстановляющаго дѣйствія органическихъ веществъ на соли окиси желѣза. Зеленоватый песокъ отличается отъ ила только преобладаніемъ песка надъ аморфнымъ глинистымъ веществомъ. Глауконитъ придаетъ ему характерный зеленоватый оттѣнокъ. Зеленый илъ и песокъ встрѣчаются, напр. въ Тихомъ океанѣ, близко отъ береговъ на глубинахъ

отъ 500 до 1300 метровъ и куда не достигаетъ вліяніе значительныхъ рѣкъ, слѣдовательно, гдѣ пелагическія условія приближаются къ берегамъ.

Красноватый илъ (boue rougeâtre, red mude) только мѣстами замѣняетъ синеватый илъ, напр. у береговъ Бразиліи, гдѣ материковые потоки сносятъ, какъ думаетъ Мэррей, огромное количество желѣзистыхъ веществъ. Красноватый илъ содержитъ мало кремнистыхъ организмовъ и глауконита, но за то богатъ желѣзистою охрою и скопленіями лимонита, что и обусловливаетъ его красноватый, красновато-желтоватый цвѣтъ, если въ составѣ его много глины.

Вулканическій илъ и песокъ (boue et sable volcanique) образуетъ прибрежный осадокъ вокругъ вулканическихъ острововъ; онъ чернаго или сѣровато-чернаго цвѣта; въ сухомъ видѣ рѣдко представляетъ связную массу. Состоитъ или изъ обломковъ вулканическихъ породъ, или изъ зеренъ минераловъ, входящихъ въ составъ этихъ породъ, т. е. плагіоклаза, санидина, роговой обманки, авгита, перидота, магнитнаго желѣзняка и др., діаметромъ около 0,5 мм.; но зерна кварца попадаются весьма рѣдко; организмы такіе же, какъ и въ синеватомъ илѣ, но только нерѣдко они покрыты марганцевою оболочкою; большая примѣсь известковыхъ раковинъ измѣняетъ оттѣнки цвѣта вулканическаго ила.

Коралловый илъ (boue corallienne) состоитъ изъ 95% углекислаго кальція въ видѣ осколковъ коралловъ, известковыхъ водорослей, фораминиферъ, серпуль, моллюсковъ и др. Въ илѣ преобладаетъ аморфное мѣловое вещество, которое обусловливаетъ пластичность ила. Величина наиболѣе крупныхъ известковыхъ зеренъ отъ 1 до 2 мм. и только изрѣдка попадаются большіе куски коралловъ; остатки кремнистыхъ организмовъ составляютъ не болѣе 2—3% всей массы. Коралловый илъ обыкновенно бѣлаго, но иногда краснаватаго цвѣта. При дѣйствіи соляной кислоты получается остатокъ, состоящій изъ глины, осколковъ полевого шпата и другихъ вулканическихъ минераловъ, а у коралловыхъ береговъ и рифовъ находятъ и невулканическіе минералы. На глубинахъ больше 1000 ф. пелагическая фауна въ немъ увеличивается; остатокъ отъ растворенія получается болѣе глинистый, а на болѣе значительныхъ глубинахъ карлловый илъ постепенно переходитъ въ глобигериновый илъ или красную глину, характерную для пелагическихъ отложеній. Коралловый песокъ (le sable corallienne) отличается отъ ила только тѣмъ, что содержитъ мало аморфнаго вещества.

Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ скопленія известковыхъ водорослей-коралинъ имѣютъ преобладающее развитіе, и тогда эти отложенія называютъ кораллиновымъ иломъ (boue à corallines).

Подводные валуны и гальки. Въ Па-де-Кале посереднѣ пролива хорошо окатанныя кварцевыя гальки образуютъ цѣлые поясы на днѣ на глубинахъ больше 30 метровъ. Нельзя приписать появленіе ихъ здѣсь ни волнамъ, ни теченіямъ, а обиліе ихъ исключаетъ возможность случайнаго перемѣщенія ихъ на дно. Остается единственно возможное объясненіе, что они залегаютъ здѣсь на мѣстѣ ихъ первоначальнаго положенія, когда существовалъ еще перешеекъ, соединявшій Францію и Англію. Это или береговыя гальки, или рѣчныя, не имѣющія ничего общаго съ современнымъ режимомъ моря, на днѣ котораго онѣ теперь лежатъ. Инкрустированіе ихъ мшанками показываетъ, что онѣ не испытываютъ теперь никакого перемѣщенія.

Въ 90 и даже 120 кл. отъ сѣверныхъ береговъ Испаніи на днѣ Атлантическаго океана находятся угловатые обломки пиренейскихъ и кантабрійскихъ породъ, вѣроятно отъ погрузившейся части древней цѣпи Пиренеевъ.

Подобныя же явленія наблюдались у береговъ Соед. Штатовъ, напр. около Georgetown, внѣ сферы вліянія плавающихъ льдовъ. Также валуны на днѣ моря къ сѣверу отъ Шотландіи не могли попасть туда иначе, какъ во время ледниковой эпохи; Мэррей считаетъ ихъ остаткомъ древней морены.

Въ 1883 г. „Талисманъ“ досталъ съ глубинъ отъ 3000 до 5000 м. на широтѣ Азорскихъ о-въ валуны полированные и изборожденные. Эти камни могли быть доставлены сюда только айсбергами въ эпоху, когда они спускались значительно дальше, чѣмъ теперь.

Всѣ эти факты показываютъ, какъ разнообразенъ можетъ быть матеріалъ не только въ области распространенія терригеновыхъ морскихъ осадковъ, но и глубоководныхъ.

Пелагическія отложенія.

Прибрежныя отложенія глубокаго моря не распространяются отъ береговъ суши дальше, чѣмъ 200—300 кл. Въ Тихомъ океанѣ есть области, гдѣ на протяженіи 9000 кл. нѣтъ никакой земли; въ Атлантическомъ океанѣ можно не встрѣтить земли на протяженіи до 4000 кл. Осадки, которые отлагаются на днѣ такихъ океаническихъ пространствъ, не могутъ зависѣть ни отъ движенія волнъ, вообще отъ механической работы моря на берега суши, ни отъ дѣятельности рѣкъ.

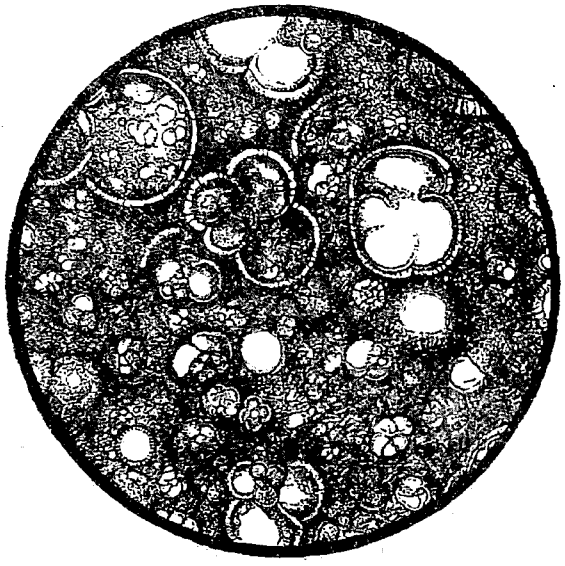
Двѣ категоріи осадковъ встрѣчаются на днѣ такихъ открытыхъ океаническихъ пространствъ. Одни изъ нихъ—органическаго происхожденія и представляютъ скопленія твердыхъ остатковъ организмовъ, обитавшихъ какъ на поверхности, такъ и на днѣ моря. Эти осадки представляютъ органическій илъ: глобигериновый, птероподовый, діатомеевый и радіоляріевый. Но даже микроскопическіе организмы, какими являются фораминиферы и діатомовые, не распространены повсюду; теченія могутъ препятствовать осажденію скелетовъ такихъ животныхъ непосредственно по вертикали подъ тѣми областями, гдѣ обитали эти организмы; наконецъ, эти скелеты могутъ не достигнуть дна подъ вліяніемъ химическихъ процессовъ въ морѣ. Слѣдовательно на днѣ моря имѣются обширныя пространства, гдѣ нѣтъ осадковъ ни механическаго, ни органическаго происхожденія. Глубоководныя изслѣдованія дѣйствительно показали на днѣ открытыхъ океановъ распространеніе еще другой категоріи осадковъ, именно неорганическаго ила, или такъ называемой красной глины глубокаго моря (argile rouge, red clay).

Всѣ отложенія глубокаго моря, въ которыхъ механическіе элементы разрушенія суши, не играютъ никакой роли или, какъ увидимъ дальше, принимаютъ болѣе или менѣе случайное участье, Мэррей и Ренаръ называютъ абиссальными. т. е. глубоководными, или, какъ теперь называютъ, пелагическими. Не останавливаясь здѣсь на разсмотрѣніи такъ называемой пелагической фауны, т. е. живущей на поверхности моря или около нея, что будетъ сдѣлано въ особой главѣ, остановимся только на петрографическомъ характерѣ органическихъ иловъ.

Органическіе илы. Терригеновыя отложенія около нижней границы ихъ расположенія постепенно переходятъ въ пелагическія. Количество терригеновыхъ илистыхъ частицъ уменьшается, а количество скелетовъ пелагическихъ организмовъ возрастаетъ, пока осадокъ не получитъ ха-

рактера пелагическаго зоогеноваго ила (англичане въ отличіе отъ континентальнаго ила такому илу даютъ названіе не mud, а ooze; французы называютъ также boue или vase, а нѣмцы—Schlamm).

Глобигериновый илъ, фиг. 388. Этимъ именемъ называютъ пелагическій осадокъ, содержащій отъ 40% до 95% $CaCO_3$ и состоящій главнымъ образомъ изъ скопленія известковыхъ раковинъ мельчайшихъ пелагическихъ фораминиферъ, какъ то: Globigerina bulloides, Orbulina universa, Biloculina, Cristellaria crepidula, C. rotularia, Discobrina globularis, Truncatulina lobatula, Rotalia Beccari, Polystomella crispa, P. striatopunctata, Nonionina depressula, Pullvinulna, Pullenia, Sphaeroidina и пр. Цвѣтъ его молочно-бѣлый, желтоватый, буроватый или розоватый; различные оттѣнки зависятъ отъ большей или меньшей примѣси окисловъ желѣза и марганца. Необыкновенно мелкія фораминиферы, достигающія видимой величины только подъ тропиками, обусловливаютъ тонкозернистое сложеніе его и пылеобразный видъ въ сухомъ состояніи. Кромѣ углекислаго кальція, онъ содержитъ еще фосфорнокислый и сѣрнокислый кальцій, карбонатъ магнія, закиси желѣза, окись марганца и желѣза и глинистыя частицы. Въ буроватомъ нерастворимомъ остаткѣ замѣчаются кусочки лапилли, вулканическаго пепла, стекла и разложившагося палагонита; мѣстами эти вещества скопляются въ большомъ количествѣ. Зерна отдѣльныхъ минераловъ не болѣе 0,08 мм. въ діаметрѣ, чаще всего принадлежатъ: плагіоклазу, авгиту, перидоту, роговой обманкѣ и магнитному желѣзняку; кварцъ попадается сравнительно рѣдко и притомъ зерна его имѣютъ видъ барханныхъ зеренъ; въ исключительныхъ случаяхъ находятся: біотитъ, бронзитъ, актинолитъ, хромитъ, глауконитъ и космическая пыль. Кромѣ того почти всегда примѣшиваются кремнистые организмы—діатомеи и радіоляріи, достигающіе мѣстами 20% всей массы глобигериноваго ила, также—аморфное вещество, напоминающее глину съ примѣсью окиси марганца и желѣза и различныя известковыя стяженія, извѣстныя подъ именемъ: кокколитовъ, рабдолитовъ, дисколитовъ и пр. (фиг. 389).

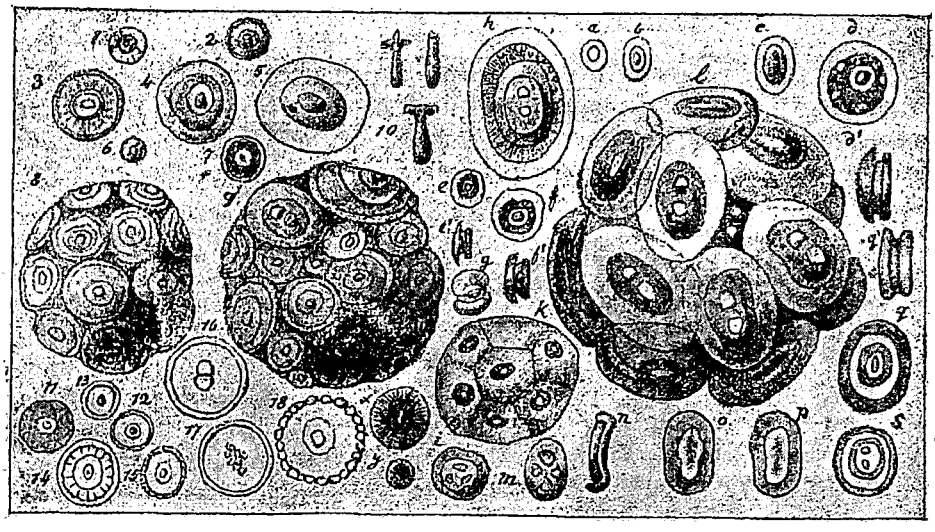


Фиг. 388.—Глобигериновый илъ съ глубины 3,200 м. 50° 1′ ю. ш.; 129° 4′ в. д. Увел. въ 50 разъ.

Чтобы судить о необыкновенной измельченности глобигериноваго ила, приведемъ указаніе Гюмбеля [47]), который въ илѣ, собранномъ у острова Новый Амстердамъ, нашелъ въ одномъ куб. снтм.: 5.000 фораминиферъ, 200.000 мелкихъ фораминиферъ, 220.000 осколковъ раковинъ фораминиферъ, 7.000,000 кокколитовъ, 4.800,000 мелкихъ иголъ и пылинокъ, 150.000 осколковъ губокъ, 100,000 радіолярій и діатомей,

240.000 минеральныхъ зеренъ; кромѣ того кусочки глины, волоски и пр. Растворимыхъ частей 81,06%, а нерастворимыхъ 18,94%.

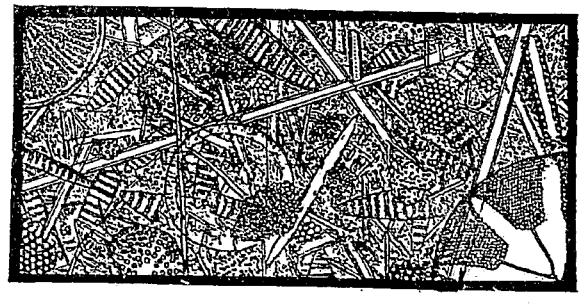
Птероподовый илъ отличается отъ предыдущаго только тѣмъ, что въ немъ вмѣстѣ съ фораминиферами находится огромное количество остат-



Фиг. 389. — Кокколиты и образованія сходныя съ ними.

1-8—кокколиты изъ различныхъ морскихъ осадковъ; 8-9—коккосферы изъ морскихъ осадковъ; 10—рабдолиты; 11-13—кокколиты изъ радіоляріеваго трепела Калѣтанизетты; 14-15—кокколиты изъ пѣла Медона; 16-18 — кокколиты изъ прослойка въ эоленгофскомъ известнякѣ (1 — 18 увеличено въ 1.000 разъ); *a, b, c*—дискколиты изъ Атлантическаго океана; *d, e, f, g, h* — діатолиты оттуда же; *i, k* — коккосферы плотные; *l*—кокколиты рыхлые; *m*—кружки съ крестообразнымъ знакомъ изъ Атлантическаго океана; *n, o, p*—дискколитъ изъ известняка Сусекса; *q, r, s*—діатолитъ оттуда же (*a—s* по Гёкели увеличены въ 1.200 разъ); *v-y*—овальныя выдѣленія изъ мочи лошади (приведены для сравненія при увеличеніи въ 250 разъ).

ковъ пелагическихъ птероподъ и гетероподъ, какъ напр. Diacria, Atlanta, Styliola, Carinaria и др. крылоногихъ и киленогихъ моллюсковъ; кромѣ того по своему распространенію онъ представляетъ переходъ къ прибрежнымъ отложеніямъ, поэтому и минеральныя зерна въ немъ разнообразнѣе, нежели въ глобигериновомъ илѣ.

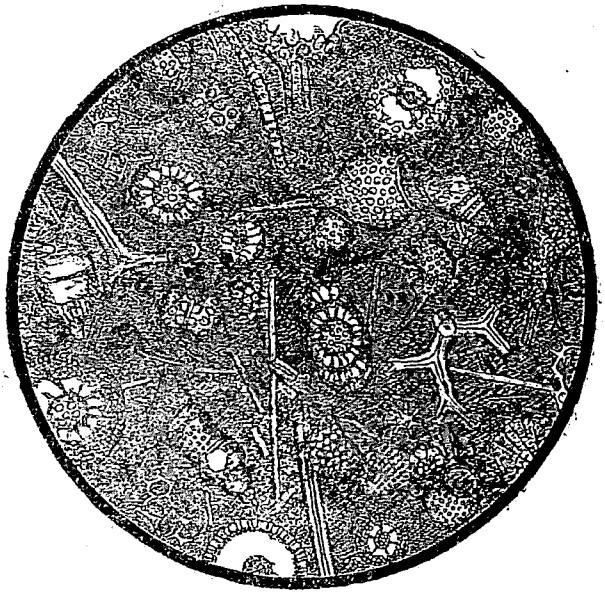


Фиг. 390. — Діатомеевый илъ; доставленъ экспедиціею Чэллэнджера изъ Антарктическаго океана съ глубины около 3.500 метр. — 53° 35 ю. ш. и 108° 38 в. д. (увел. въ 300 разъ).

Діатомеевый илъ соломенно-желтаго цвѣта различныхъ оттѣнковъ, состоитъ изъ скопленій діатомей и другихъ кремнистыхъ организмовъ (до 50%); въ сухомъ видѣ онъ похожъ на нѣжную кремневую муку и содержитъ до 25% $CaCO_3$ въ видѣ раковинъ глобигеринъ, осколковъ эхинодермъ и др. организмовъ; иногда заключаетъ кусочки разложившихся вулканическихъ породъ и минераловъ, занесенныхъ вѣтромъ и плавающими льдами (фиг. 390).

Радіоляріевый илъ мѣстами находится съ предыдущими и попадается даже какъ подчиненный элементъ въ прибрежныхъ отложеніяхъ; но въ центральныхъ частяхъ Тихаго океана образуетъ самостоятельное отложеніе, состоящее изъ кремнистыхъ панцырей радіолярій съ примѣсью окисловъ желѣза и марганца, зеренъ вулканическаго пепла, частью глины и углекислаго кальція въ видѣ пелагическихъ раковинъ—до 20% (фиг. 391).

Красная глина глубокаго моря (Argile rouge). Красная глина представляетъ самый распространенный осадокъ въ глубокихъ частяхъ современныхъ морей; можно даже сказать, что она занимаетъ всю пелагическую область океановъ и достигаетъ величайшихъ глубинъ, гдѣ не появляется ни одинъ изъ вышеименованныхъ осадковъ. Съ другой стороны, она не находится ни въ прибрежномъ поясѣ, ни во внутреннихъ, ни въ краевыхъ моряхъ. По своимъ петрографическимъ качествамъ она, съ одной стороны, представляетъ не что иное какъ нерастворимый остатокъ органическаго ила, а съ другой — въ нѣкоторыхъ случаяхъ является самостоятельнымъ образованіемъ; лучшею областью для изслѣдованія ея считаютъ центральную часть Тихаго океана. Оттѣнки красноватаго цвѣта ея зависятъ отъ большей или меньшей примѣси окисловъ желѣза и марганца.



Фиг. 391.—Радіоляріевый илъ; доставленъ экспедиціею Чэлленджера съ глубины около 8.000 мет. (11° 24′ с. ш., 143° 10′ в. д. Увел. въ 100 разъ).

Она однороднаго, весьма мелкозернистаго сложенія; отдѣльныя зерна рѣдко превышаютъ 0,05 мм. въ діаметрѣ и различаются только подъ микроскопомъ; она обладаетъ пластичностью; въ сухомъ состояніи тверда и на плоскостяхъ разрѣзовъ блеститъ; въ водѣ распускается легко; при всемъ томъ она не представляетъ чистой глины уже потому, что передъ паяльной трубкой она даетъ магнитный черный королекъ. Минеральныя зерна, примѣшанныя къ ней, въ громадномъ большинствѣ случаевъ, вулканическаго происхожденія и только мѣстами попадаются зерна материковыхъ породъ, принесенныя или плавающими льдами, или же вѣтромъ. Анализъ красной глины показываетъ, что силикатъ глинозема ($2Si\,O_2\,Al_2\,O_3\,2H_2\,O$) составляетъ въ ней только небольшую часть, а кремнеземъ находится въ избыткѣ, что, впрочемъ, объясняется примѣсью кремнистыхъ организмовъ. Изъ зеренъ вулканическихъ породъ преимущественно преобладаютъ новыя пироксеновыя породы. Кромѣ того въ

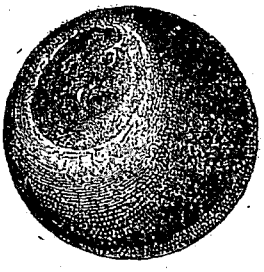
ней весьма часто, если только не всегда, находятся зерна и даже желваки иногда почковатаго сложенія окисловъ желѣза и марганца (фиг. 392); кристаллы и кристаллическіе сростки цеолитовъ и металлическіе или силикатовые зерна и шарики, вѣроятно космическаго происхожденія (фиг. 393), т.-е. представляютъ метеорную пыль [48]).

Изъ органическихъ остатковъ въ красной глинѣ чаще другихъ попадаются кремнистые радіолярія и діатомеи; известковые же находятся только въ верхнихъ частяхъ глины и на меньшихъ глубинахъ; кости кита и зубы акулы попадаются нерѣдко облеченные корою изъ оки-

Фиг. 392.—Марганцовыя конкреціи изъ сѣв. части Тихаго океана, $^2/_3$ натур. велич. *A* — съ глубины 5.200 м. *B*—разрѣзъ съ концентрическимъ строеніемъ съ глубины около 5.000 м.

словъ желѣза или марганца. Кромѣ того наблюдается еще аморфное вещество, которое вмѣстѣ съ глиной составляетъ до 50% всей массы красной глины.

Необходимо замѣтить, что красная глина образуетъ повидимому только тонкій покровъ на днѣ океановъ. На это указываетъ распространенность



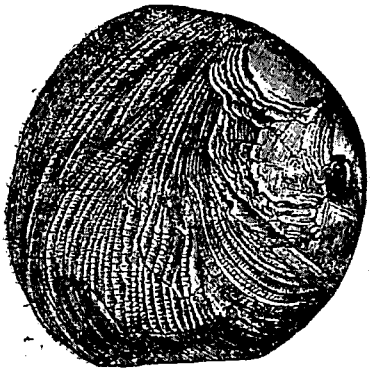
Фиг. 393.—Черный шарикъ съ металлическимъ центромъ изъ южной части Тихаго океана съ глубины около 4.700 м. Увел. въ 60 разъ.

Фиг. 394. — То же, что и фиг. 393 изъ Атлантическаго океана съ глубины 6.300 метр. Увеличено въ 60 разъ.

на ея поверхности остатковъ, которые въ другихъ отложеніяхъ встрѣчаются гораздо рѣже. Такъ однимъ опусканіемъ драги, на глубинѣ 4250 м. къ югу отъ Маркизскихъ острововъ, было добыто болѣе ста зубовъ акулъ и до сорока слуховыхъ костей китовыхъ, причемъ снарядъ

проникъ въ глину не болѣе какъ на 3—4 см. Однѣ изъ этихъ костей были покрыты инкрустаціей до $2^1/_2$ см. окислами марганца, а другія были совершенно чисты. Зубы акулъ напоминаютъ формы вымершія; гигантскіе зубы Carcharodon megalodon (до 0.10 м. ширины при основаніи) представляютъ полное сходство съ зубами Carcharodon третичнаго періода съ острова Мальты. Слѣдовательно, на этихъ исключительныхъ глубинахъ накопленіе органическихъ остатковъ происходило въ теченіе различныхъ эпохъ, и смѣшанные такимъ образомъ остатки не могли быть совершенно покрыты отложеніями. Въ илахъ органическихъ въ теченіе всей экспедиціи Чэллендженера найдено было только два зуба акулы и единственная кость китоваго животнаго, а въ прибрежныхъ отложеніяхъ ни разу не удалось открыть такихъ остатковъ.

Отсюда можно заключить, что образованіе органическаго ила происходитъ гораздо медленнѣе, чѣмъ континентальнаго, но несравненно быстрѣе, чѣмъ красной глины, гдѣ остатки позвоночныхъ животныхъ, падающіе на эту глину, сохраняются въ теченіе тысячелѣтій, покрываясь только марганцовыми инкрустаціями, а не отложеніями этой глины.



Фиг. 395.— Бронзитовый шарикъ изъ осадковъ южн. части Тихаго океана съ глубины 7.000 м. Увел. въ 25 разъ.

Чтобы сколько-нибудь уяснить происхожденіе собственно красной глины глубокаго моря, разсмотримъ сначала вообще географическое и батиметрическое распредѣленіе пелагическихъ отложеній (см. карту IV). Какъ уже сказано выше, они занимаютъ центральныя части океаническаго дна въ предѣлахъ глубинъ отъ 2 до 5 миль, или на средней глубинѣ около 3 миль, гдѣ дно большею частью представляетъ плоско-волнистую равнину, однообразная поверхность которой нарушается только въ рѣдкихъ случаяхъ появленіемъ вулканическихъ острововъ. Эта область величайшихъ глубинъ также однообразна и въ другихъ отношеніяхъ. Лучи солнца туда не проникаютъ, температура варьируетъ только въ узкихъ предѣлахъ отъ—0,5° Ц. до 3° Ц. и въ каждомъ данномъ мѣстѣ остается постоянною въ теченіе всего года. Вслѣдствіе этого очевидно, что и органическая жизнь тамъ гораздо бѣднѣе, нежели въ прибрежной полосѣ; растенія совсѣмъ не живутъ въ ней, а крупныя животныя не отличаются ни разнообразіемъ формъ, ни обиліемъ индивидовъ; слѣдовательно пелагическія отложенія далеко не отличаются такою сложностью, какъ вышеописанныя прибрежныя. Но такъ какъ въ составѣ пелагическихъ осадковъ принимаютъ большое участіе мелкіе организмы, обитающіе въ верхнихъ слояхъ морской воды, то въ распредѣленіи разновидностей пелагическаго ила до нѣкоторой степени замѣчается, кромѣ глубины, также вліяніе температуры.

Глобигериновый и птероподовый илъ, съ различными кокколитами, дисколитами, рабдолитами и остатками раковинъ моллюсковъ, главнымъ

образомъ распространены въ тропическомъ и умѣренномъ поясахъ на разстояніи 110° широты между холодными поясами и притомъ тамъ, куда материковые продукты не достигаютъ и гдѣ нѣтъ вліянія волнъ. Ни въ холодныхъ, ни во внутреннихъ морскихъ бассейнахъ глобигериновый илъ не встрѣчается; по направленію къ полюсамъ количество его уменьшается постепенно. Въ южномъ полушаріи онъ доходитъ только до 50° ю. ш.; въ сѣверномъ полушаріи онъ простирается далѣе, но только въ полосѣ теплыхъ теченій, напр. Гольфстрёма въ Атлантическомъ океанѣ. Глубина отложенія глобигериноваго ила колеблется между 500 и 5300 метрами. При такой зависимости отъ температуры и глубины, отложенія эти можно было бы назвать «осадками среднихъ глубинъ и теплаго пояса» (les sédiments des profondeurs moyennes et des zones chaudes). На глубинахъ около 6.000 м. глобигериновый и птероподовый илы, какъ показываютъ пробы Чэлленджера въ Атлантическомъ и Тихомъ океанахъ, совершенно исчезаютъ, причемъ съ глубины 4.500 м. это исчезаніе происходитъ постепенно; сначала исчезаютъ всѣ болѣе нѣжныя раковины, толстыя утрачиваютъ свои контуры и являются значительно измѣненными, бѣлый цвѣтъ становится сѣроватымъ, буроватымъ, наконецъ вся масса ила превращается въ красноватую глину глубокаго моря. Наблюденія показываютъ также, что птероподовый илъ не распространяется глубже 3.000 м., и если онъ встрѣчается вмѣстѣ съ глобигериновымъ, то при постепенномъ углубленіи дна онъ исчезаетъ прежде глобигериноваго, а затѣмъ вмѣстѣ съ нимъ переходитъ въ красную глину.

Такой переходъ до нѣкоторой степени подтверждается сравнительными анализами глобигериноваго ила, красной глины и переходнаго между ними ила, что видно изъ слѣдующей таблицы Гюмбеля [49]). (См. слѣдующую страницу).

Исчезаніе на большихъ глубинахъ известковаго органическаго ила—или, лучше сказать, постепенную замѣну его красною глиною—объясняютъ тѣмъ, что на большихъ глубинахъ, судя по наблюденіямъ Бэканана и Дитмара, существуетъ избытокъ свободной угольной кислоты, которая растворяетъ известковыя скорлупы раковинъ. Это объясненіе подтверждается еще другимъ наблюденіемъ тѣхъ же ученыхъ, а именно, что глубокіе слои морской воды содержатъ гораздо большее количество углекислаго кальція, нежели верхніе, которые большею частью совершенно лишены его. Весьма вѣроятно, что присутствіе угольной кислоты обусловливаетъ раствореніе известковыхъ раковинъ уже на пути ихъ въ глубокіе слои, и чѣмъ меньше количество ихъ, тѣмъ онѣ исчезаютъ на меньшей глубинѣ—отсюда разница въ глубинѣ залеганія птероподоваго ила (до 3.000 м.) и глобигериноваго ила (до 5.000 м.). Количество птеропод меньше, нежели глобигеринъ, а раковины ихъ больше, слѣдовательно представляютъ большую поверхность для растворенія. Въ теплыхъ тропическихъ моряхъ, богатыхъ углекислотою, исчезаетъ большій процентъ известковыхъ пелагическихъ раковинъ, нежели въ холодныхъ полярныхъ, гдѣ ихъ весьма мало, но они исчезаютъ медленнѣе. Наконецъ, возможно, что огромное давленіе на большихъ глубинахъ также помогаетъ растворенію известковыхъ раковинъ. Другое дѣло кремнистый илъ—радіоляріевый или діатомеевый: какъ трудно поддающійся раство-

Составныя части.	Глобигериновый илъ.				Переходный илъ.				Глинистый илъ или красная глина.			
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Углекислый кальцій	85,62	81,06	81,46	90,15	61,34	59,65	54,17	63,86	Сл.	12,11	Сл.	Сл.
Углекислый магній.	4,26		1,99	Сл.	4,00	1,44	—	0,40	Сл.	1,31	—	—
Кремнеземъ (ч. въ в. песка) . .	1,52	10,60	9,09	5,05	23,34	20,90	34,38	20,30	56,24	57,94	52,65	53,60
Глиноземъ . . .	—	2,00	1,80	0,55	5,35	11,35	1,44	6,64	16,94	10,04	22,21	16,75
Окись и закись желѣза	0 31	3,00	3,65	0,70	5,91		2,34	3,84	10,39	5,16	11,09	14,51
Окись марганца .	—	0,50	Сл.	Сл.	—		—	Сл.	1,28	0,16	2,25	0,50
Известь	—	1,50	Сл.	Сл.	—		—	Сл.	1,62	—	2,75	1,50
Магнезія	—	0,01	Сл.	Сл.	—		—	Сл.	1,54	—	3,30	0,56
Кали	—	0,50	0,47	0,32	—	1,27	—	0,81	2,82	1,22	1,74	2,01
Натръ	—		0,57	0,43	—		—	0,54	4,92	2,39	1,83	3,25
Фосфорная кислота.	0,18	—	Сл.	Сл.	—		—	—	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.
Титановая кислота.	—	—	0,20	—	—		—	—	—	Сл.	0,80	Сл.
Хлоръ, сѣрная кислота	—	—	—	—	—		—	—	—	4,34	Сл.	Сл.
Вода и органическія вещества .	8,15	0,83	0,98	2,80	—	3,05	7,67	2,22	5,29	5,61	0,98	7,00
Сумма . . .	100,04	100,00	100,21	100,00	90,94	97,66	99,92	98,61	101,04	100,28	99,60	99,68

I.—Илъ, собранный между Кубой и Флоридой (Sharples).

II.—Изъ Индійскаго океана у о—ва Новый Амстердамъ съ глубины 1.485 м. (корабль «Газелль») (Гюмбель) съ 81,06% растворимыхъ частей въ HCl и съ 18,94% нерастворимыхъ.

III.—Изъ Атлантическаго океана къ сѣверу отъ Мадеры (корабль «Газелль») съ глубины 4,618 м. (Гюмбель) съ 83,45% растворимыхъ въ HCl и 16,552 нерастворимыхъ частей.

VI.—Изъ Австралійскаго моря между Новою Зеландіею и Новымъ Южнымъ Уэльсомъ (корабль «Газелль») (Гюмбель) съ 91,65% растворимыхъ въ HCl и 8,35% нерастворимыхъ частей.

V.—Къ SSW отъ Ирландіи съ глубины 4,433 м. (Hauter).

VI.—Къ западу отъ Мадеры съ глубины 2,350 м. (Гюмбель).

VII.—Между Испаніею и Азорскими островами съ глубины 5,103 м. (Гюмбель).

VIII.—Изъ Атлантическаго океана къ SO отъ Канарскихъ острововъ съ глубины 5,207 м. (Швагеръ).

IX.—Между Новою Зеландіею и Таити съ глубины 5,422 м. (Гюмбель).

X.—Изъ Нѣмецкаго моря у Норвежскихъ береговъ съ глубины 300 м. (Гюмбель).

XI.—Изъ Тихаго океана къ западу отъ острововъ Товарищества съ глубины 4,956 м. (Гюмбель).

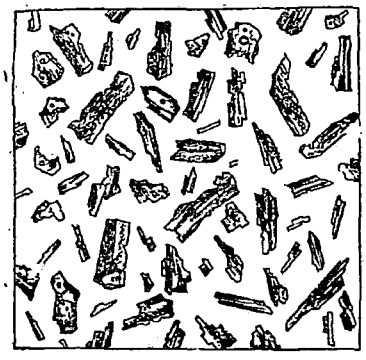
XII.—Изъ Тихаго океана къ востоку отъ острова Тонга, съ глубины 5,011 м. (Гюмбель).

ренію, онъ встрѣчается на гораздо большихъ глубинахъ и даже вмѣстѣ съ глубоководною красною глиною, но преимущественно онъ развитъ въ высшихъ широтахъ.

Красная глина глубокаго моря, какъ выше сказано, занимаетъ самое большое пространство и въ сущности представляетъ главный осадокъ въ пелагическихъ областяхъ Атлантическаго, Тихаго и Индійскаго океановъ;

но въ чистомъ видѣ, со всѣми своими характерными особенностями, она проявляется только тамъ, гдѣ она свободна отъ примѣсей известковыхъ и кремнистыхъ раковинъ.

Происхожденіе красной глины глубокаго моря составляетъ чрезвычайно интересный и важный вопросъ, но, вмѣстѣ съ тѣмъ, въ высшей степени трудный для рѣшенія. Одни предполагаютъ, что она происходитъ отъ континентальнаго ила, занесеннаго теченіями и отложившагося въ пелагической области; но этому противорѣчитъ, во-первыхъ, замѣчательная однородность состава красной глины, а во-вторыхъ вышеуказанный районъ распространенія несомнѣннаго континентальнаго ила. Другіе считаютъ всю массу красной глины исключительно нерастворимымъ остаткомъ исчезнувшихъ накопленій известковыхъ раковинъ. Это объясненіе хотя допустимо во многихъ случаяхъ, какъ это выше указано, тѣмъ не менѣе самые компетентные изслѣдователи пелагическихъ отложеній, Мэррей и Ренаръ, полагаютъ, что это объясненіе далеко не универсально и неприложимо ко многимъ типичнымъ областямъ красной глины. На основаніи своихъ многосторонніхъ изслѣдованій, они справедливо считаютъ красную глину продуктомъ разложенія рыхлыхъ вулканическихъ породъ, именно палагонитоваго туфа, богатаго основными стеклами. Микроскопическими анализами многочисленныхъ пробъ они доказали, что въ глинистомъ илѣ глубокаго моря почти повсюду заключаются частицы шлаковъ, лапилли, пепла силикатовъ и другихъ вулканическихъ минераловъ въ самыхъ разнобразныхъ стадіяхъ разложенія. Съ другой стороны, географическое распространеніе вулканическихъ продуктовъ на днѣ современныхъ морей чрезвычайно обширно; они являются или въ смѣси съ кремнистыми и известковыми раковинами, или же съ примѣсью нѣкоторыхъ минеральныхъ веществъ вторичнаго происхожденія, которыя позволяютъ намъ оцѣнить необыкновенную медленность накопленія этихъ осадковъ, или же, что гораздо рѣже, въ такомъ чистомъ видѣ, что Мэррей и Ренаръ могли установить полное тождество между нѣкоторыми пробами, взятыми съ большихъ глубинъ, и пепломъ, выпавшимъ въ Батавіи 27 августа 1883 года (фиг. 396) при громадномъ изверженіи Кракатау въ Зондскомъ проливѣ, когда масса рыхлыхъ продуктовъ, скопившаяся только въ окрестностяхъ вулкана (пластъ 30 кил. длиною, 1 кил. шириною и до 4 м. толщиною образовался на поверхности моря) составляла до 150.000.000 куб. м.



Фиг. 396.—Вулканическій пепелъ Кракатау, выпавшій въ Батавіи 27 августа 1883 г. Увелич. въ 250 разъ.

Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ возможно прослѣдить шагъ за шагомъ преобразованіе основныхъ вулканическихъ породъ, особенно стекловатыхъ—гіаломелана и тахилита—въ красную глину. Не смотря на низкую температуру большихъ глубинъ, химическое дѣйствіе воды на эти породы довольно энергично; оно выражается не только образованіемъ глины, но

также нѣкоторыхъ минераловъ, которые обыкновенно и на поверхности земли являются продуктами вывѣтриванія вулканическихъ породъ; между ними перве мѣсто занимаютъ цеолиты, встрѣчающіеся въ красной глинѣ Тихаго океана въ видѣ или отдѣльныхъ кристалловъ или кристаллическихъ группъ или шаровыхъ сростковъ до 0,5 мм. въ діаметрѣ. Изъ цеолитовъ Мэррей и Ренаръ опредѣлили христіанитъ. Вышеупомянутые желваки или конкреціи окисловъ желѣза и марганца также представляютъ большею частью продукты выдѣленія при разложеніи вулканическаго матеріала, такъ какъ извѣстно, что эти элементы входятъ въ составъ вулканическихъ основныхъ стеколъ, авгитовъ, перидотовъ и пр. Если въ красной глинѣ находятся какіе-нибудь органическіе остатки, напр. кости кита, зубы акулы и пр., то обыкновенно окислы желѣза и марганца въ смѣси съ глиною облекаютъ эти остатки и образуютъ на нихъ корку различной толщины. Образованіе какъ корокъ, такъ и сростковъ окисловъ желѣза и марганца (послѣдній нерѣдко въ формѣ вада), объясняется тѣмъ, что элементы эти, выдѣляясь изъ породъ въ видѣ окисловъ подъ вліяніемъ свободной углекислоты и органическихъ веществъ, образуютъ карбонаты и отлагаются вокругъ посторонникъ тѣлъ на подобіе карбонатовъ кальція и магнія въ минеральныхъ источникахъ.

Сохраненіе крупныхъ костей китовъ и зубовъ акулъ въ красной глинѣ обусловливается, вѣроятно, тѣмъ, что, благодаря своей величинѣ и плотности, онѣ не успѣваютъ раствориться, какъ всѣ болѣе мелкіе организмы; а затѣмъ, покрываясь желѣзисто-марганцовою коркою, достигающею до нѣсколькихъ сантиметровъ толщины, совершенно изолируются отъ растворяющаго вліянія воды и углекислоты и въ такомъ видѣ могутъ существовать неопредѣленно долгое время.

Общія замѣчанія о геологической дѣятельности моря.

Разнообразіе матеріала морскихъ отложеній. Различіе между прибрежными и пелагическими отложеніями какъ въ отношеніи состава, такъ и географическаго распредѣленія обусловливается разнообразіемъ тѣхъ агентовъ, которые способствуютъ накопленію ихъ. Качество агентовъ и сфера ихъ дѣйствія опредѣляютъ составъ осадковъ, а предѣлы ихъ дѣятельности—географическое распредѣленіе.

Накопленіе минеральнаго матеріала на днѣ морей зависитъ:

1. Отъ воздушныхъ теченій или вѣтровъ, которые, развѣвая материковыя породы, переносятъ и отлагаютъ болѣе крупныя частицы вблизи береговъ; тонкія же, напр., атмосферную пыль и вулканическій пепелъ, разносятъ на огромныя пространства и, слѣдовательно могутъ отлагать ихъ въ пелагическихъ областяхъ океановъ.

2. Материковые потоки доставляютъ въ море не только механически разрушенный матеріалъ, но и химически растворенный; первый преимущественно идетъ на образованіе прибрежныхъ отложеній, тогда какъ второй можетъ служить и для пелагическихъ.

3. Прибой волнъ и береговыя теченія разрушаютъ берега, разносятъ и отлагаютъ рыхлый матеріалъ въ видѣ песка, гравія и валуновъ на днѣ

моря, но только въ ограниченныхъ предѣлахъ, а именно въ узкой полосѣ, ширина которой, считая отъ берега, измѣняется отъ 100 до 300 миль, въ среднемъ около 250 кил., но maximum 600 килом. Собственно активное вліяніе этихъ агентовъ въ глубину не простирается далѣе 200 м. Слѣдовательно прибой и теченія имѣютъ значеніе только для прибрежныхъ отложеній, а не пелагическихъ.

4. Большія океаническія теченія хотя не оказываютъ прямого дѣйствія на дно, но тѣмъ не менѣе они косвенно вліяютъ на осадки глубокаго моря, напр. теплыя теченія обусловливаютъ развитіе особаго рода организмовъ, которые образуютъ огромныя отложенія на днѣ морей, и эти отложенія отличаются отъ аналогичныхъ осадковъ въ области холодныхъ теченій. Различная температура теченій ведетъ за собою различную плотность и соленость морской воды, что также вліяетъ на распредѣленіе организмовъ. Встрѣча теченій разныхъ температуръ можетъ повести къ образованію химическихъ осадковъ, напр. къ выдѣленію углекислаго кальція.

5. Плавающіе льды или такъ называемые айсберги способствуютъ накопленію осадковъ глубокаго моря, перенося съ материковъ огромное количество обломковъ и отлагая ихъ при растаиваніи. Ледниковые обломки на днѣ морей констатированы въ Атлантическомъ океанѣ сѣвернаго полушарія по берегамъ Америки до 36° с. ш., а въ южномъ полушаріи до 40° ю. ш.

6. Свойства соленой морской воды способствуютъ болѣе быстрому осажденію самаго мелкаго минеральнаго матеріала.

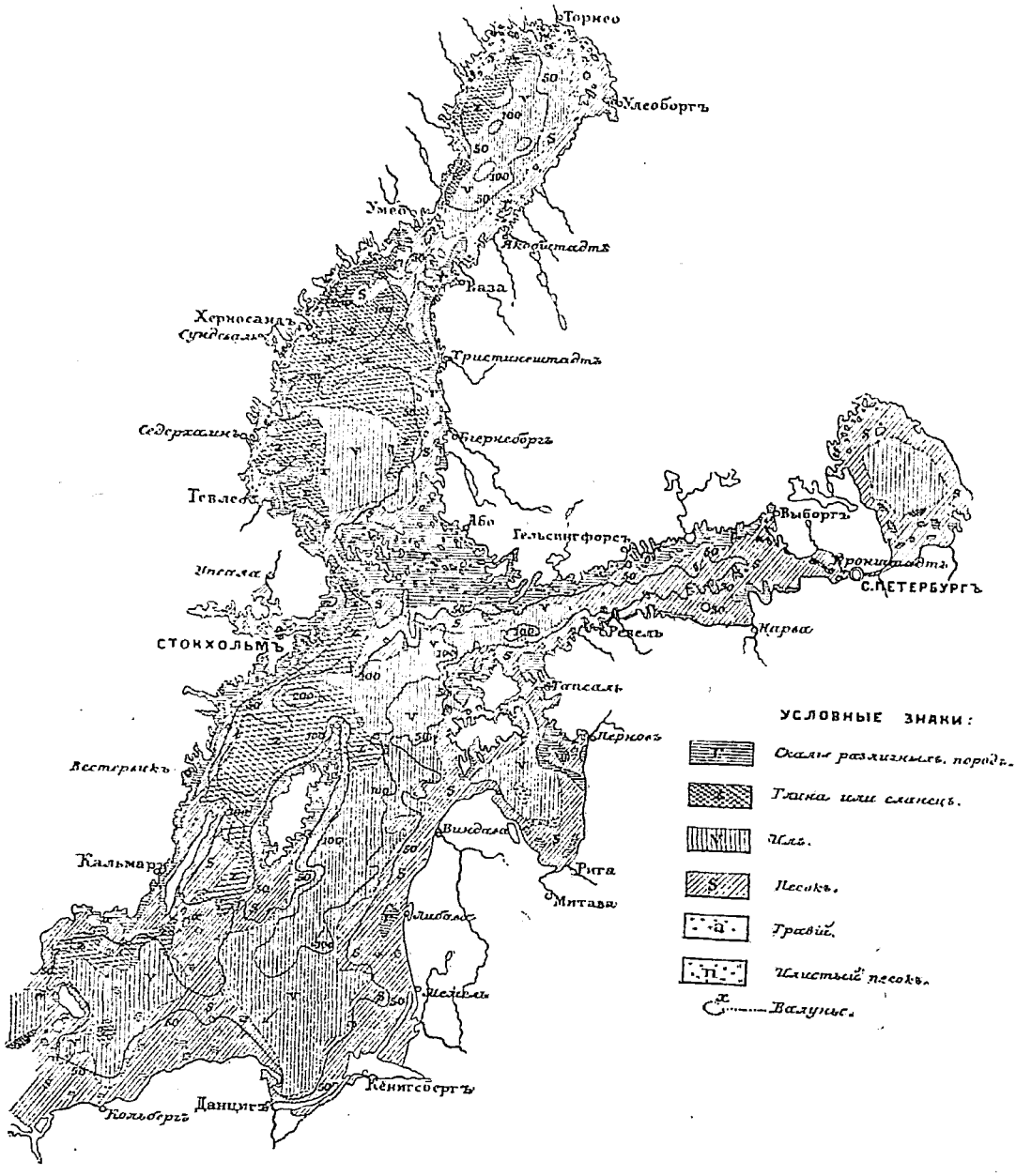
7. Различные организмы имѣютъ весьма важное значеніе для образованія осадковъ глубокаго моря. Нетолько остатки безпозвоночныхъ моллюсковъ составляютъ значительную часть современныхъ морскихъ осадковъ, но даже растенія остаются не безучастны, хотя въ меньшей степени, нежели животныя.

Такимъ образомъ, благодаря всѣмъ этимъ факторамъ, морскіе осадки состоятъ изъ весьма разообразнаго матеріала. Рихтгофенъ [50]) перечисляетъ слѣдующія девять группъ продуктовъ, входящихъ въ составъ осадковъ моря:

1) Продукты абразіи материковъ и континентальныхъ острововъ; рѣчные механическіе наносы.
2) Продукты, приносимые рѣками, химически растворенные.
3) Продукты вулканическихъ изверженій.
4) Атмосферная пыль.
5) Ледниковый наносъ, разносимый айсбергами.
6) Продукты абразіи коралловыхъ острововъ.
7) Известковыя и кремнистыя выдѣленія плавающихъ организмовъ.
8) Выдѣленія или скопленія организмовъ, живущихъ на днѣ моря.
9) Космическая пыль.

Слѣдовательно по отношенію къ продуктамъ морскія отложенія могутъ быть: механическаго, химическаго или органическаго происхожденія. Всѣ эти роды продуктовъ находятся или отдѣльно, или, что чаще, совмѣстно; они свойственны какъ прибрежнымъ, такъ и пелагическимъ отложеніямъ, но далеко не въ одинаковой степени; въ первыхъ развиты

главнымъ образомъ механическіе продукты и отчасти органическіе; во вторыхъ же—преимущественно органическіе, частью механическіе и хи-

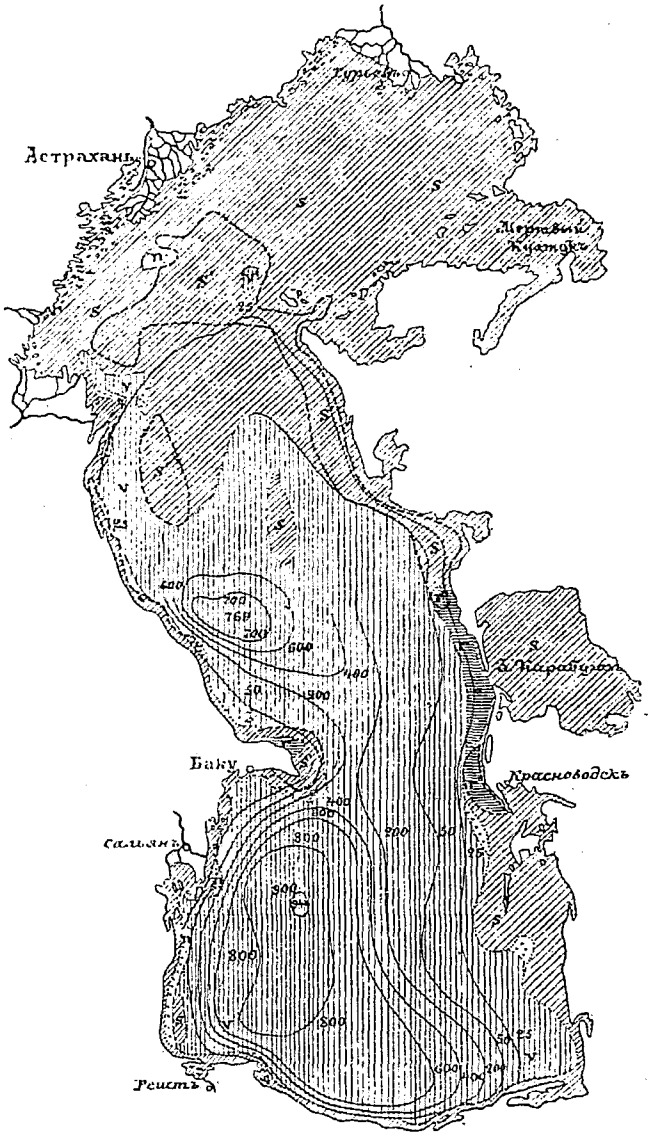


Фиг. 397. — Литологическая карта дна Балтійскаго моря. Глубины въ метрахъ.

мическіе продукты. На качества и природу прибрежныхъ отложеній оказываютъ вліяніе не столько условія глубины, сколько разстояніе отъ береговъ и степень наклона берега.

Разнообразіе синхроническихъ морскихъ отложеній. Литологическія карты дна морей, напр. Балтійскаго и Каспійскаго (фиг. 397 и 398),

по Делессу [51]), наглядно показываютъ петрографическое разнообразіе песчаной зоны, зависящей отъ петрографическаго характера береговыхъ породъ; карты распространенія пелагическихъ осадковъ (карта IV), обнаруживаютъ не меньшее разнообразіе осадковъ, которые отлагаются въ одно и то же время на различныхъ пространствахъ дна океановъ. Организмы, населяющіе моря, по крайней мѣрѣ пелагическіе, различаются по областямъ, въ зависимости отъ внѣшнихъ физическихъ условій; слѣдовательно, ни различіе въ петрографическомъ характерѣ, ни полное несходство органическихъ остатковъ не можетъ свидѣтельствовать противъ одновременности отложеній, заключающихъ такіе остатки. Такое заключеніе тѣмъ надежнѣе, чѣмъ ближе къ современной намъ эпохѣ время отложенія разсматриваемыхъ слоевъ. Необходимо отмѣтить также незначительное распространеніе прибрежныхъ отложеній сравнительно съ глубоководными и медленность накопленія даже первыхъ около береговъ, неиспытывающихъ какихъ либо колебаній.



Фиг. 398. — Литологическая карта дна Каспійскаго моря. Значеніе буквъ то же, что на фиг. 397,—только S' означаетъ скопленіе раковинъ.

Мы видѣли, что на днѣ морей могутъ быть пространства, на которыхъ не происходитъ никакого отложенія, или вслѣдствіе сильныхъ теченій, напр. въ Ламаншѣ, или при условіяхъ значительной глубины и удаленія отъ береговъ, когда накопленіе такихъ осадковъ, какъ красной глины происходитъ невѣроятно медленно. Слѣдовательно отсутствіе въ серіи какихъ нибудь осадочныхъ породъ одного изъ опредѣленныхъ горизонтовъ, отнюдь не можетъ быть истолковываемо, какъ доказательство поднятія въ соотвѣтствующую эпоху дна

моря на этомъ пространствѣ надъ поверхностью воды или какъ доказательство послѣдующаго размыванія (денудаціи), если дѣло идетъ объ отсутствіи верхнихъ горизонтовъ данной свиты. Какъ разъ наоборотъ, отложенія могутъ отсутствовать, потому что море въ этомъ мѣстѣ было слишкомъ глубокимъ.

Подобно современнымъ отложеніямъ на днѣ моря пласты осадочныхъ породъ подвержены значительнымъ измѣненіямъ по простиранію какъ вдоль берега, такъ и вкрестъ его. Образованіе однобразныхъ мощныхъ и непрерывныхъ терригеновыхъ отложеній можетъ происходить только въ моряхъ сравнительно узкихъ и вдоль береговъ, подвергающихся частымъ вертикальнымъ колебаніямъ.

Распространенность терригеновыхъ отложеній среди геологическихъ образованій. Геологическія образованія минувшихъ періодовъ, наблюдаемыя теперь въ видѣ горныхъ породъ, имѣютъ своихъ аналоговъ среди почти всѣхъ терригеновыхъ осадкомъ. Среди этихъ породъ можно указать только немногія, которыя можно было бы отнести къ пелагическимъ осадкамъ органическаго происхожденія, и вовсе нѣтъ породъ, которыя можно было бы признать за отложенія красной глины глубокаго моря. Песчаники, конгломераты и известняки—коралловые, устричные, гиппуритовые, нуммулитовые, неринеевые, орбитулиновые, можно признать за отложенія верхняго пояса прибрежныхъ образованій, иногда типичнаго пляжа, т. е. отлогаго берега, иногда болѣе крутаго. Діагональная слоеватость, волноприбойные знаки, слѣды струйчатости, трещины высыханія и слѣды, оставляемые конечностями сухопутныхъ животныхъ, являются надежными и частыми признаками образованія этихъ отложеній въ поясѣ приливо отлива. Своеобразная фауна характеризуетъ, какъ увидимъ дальше, эти образованія.

Тонкозернистые песчаники, глины, мергеля и известняки—криноидеевые, брахіоподовые, съ губками, должны быть отнесены къ отложеніямъ песчаной зоны. Тонкозернистость, значительная примѣсь глинистыхъ частицъ, правильная слоистость, болѣе рѣдкіе слѣды ряби могутъ служить доказательствомъ ихъ отложенія въ предѣлахъ стосаженной глубины моря. Остатки организмовъ относятся уже къ другимъ фаціямъ.

Различные глины и глинистые сланцы, переходящіе иногда въ песчаники (голубая кембрійская глина, граптолитовые сланцы и друг.), въ особенности глауконитовые, кремнистые сланцы съ остатками діатомовыхъ и радіолярій должны быть отнесены къ отложеніямъ континентальныхъ иловъ. Присутствіе органическихъ веществъ, окрашивающихъ такіе слои въ голубоватый и зеленоватый цвѣтъ, и сѣрнистыхъ соединеній (сѣрнаго колчедана) часто характеризуетъ такія отложенія.

Что касается аналоговъ органическихъ иловъ, то наиболѣе распространеннымъ является мѣлъ, по своему составу не отличимый отъ глобигериноваго ила *).

Бѣлый мѣлъ средней Россіи обнаруживаетъ, напр. вполнѣ опредѣленныя глубинныя условія своего отложенія. Гуровъ [52]) указалъ, что мѣловой осадокъ представляетъ по формѣ нѣчто въ родѣ чечевицы, утолщающейся отъ Курска по направле-

*) L. Cayeux, Contribution á l'étude micrographique des terrains sédimentaires, 1897.

нію къ Харькову, гдѣ достигаетъ 262 ф. толщины; сверху и снизу онъ облеченъ болѣе мелководнымъ мѣловымъ мергелемъ, переходящимъ внизу и вверху въ прибрежныя песчаныя образованія (общая толщина ихъ 1207 фут., тогда какъ въ Курскѣ 200, а въ Изюмѣ 280 ф.).

Породы, чрезвычайно богатыя радіоляріями, каковы: яшмы, роговики, кремнистые сланцы и кремнистые известняки, встрѣчаются почти во всѣхъ геологическихъ системахъ. Но слѣдуетъ ли считать эти отложенія за аналоги органическаго радіоляріеваго ила глубокаго моря, остается до сихъ поръ сомнительнымъ; скелеты радіолярій, какъ пелагическихъ организмовъ, могутъ отлагаться въ значительныхъ количествахъ и на днѣ мелкаго моря. Для признанія такихъ отложеній глубоководными нужно найти связь ихъ съ дѣйствительно глубоководными осадками, напр. мѣловыми. Такія отложенія, какъ третичный трепелъ острова Барбадоса, Орана въ Алжирѣ, Кальтанизетты въ Сициліи, Эгины въ Греціи, едва ли можно считать за глубоководныя. Труднѣе рѣшить вопросъ о многихъ кремнистыхъ известнякахъ и роговикахъ, напр., мезозойскихъ отложеній Альпъ *); альпійскіе и карпатскіе роговики состоятъ главнымъ образомъ изъ радіолярій и иглъ кремневыхъ губокъ. Губки съ кремневымъ скелетомъ относятся къ наиболѣе обыкновеннымъ организмамъ большихъ глубинъ, вмѣстѣ съ нѣкоторыми криноидеями, морскими ежами и отдѣльно живущими кораллами. Не предрѣшая вопроса объ отношеніи многихъ роговиковыхъ и кремнисто-сланцевыхъ породъ къ пелагическимъ образованіямъ, можно только сказать, что по геологическимъ условіямъ залеганія такія породы обыкновенно приходится относить къ отложеніямъ вообще болѣе глубокаго моря.

Постоянство материковыхъ массивовъ и океаническихъ впадинъ. Фактъ смѣны однихъ осадковъ другими, и притомъ нѣсколько разъ въ одномъ и томъ же мѣстѣ, съ несомнѣнностью доказываетъ многократныя колебанія уровня, а слѣдовательно измѣненіе отношенія площадей суши и моря. Съ другой стороны, только этими колебаніями и возможно объяснить не только перемежаемость осадковъ болѣе глубокаго моря съ мелководными, но также громадную мощность осадочныхъ образованій, которая была бы непонятна, не смотря даже на обильный матеріалъ, служащій для образованія прибрежныхъ отложеній.

Что же касается пелагическихъ глинъ, со включеніями: цеолитовъ, желѣзистыхъ и марганцовыхъ конкрецій, костей позвоночныхъ и космической пыли, то присутствіе аналогичныхъ имъ отложеній среди осадочныхъ системъ материковъ еще не доказано съ несомнѣнностью; но, съ другой стороны, въ настоящее время еще нельзя утверждать и полное отсутствіе ихъ, такъ какъ громадныя площади суши совершенно не изслѣдованы въ геологическомъ отношеніи. Если упомянутые пелагическіе осадки дѣйствительно не принимаютъ участія въ строеніи суши, то очевидно это приводитъ къ слѣдующимъ интереснѣйшимъ заключеніямъ: во-первыхъ, что материки никогда не составляли дна пелагическаго моря; во-вторыхъ, раздѣленіе океановъ и материковъ опредѣлилось въ главныхъ чертахъ въ самую глубокую древность — въ началѣ геологическихъ періодовъ; и, въ-третьихъ, что измѣненіе площадей воды и суши,

*) Неймайръ, Исторія Земли, I, стр. 451.

происходившее въ разныя геологическія эпохи, не исключая и современной, совершались только въ извѣстныхъ предѣлахъ, большею частью не переходящихъ границы распространенія прибрежныхъ отложеній и никогда не достигавшихъ большихъ пелагическихъ областей съ красною глиною глубокаго моря. Этотъ предѣльный поясъ измѣненій Мэррей и Ренаръ называютъ областью или поверхностью перемѣщенія (l'aire de transition); она занимаетъ около $^2/_3$ поверхности земли.

Хотя мы не можемъ еще признавать полную справедливость этихъ выводовъ, тѣмъ не менѣе они до нѣкоторой степени подтверждаются тѣмъ что пелагическія глины свидѣтельствуютъ о чрезвычайно большой древности центральныхъ частей океаническихъ бассейновъ.

Скорость образованія осадочныхъ породъ. Проточныя воды сносятъ ежегодно въ океаны около 10 куб. кл. *) твердыхъ веществъ; если принять, конечно, произвольно (Лаппаранъ), что абразія доставляетъ ежегодно 2 куб. кл. матеріала, то сумма денудаціи земной поверхности отъ дѣятельности проточныхъ водъ и моря выразится 12 куб. кл. Это количество твердыхъ матеріаловъ распредѣляется только на 20% поверхности морского дна по Мэррею. Имъ вычислено, что въ Атлантическомъ океанѣ терригеновыя отложенія занимаютъ 28%, а въ Тихомъ океанѣ только 10% поверхности дна океановъ. Слѣдовательно эта масса осадковъ распредѣляется на 73 милл. квадр. километровъ. Если бы такое распредѣленіе было совершенно равномѣрнымъ, то ежегодно оно давало бы слой толщиною 0.16 миллиметра. На долю ближайшихъ къ берегамъ частей дна приходится наибольшее количество механическихъ осадковъ; около берега приблизительно въ три раза болѣе, чѣмъ среднее на всю поверхность отложенія, слѣдовательно около берега отлагается слой толщиною 0.5 мм. въ годъ или 500 метровъ въ милліонъ лѣтъ, если условія денудаціи остаются постоянными. Значитъ, если бы состояніе того равновѣсія, въ которомъ находится земная кора въ настоящее время, продолжалось нѣсколько милліоновъ лѣтъ, то дѣятельность денудирующихъ агентовъ могла бы дать около береговъ суши толщу осадочныхъ породъ въ нѣсколько километровъ.

Мэррей вычислилъ, что пелагическая фауна и флора, если она обитаетъ только на первыхъ ста саженяхъ отъ поверхности, даетъ шесть тоннъ углекислаго кальція на квадратный километръ. При условіи, что углекислый кальцій не подвергается послѣдующему растворенію, этотъ матеріалъ дастъ на глубинѣ слой известковаго ила, непрерывно возрастающій.

Предполагая что ежедневно умираетъ одна шестнадцатая часть организмовъ, получимъ накопленіе на днѣ около 67 миллиметровъ въ теченіе столѣтія. Слѣдовательно, скорость наростанія органическаго ила приблизительно въ три раза, именно въ отношеніи 16 : 6, медленнѣе, чѣмъ скорость наростанія терригеновыхъ отложеній. Но эта цифра Мэррея слишкомъ высока, какъ показало новое вычисленіе Мэррея и Ирвина **).

---

*) Эта цифра по Мэррею нѣсколько больше, чѣмъ цифра Пенка, приведенная на стр. 12.

**) Nature, 12 juin 1890.

Если бы известковый илъ покрывалъ дно океановъ слоемъ толщиною 6.71 метра, то это количество соотвѣтствовало бы всей суммѣ кальція, дѣйствительно заключающагося въ водахъ морей. Но это количество въ 680000 разъ больше содержанія кальція въ проточныхъ водахъ земли; слѣдовательно, если только считать, что составъ воды океана остается всегда постояннымъ, необходимо принять, что слой ила мощностью въ 6.71 метра отлагается въ 680000 лѣтъ, что соотвѣтствуетъ только 1 миллиметру въ столѣтіе.

Предполагая, согласно съ Мэрреемъ и Ренаромъ. образованіе красной глины глубокаго моря преимущественно путемъ разложенія вулканическихъ продуктовъ, нетрудно понять необычайную медленность ея отложенія. Хотя вулканическіе продукты доставляются въ большомъ количествѣ, но они распредѣляются на обширной поверхности океановъ, и часть ихъ попадаетъ въ другія, не пелагическія, области. Изслѣдованія и пробы дна показали, что въ чистомъ видѣ они скопляются на самыхъ большихъ глубинахъ, но часто находятся въ радіоляріевомъ илѣ, рѣже въ глобигериновомъ, птероподовомъ, діатомеевомъ и даже открываются въ прибрежныхъ отложеніяхъ; словомъ, они принимаютъ участіе во всѣхъ современныхъ морскихъ осадкахъ, но въ нѣкоторыхъ, особенно прибрежныхъ, они разсѣиваются въ обиліи другихъ осадковъ и маскируются ими, почему и открываются только въ исключительныхъ случаяхъ.

Глубоководныя фаціи среди геологическихъ образованій. Опредѣленіе глубины, на которой отлагались какія либо разсматриваемыя геологическія образованія, или такъ называемыхъ батиметрическихъ отношеній, представляетъ одну изъ наиболѣе сложныхъ и трудныхъ задачъ геологіи. Къ этому вопросу мы вернемся еще при разсмотрѣніи дѣятельности организмовъ, здѣсь же обратимъ вниманіе на неопредѣленность термина „пелагическій“ или „глубоководный“ по отношенію къ геологическимъ образованіямъ. Различные авторы примѣняютъ этотъ терминъ неодинаково. Зюссъ подъ пелагическими образованіями понимаетъ отложенія относительно глубокаго моря. Неймайръ разсматривалъ нѣкоторыя пелагическія образованія Альпъ и Карпатъ за „абиссальныя“ въ смыслѣ примѣненія этого термина къ современнымъ морямъ. Какъ указано было выше, среди геологическихъ образованій мы имѣемъ мало представителей настоящихъ глубоководныхъ отложеній; за исключеніемъ мѣла, остальныя образованія относятся къ терригеновымъ, слѣдовательно терминъ „пелагическій“ правильнѣе примѣнять для обозначенія палеонтологическихъ фацій, напр., къ отложеніямъ богатымъ аммонитами. Пелагическія образованія въ батиметрическомъ отношеніи правильнѣе раздѣлять на двѣ зоны: мелководнаго моря, зона литторальная или неритическая по Haug'y *), и болѣе глубокаго моря, батіальная (bathyale, по Renevier), между изобатами приблизительно 100 и 900 метровъ. Батіальная зона, повидимому, и обнимаетъ всѣ глубоководныя отложенія среди извѣстныхъ намъ геологическихъ образованій.

Химическая дѣятельность моря.

Океаны получаютъ ежегодно посредствомъ рѣкъ около 5 куб. километровъ растворенныхъ веществъ **). Въ этомъ количествѣ карбонаты кальція и магнія составляютъ половину, SiO_2—одну десятую, а сѣрно-

*) Les géosynclinaux et les aires continentales, Bull. d. l. Soc. géol. de France, 28. T, № 5, 1900.

**) Эта цифра Мэррея значительно больше, чѣмъ показанная на стр. 12 цо Пенку. Для насъ важно пока обратить вниманіе на значеніе химическихъ процессовъ въ природѣ, независимо отъ цифръ, которыми стараются опредѣлить, конечно, очень условно сумму различныхъ перемѣщеній веществъ въ природѣ.

кислыя соли Ca, Na и K другую десятую часть *). Очевидно, что притокъ прѣсной воды долженъ былъ бы постепенно довести составъ воды океановъ до степени солености непригодной для жизни населяющихъ море организмовъ; извѣстное намъ (см. стр. 542) постоянство состава воды океановъ поддерживается процессами жизнедѣятельности организмовъ и химическими процессами. На первомъ мѣстѣ необходимо указать вліяніе измѣненія концентраціи и температуры, т. е. процесса выпариванія при испареніи воды.

Испареніе морской воды. Когда подъ вліяніемъ какихъ нибудь особенныхъ условій морская вода подвергается сильному испаренію, причемъ притокъ свѣжей воды не восполняетъ такой убыли, измѣняются условія концентраціи солей, и нѣкоторыя изъ нихъ начинаютъ выпадать. Послѣдовательность осажденія солей находится въ обратномъ отношеніи къ степени ихъ растворимости; первымъ выпадаетъ вообще сѣрнокислый кальцій, затѣмъ отлагается хлористый натрій, а маточный растворъ остается насыщеннымъ сѣрнокислыми и хлористыми соединеніями магнія и калія. Извлеченіе поваренной соли изъ морской воды на низменныхъ берегахъ южныхъ морей, Средиземнаго, Атлантическаго океана, во многихъ мѣстахъ Тихаго океана, посредствомъ выпариванія морской воды въ рядѣ сообщающихся плоскихъ бассейновъ (marais-salants) представляетъ такой процессъ, доводимый только до полученія разсола магнезіальныхъ и калійныхъ солей. Раньше поваренной соли и частью вмѣстѣ съ нею выдѣляется обыкновенно незначительное количество гипса, т. е. воднаго сѣрнокислаго кальція; послѣ выдѣленія части $NaCl$, не болѣе половины, начинаетъ отлагатся $NaCl$ съ примѣсью $MgSO_4$; при дальнѣйшемъ испареніи выдѣляются хлористые калій и магній, дающіе двойную соль $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, или карналлитъ, а въ маточномъ разсолѣ остается еще значительное количество $MgCl_2$ и другихъ солей. Естественнымъ путемъ такіе процессы осажденія происходятъ въ лиманахъ и озерахъ морского происхожденія.

Залежи каменной соли. Каменная соль встрѣчается во всѣхъ осадочныхъ горныхъ породахъ отъ древнѣйшихъ до современныхъ; обыкно-

*) Мэррей (Scott. Geogr. Mag., 1887) вычисляетъ, что рѣки въ 1 куб. километрѣ воды заключаютъ 182000 тоннъ растворенныхъ веществъ:

$CaCO_3$	—78.500 тоннъ	SiO_2	— 17.850 тоннъ
$MgCO_3$	—27.020 »	Окисловъ Fe, Al, Mn, азотнок. Na и проч.	15.630 тоннъ
$CaSO_4$	— 8.240 »		
Na_2SO_4	— 7.640 »	Орган. вещ.	— 18.920 тоннъ.
K_2SO_4	— 4.870 »		
$NaCl$	— 3.930 »	Сумма	= 182.600 тоннъ.

Разница въ составѣ рѣчной воды и морской наглядно видна по составу остатка отъ выпариванія (въ % главнѣйшихъ частей):

	$CaCO_3$	$MgCO_3$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	Na_2SO_4	$MgCl_2$	$NaCl$	KCl	SiO_2
Рѣчная вода . . .	72.5	7,5	6,5	4.5	1.0	—	7.0	0.5	0.5
Морская вода . . .	0.2		4.3	6.5	—	9.5	78.5	1.0	

См. также стр. 542.

венно она сопровождается гипсомъ или чаще ангидритомъ, а нерѣдко также доломитомъ. Необходимымъ условіемъ для нахожденія каменной соли въ ряду осадочныхъ образованій является покрытіе ея слоевъ водонепроницаемыми пластами глины (Salzthon). Безъ такой покрышки залежи соли при ея легкой растворимости въ водѣ не могли бы сохраняться до нашихъ дней въ теченіе многихъ геологическихъ періодовъ. Дѣйствительно большая часть извѣстныхъ намъ крупныхъ залежей покрыта такими глинами, предохраняющими ихъ отъ дѣйствія подземныхъ водъ. Если каменная соль отложилась изъ морской воды, то въ лежачемъ боку залежи всегда нужно предполагать пластъ гипса. Бишофъ и говоритъ, что при разработкѣ залежей соли всегда остерегались пройдти нижній наиболѣе чистый пластъ соли, если не удостовѣрялись въ присутствіи гипса въ лежачемъ боку. Многочисленныя буренія въ цѣляхъ поисковъ соли и развѣдки мѣсторожденій показали, что выше каменной соли всегда почти встрѣчаются болѣе или менѣе мощные пласты гипса или ангидрита и что эти пласты заключаютъ всегда тѣмъ больше соли, чѣмъ ближе къ ея залежи они расположены. Если, какъ, напр., въ Величкѣ залежь состоитъ изъ слоевъ и мощныхъ штоковъ соли раздѣленныхъ глиной, мергелемъ и ангидритомъ или соль многократно переслаивается съ гипсомъ и ангидритомъ, какъ въ Стасфуртѣ, то каждый пластъ послѣднихъ разсматривается за первое отложеніе, а непосредственно залегающая на нихъ соль за второе изъ одной и той же массы воды. Разъ отложились гипсъ и соль, то изъ той же воды отложенія гипса послѣдовать не можетъ. Верхній пластъ гипса можетъ быть отложенъ при новомъ только притокѣ морской воды. Если мы встрѣчаемъ, какъ это часто наблюдается, гипсъ или ангидритъ въ висячемъ боку соленосной толщи, то необходимо предполагать, что морская вода отхлынула прежде чѣмъ могло начаться отложеніе соли. Морская вода заключаетъ $NaCl$ въ 16.4 раза болѣе, чѣмъ $CaSO_4$; отношеніе количествъ этихъ двухъ солей въ соленосныхъ залежахъ часто однако далеко не соотвѣтствуетъ относительному содержанію ихъ въ морской водѣ; слѣдовательно, должны быть условія благопріятствующія отложенію гипса болѣе, чѣмъ соли.

Всѣ эти положенія болѣе или менѣе подтверждались первымъ научнымъ экспериментальнымъ изслѣдованіемъ надъ испареніемъ морской воды въ условіяхъ, близкихъ къ естественнымъ, исполненнымъ въ 1849 г. итальянскимъ химикомъ Усиліо (Usiglio).

Онъ изслѣдовалъ осадокъ при различныхъ степеняхъ концентраціи воды Средиземнаго моря и получилъ слѣдующіе результаты: первымъ отложился $CaCO_3$ съ небольшимъ количествомъ окисловъ желѣза; когда испарилось 37% взятой воды, началъ отлагаться гипсъ; при испареніи 93% воды началось отложеніе $NaCl$, $MgSO_4$ (съ 6 и 7 част. воды) и $MgCl_2$, причемъ значительное количество магнезіальныхъ солей оставалось въ маточномъ разсолѣ, испареніе котораго при температурѣ воздуха не удавалось. Хлористый калій, карналитъ, шенитъ и хлористый магній получались только при полномъ испареніи воды съ поднятіемъ ея температуры до точки кипѣнія.

Отсутствіе солей маточнаго разсола во всѣхъ извѣстныхъ въ то время залежахъ соли объяснялось просто невозможностью получить ихъ въ

твердомъ видѣ при естественныхъ условіяхъ и обратнымъ стокомъ этихъ солей въ море или поглощеніемъ ихъ механическими осадками, покрывавшими такую залежь. Дѣйствительное же нахожденіе мѣстами нѣкоторыхъ изъ этихъ солей Бишофъ объяснялъ послѣдующимъ повышеніемъ температуры на болѣе значительной глубинѣ и превращеніемъ водныхъ растворовъ такихъ солей въ твердыя соли. Необходимость испаренія 93% воды для начала отложенія $NaCl$ является, по мнѣнію Бишофа, условіемъ, благопріятнымъ для несоразмѣрно значительнаго отложенія гипса, по сравненію съ количествомъ отложившейся каменной соли, какъ это часто наблюдается въ ея мѣсторожденіяхъ.

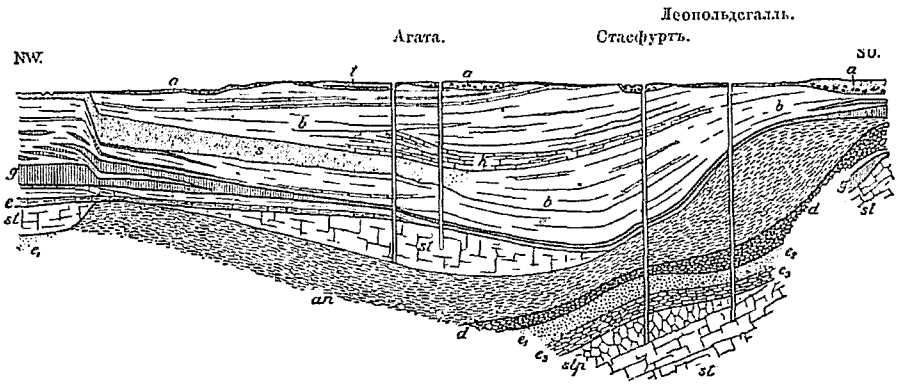
Открытіе залежей около Стасфурта (въ $4^1/_2$ г. м. на югъ отъ Магдебурга) въ Пруссіи дало новый толчокъ къ развитію теоріи образованія залежей каменной соли.

Въ 1853 г. буровая скважина въ Стасфуртѣ около слабыхъ соляныхъ ключей встрѣтила отложенія каліевыхъ и магнезіальныхъ солей, ниже которыхъ въ 1857 г. была открыта залежь чистой каменной соли. Соленосная группа породъ представляетъ здѣсь наиболѣе значительную часть отложеній верхняго цехштейна. Наибольшее развитіе эта группа имѣетъ въ обширной мульдѣ между сѣвернымъ краемъ Гарца и грауваккovыми гребнями Магдебурга и Альвенслебена; на этомъ пространствѣ многочисленныя буровыя скважины и крупныя горныя работы въ Стасфуртской мульдѣ (около Бернбурга, Стасфурта, Ашерслебена, Шёнебека и въ друг. мѣстахъ), въ Ганноверѣ (Гильдесгеймъ, Фаллерслебенъ, Далюмъ) и къ западу отъ Гарца (Фреденъ и Зальцдергельденъ) раскрыли соленосную группу. Въ предѣлахъ этого пространства (фиг. 399) находятся двѣ залежи каменной соли, раздѣленныя частью ангидритомъ и соленосной глиной, частью же отложеніями солей маточнаго разсола (Abraumsalze, отбросныя соли, такъ какъ прежде имъ не придавали никакой цѣны, а теперь онѣ имѣютъ для техники значеніе большее, чѣмъ нижеслѣдующая каменная соль). Эти отбросныя соли повторяются и въ висячемъ боку верхней толщи соли (мощностью до 500 метровъ), напр. въ Дугласгалль, Зальцдерфутъ. Нижняя толща ихъ разрабатывается въ Стасфуртѣ, Леопольдсгаллѣ и Виненбургѣ.

Въ Стасфуртѣ, гдѣ соленосная группа и покрывающія ее породы пестраго песчаника мульдообразно изогнуты, верхней залежи каменной соли нѣтъ. Отбросныя соли, составляющія здѣсь висячій бокъ нижней толщи каменной соли, перекрываются непосредственно соленосной глиной, ангидритомъ, гипсомъ и пестрымъ песчаникомъ. Мощность всей соленосной толщи здѣсь достигаетъ до 900 метровъ. Нижняя часть ея состоитъ изъ чистой каменной соли, въ перемежаемости съ тонкими полосами или нитями (Schnüre) ангидрита въ видѣ слоевъ толщиною 0.08 — 0.16 м. (ангидритовый ярусъ). На немъ залегаетъ толща въ 66 м. мощностью нечистой каменной соли смѣшанной съ $MgCl_2$ и въ перемежаемости съ параллельными полосами полигалита $(CaSO_4)_2 . MgSO_4 . K_2SO_4 . 2H_2O$ (ярусъ полигалита). Выше расположенъ ярусъ мощностью въ 60 метровъ, въ которомъ вмѣстѣ съ каменной солью преобладаютъ сѣрнокислыя соединенія, именно кизеритъ $MgSO_4 . H_2O$, слоями до одного фута толщиною (кизеритовый ярусъ).

Слѣдующій четвертый ярусъ, мощностью 40 м., представляетъ переслаиваніе слоевъ, толщиною отъ дюйма до фута, пестро-окрашенныхъ каменной соли и карналита (карналитовый ярусъ); по возстанію этотъ ярусъ, а часто и выше его вмѣсто карналита заключаетъ сильвинъ KCl и каинитъ $5(MgO.CaO)SO_4.4(KNa)Cl.15H_2O$, двѣ наиболѣе цѣнныя соли; здѣсь же значительными скопленіями встрѣчается и тахгидритъ $2MgCl_2.CaCl_2.12H_2O$ *).

Каменная соль, хотя находится въ каждомъ изъ этихъ ярусовъ, но въ постоянно убывающемъ процентномъ количествѣ, 96% въ ангидритовомъ, 91.2%, 65% и 25% въ слѣдующихъ. Послѣдовательное расположеніе четырехъ естественныхъ ярусовъ вполнѣ согласуется со степенью растворимости различныхъ солей, какъ это отчасти подтверждается и



Фиг. 399. — Разрѣзъ черезъ юго-восточную половину Эгельнъ-Стасфуртской соленосной мульды съ нижними и верхними залежами каменной соли и отбросныхъ солей. По Оксéніусу.

Стасфуртъ и Леопольдсгалль: *st*—нижняя залежь каменной соли; *slp*—каменная соль нечистая съ полигалитовыми полюсами (ярусъ полигалита); c_1—c_3—отбросныя соли (c_3—ярусъ кизерита, c_2—каинитовая область, c_1—карналитовый ярусъ); *g*—гипсъ; *d*—соленосная глина (Salzthon); *an*—ангидритъ, *b*—отложенія пестраго песчаника (главнымъ образомъ глины и сланцеватые глинистые слои съ прослоями кремнистаго камня *k*), *t*—третичныя отложенія, *a*—диловій и аллювій. Средняя и лѣвая часть разрѣза: *an*—ангидритъ (непосредственное продолженіе стасфуртскаго ангидритоваго яруса); *st*—верхняя залежь каменной соли; *c*—верхняя залежь отбросныхъ солей (c_1 карналитъ); *g*—верхній гипсъ, *b*—отложенія пестраго песчаника (*s* песчаники).

опытами Усиліо. Но нельзя не замѣтить нѣкоторыхъ трудностей въ объясненіи образованія Стасфуртской залежи, опираясь только на эти опыты.

Въ ряду солей, полученныхъ Усиліо, не доставало трехъ весьма важныхъ минераловъ, какъ ангидритъ, полигалитъ и кизеритъ, всѣхъ отбросныхъ солей изъ маточнаго разсола и, наконецъ, всѣхъ болѣе рѣдкихъ минераловъ, какъ сильвинъ, каинитъ, тахгидритъ, бишофитъ, рейхгардитъ, астраханитъ и друг.

Прежде всего возникаетъ вопросъ, при какихъ же условіяхъ произошло отложеніе твердыхъ солей маточнаго разсола, т. е. легко раство-

*) F. Bischof, Die Steinsalzwerke bei Stassfurt, Halle, 1875.
J. H. Kloos, Die neueren Aufschlüsse über die Ausdehnung der Kali-und Magnesiasalzlagerstätten mit besonderer Berücksichtigung der Provinz Hannover. Zeitschr. f. prakt. Geol., 1895, № 3.
J. H. Kloos, Die geolog. Verhältn. d. Umg. von Hannover und im Leinethal und die Gliederung des dortigen Salzgebirges. Zeitschr. f. pr. Geol., 1897, № 12.

римыхъ хлористыхъ и сѣрнокислыхъ солей. Оксеніусъ и Пфейфферъ *), много поработавшіе надъ этимъ вопросомъ, согласно пришли къ заключенію, что отложеніе ихъ могло произойдти только при значительномъ поднятіи температуры всего разсола, не ниже 40°—50° С. по опытамъ Пфейффера для карналита. Такое повышеніе температуры для цѣлаго бассейна, отдѣленнаго отъ океана узкимъ и мелкимъ проливомъ, не представляетъ чего либо совершенно невѣроятнаго по мнѣнію Оксеніуса, если обратить вниманіе, что температура воды Средиземнаго моря до дна не менѣе 14° С. Отложеніе $CaSO_4$, то въ видѣ гипса, то ангидрита удовлетворительно объяснить не удалось. По непровѣреннымъ опытамъ Heidenhain'a **) $CaSO_4$ отлагается въ видѣ ангидрита при давленіи въ 10 атмосферъ. Малодоказательнымъ является и нахожденіе въ накипяхъ паровыхъ котловъ сѣрнокислаго минерала какъ бы промежуточнаго между гипсомъ и ангидритомъ; не извѣстно, слѣдуетъ ли приписывать это явленіе давленію или теплотѣ. Сростаніе и переслаиваніе въ природѣ гипса и ангидрита такъ тѣсны, что трудно было бы предполагать такое непрерывное колебаніе давленія. Извѣстны псевдоморфозы ангидрита по каменной соли (Гайдингеръ), слѣдовательно образованіе ангидрита несомнѣнно мокрымъ путемъ. Оксеніусъ приписываетъ образованіе ангидрита вліянію растворовъ солей, легко поглощающихъ воду; это будетъ понятнѣе, если мы прослѣдимъ теперь весь процессъ образованія залежей соли по Оксеніусу (фиг. 400).

Первымъ условіемъ отложенія солей является отдѣленіе части моря посредствомъ плотины, или бара, который стѣсняетъ, но не прорываетъ совершенно, сообщеніе моря съ такимъ отдѣлившимся бассейномъ. Сообщеніе поддерживается лишь настолько, чтобы поверхность бассейна могла неопредѣленно долго подвергаться испаренію. Вторымъ необходимымъ условіемъ является климатъ достаточно сухой для непрерывнаго испаренія, превышающаго притокъ прѣсной воды въ такой бассейнъ. По мѣрѣ испаренія воды уплотняющіяся части понижаются до дна, постепенно убиваютъ всѣ организмы или вытѣсняютъ тѣхъ, которые еще могутъ пройти черезъ баръ. Когда содержаніе солей повысится въ пять разъ, начинается отложеніе гипса (фаза I); при повышеніи содержанія $NaCl$ въ 11 разъ наступаетъ отложеніе соли, но сопровождаемое также гипсомъ и иногда углекислымъ кальціемъ, который часто отлагается еще раньше всѣхъ другихъ солей. Хотя отложеніе солей происходитъ въ порядкѣ обратномъ растворимости, но часть легко растворимыхъ солей можетъ отлагаться вмѣсѣ съ труднѣе растворимыми, что подтверждается присутствіемъ въ каменной соли различныхъ сульфатовъ, напр. симонита, бишофита. Поверхъ отлагающихся слоевъ каменной соли остается маточный разсолъ, въ которомъ кромѣ части $NaCl$ находятся отстальныя хлористыя и магнезіальныя соли, также бромистыя, іодистыя и борнокислыя соединенія (фаза II).

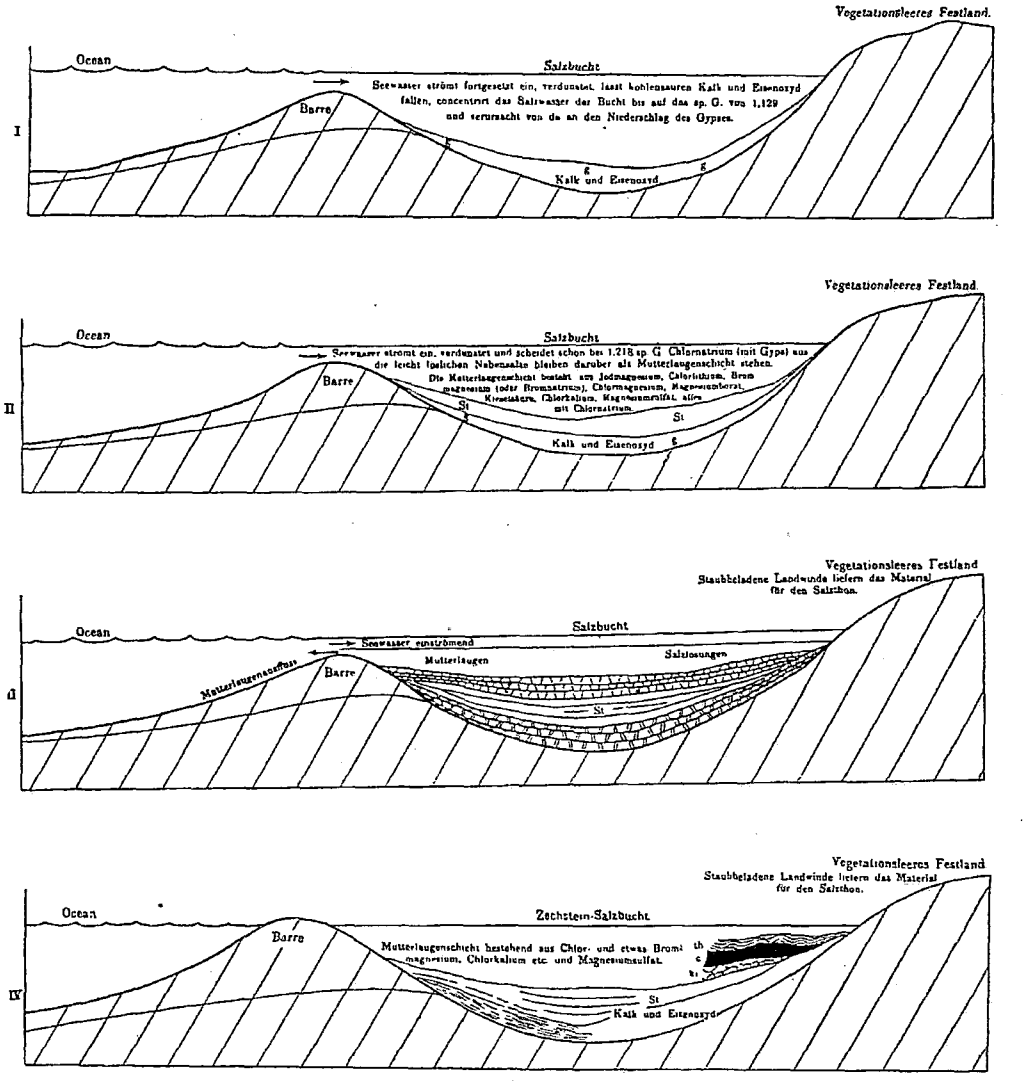
---

*) C. Ochsenius, Die Bildung der Steinsalzlager, 1877; die Bildung des Natronsalpeters aus Mutterlaugensalzen, 1887.

E. Pfeiffer, Die Bildung der Salzlager mit besonderer Berücksichtigung des Stassfurter Salzlagers (Arch. d. Pharm., XXII, 1884).

**) J. Roth, All. u. chem. Geol., I B., стр. 552.

Постепенно горизонтъ этого маточнаго разсола, поверхъ котораго продолжается непрерывно испареніе свѣже притекающей морской воды, поднимается; достигаетъ, наконецъ, уровня плотины и вслѣдствіе своего болѣе значительнаго удѣльнаго вѣса начинаетъ вытекать обратно въ море.



Фиг. 400. — Схема образованія залежи каменной соли по теоріи баровъ Оксеніуса.
th—соленосная глина, *c*—карналитъ, *ki*—цизеритъ, *st*—каменная соль, *g*—гипсъ.

Съ этого момента теченіе изъ моря ограничивается только поверхностью или наиболѣе поднятыми частями бара, слѣдовательно притокъ свѣжей воды значительно уменьшается (фаза III).

Наступаетъ окончательная фаза процесса—образованіе залежи сѣрнокислаго кальція висячаго бока, или ангидритовой (Anhydrithute). Бассейнъ въ это время заполненъ: внизу слоями гипса, затѣмъ болѣе чистой

каменной соли, поверхъ ея концентрированнымъ маточнымъ разсоломъ, поднимающимся до наиболѣе низкихъ частей бара, и наконецъ свѣжей, но значительно уже слабѣе, притекающей морской водой. Вслѣдствіе движенія волнъ эта вода перемѣшивается съ разсоломъ, теряя при этомъ все болѣе свою растворяющую силу (гипсъ совершенно не растворимъ въ насыщенномъ растворѣ сѣрнокислаго магнія); испареніе начинаетъ происходить медленнѣе, такъ какъ притокъ слабѣе, и отлагается преимущественно $CaSO_4 . 2H_2O$, частицы котораго, проходя черезъ насыщенный маточный разсолъ, отдаютъ свою воду легко поглощающимъ воду солямъ и отлагаются въ видѣ ангидрита, составляющаго висячій бокъ залежи. Если вслѣдствіе періодичности, напр., вѣтра не происходитъ перемѣшиванія магнезіальнаго сульфата съ притекающей водой, а разсолъ спокойно стекаетъ ниже обратнаго теченія свѣжей воды, то возстановляется нормальное отложеніе ангидрита и каменной соли. Такимъ образомъ Оксеніусъ полагаетъ возможнымъ объяснить такъ называемые годовые слои, т. е. правильное чередованіе ангидрита и соли въ ангидритовомъ ярусѣ Стасфурта. Произойдетъ, наконецъ, совершенное разобщеніе бассейна съ моремъ, вслѣдствіе, напр., поднятія бара (фаза IV), то наступятъ условія, благопріятныя для отложенія въ твердомъ видѣ отбросныхъ солей. Маточный разсолъ начинаетъ испаряться на мѣстѣ, сѣрнокислыя соли магнія и щелочей вытѣсняютъ одну частицу воды изъ продолжающаго еще отлагаться воднаго $CaSO_4$ и возникаютъ такія соли, какъ полигалитъ, сингенитъ (калушитъ, $CaSO_4 . K_2SO_4 . H_2O$) и другія. При достаточномъ испареніи отлагаются въ твердомъ видѣ и остальныя отбросныя соли, кизеритъ и карналитъ. Оксеніусъ говоритъ, что $CaSO_4$ въ значительной степени предшествуетъ отложенію каменной соли, въ слабой степени сопровождаетъ его и въ наибольшей степени при обычныхъ условіяхъ слѣдуетъ за нимъ.

Что касается такихъ солей, какъ сильвинъ, каинитъ, тахгидритъ, глауберитъ, астраханитъ, то большинство изслѣдователей, какъ Пфейфферъ, Прехтъ, Притцъ, считали ихъ за вторичные продукты; напр., сильвинъ изъ карналита, каинитъ изъ карналита и кизерита и т. д. *).

Теорія Оксеніуса, извѣстная подъ названіемъ теоріи баровъ, объясняетъ удовлетворительно мощность залежей каменной соли, для образованія которыхъ недостаточно простого испаренія отдѣльной части морского бассейна. При солености океана въ 3.5% изъ слоя воды толщиною въ 1 метръ при совершенномъ испареніи получится слой соли не болѣе 14 мм. толщиною. Слѣдовательно, въ замкнутыхъ бассейнахъ глубиною 600—700 м. получился бы слой не болѣе 9—10 м., т. е. ничтожный въ сравненіи съ громадными залежами, напр., въ Стасфуртѣ— толщиною болѣе 400 м., Велички около 1400 м., Шперенберга, гдѣ соль начинается съ глубинъ 90 м. и на глубинѣ 1550 м. еще не кончилась, Илецкой защиты болѣе 160 метровъ. Для произведенія такихъ толщъ простымъ осажденіемъ потребовалась бы бухта глубиною болѣе 100 кл. ($13^1/_2$ г. м.), но такихъ не существуетъ, такъ какъ наибольшія глубины въ океанѣ не превосходятъ 7 кл. Слѣдовательно, для происхожденія та-

*) См. первое изданіе Физ. Геологіи, II, стр. 354—355.

кихъ отложеній необходимо условіе періодическаго или постояннаго сообщенія съ моремъ, на подобіе того, какъ это свойственно береговымъ озерамъ, лиманамъ, или какъ это происходитъ въ настоящее время въ Кара-бугазѣ. Теорія Оксеніуса иначе объясняетъ образованіе слоевъ ангидрита и гипса висячаго бока, чѣмъ при періодическомъ сообщеніи бассейна съ моремъ, какъ предполагалъ Бишофъ *).

Недавно съ рѣзкой критикой теоріи Оксеніуса выступилъ Вальтеръ **), указывающій на отсутствіе въ окружающей насъ природѣ отложеній соли и гипса на днѣ и берегу морей, при условіяхъ, требуемыхъ теоріей Оксеніуса, т. е. въ большихъ и глубокихъ береговыхъ бухтахъ. Процессы, наблюдаемые теперь, ограничиваются или отложеніемъ незначительныхъ корокъ соли на берегу морей или отложеніемъ различныхъ солей въ мелководной бухтѣ сообщающейся съ моремъ узкимъ проливомъ (Кара-бугазъ), и притомъ въ морѣ внутреннемъ, а не на берегу океана. Отсутствіе остатковъ морскихъ организмовъ въ осадкахъ, вмѣщающихъ залежи соли, и наоборотъ богатая сухопутная фауна, находимая въ гипсахъ, напр. Парижскаго бассейна, Сициліи, Аіх, или континентальная флора въ гипсахъ Силезіи, показываютъ, что отложеніе солей происходило въ условіяхъ континентальнаго образованія осадковъ. Дѣйствительно, цехштейновое море, остатки котораго представляютъ соленосныя отложенія Сѣверной Германіи, никогда не теряло характера обширнаго внутренняго бассейна, не имѣвшаго сообщенія съ моремъ къ югу отъ Альпъ. Но размѣры этого моря, простиравшагося до Урала, далеко превосходили размѣры, напр., Каспія; въ предѣлахъ площади, занятой имъ, необходимо допускать значительныя колебанія суши, поднятія и опусканія, какъ это доказывается, напр., нарушеніями залеганія между нижней и верхней соленосной свитой Стасфурта. Отложенія пестраго песчаника, покрывающаго соленосную толщу Стасфурта, имѣютъ мощность болѣе 200 метровъ, повсюду сохраняя характеръ прибрежныхъ мелководныхъ образованій. Соленосная свита породъ изъ каменной соли, каліевыхъ и магнезіальныхъ солей, ангидрита, гипса и соленосной глины представляетъ фацію верхняго отдѣла цехштейна; недалеко отъ мѣстъ развитія этой фаціи цехштейнъ представляется уже известняками и доломитами (Plattenkalken), которые переслаиваются съ глинами и гипсами. Мощность этихъ слоевъ значительно меньше, чѣмъ соленосной фаціи: такое отношеніе только и можно объяснить періодическимъ притокомъ морской воды изъ главнаго цехштейноваго бассейна къ узкимъ морскимъ бухтамъ, заполнявшимся соленосной фаціей. Состояніе западной части обширнаго цехштейноваго моря, также южныхъ и восточныхъ окраинъ характеризуется расчлененностью (régime lagunaire). Не менѣе обширное распространеніе имѣютъ отложенія міоценоваго возраста эпохи шлира, которому подчинены залежи соли въ Величкѣ, въ Трансильва-

*) Въ первомъ изданіи «Lehrbuch d. chem. u. phys. Geologie» 1855 г. Бишофъ, правда, говорилъ о непрерывномъ сообщеніи бухты съ моремъ поверхъ песчаной банки.

**) J. Walther, Die Entstehung von Salz und Gyps durch topographische oder klimatische Ursachen. Centralblatt für Min., Geol. u. Pal., 1903, № 7.

нін (Paradj) и быть можетъ, въ Польшѣ *). Мы теряемъ здѣсь уже разницу между понятіемъ открытаго моря и внутренняго моря. Эти внутреннія моря эпохъ отложенія соли не имѣютъ ничего общаго съ тѣми континентальными депрессіями, въ которыхъ происходитъ теперь отложеніе соли, напр., съ Мертвымъ моремъ, Эльтономъ или Баскунчакомъ; это были части морскихъ бассейновъ типичнаго реликтоваго характера. Въ соли Велички, какъ признаетъ и Вальтеръ, найдены несомнѣнные остатки пелагической фауны моллюсковъ (планктона). Словомъ, рядомъ съ залежами соли материковаго происхожденія нельзя отрицать существованія и залежей соли морского происхожденія. Вода такихъ внутреннихъ морей, какъ пермскаго или міоценоваго, отличалась по своему составу отъ воды океановъ только количественнымъ содержаніемъ солей, но не качественно, чѣмъ отличается составъ воды материковыхъ озеръ.

Въ изслѣдованіи минераловъ, сопровождающихъ залежи соли, т. е. въ парагенетическомъ отношеніи минераловъ каменносоляныхъ мѣсторожденій, несомнѣнно и заключается ключъ къ опредѣленію генезиса этихъ мѣсторожденій.

Новыя данныя о испареніи морской воды. Морская вода представляетъ сложный растворъ; кромѣ степени растворимости на выдѣленіе изъ него тѣхъ или другихъ солей оказываетъ вліяніе и составъ раствора, т. е. послѣдовательное насыщеніе его тѣми или другими солями. На примѣрѣ Кара-бугаза мы видѣли, что можетъ быть растворъ, изъ котораго при извѣстныхъ условіяхъ температуры отложенія поваренной соли и не происходитъ, а только гипса и глауберовой соли. Степень растворимости подъ вліяніемъ другихъ тѣлъ, находящихся въ растворѣ, также можетъ значительно измѣняться. Если въ растворѣ находятся, напр., двѣ соли, то не всегда только растворимость опредѣляетъ порядокъ выдѣленія, а также и количество этихъ солей. Напр., если отношеніе NaCl къ KCl въ растворѣ будетъ больше, чѣмъ $89.58^1/_2 : 39.74^1/_2$, то первымъ выпадаетъ хлористый натръ, въ противномъ случаѣ хлористый калій, т. е. болѣе растворимая соль; насыщенный обѣими солями растворъ имѣетъ составъ $1000\,H_2O\,.\,89\,NaCl\,.\,39\,KCl$, и при испареніи такого раствора обѣ соли осѣдаютъ вмѣстѣ **).

Составъ морской воды отличается замѣчательнымъ постоянствомъ. Если исключить содержаніе известковыхъ солей, то въ молекулахъ составъ ея соотвѣтствуетъ по вантъ-Гоффу формулѣ

$$100\,NaCl\;\;2.2\,KCl\;\;7.8\,MgCl_2\;\;3.8\,MgSO_4.$$

При постепенномъ выпариваніи такого раствора и начавшейся кристаллизаціи составъ его измѣняется, возникаетъ цѣлый рядъ комбинацій растворовъ, одновременно насыщенныхъ какими нибудь солями. Хлористый натръ находится постоянно въ избыткѣ, а остальныя три соли даютъ цѣлый рядъ соединеній, которыя можно предвидѣть, зная растворимость

*) Michalski, W kwestyi poszukiwan soli kamiennej w królewstwie Polskiem, Przeglad Techniczny, 1902.

**) J. H. vant Hoff, Acht Vorträge über physikalische Chemie, 1902, стр. 65.

отдѣльныхъ соединеній. Изъ многочисленныхъ соединеній, которыя должны при этомъ получиться, назовемъ, напр., слѣдующія:

Бишофитъ — $MgCl_2 . 6H_2O$	Астраханитъ — $Na_2Mg(SO_4)_2 . 4H_2O$
Сильвинъ — KCl	Кизеритъ — $MgSO_4 . H_2O$
Тенардитъ — Na_2SO_4	Шенитъ — $K_2Mg(SO_4)_2 . 6H_2O$
Карналитъ — $MgCl_3K . H_2O$	и другія.

Присутствіе въ морской водѣ известковыхъ солей должно дать при выпариваніи ея сѣрнокислый кальцій или въ видѣ гипса, или ангидрита, или сингенита ($CaSO_4 . K_2SO_4 . H_2O$), или даже въ какой нибудь другой формѣ: остается только опредѣлить, изъ какихъ именно растворовъ будетъ выдѣляться та или другая форма.

Изъ этихъ соображеній уже видно, какъ различенъ можетъ быть порядокъ выдѣленія солей изъ сложныхъ растворовъ *).

Вантъ-Гоффъ показалъ, что непосредственные опыты Усиліо дали результаты, только приблизительно соотвѣтствующіе явленіямъ природы, потому что они производились при постоянной температурѣ (около 25° С.) и при этомъ не считались съ факторомъ времени.

Оказалось, что нѣкоторыя соединенія, которыя могутъ еще образоваться при 25°, не получаются въ дѣйствительности потому, что способны давать пересыщенные растворы, т. е. кристаллизація ихъ сильно замедляется; это относится какъ разъ къ леониту $(SO_4)_2 MgK_2 . 4H_2O$, каинитy $SO_4Mg . KCl . 3H_2O$ и кизериту $SO_4Mg . H_2O$, тремъ минераламъ, распространеннымъ въ Стасфуртѣ, и что въ особенности важно—къ ангидриту.

Вторымъ по важности условіемъ кристаллизаціи нужно считать вліяніе температуры. Температура вліяетъ на растворимость тѣлъ и, конечно, должна измѣнить комбинаціи насыщенныхъ растворовъ, какъ это мы видѣли уже на примѣрѣ Кара-бугаза (стр. 509). При измѣненіи температуры можетъ быть появленіе новыхъ минераловъ, которые при 25° еще не образуются, затѣмъ появленіе новыхъ сочетаній минераловъ и, наконецъ, исчезновеніе нѣсколькихъ видовъ минераловъ, которые въ природѣ извѣстны.

Изъ числа минераловъ, извѣстныхъ въ залежахъ каменной соли, при кристаллизаціи при 25° не оказывается, напр., лангбейнита $(SO_4)_3 Mg_2K_2$ (извѣстенъ большими массами среди отбросныхъ солей Стасфурта и въ Брауншвейгѣ и въ Сольтрэнджѣ въ Пенджабѣ) и левеита $(SO_4)_2MgNa_2 . 2H_2O$ (извѣстенъ въ ангидритѣ изъ Ишля въ Тиролѣ). Ихъ отсутствіе не есть слѣдствіе ускоренія кристаллизаціи, а происходитъ отъ того, что въ растворахъ при 25°, если бы они и образовались, они распадаются съ поглощеніемъ воды, такъ левеитъ обращается въ астраханитъ по уравненію:

$$(SO_4)_2 MgNa_2 . 2H_2O + 2H_2H = (SO_4)_2 MgNa_2 . 4H_2O.$$

Нагрѣвая такіе продукты гидратизаціи до температуры, когда образуются снова эти минералы, можно опредѣлить температуру, при которой они образовались въ природѣ. Такъ для лангбейнита температура его

*) См. также Браунсъ, Химическая минералогія, переводъ Лев.-Лессинга, 1904.

образованія равняется 37°, а для левеита — 43°; слѣдовательно, только при такихъ температурахъ растворовъ могли образоваться эти минералы, находимые теперь въ мѣсторожденіяхъ каменной соли.

Еще интереснѣе изслѣдованія вантъ-Гоффа условій естественнаго образованія ангидрита. Въ прѣсной водѣ образованіе его происходитъ только при 60° С., въ присутствіи NaCl уже при 30°, а въ присутствіи $MgCl_2$ при температурѣ ниже 25° С. Въ растворахъ отбросныхъ солей уже при 25° С. образованія гипса не можетъ происходить, а $CaSO_4$ отлагается или въ видѣ двойныхъ солей, или въ видѣ ангидрита, и въ частности въ случаѣ морской воды уже въ самомъ началѣ отложенія каменной соли можетъ происходить образованіе только ангидрита.

Еще раньше было извѣстно, что подмѣси къ раствору оказываютъ вліяніе на содержаніе воды въ выдѣляющихся соединеніяхъ; такъ Браунсъ показалъ, что изъ насыщеннаго раствора сульфата кальція и хлористаго натра или хлористаго калія кристаллизуется ангидритъ, но при условіи очень медленной диффузіи составныхъ частей раствора.

Что касается совмѣстнаго нахожденія и слѣдовательно появленія въ природѣ различныхъ минераловъ, то вантъ-Гоффъ по ходу кристаллизаціи сложныхъ растворовъ указалъ, что глазеритъ $(KNa_2)SO_4$ (извѣстенъ отдѣльными кристаллами и группами съ каменной солью въ астраханитѣ въ Стасфуртѣ, въ каменной соли въ Джирженти въ Сициліи) можетъ встрѣчаться рядомъ съ астраханитомъ, но не рядомъ съ бишофитомъ или кизеритомъ. Смѣсь кизерита и сильвина (Hartsalz Стасфурта) можетъ, напр., появиться только при температурѣ около 70°, повидимому наивысшей въ этой области образованія легко растворимыхъ соединеній; эта смѣсь не можетъ образоваться при 25° ни первично, ни вторичнымъ путемъ, такъ какъ при этой температурѣ изъ раствора не выпадаетъ ни кизеритъ, ни сильвинъ, а только каинитъ ($MgSO_4 . KCl . 3H_2O$). Наинизшая температура, при которой послѣдняя соль распадается въ сильвинъ и кизеритъ по уравненію $MgSO_4 . KCl . 3H_2O = MgSO_4 . H_2O + KCl + 2H_2O$, оказывается выше 70°.

Исчезновеніе нѣкоторыхъ минераловъ обусловливается также опредѣленной температурой, напр., рейхардитъ $MgSO_2 . 7H_2O$ не можетъ существовать при температурѣ выше 47°, а шенитъ (Стасфуртъ и Калушъ въ Галиціи) — выше $47^1/_2$°.

Обратимъ вниманіе еще на тахгидритъ $CaCl_2 . 2MgCl_2 . 12H_2O$, который образуетъ значительныя, на воздухѣ легко расплывающіяся, массы въ ангидритѣ карналитоваго яруса Стасфурта [иногда въ друзахъ борацита $2(3MgO . 4B_2O_3) . MgCl_2$ несомнѣнно первичнаго минерала, слѣдовательно также первичный, какъ указалъ Оксеніусъ *)]. Этотъ минералъ постоянъ только при температурѣ выше 22° С., при болѣе низкихъ температурахъ онъ распадается съ поглощеніемъ воды въ $MgCl_2 . 6H_2O$ и $CaCl_2 . 6H_2O$. При томъ присутствіе другихъ солей, какъ NaCl и KCl въ количествахъ, соотвѣтствующихъ даже насыщенію, не оказываетъ никакого вліянія на эту температуру распаденія минерала. Давленіе по вантъ-Гоффу оказываетъ вообще ничтожное вліяніе на измѣненіе условій

*) Beitrag zur Erklär. d. Bild v. Steinsalzlag.; Chem, Zeitung, 1887, № 56.

кристаллизаціи, притомъ именно повышаетъ температуру образованія, если оно сопровождается вообще увеличеніемъ объема.

Температуры образованія и превращенія различныхъ соединеній могутъ играть такимъ образомъ роль геологическихъ термометровъ, по выраженію вантъ-Гоффа; присутствіе различныхъ минераловъ, напр., для Стасфурта, тахгидрита и шенита, опредѣляетъ минимальныя и максимальныя температуры растворовъ въ моментъ образованія этихъ солей, именно 22° С и 47.5° С. Не слѣдуетъ, конечно, думать, что эти температуры прямо указываютъ температуры на поверхности водного бассейна въ моментъ образованія этихъ солей, но до извѣстной степени онѣ позволяютъ судить и объ этомъ. Здѣсь нужно указать на замѣчательное изслѣдованіе Калешинскаго *), многое разъясняющее въ этомъ вопросѣ.

Въ озерѣ Medve около Szovàta въ Венгріи, глубиною до 34 м. наблюдается интересное распредѣленіе температуръ, напр., 21 іюня: на поверхности — близкая къ температурѣ воздуха 21° С.; на глубинѣ — 0,31 м.—39° С., 1,32 м.—56° С.; 2,32 м.—47° С., 3,82 м.—45° С., и т. д. постепенно убывающая температура. Весною и осенью наиболѣе теплый слой на глубинѣ 1,32 м. достигаетъ температуры даже 70° и 71° С.; зимою температура значительно падаетъ. Соленость озера въ среднемъ выражается содержаніемъ 24—25% соли, но въ верхнихъ слояхъ, вслѣдствіе значительнаго притока прѣсной воды, на глубинѣ 0,10 м. содержаніе соли только 5%. Нагрѣваніе воды на опредѣленномъ горизонтѣ Калешинскій объясняетъ, подтверждая это опытомъ, вліяніемъ только солнечной инсоляціи. Температура книзу тѣмъ выше, чѣмъ больше разница въ удѣльномъ вѣсѣ двухъ слоевъ жидкости. При непосредственномъ нагрѣваніи, солнечными лучами верхнихъ слоевъ насыщенныхъ солью (см. стр. 512) не возникаетъ конвекціонныхъ токовъ, такъ какъ вслѣдствіе высокаго уд. вѣса этихъ слоевъ, лежащихъ подъ слоемъ опрѣсненной воды, вода не можетъ подняться кверху. Отдача теплоты путемъ теплопроводности книзу и кверху очень слаба, теплота, проникающая книзу черезъ слой прѣсной воды, почти не теряется, и въ то же время верхній слой охлаждается путемъ лучеиспусканія въ атмосферу. Притокъ тепла въ поясъ соленой воды, подъ слоемъ прѣсной, въ девять разъ больше, чѣмъ потеря черезъ теплопроводность. Непосредственная инсоляція достигаетъ здѣсь именно глубины 1,32 м., гдѣ и происходитъ естественное скопленіе тепла; при увеличеніи опрѣсненнаго слоя до 2 м. толщины нагрѣванія уже не происходитъ. Калешинскій дѣлаетъ интересныя заключенія о возможности превращенія соленыхъ озеръ въ теплыя посредствомъ искусственнаго проведенія къ нимъ достаточнаго количества прѣсной воды и о возможности такимъ путемъ сохраненія солнечной энергіи даже для промышленныхъ цѣлей. Эти изслѣдованія объясняютъ такимъ образомъ возможность нагрѣванія насыщенныхъ соленыхъ растворовъ въ естественныхъ водоемахъ до температуръ, необходимыхъ для образованія многихъ соединеній по

*) A. v. Kaleszinsky, Ueber die ungarischen warmen und heissen Kochsalzeen, als natürliche Wärmeakkumulatoren, sowie über die Herstellung von warmen Salzseen und Wärmeakkumulatoren. Ann. d. Physik, Leipzig, 1902, VII; также Földtani Közlöny, XXXI Bd., 1901.

вантъ-Гоффу. Естественно, что въ области Стасфурта, гдѣ средняя годовая температура теперь 9° С., во время отложенія солей солнечная инсоляція необходима была сильнѣе.

Мы видимъ, что новѣйшія изслѣдованія въ области сложныхъ растворовъ *) показали, что выдѣленіе твердаго вещества, составъ его и послѣдовательность выдѣленій зависятъ не только отъ растворимости ихъ въ чистой водѣ, но и отъ природы и количественныхъ отношеній одновременно растворенныхъ веществъ и отъ температуры.

Химизмъ образованія залежей каменной соли представляется въ совершенно иномъ свѣтѣ, чѣмъ въ представленіяхъ Бишофа и Оксеніуса. Для постояннаго состава воды океановъ и большихъ морей, химія показала условія образованія цѣлаго ряда возможныхъ соединеній, извѣстныхъ давно уже въ различныхъ мѣсторожденіяхъ каменной соли.

Присутствіе различныхъ соединеній позволяетъ, быть можетъ, возстановить физическія условія, въ которыхъ находился растворъ въ моментъ ихъ образованія. Всѣ мѣсторожденія каменной соли можно раздѣлить, слѣдовательно, на морскія (океаническія, какъ не совсѣмъ правильно часто называютъ), характеризующіяся сложнымъ комплексомъ сопровождающихъ соль соединеній, и материковыя, заключающія только каменную соль и гипсъ съ ограниченнымъ количествомъ сопровождающихъ соединеній и въ иномъ ихъ сочетаніи. Прежде говорили о полныхъ и неполныхъ мѣсторожденіяхъ каменной соли.

Изслѣдованія химизма образованія солей изъ сложныхъ растворовъ еще продолжаются, но они уже дали неоцѣненныя указанія для геологіи, и необходимо со стороны послѣдней самыя тщательныя изысканія геологическихъ условій залеганія каменной соли и минералогическаго характера ея мѣсторожденій. Присутствіе такихъ солей, какъ первичный гипсъ, мирабиллитъ, какъ показало изслѣдованіе Кара-бугаза, можетъ дать опредѣленныя указанія на составъ отлагавшаго раствора и слѣдовательно генезисъ данной залежи. Условія залеганія, структура и парагенезисъ различныхъ сопровождающихъ солей позволяютъ судить о первичномъ или вторичномъ ихъ происхожденіи, что имѣетъ большое значеніе для объясненія происхожденія всей залежи и физическихъ условій ея образованія. Изслѣдованіе прослоевъ землистыхъ веществъ и заключающихся въ нихъ остатковъ можетъ при случаѣ указать на рѣчное или морское ихъ происхожденіе; выдѣленія газовъ, какъ углеводороды и сѣроводородъ заслуживаютъ всегда вниманія, какъ признаки разложенія органическихъ остатковъ. повидимому болѣе обильныхъ въ материковыхъ, чѣмъ морскихъ соленосныхъ отложеніяхъ. Условія залеганія, при точномъ ихъ изслѣдованіи, могутъ дать матеріалы для сужденія о степени приложимости теоріи «баровъ» Оксеніуса, которая пока еще остается гипотезой, но наиболѣе удовлетворительно объясняющей какъ непрерывность, такъ и періодичность питанія морской водой бассейновъ, въ которыхъ происходили сложные процессы солеобразованія.

---

*) J. H. vant-Hoff und Mitarbeiter, Untersuch. über die Bildungsverh. der oceanisch. Salzablag., insbesond. des Stasfurter Salzlagers.; Sitz.-Ber. d. k. preuss. Akad. d. Wiss. zu Berlin, съ 1897 г. и по настоящее время.

Различныя мѣсторожденія каменной соли. Наиболѣе древнія мѣсторожденія извѣстны среди породъ кембрійскаго возраста въ Сольтъ Рэнджѣ въ Пенджабѣ и силурійскаго: въ Зап. Виргиніи, въ штатѣ Нью-Іоркъ (Salina и Syracuse), Мичиганѣ (Saginaw) и въ провинціи Онтаріо въ Канадѣ. Изъ отложеній палеозойской системы, древнѣе девона, производится добыча разсоловъ въ Восточной Сибири, напр. въ Усольи около Иркутска на Ангарѣ; соляные разсолы Усть-Кутскаго завода на Ленѣ относятся повидимому къ отложеніямъ не меньшей древности. Девонской системѣ подчинены мѣсторожденія въ Мичиганѣ (Winchell), въ Китаѣ (соляныя варницы въ Сы-чуанѣ), въ прибалтійскомъ краѣ въ Россіи *); къ этому горизонту относятся Старо-Русскіе соляные разсолы.

Въ каменноугольной системѣ извѣстны мѣсторожденія въ Запад. Виргиніи и въ Англіи (Durham, Bristol).

Къ пермской относятся наиболѣе богатыя мѣсторожденія: сѣверной Германіи (Стасфуртъ, Шперенбергъ, въ Тюрингіи и въ другихъ мѣстахъ), въ Польшѣ (Иноврацлавъ), въ Оренбургской губ. (Илецкая защита, въ 60 в. къ S отъ Оренбурга), Астраханской (гора Чапчачи, гдѣ въ нижнихъ слояхъ соль содержитъ куски тенардита [53]), Екатеринославской (Бахмутское или Брянцевское). Въ богатомъ промышленномъ районѣ около Бахмута и Брянцевки, гдѣ въ настоящее время извѣстно до 9 залежей соли общей мощности около 104 м. при глубинѣ до 232 м., калійныя соли встрѣчены были только въ наиболѣе сѣверной части Брянцевскаго района въ такъ называемой «Новой Величкѣ», здѣсь при буреніи на глубинѣ болѣе 120 м. ниже верхнихъ слоевъ соли встрѣченъ былъ пластъ каменной соли со слѣдами калійныхъ солей **). Отложеніямъ этой системы подчинены соляные разсолы губ. Пермской (Усолье, Дедюхинскіе промыслы и друг. въ Чердынскомъ горн. округѣ). Вологодской, Архангельской, Варшавской (Цѣхоцинокъ).

Въ различныхъ горизонтахъ тріаса извѣстно много мѣсторожденій. Въ пестромъ песчаникѣ около Брауншвейга и Арнштадта, также въ Рурскомъ каменноугольномъ округѣ извѣстны мощныя залежи соли. Въ раковинномъ известнякѣ мѣсторожденія находятся въ Вюртембергѣ (Гейльброннъ, Кохендорфъ и друг.) и Тюрингіи (Эрфуртъ); этого же возраста залежи служатъ источникомъ разсоловъ, разрабатываемыхъ многочисленными солеварнями по Некеру въ обѣихъ провинціяхъ. Къ кейперу относятся многочисленныя мѣсторожденія въ Альпахъ на границахъ Тироля, Штейермарка. Баваріи и Верхней Австріи (такъ называемыя Зальцкамергутъ: Ишль, Гальштадтъ, Галлейнъ, Галле). Всѣ эти мѣсторожденія имѣютъ видъ неправильныхъ штокообразныхъ массъ, которыя съ поверхности нѣсколько выщелочились. Соляные штоки прикрыты слоями глины (Haselgebirge) съ примѣсью соли и гипса. Глубина, до которой простираются соляные штоки, неизвѣстна. Соль зернистая, рѣдко волокнистая, обыкновенно сѣрая, часто даже красноватая, рѣже голубая. Въ качествѣ второстепенныхъ минераловъ встрѣчается горькая соль, глауберовая соль, ангидритъ, гипсъ, полигалитъ и, какъ большая рѣдкость, каинитъ. Въ соляныхъ толщахъ Альпъ незамѣтно яснаго напластованія, но часто представляется полосатость вслѣдствіе чередованія въ окраскѣ тонкихъ слоевъ. Только чистая соль выламывается прямо кусками. Нечистые пласты соли выщелачиваются, и такой искусственный разсолъ, содержащій отъ 16 до 27% соли, проводится въ солеварни, гдѣ получается поваренная соль. Альпійская соленосная формація кейпера въ особенности интересна въ геологическомъ отношеніи, какъ фація альпійскаго тріаса пелагическаго характера, гдѣ связь мѣсторожденій соли съ питаніемъ со стороны открытаго моря не подлежитъ никакому сомнѣнію ***).

Въ Юрской системѣ мѣсторожденія соли сравнительно рѣдки: въ Германіи (Rodenburg) и Швейцаріи (Bex въ кантонѣ Waadt).

Къ мѣловой системѣ относятся залежи, питающія разсолы въ Вестфаліи (Нейзальцверкъ, Унна около Кельна) и коренныя мѣсторожденія въ Алжирѣ (Medeah). Въ Россіи сюда относятся Славянскія мѣсторожденія въ Харьковской губ.

Третичная система не менѣе богата мѣсторожденіями соли, чѣмъ пермская и тріасовая. Среди нуммулитовыхъ слоевъ въ Каталоніи близъ Кордоны (восточная Испанія) съ древнѣйшихъ временъ разрабатывается глыба соли въ 95 м. мощностью.

По обоимъ склонамъ Карпатъ мѣсторожденія соли относятся къ міоцену: Ве-

---

*) Карпинскій, О признакахъ соленосности въ Псковской губ. Горн. Журн. 1876 г., т. I.

**) A. Monseu, La formation permienne dans le basin du Donetz. Revue univ. des mines, de la métall. etc. 1898, 3 sér., 41 t.

***) E. Kittl, Salzkammergut. IV, Führ. f. d. Exkur. in Österreich; IX intern. Geol. Kongress, 1903. Полный списокъ главнѣйшей литературы.

личка, Бохнія, Калушъ, въ Зибенбюргенѣ, Румыніи и далѣе въ Малой Азіи, Арменіи и Персіи; также въ Сициліи и въ Америкѣ въ Люизіанѣ.

Мѣсторожденіе Велички представляетъ частью огромныя штокообразныя массы (до 15000 куб. футовъ) частью пласты въ соленосной глинѣ съ ангидритомъ и гипсомъ. Подъ лёссомъ и ледниковыми отложеніями залегаетъ сѣрая глина (тегель), а подъ нимъ соленосная глина, въ лежачемъ боку которой заключены штокообразныя массы зеленой грубокристаллической каменной соли (Grünsalz) съ гнѣздами и прослоями гипса. Слоями глины и слоистаго ангидрита зеленая соль отдѣляется отъ ниже слѣдующей толщи спишской соли (Spisasalz); эта толща (до 20 м.) представляетъ многочисленные флёцы средне-зернистой соли, часто заключающей включенія угольной кислоты (Kniestersalz). Ниже слѣдуетъ зона соленосной глины и ангидрита и залежи (до 30 м.) такъ называемой шыбиковой (шахтной) соли, чистой, бѣлой различной крупности зерна. Въ лежачемъ боку ея слѣдуютъ соленосныя глины, гипсъ и водоносные пески и песчаники. Тектоническія условія мѣсторожденія опредѣляются двумя наклонными къ сѣверу, довольно острыми сѣдлами *).

Соляная копь Калушъ (Kalusz) въ восточной Галиціи пріобрѣла въ послѣдніе годы большое значеніе, такъ какъ тамъ открыты мѣсторожденія чистой каліевой соли, или сильвина, и каинита. Сильвинъ тамъ большею частью красноватаго цвѣта или, находясь вмѣстѣ съ голубою каменною солью, молочно-бѣлаго цвѣта, а каинитъ желтоватаго цвѣта. Эти соли добываются съ 1867 г.

По изслѣдованіямъ проф. Недзвѣдскаго **) слои каинита (отъ 8 до 16 м. мощностью) и залегающія выше чечевицеобразныя массы (до 2 м. толщиною) сильвина представляютъ ясную слоистость, однообразіе въ строеніи и совершенное отсутствіе какихъ-либо пустотъ; все это свидѣтельствуетъ по его мнѣнію о первичномъ характерѣ отложенія, а не о вторичномъ изъ карналита, мѣстами встрѣчающагося въ соленосной глинѣ. Вмѣстѣ съ сильвиномъ встрѣчается сингенитъ (калюшитъ), а съ каинитомъ шенитъ. Всѣ эти соли залегаютъ въ соленосной глинѣ вписчаго бока мѣсторожденія каменной соли, подобно тому, какъ и въ Стасфуртѣ.

Изъ русскихъ мѣсторожденій третичнаго возраста упомянемъ Кульпинское, въ Арменіи ***), представляющее одно изъ древнѣйшихъ по времени начала разработки, также Нахичеванское, Кагызманское и многочисленныя Туркестанскія: въ горахъ Акчеку около дер. Самгаръ близъ г. Ходжента, въ долинѣ Ходжа-и-канъ у г. Келифа, въ долинѣ Наурузъ у г. Токмака и пр. [54]). Къ третичной системѣ, полагаютъ, относятся и мѣсторожденія въ Якутской области въ Вилюйскомъ округѣ. Къ этой же системѣ, вѣроятно, относятся и соленыя воды Друскеникъ, Бирштанъ и Буска въ Царствѣ Польскомъ ****).

Многочисленныя мѣсторожденія соли и гипса въ центральной Азіи относятся по времени къ пліоцену и постъ-пліоцену и представляютъ продукты несомнѣнно материковыхъ процессовъ, связанныхъ съ постепеннымъ раздробленіемъ обширныхъ прѣсноводныхъ бассейновъ. Эти мѣсторожденія представляютъ переходъ къ тѣмъ современнымъ отложеніямъ соли и гипса, которыя мы разсмотрѣли въ предшествующей главѣ.

Цементація и образованіе доломита. Морская вода, заключающая въ растворѣ достаточное количество углекислаго кальція, можетъ при быстромъ испареніи способствовать цементаціи обломочнаго матеріала. Мы уже познакомились съ примѣрами такого рода (стр. 576); замѣтимъ, что этотъ химическій процессъ происходитъ отнюдь не исклю-

---

*) J. Niedzwiedzki, Geologische Skizze des Salzgebirges von Wieliczka. IIIa, Führer f. d. Exk. etc., 1903. Литература.

E. Windakiewicz, Wieliczka. Berg-u. hüttenmänn. Jahrb., 1897, 45, стр. 111—234.

**) J. Niedzwiedzki, Das Salzgebirge von Kalusz, Lemberg, 1891.

***) Abich, Das Steinsalz und seine stellung im russischen Armenien. Mém. d. l'Ac. d. Sc. de St. Pét., t. VII, 1875.

Барботъ-де-Марни, Н., Очеркъ Кульпинскаго мѣст. кам. соли. Мат. для геол. Кавказа, сер. II, кн. 2, 1888.

****) Объ условіяхъ минерализаціи Бускихъ сѣрно-соляныхъ источниковъ смотри Михальскій, Краткій геологическій очеркъ юго-восточной части Кѣлецкой губерніи; Изв. Геол. Комитета, 1887, т. VI, №№ 9—10, стр. 404—418. О Друскеникахъ и Бирштанѣ см. Гедройцъ, Гелогич. изсл. въ губ. Вилен., Гродн., Минс., Волын. и сѣв. части Царства Польскаго; Мат. для геол. Россіи, т. XVII. 1895, стр. 160—161. Иностранцевъ (Изученіе Друскен. минер. источн., 1882) относитъ Друскеникскія воды къ тріасу, но безъ достаточныхъ основаній.

чительно въ теплыхъ моряхъ, такъ онъ наблюдается даже на пляжѣ у Фолькстона въ Англіи, но преобладаетъ около береговъ, богатыхъ известняковыми породами, въ особенности около коралловыхъ острововъ. Тамъ этотъ процессъ даетъ начало различнымъ известнякамъ, съ которыми мы познакомимся въ главѣ объ органической дѣятельности.

Въ связи съ коралловыми постройками находится одинъ изъ процессовъ образованія доломита. Сѣрнокислая магнезія, заключающаяся въ морской водѣ, можетъ оказывать извѣстное химическое дѣйствіе на известняковыя породы, въ особенности если $CaCO_3$ находится въ видѣ арагонита, какъ это и имѣетъ мѣсто въ коралловыхъ постройкахъ. Между $CaCO_3$ и $MgSO_4$ происходитъ реакція обмѣннаго разложенія, дающая ангидритъ и двойную углекислую соль Ca и Mg, т. е. доломитъ. По лабораторнымъ опытамъ реакція въ присутствіи насыщеннаго раствора NaCl начинается только при 60° C.; необходимо предполагать, что морская вода въ природѣ должна подвергнуться значительной концентраціи и нагрѣванію дѣйствіемъ солнечныхъ лучей, напр., въ закрытыхъ лагунахъ коралловыхъ острововъ. Нагрѣваніе до такой температуры на поверхности воды даже въ тропикахъ, однако, не наблюдалось, и можно думать, что мы имѣемъ въ лабораторіи при этомъ одинъ изъ случаевъ замедленія реакціи, замѣняемаго повышеніемъ температуры. Во всякомъ случаѣ, фактъ образованія доломита среди коралловыхъ известняковъ подъ вліяніемъ химическихъ процессовъ, вызываемыхъ моремъ, не подлежитъ сомнѣнію, а въ древнихъ геологическихъ образованіяхъ мы часто наблюдаемъ парагенезисъ доломита и ангидрита, между прочимъ въ соленосныхъ формаціяхъ *). Такіе доломиты должны быть пористыми, такъ какъ плотность $MgCO_3$ больше плотности $CaCO_3$; такими и являются большею частью доломиты Альпъ, такъ называемые carnaules или Rauchwacke (дымчатыя вакки); но пористость ихъ меньше, чѣмъ доломитовъ, происшедшихъ черезъ выщелачиваніе $CaCO_3$ изъ слабо магнезіальныхъ известняковъ.

Образованіе нефти по Оксеніусу **). Развивая теорію «баровъ», Оксеніусъ приписываетъ образованіе нефти химическому вліянію маточныхъ разсоловъ на разложеніе органическихъ жировыхъ веществъ, скопляющихся массами въ, загражденныхъ барами или косами, мелководныхъ заливахъ. Этотъ химическій процессъ возможенъ только въ присутствіи различныхъ галоидныхъ солей маточнаго разсола, именно бромистыхъ и іодистыхъ. Маточный разсолъ способствуетъ быстрой гибели всѣхъ животныхъ, напр. рыбъ и моллюсковъ, попадающихъ въ такіе заливы; внезапный прорывъ такого разсола въ заливъ, богато населенный, можетъ вызвать быстрое накопленіе органическихъ тѣлъ. Если при этомъ произойдетъ еще отложеніе илистаго осадка, то гніеніе органическихъ веществъ безъ доступа воздуха ведетъ къ образованію угле-

*) Ochsenius, Bedeutung des orographischen Elementes „Barre“ in Hinsicht auf Bildungen und Veränderungen von Lagerstätten und Gesteinen. Zeitschr. f. pr. Geol., 1893, № 6, стр. 219—221. Также: F. W. Pfaff, Ueber Dolomitbildung, Centralblatt f. M., G. и Pal., 1903, № 20, 659.

**) Ochsenius, l. c., Z. f. pr. Geol., 1893, № 5, стр. 197—198, и Chemiker Zeitung 1891, 1892.

водородовъ. Соли маточнаго разсола дѣйствуютъ при этомъ двояко. Съ одной стороны онѣ задерживаютъ такіе газы, какъ угольную кислоту и амміачные (давая хлористый аммоній и углекислый натръ), и препятствуютъ этимъ взмучиванію ила, способствуя слѣдовательно образованію непроницаемаго висячаго бока отложенія органическихъ тѣлъ. Съ другой стороны въ процессѣ образованія углеводородовъ принимаютъ прямое участіе бромисто-водородная кислота и бромистый и хлористый аллюминій (по опытамъ Гейслера); сѣрнокислый магній въ присутствіи галоидныхъ соединеній въ маточномъ разсолѣ и даетъ сѣру и сѣрнистый водородъ, необходимые для этихъ реакцій. По мнѣнію Оксеніуса соли маточнаго разсола въ природѣ замѣняютъ теплоту въ опытахъ Энглера; онъ ссылается на частое совмѣстное нахожденіе нефти и солей маточнаго разсола, также на присутствіе галоидовъ въ остаткахъ дестилляціи нефти. Подобный процессъ образованія углеводородовъ онъ указываетъ въ нѣкоторыхъ бухтахъ Краснаго моря, а Андрусовъ — въ заливахъ Каспійскаго моря.

Химическая дѣятельность моря на значительныхъ глубинахъ выражается въ извѣстномъ уже намъ образованіи красной глины глубокаго моря и сопровождающихъ ее образованій, какъ цеолиты и марганцовыя конкреціи.

ГЛАВА VIII.

Дѣятельность льда.

Дѣятельность льда имѣетъ громадное геологическое значеніе, какъ потому, что производитъ совершенно оригинальныя отложенія, измѣняетъ рельефъ земной поверхности, придавая ей своеобразный ледниковый ландшафтъ, такъ и потому въ особенности, что дѣятельность эта объясняетъ многія аномаліи въ водныхъ осадкахъ и положительнѣе, чѣмъ что-либо другое, опредѣляетъ частныя и общія климатическія измѣненія; слѣдовательно изученіе дѣятельности льда, какъ геологическаго агента, приводитъ не только къ болѣе полному познанію современнаго состоянія земной поверхности, но также къ болѣе совершенному выясненію исторіи тѣхъ измѣненій, которыя переживала она въ разные періоды своего существованія. Важное геологическое значеніе дѣятельности льда вызвало такую обширную литературу о «ледниковыхъ явленіяхъ» — современныхъ и древнихъ, что давно уже нѣкоторые ученые не безъ основанія считаютъ этотъ отдѣлъ геологіи настолько разработаннымъ, что выдѣляютъ его въ самостоятельную вѣтвь науки подъ именемъ «ледниковой геологіи» (Glacialgeologie, по Lasaulx, или Gletscherkunde).

Ледъ можетъ происходить или вслѣдствіе прямого замерзанія воды при температурѣ ниже 0°, или же вслѣдствіе преобразованія снѣга отчасти подъ вліяніемъ прониканія замерзающей воды, но главнымъ образомъ подъ вліяніемъ давленія. Разные виды льда, происшедшіе тѣмъ или другимъ способомъ, отличаются другъ отъ друга какъ характеромъ скопленія, мощностью, такъ частью и структурою; отсюда и физико-геологическое значеніе ихъ далеко не одинаково. Ледъ, происходящій отъ непосредственнаго замерзанія воды, можно раздѣлить на нѣсколько разновидностей, а именно: почвенный ледъ, рѣчной ледъ, озерный ледъ и морской ледъ; изъ нихъ первый образуется внутри земной коры изъ воды, проникающей и циркулирующей въ горныхъ породахъ, а остальные—на поверхности земли изъ воды: рѣкъ, озеръ и морей.

Ледъ, происходящій отъ преобразозованія снѣга, особенно подъ вліяніемъ давленія, образуетъ на сушѣ ледяные покровы и потоки—или ледники, или глетчеры.

Почвенный ледъ.

Подъ этимъ названіемъ обыкновенно соединяютъ ледъ, образовавшійся тѣмъ или другимъ способомъ въ земной корѣ или по крайней мѣрѣ

наблюдаемый нами подъ или среди другихъ геологическихъ образованій. Если выдѣлить скопленія льда въ подземныхъ пустотахъ, напр., пещерахъ-ледникахъ, какъ образовавшіяся несомнѣнно изъ воды, то болѣе обширное развитіе останется за массами почвеннаго льда, происхожденіе котораго во многихъ случаяхъ до сихъ поръ остается неяснымъ.

Съ одной стороны мы имѣемъ почвенный ледъ (Bodeneis), какъ часть вѣчно мерзлой почвы (Eisboden) (см. т. I, стр. 68—69), образовавшуюся на счетъ воды, циркулировавшей въ верхнихъ горизонтахъ. Къ сказанному тамъ объ условіяхъ образованія вѣчной мерзлоты прибавимъ, что если ниже верхнихъ слоевъ, оттаивающихъ лѣтомъ, находятся постоянно мерзлые слои, то, конечно, въ такихъ областяхъ нельзя разсчитывать встрѣтить грунтовую воду. Питаніе рѣкъ въ такихъ областяхъ происходитъ не на счетъ грунтовой воды, а болѣе глубокихъ водоносныхъ горизонтовъ, циркулирующихъ ниже мерзлоты, глубина которой и не такъ велика, какъ думалъ, напр., Миддендорфъ. Распредѣленіе мерзлоты обнаруживается часто отдѣльными островами въ зависимости отъ рельефа мѣстности. По мнѣнію Воейкова *) въ горахъ толщина ея значительно меньше, такъ какъ поверхность тамъ охлаждается зимою менѣе, чѣмъ на равнинахъ и въ долинахъ, благодаря большей облачности и теплымъ горизонтальнымъ и нисходящимъ токамъ воздуха. Питаніе рѣкъ такихъ областей происходитъ, слѣдовательно на счетъ родниковъ. Технически вполнѣ возможно также получить воду изъ слоевъ подъ вѣчной мерзлотой.

Другой видъ почвеннаго льда представляютъ тѣ значительныя массы чистаго льда, напр., на Новосибирскихъ островахъ, которыя были названы Толлемъ окаменѣлымъ или ископаемымъ льдомъ (Steineis). Стенструпъ назвалъ такой ледъ «погребенными ледниками» (död brae). Такого рода ледъ, какъ остатокъ минувшей эпохи, извѣстенъ во многихъ мѣстахъ Аляски **) и Сибири и въ послѣднее время обратилъ снова на себя вниманіе, благодаря открытію трупа мамонта ***) въ такомъ льдѣ по р. Березовкѣ (прав. притоку р. Колымы, фиг. 401). Американскіе изслѣдователи (Dall, Russel, Brooks и друг.) признали ископаемый ледъ Аляски за озерный ледъ, сохранившійся благодаря медленному процессу превращенія озера въ тундру. Толль первый обратилъ вниманіе на структуру ископаемаемаго льда, противорѣчащую водному его происхожденію, именно на его зернистость (см. объ этомъ дальше). Толмачевъ подробнымъ микроскопическимъ и химическимъ изслѣдованіемъ Березовскаго льда доказалъ его происхожденіе изъ снѣга, но опираясь на условія его залеганія, считаетъ наиболѣе вѣроятнымъ образованіе его на счетъ такъ называемой «перелѣтки снѣга» въ озеровидномъ расширеніи рѣчной долины. Бунге ****) считаетъ почвенный ледъ за жильное образованіе отъ заполненія трещинъ въ мерзлой почвѣ водою отъ таянія снѣга, снова

---

*) Воейковъ, Метеорологія, 1903, стр. 141.

**) Russel, Notes on the surface Geology of Alaska, Bull. of the G. Soc. of Amerika, Vol. I, 1890, стр. 79—162.

***) Толмачевъ, Почвенный ледъ съ рѣки Березовки. Научн. рез. эксп. Имп. Ак. Наукъ для раск. мамонта, 1903. Также въ Зап. Мин. Общ., 1903, 40.

****) Въ цѣломъ рядѣ статей съ 1884 г., а въ особенности: Einige Worte zur Bodeneisfrage. Зап. Мин. Общ., ч. XL, 2 сер., вып. 1, 1902.

замерзающей при соприкосновеніи съ мерзлою почвою; онъ доказываетъ ошибочность предположенія Толля о широкомъ горизонтальномъ распространеніи толщъ льда на Ново-Сибирскихъ о-вахъ.

Въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ вопросъ о происхожденіи почвеннаго ископаемаго льда можетъ быть рѣшенъ изслѣдованіемъ его структуры и условій залеганія. Полагаютъ, что мамонтъ, трупы котораго находятся въ ледяныхъ слояхъ сѣвера Сибири, былъ современникомъ образованія льда (Черскій, Толмачевъ); Толль считаетъ ледъ за горизонтъ болѣе

Фиг. 401.—Ледяная стѣна и оползень. Лѣвый берегъ дер. Березовки у мѣстонахожденія мамонта.

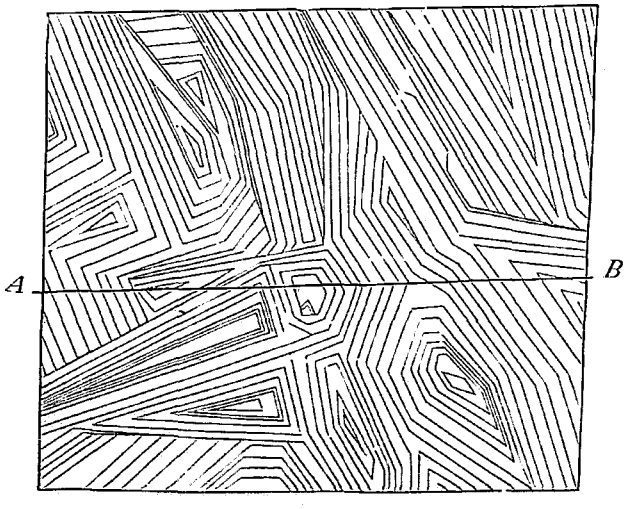
древній, чѣмъ мамонтовый (послѣ-ледниковый), и ставилъ его въ связь съ развитіемъ ледниковаго покрова на сѣверѣ Азіи, въ пользу чего однако до сихъ поръ нѣтъ яснаго доказательства *).

Рѣчной и озерный ледъ.

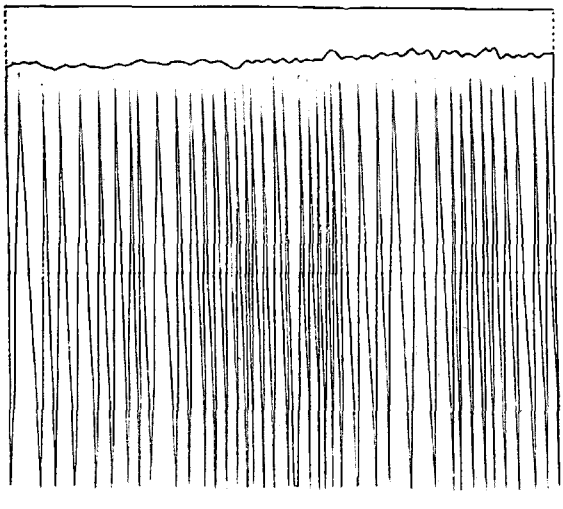
Образованіе льда. На поверхности рѣкъ и озеръ ледъ образуется при пониженіи температуры тѣмъ легче и скорѣе, чѣмъ чище вода и чѣмъ она спокойнѣе. Въ глубокихъ озерахъ, какъ указано выше (см. стр. 511), рѣзкія колебанія температуры происходятъ только въ верхнихъ слояхъ, тогда какъ у дна господствуетъ болѣе или менѣе постоянная температура около 4°—5° Ц.: слѣдовательно, ледъ образуетъ только наружную кору озера. Мелкія же озера промерзаютъ до дна. Точка замерзанія соленыхъ озеръ, какъ объ этомъ тоже упоминалось выше (см. стр. 512),

*) Вопросы геологіи времени мамонта прекрасно сопоставлены въ трудѣ Толля, Ископаемые ледники Ново-Сибирскихъ о-въ, Зап. Геогр. Общ. т. XXXII, № 1, 1897.

находится въ прямой зависимости отъ процентнаго содержанія соли, т.-е. точка замерзанія пропорціональна крѣпости раствора: чѣмъ больше солей, тѣмъ она ниже. Толщина ледяной коры различна, и въ Сибири достигаетъ до 1 и даже 2,5 метра. По наблюденіямъ г. Листова *) надъ замерзаніемъ соленого озера въ Илецкой-Защитѣ, ледяная кора приблизительно на $^2/_3$ толщины состоитъ изъ плотной ледяной массы, а послѣдняя треть обращенная къ водѣ, состоитъ изъ вертикально стоящихъ тоненькихъ пластинокъ (фиг. 402), причемъ въ массѣ льда заключается, въ видѣ механической примѣси, до 3% NaCl. Вообще какъ озерный, такъ и рѣчной ледъ по своему строенію, представляетъ аггрегатъ шестоватыхъ кристалловъ шестиугольной системы, которые, срастаясь параллельно, располагаются длинною осью перпендикулярно къ поверхности замерзанія; даже на быстрыхъ рѣкахъ отчетливо наблюдается шестоватое строеніе ледяной коры, причемъ нижняя поверхность льда такая же шероховатая и неровная, какъ нижняя поверхность самосадочнаго слоя соли (см. фиг. 344—345). При высокой температурѣ, напр. весной, когда ледъ таетъ, прозрачныя глыбы его распадаются на отдѣльные иглообразные кристаллы, длиною иногда до 1 ф. и болѣе. Правильное шестовато-аггрегативное строеніе рѣчного и озернаго льда нарушается отчасти примѣсью такъ-называемаго грунтового или доннаго льда (Grundeis, bouzin, Anchor ice), который образуется на днѣ водоемовъ. Этотъ ледъ облекаетъ мелкіе камушки



Горизонтальный разрѣзъ рѣчного льда.



Фиг. 402. — Вертикальный разрѣзъ по линіи AB.

*) Ю. Листовъ, Набл. надъ замерз. соленаго озера близъ г. Илецка Оренбург. губ. Зап. Геогр. Общ., VIII, 1879, стр. 237.

и песчинки и, достигнувъ нѣкоторой толщины, поднимается вверхъ, увлекая съ собою много минеральныхъ частицъ *).

Въ послѣднее время, благодаря интересу къ структурѣ льда ледниковъ, процессъ образованія льда подвергся оживленному обсужденію **).

Начальная стадія замерзанія воды выражается, повидимому, въ образованіи ледяныхъ пластинокъ, которыя затѣмъ срастаются въ игольчатые кристаллы; такія иглы или прямо первоначальныя пластинки смерзаются сначала въ видѣ сѣтки, петли которой затягиваются тонкими же пластинками. Каждая такая пластинка имѣетъ оптическую ось нормальной къ ея плоскости и разростается путемъ наростанія снизу другихъ такихъ же пластинокъ. Каждый кристаллъ льда представляетъ слѣдовательно пакетъ такихъ пластинокъ въ параллельномъ сростаніи. Если замерзаніе происходитъ въ спокойной водѣ, то оптическая ось кристалла остается нормальной къ поверхности замерзанія. Мюггэ это объясняетъ тѣмъ, что каждый кристаллъ оріентированъ такъ, какъ первая пластинка, къ которой присоединились другія, а она сохраняетъ именно горизонтальное положеніе на поверхности спокойной воды. Если поверхность воды была неспокойной, а отдѣльные кристаллы вытянулись больше своей ширины, то они располагаются уже параллельно поверхности замерзанія или подъ угломъ къ ней. Trouton объясняетъ правильность оріентировки ледяныхъ кристалловъ наибольшей теплопроводностью кристалловъ льда по направленію главной оси; въ этомъ направленіи они и наростаютъ. Если, слѣдовательно, во время замерзанія измѣняется направленіе отдачи тепла, то ледъ можетъ дать конгломератъ зеренъ въ видѣ различно оріентированныхъ кристалловъ; это можетъ быть вызвано какъ движеніемъ воды вслѣдствіе конвекціонныхъ токовъ, такъ и вслѣдствіе теченія ея. Такую структуру имѣетъ между прочимъ донный ледъ и ледъ, возникающій на поверхности воды во время выпаденія снѣга.

Если первоначальныя пластинки вслѣдствіе движенія воды срастаются между собою подъ различными углами, образуя упомянутую сѣтку, то въ разрѣзѣ параллельномъ поверхности замерзанія каждая первоначальная пластинка обнаруживаетъ по своему ребру тонкіе штрихи, которые свидѣтельствуютъ, что она образована въ свою очередь тонкими пластинками льда. Эти штрихи соотвѣтствуютъ такъ называемымъ штрихамъ Фореля въ ледниковомъ льдѣ (по Дригальскому).

Дригальскій объясняетъ расположеніе пластинокъ подъ разными углами къ поверхности воды, какъ это замѣчается часто въ фіордовомъ льдѣ черезъ всю его толщину, не движеніемъ воды, а отсутствіемъ, да-

---

*) Названіе Anchor ice и происходитъ отъ того, что случалось, что потерянные якоря снова поднимались на поверхность воды силою всплывающаго льда.

**) См. напр.: A. Hamberg, Studien über Meereis und Gletschereis. Bihang till k. svenska Vet. Ak. Handlingar, 21. Afd. II, № 2. E. v. Drygalski, Grönlandexpedition. 1897. I. Trouton, Arrangement of the Crystals of certain Substances on Solidification. Scient. Proc. Royal Dublin Society, VIII, 1898. H. Cramer. Eis-und Gletscherstudien, N. Jahrb., Beilage-Band XVIII, H. 1. 1903. Также статьи: Emden, Ueber das Gletscherkorn, 1890. O. Mügge, Ueber die Plastizität d. Eiskristalle, N. Jahrb. 1895. II; Ueber die Structur des grönländischen Inlandeises und ihre Bedeutung für die Theorie der Gletscherbewegung. N. Jahrb., 1899, II и Weitere Versuche über die Translationsfähigkeit des Eises, N. Jahrb., 1900, II.

вленія, подъ которымъ происходитъ наростаніе пластинокъ въ озерномъ льдѣ, быстро покрывающемъ поверхность озера; въ фіордахъ ледъ продолжаетъ двигаться и долго не приростаетъ къ берегамъ, слѣдовательно нѣтъ такого давленія.

Различаютъ (Крамеръ) нѣсколько категорій льда, образующагося изъ воды: озерный (Seeeis), струйчатый (Rieseleis, напр., сталактитовъ и сталагмитовъ въ ледяныхъ пещерахъ, также обыкновенный капельный ледъ на крышахъ), вспученный или накипь (Eisgasch, при значительномъ холодѣ на поверхности быстро текучихъ водъ). Морской ледъ по своей структурѣ существенно не отличается отъ озернаго или рѣчного.

Донный ледъ. Процессъ образованія льда имѣетъ не только теоретическій, но и практическій интересъ въ связи съ различными явленіями, сопровождающими рѣкоставъ. При покрытіи рѣкъ льдомъ, ледъ можетъ быть четырехъ родовъ: образующійся на поверхности рѣки при паденіи снѣга на охлажденную поверхность (снѣжный ледъ, часто называемый сало, шуга), около береговъ (забереги), донный ледъ, ледъ озерный (если рѣка вытекаетъ изъ озера, какъ Нева). Различныя явленія рѣкостава могутъ зависѣть отъ особенностей распредѣленія того или иного рода льда подъ вліяніемъ изгибовъ рѣки или даже искусственныхъ сооруженій. При скопленіи льда въ изгибахъ или выше мостовъ происходитъ такъ называемый заторъ; чѣмъ больше такой заторъ, т. е. спираніе льда отъ берега до берега, тѣмъ скорѣе рѣка покрывается сплошнымъ покровомъ, который образуется при смерзаніи отдѣльныхъ льдинъ. Послѣ того какъ рѣка стала, причемъ конечно, сохраняются болѣе или менѣе значительные участки еще свободными отъ льда (полыньи) нерѣдко на многихъ рѣкахъ замѣчается мѣстами подъемъ воды, выступленіе ея изъ береговъ изъ-подъ льда; это такъ называемые зажоры. Вслѣдствіе низменныхъ береговъ отдѣльныхъ участковъ рѣки такой подъемъ воды, самъ по себѣ никогда не бывающій особенно значительнымъ, можетъ повести къ бѣдствіямъ, затопляя населенныя мѣста, напр., на Невѣ около Петербурга въ районѣ Шлиссельбургскаго участка и около с. Александровскаго, гдѣ расположенъ Обуховскій сталелитейный заводъ; эти мѣстности страдаютъ отъ такихъ зимнихъ наводненій при подъемѣ воды уже на 3—4 фута выше ординара.

Въ настоящее время выяснено, что зажоры происходятъ отъ съуженія живого сѣченія рѣки, вслѣдствіе мѣстнаго скопленія именно доннаго льда (шороха, свина, какъ его называютъ на Невѣ), спираемаго подъ поверхностью рѣки, покрытой заторомъ *). Донный ледъ, вслѣдствіе своего большого удѣльнаго вѣса (отъ губчатаго строенія и примѣси песка, гравія) несется водой часто ниже поверхности и задерживается подъ заторомъ, который быстро наростаетъ такимъ образомъ снизу.

Скопленіе льда при этомъ настолько велико, что его не въ состояніи пробить ни обыкновенные ледоколы, ни минные взрывы.

Для проектированія цѣлесообразныхъ мѣръ борьбы съ такими наводненіями необходимо слѣдовательно всестороннее изслѣдованіе процесса образованія доннаго льда **).

Процессъ образованія льда зависитъ отъ потери водою теплоты; потеря происходитъ: 1) посредствомъ лученспусканія воды; 2) посредствомъ конвекціонныхъ токовъ воздуха, т. е. восходящихъ токовъ воздуха, нагрѣтаго болѣе теплою поверхностью воды, слѣдовательно, черезъ соприкосновеніе; 3) вслѣдствіе теплопроводности воздуха. До сихъ поръ недостаточно выяснено вліяніе каждаго изъ этихъ факторовъ, но повидимому наиболѣе существенную роль играетъ охлажденіе черезъ лученспусканіе (новыя изслѣдованія финляндскаго физика Хомена); лученспусканіе зависитъ отъ большей или меньшей прозрачности атмосферы, т. е. облачности. По изслѣдованіямъ Krieg'a (1888 г.) образованіе доннаго льда въ рѣкахъ аналогично образованію инея и зависитъ также отъ степени ясности неба. Образованіе льда на днѣ рѣки можетъ происходить только при условіи охлажденія дна ниже 0°. Первое

---

*) Л. Л. Владимировъ, Условія замерзанія р. Невы и возможность удлинить навигацію и предупредить образованіе подводныхъ заторовъ льда. С.-Петербургъ, 1904. Также, интересный докладъ въ Геогр. Общ. инж. пут. сообщ. Цюрлинскаго въ 1904 г.

**) Этотъ вопросъ обстоятельно разобранъ Ячевскимъ въ брошюрѣ: Къ вопросу объ образованіи рѣчного льда и его вліянія на скульптуру береговъ рѣкъ, 1904, вып. V Геолог. изслѣд. въ золотоносн. обл. Сибири, Енис. золотон. районъ. Приведена главнѣйшая литература и указаны пріемы желательныхъ наблюденій.

объясненіе его возникновенія и ставилось въ зависимость отъ болѣе быстраго охлажденія породъ дна, вслѣдствіе большей теплопроводности горныхъ породъ сравнительно съ водою, и также отъ присутствія вѣчной мерзлоты *). Послѣднее мнѣніе очевидно по своей неосновательности, а первому противорѣчатъ непосредственныя наблюденія надъ теплопроводностью почвъ. Интенсивное излученіе ставилось въ зависимость отъ блестящей поверхности камней на днѣ русла, вообще выступающихъ частей дна, напр. на порогахъ, гдѣ дѣйствительно наблюдается особенно сильное образованіе доннаго льда. Другіе указываютъ, напротивъ, что донный ледъ легче всего образуется на камняхъ съ шероховатой поверхностью, на тѣлахъ волокнистой структуры, напр., на канатахъ, наклѣ. Рѣчная вода можетъ воспринять равномѣрную температуру подъ вліяніемъ скорости теченія, способствующей ея перемѣшиванію и препятствующей установленію какъ прямого, такъ обратнаго напластованія. Предполагаютъ, что вода при такихъ условіяхъ можетъ быть переохлаждена, а на всѣхъ выдающихся частяхъ, вслѣдствіе, задержки движенія происходитъ образованіе ледяныхъ кристалловъ. На счетъ распредѣленія температуры въ водѣ рѣкъ въ періодъ замерзанія извѣстно очень мало. По наблюденіямъ Bobendey'a на Эльбѣ въ этотъ періодъ температура во всей массѣ воды близка къ нулю; имѣются отдѣльныя наблюденія о температурѣ поверхности и ниже 0°. Въ озерахъ образованія доннаго льда пока не наблюдалось, что было объяснено еще Араго постоянствомъ температуры ихъ глубокихъ частей. Наибольшая глубина, на которой наблюдалось образованіе доннаго льда на рѣкахъ не превышаетъ 30—35 футовъ, что по мнѣнію Ячевскаго находится въ зависимости отъ теплопрозрачности воды, сравнительно незначительной.

Условія образованія доннаго льда далеко слѣдовательно не выяснены. Несомнѣнно, что наибольшее вліяніе на охлажденіе дна и воды имѣетъ лучеиспусканіе при ясномъ небѣ. Для образованія доннаго льда, а слѣдавательно и зажоръ, необходимо присутствіе открытыхъ водныхъ пространствъ выше заторовъ. Это обстоятельство очевидно и изъ сопоставленія состоянія поверхности Невы, напр., во время сильныхъ зажоръ весною 1903 года **).

Прежде чѣмъ проектировать дорого стоющія сооруженія для уничтоженія заторовъ, путемъ задержанія Ладожскаго льда (Владимировъ) или путемъ спрямленія русла было бы, можетъ быть, проще обратить усилія техники на своевременное устраненіе обширныхъ полыней именно въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ выяснено наиболѣе сильное образованіе доннаго льда. Словомъ, если скопленіе доннаго льда есть результатъ неравномѣрнаго покрытія рѣки льдомъ при наступленіи холодовъ, то бороться съ этимъ можно и мѣрами, направленными для наиболѣе равномѣрнаго покрытія рѣки льдомъ. Можетъ случиться, что чѣмъ больше будетъ открытое водное пространство рѣки зимою, даже по всему теченію, напр. для Невы, тѣмъ опаснѣе будетъ скопленіе доннаго льда около искусственныхъ сооруженій ***).

Вскрытіе и замерзаніе рѣкъ и озеръ.

Ледъ на поверхности озеръ и рѣкъ проявляется періодически и держится неодинаково продолжительно подъ различными широтами, въ зависимости отъ климатическихъ особенностей мѣстности; явленіе это называютъ вскрытіемъ и замерзаніемъ материковыхъ водъ.

Изслѣдованіе этого явленія приводитъ къ чрезвычайно интереснымъ заключеніямъ, имѣющимъ какъ теоретическое, такъ и практическое значеніе, а потому въ послѣднее время, особенно съ 1869 года, по почину И. Р. Географическаго Общества, наблюденія надъ вскрытіемъ и замерзаніемъ русскихъ рѣкъ и озеръ получили обширное развитіе. Всѣ эти наблюденія собраны и обработаны въ капитальномъ

*) См. Günther, Handbuch der Geophysik, II, стр. 542. Обручевъ, Наши свѣдѣнія объ образованіи и свойствахъ Ангарскаго и Байкальскаго льда, Изв. Вост. Сиб. Отд. Геогр. Общ., т. XXIII, 1892; Стефановичъ, Изв. В. Сиб. Отд. Геогр. Общ., т. XXXII.

**) См. Владимировъ, l. c., таблица параллельныхъ данныхъ о замерзаніи Невы около С.-Петербурга, Шлиссельбурга и на взморьѣ.

***) Въ виду практической важности вопроса Геогр. Общество предлагаетъ вести наблюденія по опредѣленной программѣ. Составлены вопросные листки и къ нимъ: Объяснительная записка къ листку для сбора свѣд. о донномъ льдѣ, 1904.

трудѣ М. А. Рыкачева *), который, между прочимъ, въ первый разъ изобразилъ распредѣленіе этого явленія картографически. На своихъ картахъ М. А. Рыкачевъ показалъ линіи одновременныхъ вскрытій и замерзаній рядомъ съ линіями наступленія температуры 0°. Линіи одновременнаго вскрытія отъ 10 до 10 дней онъ называетъ изотаками, а линіи одновременнаго замерзанія—изопектиками; кромѣ того онъ показалъ линіи одинаковой продолжительности времени нахожденія ледянаго покрова на рѣкѣ и времени, въ теченіе котораго температура ниже 0°. Не имѣя возможности вдаваться здѣсь въ подробное разсмотрѣніе интересныхъ выводовъ Рыкачева, замѣтимъ только, что линіи наступленія температуры 0° не совпадаютъ ни съ изотаками, ни съ изопектиками, при чемъ разница между ними для большихъ рѣкъ гораздо больше нежели для мелкихъ, хотя, въ общемъ, направленія ихъ слѣдуютъ одному и тому же закону; такъ температура выше 0°, а за ними и вскрытіе рѣкъ наступаютъ, подъ одной и той же широтой, ранѣе на западѣ, чѣмъ на востокѣ Россіи. Въ Сибири эта разница между востокомъ и западомъ менѣе; такъ напр., между Петербургомъ и Казанью на каждые 10° долготы линія понижается на 2,2° широты, а далѣе до Акмолинска—только на 1,1° широты на такую же разность долготы. Раньше всего вскрывается Кубань у Екатеринодара около 15 февраля, а наболѣе позднее наблюдается на Печорѣ и въ низовьяхъ Колымы, въ началѣ іюня, еще позже въ устьѣ Лены, и, наконецъ, въ іюлѣ ледъ встрѣчается только на рѣчкахъ Таймырскаго полуострова. Чѣмъ далѣе къ сѣверу, тѣмъ, по словамъ Рыкачева, изотаки подходятъ ближе къ параллелямъ, т. е. тѣмъ менѣе разницы между западомъ и востокомъ; слѣдовательно на востокѣ освобожденіе отъ ледянаго покрова съ юга на сѣверъ подвигается гораздо быстрѣе, нежели на западѣ; это обстоятельство имѣетъ значеніе въ разрушительной дѣятельности льда на берега рѣкъ. Ходъ замерзанія обратный; позже всего замерзаетъ Кубань—около 18 января, а раньше Колыма—1 сентября, Индигирка и Яна—15 сентября. Замѣтимъ еще одно обстоятельство, а именно—по сообщенію Рыкачева, линіи одинаковой продолжительности ледянаго покрова испытываютъ гораздо меньше колебаній, чѣмъ изотаки и изопектики. Рыкачевъ различаетъ 4 категоріи водъ: озера, большія рѣки, малыя рѣки и каналы; изъ нихъ раньше всего вскрываются малыя рѣки, затѣмъ большія, затѣмъ каналы, и, наконецъ, озера; по замерзанію порядокъ другой: сначала малыя рѣки, потомъ каналы, далѣе озера и, наконецъ, большія рѣки.

Дѣятельность рѣчного льда. Хотя дѣятельность озернаго и рѣчного льда изучена еще сравнительно мало, тѣмъ не менѣе замѣчено уже, что яснѣе всего она проявляется въ высшихъ широтахъ сѣверной гемисферы, особенно на большихъ рѣкахъ, протекающихъ съ юга на сѣверъ, напр. Мэкэнзи, Иртышъ, Обь, Енисей, Лена и др. Въ верховьяхъ такихъ рѣкъ ледъ вскрывается прежде, чѣмъ въ низовьяхъ; вскрывшійся ледъ, уносясь теченіемъ, встрѣчаетъ преграду отъ нетронутаго ледянаго покрова и скопляется большими массами (фиг. 403), которыя разрушаютъ и шлифуютъ береговыя скалы (фиг. 404), вытачиваютъ борозды въ нихъ, переносятъ большія глыбы камней и производятъ изъ нихъ накопленія на берегахъ въ видѣ значительныхъ грядъ. О силѣ напора льдинъ свидѣтельствуютъ многочисленныя поврежденія или даже разрушенія, наблюдаемыя на многихъ мостахъ почти каждую весну. Объ истирающемъ дѣйствіи льдинъ на берега говорилъ еще Эйхвальдъ, указывая на истиранія графита по р. Нижней Тунгускѣ; Миддендорфъ **) упоминаетъ о «выбоинахъ и рубцахъ» и вообще объ «изборожденныхъ плоскостяхъ», производимыхъ льдомъ на берегахъ или даже на отдѣльныхъ валунахъ сибирскихъ рѣкъ. Ляйэлль ***) приводитъ цѣлый рядъ фактовъ, доказывающихъ перенесеніе громадныхъ валуновъ рѣчными льдинами какъ на рѣкахъ Европы, такъ и Сѣв. Аме-

*) М. А. Рыкачевъ, Вскрытіе и замерзаніе водъ въ Росс. Имперіи, 1886.

**) Миддендорфъ, Путеш. на сѣверъ и востокъ Сибири. I, 1860—1866 г.г., стр. 279—300.

***) Ч. Ляйэлль, Основныя начала геологіи, 1866, стр. 254—256.

рики; такъ, льдины на р. Нѣманѣ нерѣдко переносятъ и выбрасываютъ на берега не только мелкія гальки, но и большіе валуны гранита, до 2 м. діаметромъ; на р. Св. Лаврентія въ Сѣв. Америкѣ льдины отрываютъ огромныя глыбы отъ береговыхъ утесовъ и переносятъ ихъ на значительное разстояніе,—напр. въ Монреалѣ льдина унесла до 50 кв. ф. камня съ набережной. Въ 1834 г. мертвый якорь корабля Гюльнера, вѣсомъ до 30 пуд., былъ унесенъ льдомъ на нѣсколько десятковъ метровъ, причемъ онъ такъ крѣпко примерзъ, что цѣпной канатъ былъ бы ра-

Фиг. 403.— Ледоходъ на Енисеѣ около Красноярска.

зорванъ силою движущихся льдинъ, еслибы его не разрубили. Выше г. Квебека льдины на р. Св. Лаврентія нагромождаютъ изъ принесенныхъ валуновъ цѣлые островки, которые ежегодно мѣняютъ свои контуры или даже перемѣщаются. Скопленія льда при ледоходѣ могутъ повліять на измѣненіе направленія рѣки, какъ это доказывается для нѣкоторыхъ участковъ Рейна.

Интересныя и разнообразныя данныя о дѣятельности рѣчного льда сообщаетъ И. А. Лопатинъ *) на основаніи своихъ наблюденій на р. Енисеѣ въ Сибири. Онъ указываетъ, что весенній ледъ переноситъ не только

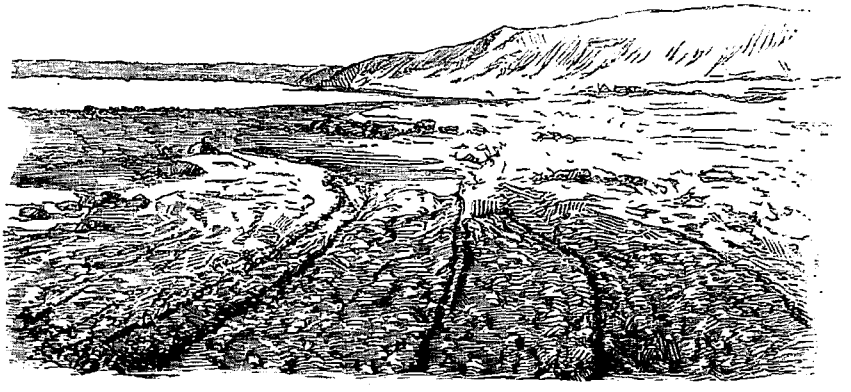
*) И. А. Лопатинъ, Объ изборожденныхъ и шлифованныхъ льдомъ валунахъ и утесахъ по берег. Енисея къ N отъ 60° с. ш., Зап. Геогр. Общ., 1871, т. IV.

цѣлые слои песка, ила и глины, но также мелкіе камни и даже валуны до 0,36 куб. м. объемомъ, напр. около деревни Вершининой, Шушковой по Енисею, а также на Нижней Тунгускѣ. Массу переносимыхъ породъ опредѣлить трудно, за неимѣніемъ систематическихъ наблюденій; но, судя по отдѣльнымъ фактамъ, она должна быть значительна; такъ небольшая льдина у дер. Вершининой (толщиною 1,1 м., шириною 3,2 м. и длиною 5 м.) несла на себѣ около 3 куб. м. песку и галекъ. Камни и песокъ, вмерзшіе въ льдину, отлагаются тамъ, гдѣ она растаиваетъ; этимъ

Фиг. 404. — Казачинскій порогъ на Енисеѣ. Лѣвый берегъ.

объясняется нахожденіе діоритовыхъ валуновъ (до 0,36 куб. м. величиною) на известняковыхъ утесахъ, выступающихъ среди р. Енисея. Съ другой стороны, тѣ же льдины съ вмерзшими камнями и пескомъ, при прохожденіи надъ утесами или выдающимися валунами, производятъ въ нихъ борозды, царапины и шлифованныя поверхности, на подобіе тѣхъ, которыя, какъ увидимъ ниже, производитъ ледниковый ледъ въ гораздо большихъ размѣрахъ. Шлифованные валуны, верхняя поверхность которыхъ нерѣдко покрыта прямолинейными царапинами и бороздами, идущими согласно съ направленіемъ рѣки, по словамъ г. Лопатина, особенно развиты на Енисеѣ, между Бреховскими островами и устьемъ Подкаменной Тунгуски, но наиболѣе отчетливо наблюдались имъ на

плоскихъ прибрежьяхъ къ сѣверу отъ Хантайскаго селенія. Очевидно, что ледъ, шедшій надъ затопленнымъ весеннею водою берегомъ и содержащій, какъ выше сказано, вмерзшіе камни, касаясь нижнею стороною, царапалъ верхнюю сторону наиболѣе крупныхъ валуновъ, плотно лежащихъ въ массѣ гальки, и образовалъ на нихъ борозды. Такіе валуны, отшлифованные обыкновенно только съ одной верхней стороны, тянутся на цѣлыя версты по Нижней Тунгускѣ. Но, кромѣ валуновъ, ледъ истираетъ также выдающіеся утесы и преимущественно тѣ, которые покрываются водою во время ледохода (такъ назыв. луды), тогда какъ на вертикально спускающихся утесахъ г. Лопатинъ не наблюдалъ царапинъ. Самая отчетливая полировка Енисейскихъ утесовъ наблюдается около деревень Игарки и Плахина; чѣмъ тверже порода, тѣмъ глаже полировка, тѣмъ яснѣе борозды и прямолинейные желобки. Около дер. Плахина одинъ небольшой утесъ, на срединѣ р. Енисея, подвергающійся



Фиг. 405. — Желоба, произведенные рѣчнымъ льдомъ на плоскомъ побережьѣ Енисея около дер. Дудинской.

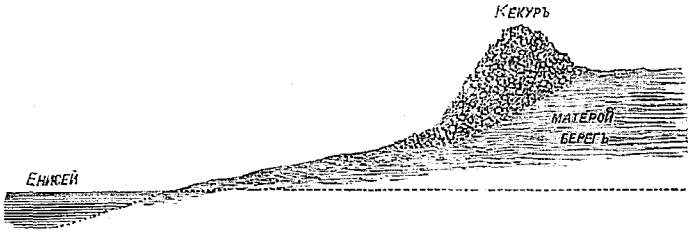
давно уже дѣйствію рѣчного льда, получилъ форму, напоминающую ледниковый куполъ (dôme arrondi) (см. также фиг. 404). Кромѣ царапинъ на валунахъ и утесахъ, льдины производятъ глубокіе полосы или желоба на низкихъ прибрежьяхъ, состоящихъ изъ рыхлаго наноса. Такіе желоба, въ видѣ колеи или прямолинейной канавы, произведены весеннимъ льдомъ, который двигалъ по мелкой галькѣ большіе валуны и производилъ, такъ сказать, выпахиваніе въ рыхлой почвѣ.

Слѣдующій рисунокъ (фиг. 405) представляетъ желоба на плоскомъ прибрежьѣ Енисея у с. Дудинскаго, гдѣ, по словамъ г. Лопатина, полосы или желоба тянутся прямолинейно на разстояніи около 40 м., шириною отъ 0,5 м. до 0,7 м., глубиною отъ 8 до 13 сант.; тоже ниже, у устья р. Хантайки, гдѣ въ одномъ желобѣ уцѣлѣлъ еще валунъ, которымъ льдина производила выпахиваніе.

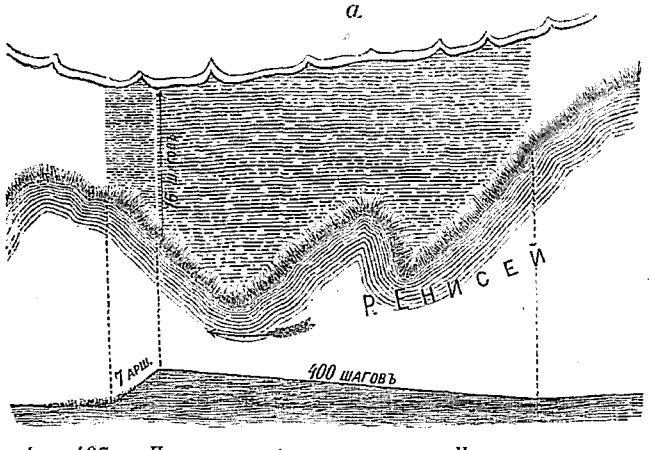
Кромѣ шлифовки, полировки, бороздъ и желобовъ, рѣчной ледъ, при нѣкоторыхъ благопріятныхъ условіяхъ, производитъ еще особаго рода накопленія по берегамъ рѣкъ, называемыя въ Сибири кекурами и коргами.

Иногда, особенно въ рѣкахъ нашего полушарія, текущихъ къ сѣверу, льды во время ледохода спираются и образуютъ препятствіе теченію

воды, которая выходитъ изъ береговъ и затопляетъ окрестности. Ледъ, образовавшій такой барьеръ, вытѣсняется водою на берегъ и, кромѣ шлифованія, двигаетъ передъ собою большое количество валуновъ и галекъ. На Бреховскихъ островахъ на Енисеѣ, льдины заходятъ на 200 метровъ отъ берега и срѣзываютъ тальникъ. Когда ледъ растаетъ, то сдвинутыя имъ массы образуютъ гряду или валъ на прибрежьѣ, направленіе котораго будетъ, очевидно, перпендикулярно направленію напора льдинъ на берегъ. «Такъ какъ напоръ льдинъ, говоритъ Лопатинъ, при существованіи одинаковыхъ обстоятельствъ долженъ повторяться на одномъ и томъ же мѣстѣ, то и ясно, что валъ этотъ долженъ годъ отъ году увеличиваться». — Эти то валы и называются въ Сибири кекурами. Кекуры всегда находятся на обширныхъ плоскихъ прибрежьяхъ и состоятъ изъ песка, галекъ, мелкихъ и крупныхъ валуновъ (до 0,54 куб. м.) и древесныхъ стволовъ. Высота ихъ около 10 м., гребень довольно острый и неровный, склонъ до 30°,—напримѣръ кекуръ близъ села Сѣченскаго на Каргинскомъ мысу на р. Енисеѣ. Иногда кекуры прислонены къ довольно крутому берегу, какъ, напр., въ 6 верстахъ южнѣе Дудинки на Енисеѣ (фиг. 406). Лопатинъ указываетъ, что южная граница распространенія кекуръ совершенно совпадаетъ съ южною границею ясно отшлифованныхъ валуновъ.



Фиг. 406. — Кекуръ на берегу Енисея, въ 6 верст. къ югу отъ с. Дудинскаго.



Фиг. 407. — Планъ и разрѣзъ корги у мыса Носокъ на правомъ берегу р. Енисея.

Коргами въ Сибири по Енисею называютъ также скопленія, производимыя льдинами, но нѣсколько другой формы, а именно это небольшія косы, идущія отъ матераго берега къ рѣкѣ и состоящія изъ валуновъ; корга имѣетъ плоскую вершину и неравномѣрные склоны: пологій, обращенный вверхъ по теченію рѣки, и крутой — внизъ по рѣкѣ. Подошва корги скрывается въ водѣ; иногда направленіе длины корги совершенно перпендикулярно теченію рѣки, какъ видно на фиг. 407, изображающей планъ и профиль корги на мысѣ Носокъ на правомъ берегу Енисея въ 5 верстахъ выше сел. Потаповскаго.

Къ слѣдствіямъ дѣятельности льда на сибирскихъ рѣкахъ Ячевскій относитъ также такъ называемыя «опечки», — подводные бугры наноснаго матеріала, расположенныя вдоль берега рѣки. Ячевскій объясняетъ ихъ образованіе вырывающей работой доннаго льда на пространствахъ между такими буграми.

Весьма вѣроятно, что озерный ледъ производитъ аналогичныя образованія, особенно при устьяхъ и истокахъ рѣкъ, но, къ сожалѣнію, въ этомъ отношеніи имѣется еще меньше наблюденій.

Изъ того немногого, что намъ извѣстно о дѣятельности рѣчного и озерного льда, очевидно, что агентъ этотъ хотя и не имѣетъ обширнаго распространенія, тѣмъ не менѣе объясняетъ много оригинальныхъ частныхъ явленій, особенно въ строеніи рѣчныхъ долинъ; вмѣстѣ съ тѣмъ знакомство съ результатами дѣятельности его предостерегаетъ отъ ошибокъ, въ родѣ, напр., принятія кекуръ или коргъ за остатки рѣчныхъ террассъ, или отшлифованные валуны — за доказательство древнихъ ледниковъ.

Фиг. 408. — Видъ наледи лѣтомъ. Нижній конецъ наледи на р. Муркугу системы р. Олекмы.

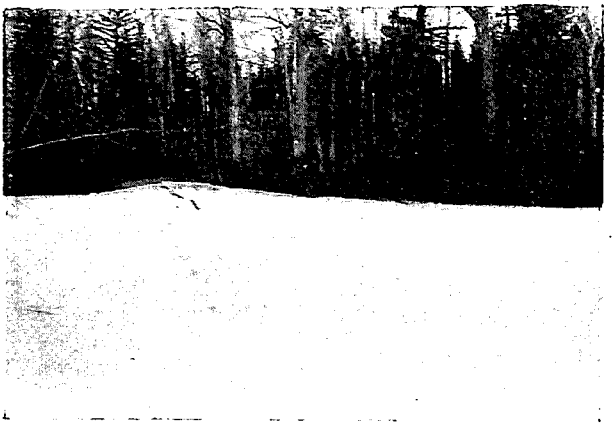
Наледи или тарыны (Eismulden, Aufeis, jattes ou écuelles de glace). Къ своеобразнымъ явленіямъ замерзанія рѣкъ относятся такъ называемые „наледи“ или по-якутски „тарыны“; такъ называютъ на сѣверо-востокѣ Сибири, въ Якутской и Приморской областяхъ, внезапное появленіе въ рѣчныхъ долинахъ зимою часто во время самыхъ сильныхъ морозовъ, воды, затопляющей покрытыя льдомъ русла и нерѣдко распространяющейся во всю ширину долины. Медленно выбиваясь изъ подъ льда по берегамъ рѣчки или на почвѣ рѣчной долины и постепенно замерзая на воздухѣ, вода образуетъ въ такихъ мѣстахъ значительныя, до нѣсколькихъ саженей толщиною, ледяныя поляны, нерѣдко сохраняющіяся въ теченіе всего лѣта (фиг. 408).

Мокрая, нерѣдко совершенно тонкая, поверхность наледей дѣлаетъ трудно проходимыми зимою иные участки рѣчныхъ долинъ; внезапное появленіе и разростаніе наледей часто служитъ сильнымъ препятствіемъ при развѣдкахъ на золото. Наледь представляетъ сначала неровное бугристое ледяное поле; изъ отдѣльныхъ ледяныхъ бугровъ вода начинаетъ выливаться быстрѣе, заполняетъ всѣ неровности между отдѣльными буграми и превращаетъ бугристую ледяную поверхность въ гладкое ледяное поле *). Отдѣльныя вздутія, бугры появляются и послѣ того, какъ поверхность на-

*) Подъяконовъ, Наледи Восточной Сибири и причины ихъ возникновенія. Изв. Имп. Р. Геогр. Общ., 1903, т. XXXIX, вып. IV.

леди выравняется; такіе бугры представляютъ вздутія льда толщиною до $1^1/_2$ арш., какъ видно по трещинамъ (фиг. 409), появляющимся часто въ ихъ вершинахъ, подъ вліяніемъ расширенія воды, замерзающей на нѣкоторой глубинѣ среди льда. Подьяконовъ полагаетъ, что эта вода случайно изолируется при образованіи сплошного ледяного поля, но вѣроятнѣе, что и эта вода имѣетъ притокъ, но вслѣдствіе его слабости уже не можетъ прорваться наружу и вымерзаетъ вся прежде, чѣмъ могла бы появиться на поверхности. Процессъ выравниванія поверхности бугристой наледи происходитъ путемъ просачиванія на ея поверхность и распространенія на ней воды тонкими слоями, замерзающими или быстро, или разрыхляющими верхніе слои ранняго льда; этотъ процессъ исключаетъ возможность изолированія большихъ массъ воды среди слоевъ льда, по крайней мѣрѣ въ видѣ цѣлаго же слоя воды. Возможно, что подъ верхнимъ слоемъ льда можетъ остаться масса разрыхленнаго, пропитаннаго водой; при послѣдующемъ промерзаніи такой массы можетъ произойти медленное изогнутіе верхняго покрывающаго слоя.

Объясненія наледей, данныя Дитмаромъ, Миддендорфомъ и барономъ Майделемъ нельзя было считать удовлетворительными. Дитмаръ полагалъ, что наледи образуются только въ частяхъ долинъ съ очень малымъ паденіемъ или въ котловинахъ, вслѣдствіе промерзанія всего русла и притока воды изъ незамерзающаго источника, распространяющаго свои воды поверхъ первоначальнаго слоя льда, образовавшагося въ такой котловинѣ. Подьяконовъ правильно указываетъ, что это одинъ изъ частныхъ случаевъ возможнаго образованія тарыновъ. Миддендорфъ приписываетъ главную роль образованію доннаго льда, стѣсняющаго свободный стокъ воды въ болѣе мелкихъ мѣстахъ между нимъ и поверхностнымъ льдомъ. Майдель видѣлъ главный факторъ въ присутствіи вѣчной мерзлоты, затрудняющей естественное движеніе воды при замерзаніи рѣкъ. Что послѣднее невѣрно, извѣстно всѣмъ горнымъ инженерамъ, которымъ приходилось вести развѣдки около тарыновъ; наледи часто образуются въ мѣстахъ, гдѣ мерзлоты нѣтъ. Предположеніе Миддендорфа совершенно не объясняетъ образованія наледей именно внѣ руселъ, прямо на бортахъ рѣки.



Фиг. 409. — Ледяной бугоръ съ продольной трещиной. Р. Кухчи сист. р. Ботчи Приморской области.

Горный инженеръ Подьяконовъ даетъ наиболѣе вѣроятное объясненіе явленія наледей, обнимающее всѣ случаи ихъ образованія. Причиной ихъ образованія онъ считаетъ стѣсненіе теченія рѣки или потока, вызываемое уменьшеніемъ необходимаго для даннаго количества воды живого сѣченія. Подъ вліяніемъ морозовъ ледяной покровъ, примерзшій къ берегамъ, увеличивается въ своей толщинѣ сверху внизъ на счетъ русла рѣки; вода, не помѣщаясь болѣе въ руслѣ, распространяется по верхнимъ слоямъ рыхлыхъ рѣчныхъ отложеній, происходитъ подъемъ грунтовой воды въ долинѣ. Переполнивъ наносы, вода выступаетъ на поверхность въ тѣхъ мѣстахъ долины, которыя не промерзли благодаря своей первоначальной сухости или благодаря защитѣ снѣжнымъ покровомъ. Высота наледи является какъ бы измѣрителемъ напора, дѣйствующаго въ замкнутой трубѣ, которая смѣняетъ собою первоначальный открытый желобъ, по которому вода свободно стекала до наступленія морозовъ. Это объясненіе обнимаетъ всѣ частные случаи наледей, отъ появленія воды послѣ рѣкостава по берегамъ такихъ мощныхъ рѣкъ, какъ Лена, до развитія огромныхъ наледей на ничтожныхъ рѣчкахъ, независимо отъ уклона и формы долины, а исключительно въ соотношеніи съ совокупностью такихъ факторовъ, какъ живое сѣченіе русла, мощность наносовъ, дебитъ потока, сила мороза и другіе.

Наледи не представляютъ, слѣдовательно, исключительной особенности Сибири, а могутъ встрѣчаться на всѣхъ рѣкахъ, покрывающихся зимой сплошнымъ ледянымъ покровомъ. Въ Сибири они проявляются отчетливѣе только благодаря низкой зимней температурѣ и, быть можетъ, бо́льшему постоянству дебита многихъ рѣкъ, въ особенности горныхъ, питающихся источниками, а также присутствію во многихъ мѣстахъ вѣчной мерзлоты.

Морской ледъ.

Въ открытыхъ моряхъ находятся два рода льда: одинъ образуется отъ непосредственнаго замерзанія морской воды, а другой приносится съ материковъ; первый является въ видѣ низкихъ и обширныхъ ледяныхъ покрововъ или ледяныхъ полей, а другой—въ видѣ высокихъ отдѣльныхъ плавучихъ ледяныхъ горъ (Eisberg), весьма разнообразной и нерѣдко фантастической формы.

Морская вода, какъ содержащая соли, замерзаетъ только при—$2^1/_2$° Ц. На днѣ мелкихъ морей образуется также, какъ въ озерахъ и рѣкахъ, донный ледъ, который, захватывая мелкія минеральныя частицы дна, поднимаетъ ихъ на поверхность и при движеніи переноситъ на большое разстояніе; при растаиваніи онъ снова отлагаетъ ихъ на дно моря. Очевидно, процессъ этотъ имѣетъ гораздо большее значеніе въ мелкихъ моряхъ, нежели въ рѣкахъ и озерахъ, но, къ сожалѣнію, онъ слишкомъ мало изученъ. Даже способъ образованія доннаго льда не выясненъ; одни полагаютъ, что онъ образуется прямо на днѣ *), другіе же думаютъ, что онъ зарождается на поверхности и затѣмъ опускается на дно отдѣльными кристаллами, гдѣ, смерзаясь, захватываетъ минеральныя частицы и снова поднимается на поверхность **). На льдинахъ же переносятся иногда огромные камни, которые, выбрасываясь во время бурь вмѣстѣ со льдомъ, образуютъ на берегахъ большія скопленія,—напр. по берегамъ Финскаго залива и Ледовитаго океана.

Какъ ледяныя поля, такъ и айсберги или ледяныя горы, главнымъ образомъ свойственныя полярнымъ странамъ, появляются также въ нѣкоторыхъ внутреннихъ и краевыхъ моряхъ: въ Беринговомъ, Охотскомъ, Азовскомъ и частью въ Балтійскомъ до параллели Стокгольмъ-Эзель.

Хотя наибольшая плотность морской воды при—3,7° Ц., но замерзаніе происходитъ при—2,5° Ц. Температура наибольшей плотности соленой воды (при солен. > 3%) ниже точки замерзанія; слѣдовательно, частицы воды, охлаждаясь до 0° и ниже, все еще стремятся погрузиться на глубину, и это препятствуетъ замерзанію воды моря. Казалось бы, что именно на днѣ моря ледъ можетъ образоваться скорѣе, чѣмъ на поверхности. Ледъ образуется тѣмъ не менѣе и на поверхности и, полагаютъ, что этому способствуетъ примѣсь на поверхности прѣсной воды, напр., атмосферныхъ осадковъ и отъ притока рѣчныхъ водъ.

Разъ ледъ образовался, онъ продолжаетъ наростать снизу и сверху, подъ дѣйствіемъ волнъ и брызгъ; наростанію снизу именно и способствуютъ нисходящіе токи воды, охлажденной до—3,7°. Образовавшійся ледъ и падающій на него снѣгъ, какъ дурныя проводники тепла, и тѣла, мало прозрачныя для тепловыхъ лучей, исходящихъ отъ тѣлъ низкой температуры, защищаютъ воду отъ дальнѣйшаго охлажденія. Наконецъ, самое образованіе льда сопровождается выдѣленіемъ скрытой теплоты; этимъ объясняется, что толщина льда даже въ полярныхъ моряхъ не бываетъ больше 2—2,5 м. Сначала образуется кашеобразная масса (Sludge, Eisbrei) изъ отдѣльныхъ игольчатыхъ кристалловъ, которые затѣмъ смерзаются въ тонкій эластическій покровъ, изгибающійся какъ кожа. При полномъ покоѣ вода не замерзаетъ даже при

*) Норденшельдъ (Voyage de la Véga, II, 63) объясняетъ образованіе доннаго льда въ моряхъ слѣдующимъ образомъ: „Каждая песчинка, перемѣщаемая рѣкой въ море, увлекаетъ съ собою и нѣкоторое количество воды, относительно теплой и въ то же время прѣсной. Это вода, точка замерзанія которой около 0°, достигая дна моря, соприкасается со слоемъ соленой воды температуры отъ —2° до —3° и замерзаетъ, цементируя отдѣльныя зерна песка".

**) Günther, Handb. d. Geophysik, 542.

температурѣ гораздо низшей – 3—4°, но малѣйшее движеніе производитъ сразу массу льда; этимъ объясняется моментальное обмерзаніе кораблей (nipped или beset, какъ говорятъ англійскіе моряки). У береговъ—промерзаніе происходитъ до дна. Въ морскомъ льдѣ доказано присутствіе углекислаго кальція и магнія, сѣрной кислоты и среднимъ числомъ въ 1,1 льда 0,1723 гр. хлора. Соль содержится или въ видѣ механической примѣси, или въ видѣ кристалловъ *). По наблюденіямъ Вейпрехта **), прекрасно изучившаго образованіе и преобразованіе морского льда во время полуторагодовой стоянки на землѣ Франца-Іосифа, при быстромъ замерзаніи часть солей выдѣляется въ нижніе слои, которые, обогащаясь солями, требуютъ для замерзанія болѣе низкой температуры. Дригальскій полагаетъ, что содержаніе солей распредѣляется довольно равномѣрно по всей толщинѣ льда, но оно относится на счетъ частицъ солей механически распредѣленныхъ въ промежуткахъ между кристаллами льда. По мѣрѣ того, какъ ледъ становится все плотнѣе, такіе промежутки дѣлаются все меньше, и содержаніе солей во льду убываетъ, что и вызываетъ замѣтное уже различіе въ содержаніи солей во льдѣ новомъ и старомъ. По мнѣнію Петерсона ***) замерзаніе морской воды раздѣляетъ ее на двѣ части—твердую и жидкую, въ родѣ разсола, обѣ заключающія различныя соли, но первая богаче сѣрнокислыми, какъ легче удерживающими твердый видъ, а вторая хлористыми; при постепенномъ измѣненіи льда съ теченіемъ времени, или метаморфизмѣ его, онъ сохраняетъ сульфаты и бѣднѣетъ хлористыми солями. Присутствіе сульфатовъ дѣлаетъ негоднымъ для употребленія въ пищу морской ледъ, хотя бы на вкусъ онъ вовсе не былъ соленымъ. Удѣльный вѣсъ льда, по Бунзену, 0,91674 (круглымъ числомъ 0,917); принимая удѣльный вѣсъ морской воды 1,028, нужно допустить, что плавающія массы плотнаго льда возвышаются надъ водою только на $^1/_4$—$^1/_{10}$ своей толщины; благодаря пористости—на $^1/_7$—$^1/_8$, а съ камнями меньше выдвигаются.

Въ продолженіе всей арктической зимы образуется слой льда, толщиною отъ 1 до $2^1/_2$ м. Вначалѣ поверхность льда совершенно гладкая и ровная (ледяное поле, icefield, Eisfeld), но вскорѣ, вслѣдствіе движенія, производимаго теченіями, вѣтрами, вслѣдствіе разности температуры воды и воздуха, на льду образуются трещины и разсѣлины; чрезъ нихъ выступаетъ снизу вода, которая, замерзая, утолщаетъ ледяное поле; отдѣльныя части, которымъ сообразно съ ихъ убывающей величиною даютъ названія Flarden, Schollen и Brocken, надвигаются другъ на друга, выдвигаютъ глыбы льда, въ видѣ маленькихъ вершинъ, такъ что гладкая поверхность превращается въ кочковатую, весьма неровную, недоступную не только для ѣзды на саняхъ, но даже для пѣшеходовъ. Большія скопленія сжатаго льда (Eispressung) называются торосами (toross, hummocks). Старый ледъ очень часто не успѣваетъ растаять до появленія новаго; вслѣдствіе этого въ ледяныхъ скалахъ наблюдается иногда слоистость. Даже при такомъ преобразованіи и накопленіи льда толщина ледяныхъ полей, по Вейпрехту, не превышаетъ 10 м., и только въ рѣдкихъ случаяхъ—напр., въ Смитзундѣ—она бываетъ до 25 м. Если отдѣльныя части ледяного поля, вслѣдствіе продолжительнаго тренія другъ о друга, настолько сокращаются, что діаметръ ихъ площади не превосходитъ нѣсколькихъ метровъ и до нѣсколькихъ дециметровъ, то англійскіе моряки называютъ ихъ вообще floes и pancakes (пэнкэксъ-оладьи), слѣдовательно, floes въ англійской терминологіи соотвѣтствуютъ Flarden и Schollen датскихъ моряковъ, а pancakes—Brocken. Между отдѣльными льдинами (floes) море обыкновенно покрыто обломками мелкихъ льдинъ (pancakes), совокупность которыхъ называютъ Eisgasch, а самую поверхность такихъ водныхъ пространствъ—полыньями (Wackes, Wacken). Наконецъ, всю совокупность льдинъ различной величины, разсѣянныхъ такимъ образомъ по поверхности моря, называютъ рыхлымъ плавучимъ льдомъ (Drift ice, Treibeis, glaces de dérive, т. е. дрейфовый ледъ). Наоборотъ, если нѣсколько ледяныхъ полей соединяется въ одно цѣлое, его называютъ плотнымъ плавучимъ льдомъ (pack, banquise), который часто распространяется на громадныя пространства и нерѣдко переживаетъ нѣсколько лѣтъ. Если такое поле пака разстилается кругомъ, его называютъ patch; если оно вытянуто въ одномъ направленіи, его называютъ stream. Вѣтеръ производитъ также различныя измѣненія на поверхности пака, нагромождая или дюны изъ мельчайшаго снѣга (poudrin) или образуя плотныя неровности съ пологимъ склономъ подвѣтреннымъ и крутымъ навѣтреннымъ (застругн). Судно, обреченное на зимовку среди полярныхъ льдовъ, схваченное ими, начинаетъ испытывать страшное давленіе при замерзаніи многочисленныхъ трещинъ, образующихся при постоянныхъ измѣненіяхъ ледяного поля. Послѣ опыта „Фрама“ Нансена суда, предназначающіяся для по-

*) Boguslawski, Handbuch der ozeanographie, 1884, стр. 60.
**) Karl Weyprecht, Die Metamorphosen des Polareises, 1879.
***) Thoulet, Océanographie (statique), 1890, стр. 436.

лярныхъ плаваній, стали дѣлать широкими и короткими, съ округленной подводной частью, чтобы боковое давленіе льда превратить въ наклонное, которыми судно не раздавливается, а приподнимается. Чистый ледъ расширяется при повышеніи температуры и сокращается при ея пониженіи, причемъ максимальный объемъ ледъ имѣетъ при температурѣ около нуля; ледъ морской, заключающій соли, обнаруживаетъ максимумъ объема при температурѣ тѣмъ ниже, чѣмъ содержаніе солей въ водѣ больше. такъ при значительномъ содержаніи солей иногда при—20° *). Вслѣдствіе этой особенности морского льда, въ одномъ и томъ же ледяномъ полѣ при одной и той же температурѣ въ однихъ мѣстахъ объемъ увеличивается, въ другихъ уменьшается, все это усиливаетъ явленіе разломовъ и трещинъ, а вмѣстѣ съ этимъ и давленіе, испытываемое зимующимъ судномъ. Такимъ образомъ, полярный плотный ледъ (Packeis) состоитъ изъ стараго и новаго льда. Въ концѣ мая начинается таяніе, и на поверхности ледянаго поля появляются лужи, озера и рѣки, которыя опрѣсняютъ морскую воду; полыньи увеличиваются, поле разбивается на части: плотный ледъ превращается въ рыхлый (Treibeis), который холодными полярными теченіями уносится въ теплыя страны. Въ сѣверномъ полушаріи онъ опускается низко только въ западной части Атлантическаго океана, а въ восточномъ Гольфстремъ не пропускаетъ его даже до 70° с. ш. Въ концѣ лѣта площадь, занятая полярными льдами, составляетъ только не болѣе $^1/_3$ первоначальной площади. Впрочемъ въ разные годы количество и величина ледяныхъ полей различна; отъ состоянія ихъ зависитъ успѣхъ полярныхъ экспедицій.

Въ антарктическомъ морѣ льды спускаются до 36° ю. ш. у мыса Доброй Надежды и 56° и даже 42° у Южной Америки. Антарктическіе плавучіе льды имѣютъ форму плавающихъ столовыхъ горъ съ вертикальными склонами и ровною поверхностью; чѣмъ они больше, тѣмъ столовый характеръ ихъ яснѣе. Эти плавучіе ледяные острова выступаютъ надъ уровнемъ моря на 60—70 м., слѣдовательно, толщина ихъ до 400 метр., а длиною они бываютъ до $5^1/_3$ милъ. Сначала ихъ причисляли къ айсбергамъ, но благодаря ихъ однообразной столовой формѣ и зеленому цвѣту льда, многіе считали ихъ за антарктическія мощныя ледяныя поля, а не за отрывки материковыхъ ледниковъ, поэтому дали имъ особое названіе флоеберги (Floeberg).

Благодаря экспедиціямъ послѣдняго времени убѣдились, что флоеберги представляютъ отломки не отдѣльныхъ ледниковыхъ потоковъ, а цѣлыхъ ледниковыхъ подножій антарктическихъ горныхъ странъ, на подобіе ледника Малянина въ Аляскѣ. Убѣдились также, что нѣтъ никакой существенной разницы между типичными арктическими ледяными горами и антарктическими флоебергами **).

Въ антарктическихъ моряхъ плавучій ледъ состоитъ преимущественно изъ обломковъ ледяныхъ горъ, а ледяныя поля морского происхожденія сравнительно рѣдки, что объясняется океаническимъ характеромъ антарктическаго бассейна ***).

Подъ названіемъ banquise французы часто понимаютъ собственно неподвижныя ледяныя поля, окаймляющія берега суши въ полярныхъ странахъ (glaces côtières береговые льды). Нэрсъ ****), наблюдая мѣстами толщину такихъ льдовъ больше 45 м., высказалъ предположеніе, что начало образованія ихъ относится къ давно минувшему времени, и назвалъ ихъ палеокристическимъ льдомъ (palaeocrystic floes); теперь не сомнѣваются, что такіе болѣе мощные льды происходятъ отъ постепеннаго надвиганія однѣхъ льдинъ на другія и послѣдующаго смерзанія ихъ *****).

Береговые льды (glaces côtières), образующіеся въ заливахъ и фіордахъ, отличаются своими меньшими размѣрами; ихъ часто называютъ заливными (bay ice, Bayis). Они нерѣдко заключаютъ въ своей подводной части много валуновъ и галекъ, которые значительно увеличиваютъ вѣсъ льдинъ. Къ концу лѣта они едва поднимаются надъ водой и почти не отличимы отъ воды съ разстоянія. Болѣе характерны береговые льды, которыя называютъ—banquette, ice foot, Isfot, образующіеся непосредственно у самаго берега частью отъ замерзанія воды, частью изъ снѣга, сметаемаго вѣтрами въ море. Они постоянно двигаются вверхъ и внизъ приливами и отливами, отъ высоты которыхъ и обилія снѣга зависитъ ихъ толщина. Въ заливахъ они образуютъ настоящія террассы шириною до 100 м. отъ береговыхъ осыпей до открытой

---

*) Thoulet, Océanographie (statique), 1890, стр. 429. Его же, L'Océan ses lois et ses problèmes, 1904, стр. 283.

**) Arctowski, Die antarktische Eisverhältnisse, Ergänz.-H. Pet. Mitt, №144, 1903.

***) Шпиндлеръ, Лекціи по Физич. Географіи, 1903, стр. 604.

****) George S. Nares, Un voyage à la mer polaire sur les navires de S. M. R. „Alert“ et „Discovery“ (1875—76).

*****) См. объ этомъ мнѣніе, напр. Воейкова, „Колебаніе и измѣненіе климата“, Изв. Геогр. Общ., Т. XXX, 1894, стр. 552—553.

воды, надъ которой они круто обрываются. У насъ на сѣверѣ этой формѣ льдовъ даютъ названіе припайковъ; припайки и заливные льды представляютъ главныя формы льдовъ, встрѣчаемыхъ напр., въ Охотскомъ и Беринговомъ моряхъ. Движеніе припайковъ во время приливовъ и бурь усиливаетъ разрушеніе крутыхъ береговъ и можетъ совершенно видоизмѣнить очертанія плоскаго берега, подвергающагося ударамъ отдѣльными льдинами, на которыя разбиваются припайки и заливные льды съ наступленіемъ лѣта.

По берегамъ Сибири и въ моряхъ Беринговомъ и Охотскомъ различаютъ еще рѣчной ледъ (flood ice, Flodis, glaces de débâcles); онъ отличается значительной плотностью, безцвѣтенъ, едва выдается надъ поверхностью воды и всегда поэтому угрожаетъ подводной части судна.

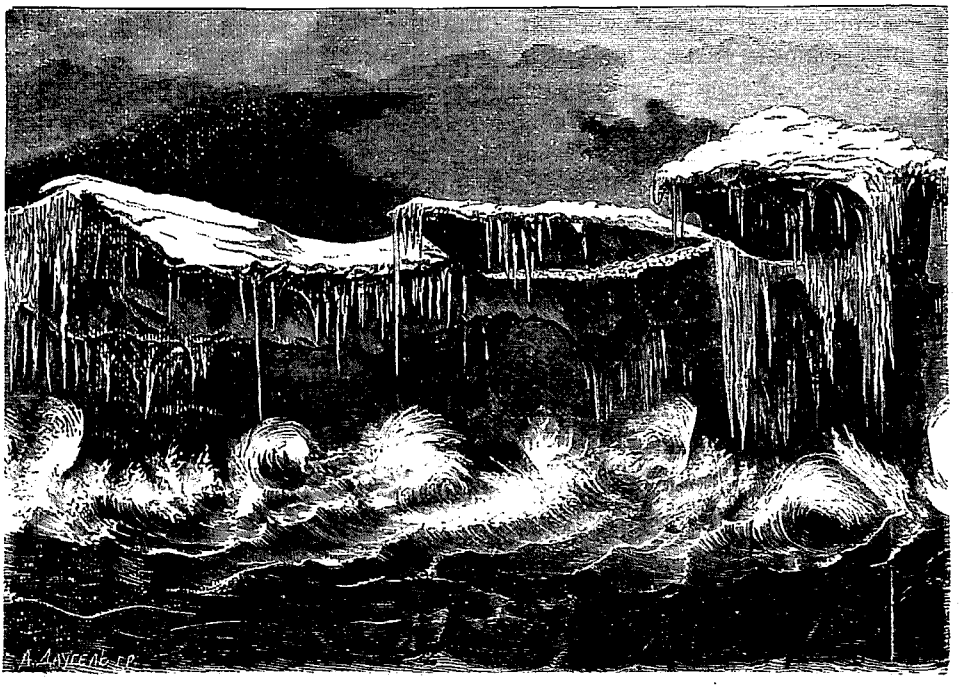
Припомнимъ еще характерный бѣлый отблескъ (iceblink, eisblink), который распространяется на горизонтѣ моря надъ ледяными полями и рѣзко выдѣляется на обычно пасмурномъ небѣ полярныхъ странъ; по такому отблеску моряки узнаютъ о присутствіи льда въ разстояніи уже до 37 кл. (по свидѣтельству Нэрса). Темноснія или даже черныя пятна (Waterskу, Wasserhimmel) среди бѣлаго отблеска свидѣтельствуютъ о присутствіи большихъ полыней.

Совершенно другой характеръ имѣютъ собственно ледяныя горы, или айсберги, которыя образуются не въ морѣ, а на материкѣ и представляютъ не что иное, какъ обломки ледниковъ, спускающихся мѣстами къ уровню моря. Они рѣзко отличаются отъ ледяныхъ полей не только внутреннею структурою льда, полнымъ отсутствіемъ солей, но даже внѣшнею формою, которая бываетъ у нихъ чрезвычайно разнообразна и красива (фиг. 410). Если морской ледъ по своему строенію не отличается отъ рѣчного или озернаго, за исключеніемъ только содержанія солей, т. е. представляетъ аггрегатъ шестоватыхъ кристалловъ, вытянутыхъ длинною осью перпендикулярно къ поверхности замерзанія, то ледъ айсберговъ ничѣмъ не отличается отъ ледниковаго льда, т. е. представляетъ зернистый ледъ.

Айсберги мѣстами скопляются въ огромномъ количествѣ, мѣстами же являются по одиночкѣ. Изъ всѣхъ плавучихъ льдовъ сѣвера айсберги достигаютъ самыхъ низшихъ широтъ. Гонимые холодными полярными теченіями, они проходятъ даже Гольфстремъ и доходятъ — въ западной половинѣ Атлантическаго океана — до 38° с. ш., т. е. до параллели Испаніи и Сициліи. Къ сѣверу отъ Азіи и Америки айсберги замѣняются ледяными полями; въ Тихомъ океанѣ ихъ также почти нѣтъ, потому что у Берингова пролива нѣтъ большихъ ледниковъ, спускающихся къ морю, а ледъ ледниковъ Аляски не доходитъ до открытаго океана. Главныя мѣсторожденія айсберговъ находятся на Новой Землѣ, Янъ-Майенѣ, на землѣ Франца-Іосифа, Шпицбергенѣ, Гренландіи отчасти на Аляскѣ и южномъ концѣ Южной Америки, гдѣ громадные ледники спускаются къ морю (см. дальше) и, обрываясь на нижнихъ концахъ, образуютъ айсберги. Величина айсберговъ зависитъ отъ размѣра ледниковъ и бываетъ весьма значительна: такъ Стенструпъ измѣрилъ одну ледяную гору, средняя высота которой надъ водой была 45 м., а отдѣльныя вершины на ней имѣли 76,6 м. высоты; площадь ея около 41 кв. кил., такъ что объемъ подводной части составлялъ 2.000.000 кб. м.; если принять, что надъ водой только $^1/_9$, то объемъ всей горы около 18.000.000 куб. метровъ. Гаммеръ и Гелландъ наблюдали ледяныя горы по объему отъ 10.000.000 до 30.000.000 куб. м., а нѣкоторые изслѣдователи сообщаютъ объ айсбергахъ въ 50.000.000 куб. м. Эти размѣры нисколько не удивительны, если вспомнимъ, что нѣкоторые ледники

ежедневно доставляютъ къ морю нѣсколько милліоновъ куб. метровъ льда, напр. Якобсгавнъ, Торсукатакъ и др. въ Гренландіи; первый изъ нихъ (4.500 м. шириною, 300 м. толщиною, скорость движенія 20 м.) доставляетъ въ день 12.000.000 куб. м. льда, а въ годъ 3.600.000.000 куб. м. льда, а второй—около 1.900.000.000 куб. м. въ годъ.

При началѣ зарожденія айсберги имѣютъ сравнительно простую форму, но затѣмъ, неравномѣрно растаивая, они пріобрѣтаютъ чрезвычайно красивыя, фантастическія очертанія. Подводная часть ихъ таетъ во много разъ (въ 200) скорѣе, чѣмъ надводная, и потому въ этой послѣдней получаются нависшія скалы и гроты, обвалы которыхъ сопровождаются



Фиг. 410.— Айсбергъ, или плавучая ледяная гора.

страшнымъ шумомъ и трескомъ (см. фиг. 410). Нѣкоторые айсберги, по словамъ Вейпрехта, существуютъ до 10 лѣтъ.

Разрушенію ледяныхъ горъ способствуетъ много вода, образующаяся на поверхности подъ вліяніемъ солнца и попадающая въ щели и трещины горы, гдѣ, замерзая, она вызываетъ новые разломы; иногда отъ такихъ трещинъ вся надводная часть горы разваливается; также разваливаются горы при ихъ опрокидываніи. Обломки развалившейся горы могутъ снова смерзаться при наступленіи морозовъ и могутъ превратиться въ ледяныя поля; такъ какъ часть горъ уносится въ умѣренныя широты, то такимъ разрушеніемъ горъ объясняютъ, почему въ высшихъ широтахъ не замѣчаютъ возрастающаго накопленія ледяныхъ горъ (Шпиндлеръ).

Такъ какъ горные ледники, какъ увидимъ ниже, всегда перемѣщаютъ массу обломковъ различныхъ горныхъ породъ, то, очевидно, и ледяныя горы, происходящія отъ нихъ, также несутъ въ себѣ много минераль-

наго матеріала, количество котораго доходитъ до нѣсколькихъ милліоновъ пудовъ. При растаиваніи обломочный матеріалъ опускается на дно, и если это происходитъ въ одномъ и томъ же мѣстѣ, то можетъ образоваться подводная морена. На Шпицбергенѣ и въ Гренландіи устье нѣкоторыхъ фіордовъ заполнено подобными отложеніями айсберговъ. Банки у Ньюфаундлэнда и Шпицбергена, по всей вѣроятности, если не всецѣло, то отчасти, обязаны своимъ происхожденіемъ отложенію айсберговъ, которые у Ньюфаундлэнда въ нѣкоторые годы скопляются въ громадномъ количествѣ, — напр. въ 1882 г. почтовые пароходы въ теченіе сутокъ встрѣчали до 350 ледяныхъ горъ, также въ 1897 г. Если эти осадки попадаютъ въ глубокія части океана, то, очевидно, они нарушаютъ однообразный составъ мелкозернистыхъ глубоководныхъ отложеній и обусловливаютъ появленіе въ нихъ галекъ и валуновъ, свойственныхъ прибрежнымъ отложеніямъ. Кромѣ того, айсберги, встрѣчая на пути мели, могутъ истирать, сглаживать, шлифовать и даже производить борозды и желоба на поверхности ея, подобно рѣчнымъ льдинамъ. Такимъ образомъ, морской ледъ въ состояніи произвести замѣтныя измѣненія рельефа морского дна *).

Снѣгъ.

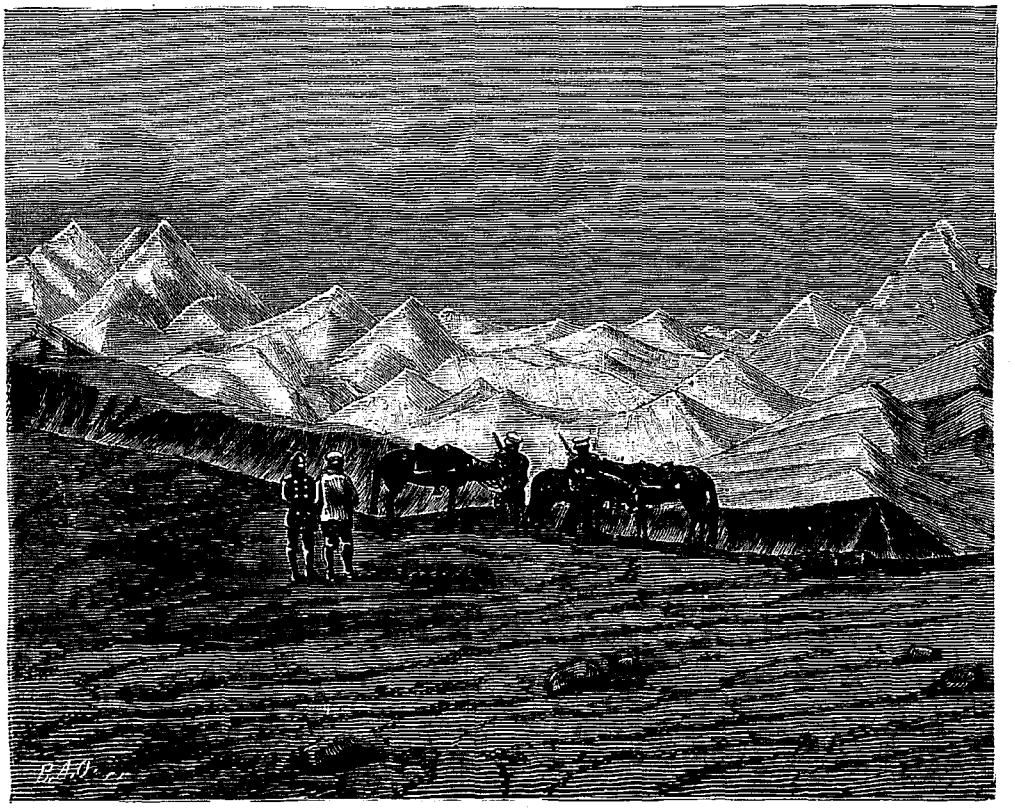
Снѣгъ, выпадающій изъ атмосферы **), образуетъ на поверхности суши снѣговой покровъ, величина и продолжительность котораго находятся въ зависимости отъ климатическихъ условій и орографіи каждой данной мѣстности. На низкихъ равнинахъ среднихъ широтъ снѣговой покровъ появляется только зимой, а лѣтомъ исчезаетъ, тогда какъ въ холодныхъ странахъ высшихъ широтъ количество лѣтней теплоты недостаточно для растаиванія снѣга, накопляющагося за зиму, и потому снѣговой покровъ становится постояннымъ и съ каждымъ годомъ увеличивается. Такъ какъ температура уменьшается не только отъ экватора къ полюсамъ, но также съ высотою, то, слѣдовательно, постоянные снѣговые покровы могутъ образоваться во всѣхъ широтахъ, но на различной высотѣ. Площади, занятыя постоянными снѣговыми покровами, называютъ снѣговыми областями (Schneeregion) (фиг. 411), а нижнюю границу ихъ, отдѣляющую отъ областей безснѣжныхъ или съ періодическими снѣговыми покровами, называютъ снѣговою линіею или снѣговою границею (Schneelinie oder Schneegrenze, snow line, тоже линія постояннаго снѣга или, какъ прежде называли, «линія вѣчнаго снѣга», что не вѣрно, такъ какъ вѣчныхъ снѣговъ нѣтъ, снѣгъ постоянно перемѣняется). Слѣдовательно, снѣговая линія — высшій предѣлъ, до котораго въ горахъ лѣтомъ отступаетъ снѣгъ; выше этой линіи преобладаетъ избытокъ снѣга; ниже, наоборотъ, теплота имѣетъ перевѣсъ. Прежде полагали, что высота снѣговой линіи опредѣляется положеніемъ лѣтней изотермы 0° Ц., но это совершенно невѣрно.

*) Hartman, Georg, Der Einfluss des Treibeises auf die Bodengestalt der Polargebiete. Wiss. Veröffentlich. d. Ver. f. Erdk. zu Leipzig, 1891. B. I. Собрано много данныхъ о пляжѣ плавучаго льда на берега морей и приложены интересныя карты около-полюснаго распространенія плавающаго льда; см. также Ratzel, Die Erde u. das Leben, II, стр. 280—283.

**) Снѣгъ представляетъ воду въ твердомъ состояніи, воспринятомъ непосредственно изъ водянаго пара при его сгущеніи; значитъ, это есть процессъ сублимаціи.

Въ экваторіальныхъ областяхъ, гдѣ нѣтъ рѣзкой разницы во временахъ года, снѣговая линія проявляется отчетливо; вообще же положеніе или высота ея зависитъ отъ весьма сложныхъ условій и не отличается постоянствомъ, особенно въ среднихъ и высшихъ широтахъ, почему и опредѣленіе ея довольно затруднительно.

Кромѣ температуры, представляющей весьма существенный факторъ для положенія снѣговой линіи, на высоту ея оказываютъ вліяніе: вѣтры.



Фиг. 411.— Снѣговая область хребта Сары-джасъ (Тянь-шань, видъ съ перевала Беркутъ).

орографія горъ, положеніе склоновъ по отношенію къ лучамъ солнца и особенно годовое количество выпадающаго снѣга.

Снѣговая линія.

Вѣтры, сдувая снѣгъ съ гребней и крутыхъ склоновъ, накопляютъ его въ глубокихъ долинахъ и ущельяхъ, поэтому въ послѣднихъ снѣговая линія, при другихъ равныхъ условіяхъ, лежитъ ниже, нежели на гребняхъ или плоскогорьяхъ. Кромѣ того, сухой вѣтеръ повышаетъ, а влажный понижаетъ снѣговую линію. На склонахъ, обращенныхъ къ солнцу, она лежитъ выше, нежели на противоположныхъ въ однѣхъ и тѣхъ же горахъ. Величина угла паденія солнечныхъ лучей производитъ большія уклоненія въ высотѣ снѣговой линіи даже на небольшихъ разстояніяхъ, особенно въ арктической области. Но наибольшее вліяніе, не уступающее по важности температурѣ, принадлежитъ годовому количеству снѣга; такъ что положеніе снѣговой линіи, главнымъ образомъ, опредѣляется лѣтнею температурою, съ одной стороны, и количествомъ снѣговыхъ осадковъ, съ другой. Чѣмъ климатъ суше, континен-

тальнѣе, съ рѣзкими перемѣнами лѣтней и зимней температуръ, тѣмъ она выше — и, наоборотъ, въ умѣренномъ, влажномъ климатѣ понижается; такъ, напр., въ Южной Америкѣ снѣговая линія лежитъ на 1.000 м. ниже сравнительно съ Европой подъ тою же широтою и на 2.000 м. ниже, нежели въ Сѣверной Америкѣ; на западномъ берегу Скандинавіи, богатомъ зимними осадками, снѣговая линія ниже на 150 м. нежели на восточномъ холодномъ сухомъ склонѣ. Особенно поразительна эта разница для Гималая, гдѣ на влажномъ южномъ склонѣ снѣга опускаются на 2.000 м. ниже, нежели на сѣверномъ склонѣ, подвергающемся дѣйствію сухихъ вѣтровъ, дующихъ изъ пустыннаго Ханъ-хая и Тибета; точно также на Кавказѣ снѣговая линія на южномъ склонѣ отъ 300 до 450 м. ниже, чѣмъ на сухомъ сѣверномъ, тогда какъ въ Пиренеяхъ, наоборотъ, южный склонъ почти совершенно освобождается отъ снѣга, а въ сѣверномъ граница его лежитъ на высотѣ 2.800 м. Благодаря всѣмъ упомянутымъ факторамъ, а особенно обилію или бѣдности осадковъ, снѣговая линія совпадаетъ съ весьма различными изотермами, отличающимися на 20°; такъ по Гейму *), она варьируетъ отъ — 17° до + 3°. Сопоставляя вліяніе температуры и осадковъ на снѣговую линію, Геймъ различаетъ слѣдующіе четыре случая:

1) Обильный снѣгъ и высокая температура обусловливаютъ среднюю высоту снѣговой линіи, напр. въ Альпахъ, Гималаѣ и Норвегіи.

2) Обильный снѣгъ и низкая температура производитъ самое низкое положеніе снѣговой линіи, напр. подъ 46° ю. ш. въ южномъ полушаріи.

3) Малое количество снѣга и высокая температура придаютъ самое высокое положеніе снѣговой линіи, напр. въ Скалистыхъ горахъ, а также подъ тропиками въ Америкѣ и Африкѣ.

4) Малое количество снѣга и низкая температура обусловливаютъ мѣстами среднее, а мѣстами высокое положеніе снѣговой линіи, напр. въ Сѣверной Сибири и британской Сѣверной Америкѣ.

Къ сожалѣнію, недостатокъ наблюденій не позволяетъ сдѣлать болѣе опредѣленные выводы и обобщить данныя о высотѣ снѣговой линіи при посредствѣ, напр., картографическаго изображенія линій одинаковой высоты, подобно тому, какъ это пытался сдѣлать А. Пенкъ **) для Европы, назвавъ эти линіи изохіонами. А такъ какъ знаніе высоты снѣговой линіи имѣетъ большое значеніе въ вопросѣ о географическомъ распредѣленіи новыхъ и древнихъ ледниковъ, то воспользуемся, по крайней мѣрѣ, прекрасною и единственною въ своемъ родѣ таблицею Гейма, въ которой рядомъ съ высотою снѣговой линіи указаны среднія температуры, высота нижняго конца ледниковъ и степень оледенѣнія для различныхъ странъ, расположенныхъ въ таблицѣ (стр. 657—659) по климатическимъ поясамъ ***).

Снѣговая линія не поддается точному опредѣленію; теоретически можно опредѣлить климатическую снѣговую границу, какъ линію, соединяющую всѣ высшія точки, въ которыхъ на горизонтальныхъ и не затѣненныхъ площадяхъ лѣтомъ снѣгъ стаиваетъ (по Рихтеру); очевидно, что непосредственнымъ наблюденіемъ такой линіи нельзя отмѣтить. Въ дѣйствительности въ высокихъ горахъ мы видимъ:

1) Нижнюю границу отдѣльныхъ площадей стараго снѣга (фирна, какъ его называютъ), сохраняющагося вслѣдствіе благопріятныхъ орографическихъ условій; это—орографическая граница фирна по Ратцелю****).

2) Нижнюю границу сплошныхъ постоянныхъ снѣговыхъ и ледяныхъ массъ, ниже которыхъ по долинамъ можно видѣть только опускающіеся концы ледниковъ; это—дѣйствительная снѣговая граница.

Если мы попробуемъ въ опредѣленные моменты времени соединять между собою точки, которыя лежатъ на границѣ площадей, покрытыхъ снѣгомъ и свободныхъ отъ снѣга въ это время, то получимъ такъ назы-

---

*) Heim, Handbuch der Gletscherkunde, 1885, стр. 15.

**) Penck, Geographische Wirkung der Eiszeit. Verh. d. IV Deutschen Geographentages zu München, 1884.

***) Таблица дополнена нѣкоторыми данными, сгруппированными по новѣйшимъ работамъ у H. Hess'a, Die Gletscher, 1904 и другимъ источникамъ.

****) Ratzel, Zur Kritik der sogenannten Schneegrenze. Leipzig, 1887. Также, Die Erde u. d. Leben, 1902, II, стр. 318—335.

Таблица высоты снѣговой линіи въ различныхъ областяхъ земного шара.

ОБЛАСТИ, ГОРЫ.	Географическая широта.	Высота снѣговой линіи надъ уровнемъ моря въ метрахъ.	Средняя годовая температура у снѣговой линіи.	Высота нижняго конца ледниковъ въ метрахъ.	Средняя годовая температура у нижняго конца ледниковъ.	Степень оледенѣнія.
1. Сѣверный полярный поясъ.						
Земля Франца-Іосифа . . .	82°	50—80(?)	—	0	са-15°	большое оледенѣніе.
Гриннелева земля (С. Амер.)	79°—85°	100	са-20°	выше 0	са-19°	значительное оледенѣніе.
Шпицбергенъ (Горзундъ) . .	76°55′—77°	300—460	—10°	0	са-10°	большое оледенѣніе.
Нортумберлэндъ (С. Амер.) .	76°23′	выше 500	—20°	—	—	нѣтъ или мало ледниковъ.
Мельвиллевъ островъ (С. Ам.)	77°45′	очень высоко	—20°	—	—	
Зап. Гренландія, окраина .	72°	700—800	—	0	—	весьма большое континентальное оледенѣніе.
„ „ внутренность	78°	выше 1550	—	0	—	
Вост. Гренландія	72°—74°	900—1250	—	0	—	
Полуостр. Таймыръ (С. Аз.) .	75°30′	выше 300	—	—	—	
Новая Земля (Маточ. ш.) .	73°30′	600	—11°	0	—7°	оледенѣніе въ сѣверной половинѣ.
„ „ Мысъ Маврикія .	77°	400	—	—	—	
Остр. Янъ-Майенъ	71°	700—800	—	0	—4°	оледенѣніе.
Норвегія, берегъ у Магерое .	71°15′	720	—	—	—	много ледниковъ.
„ „ „ „ .	70°	884	—	0	+1°	
„ внутри	70°	1020	—	—	—	
„ Сулителъма О скл.	67°	1270—1330	—	—	—	
„ „ W скл.	67°	1010	—	—	—	
2. Сѣверный умѣренный поясъ.						
Норвегія, Трудгеймъ . . .	64°8′	1113	—	—	—	многочисленные ледники.
„ Доффрефіельдъ . .	62°20′	1600	—	—	—	
„ Юстедаль	61°38′	1600—1650	—	50	—	
„ Фольгефондъ . .	60°8′	1450—1500	—	320	—	
„ Іотунгеймъ . . .	—	1900	—	—	—	
Исландія, на сѣв. сторонѣ .	65°	870—900	—	—	—	большія фирновыя поля.
„ „ южн. „ .	65°	600	—	20—50	са+2°	маленькіе ледники.
Зап. Гренландія	63°	1220	—	—	са 0°	оледенѣніе.
Сѣв. Уралъ	63°47′	1460	—	—	—	безъ ледниковъ.
Камчатка	56°40′	1600	—	1470—900	—	висячіе ледники.
Сибирь (В.) Иркутская губ. .	51°40°	3240	—10,2°	?	—	ледники неизвѣстны.
Западная Сибирь	50°	1240	—1,7°	—	—	одинъ ледникъ.
Аляска, г. Св. Ильи . . .	56°—70°	600—700	—	0	са 0°	мощное оледенѣніе.
„ внутренняя	—	1200	—	—	—	
Скалистыя горы (С. Амер.) (горы Селькиркъ) . . .	51°—52°	2200—2300	—	1460	—	много ледниковъ.
Скалистыя горы (С. Амер.) .	49°—52°	2050	—	1400?	—	небольшое оледенѣніе.
Береговыя горы (С. Амер.) (гора Бэкера 3383) . .	49°	1600	—	—	—	небольшіе ледники.
Скалистыя горы (С. Амер.) (Wind-River-Range) . .	43°	3800	—	—	—	три маленькихъ ледника.
Алтай, N склонъ	51°	2200	—	2000	—	ледники Бѣлухи.
„ S склонъ	49°	2600	—	—	—	
Татры (Венгрія)	49°10′	2180	—	2115	—	маленькіе ледники.
Альпы, Тирольскіе	47°	2820	—3,8°	1550	—0,4°	много большихъ ледниковъ.
„ Высокій Тауэрнъ . .	47°	2860	—3,4°	1700	—	
„ Швейцарск. Центр. А.	47°	2750—2800	—2,8°	983—1000	+6,5°	
„ Монбланъ . . .	46°45′	2860—3100	—	1100	—	

ОБЛАСТИ, ГОРЫ.	Географическая широта.	Высота снѣговой линіи надъ уровнемъ моря въ метрахъ.	Средняя годовая температура у снѣговой линіи.	Высота нижняго конца ледниковъ въ метрахъ.	Средняя годовая температура у нижняго конца ледниковъ.	Степень оледенѣнія.
Кавказъ NW ч. S склонъ	43°	2920—3730	+4,3°	1700	—	много ледниковъ.
„ „ N склонъ	43°	3300—3900	—	2000	—	
„ Юго-В. часть	41°	4300	—2,4°	3100	—	мало ледниковъ.
Пиренеи, N склонъ	42°30′—43°	2600—2800	—	2200	—	только фирнов. ледники.
„ S склонъ	42°—43°	выше 3000	—	—	—	
Гранъ-Сассо д'Итал. (Апен.)	42°25′	2900	—	—	—	нѣтъ ледниковъ.
Скалистыя горы (С. Амер.)	40°	выше 4000	—	—	—	
Сіерра Невада (Калифорн.)	36°—42°	3000	—	2400	—	много небольш. ледник.
Тянь-шань (Ср. Азія)	42°	3300—3750	—	2500—3000	—	много ледниковъ.
Араратъ (Арменія)	39°42′	4250—4300	—	3090	—	одинъ ледникъ.
Эрджихъ (Передн. Азія)	38°45′	4000	—	—	—	фирнъ въ кратер., ледниковъ нѣтъ.
Аргеусъ (Каппадокія)	38°33′	3300—3400	—	—	—	тоже фирнъ въ кратер. безъ ледник.
Тавръ (Передн. Азія)	37°20′	2925—3250	—	—	—	нѣтъ ледниковъ.
Эльбурсъ-Демавендъ (Перс.)	36°	4300	—	2900	—	фирновые ледники.
Этна (Сицилія)	37°30′	2900	—	—	—	нѣтъ ледниковъ.
Сіерра-Невада (Испанія)	37°10′	3100	—	2860	—	маленькіе фирновые ледники.
Куэнь-лунь (Ср. Азія)	36°	4800—6000	—	ок. 4730	—	въ восточн. части нѣтъ ледниковъ.
Мустагъ-ата	36°	4800	—	ок. 4000	—	много ледниковъ.
Гиндукушъ (Ср. Азія)	34°30′	4000—4500	—	—	—	много ледниковъ.
Ливанъ (Передн. Азія)	34°18′	2960	—	—	—	нѣтъ ледниковъ.
Коракорумъ (Ср. Аз., Тибетъ)						
„ N склонъ	35°20′	5670	—4°	3011	+9°	
„ S склонъ	35°30′	5920	—	—	—	
Юго-В. Тибетъ	30°	5700—6000	—	—	—	
Гималай, N склонъ	28°	4800	—2,8°	2865	—2°	большое оледенѣніе.
„ Кумоанъ	30°30′	4800	—	—	—	
„ Кашмиръ	34°	5600—5650	—	—	—	
„ Южн. часть	27°	4900	—	—	—	
Тибетъ	32°	5500—6000	—	—	—	бѣденъ ледниками.
Трансгималай, N склонъ	30°—32°	5500	—	—	—	мало ледниковъ.
„ S склонъ	—	6000	—	—	—	оледенѣніе.
Южн. цѣпь Гималая, N скл.	—	3400	—	—	—	большое оледенѣніе.
„ S скл.	—	3650	—	—	—	

3. Тропическій поясъ обоихъ полушарій.

Попокатепетль (5420 м, Мекс.)	18°	4700	—	—	—	нѣтъ ледниковъ.
Расъ-Дашанъ (4620 м, Абис.)	13°	4300	—	—	—	маленькіе фирновые ледники.
Сіерра-Невада де Санта Марта	10°57′	4690	—	4500?	—	маленькіе фирновые ледники.
Сіерра-Невада де Мерида (Венецуэлла, Южн. Амер.)	8°5′	4540	—	—	—	небольшіе ледники.
Колумбія (Южн. Америка)	4°46′	4670	—	4260	—	
„ „	2°18′	4620	—	—	—	
Квито, Вост. берегъ (Ю. Ам.)	0°	4700—4860	+1°	4230-4512	—	фирновые ледники.
„ Зап. берегъ (Ю. Ам.)	1°30′	4812	—			
Килиманджаро (Аф.)	3°	5000—5800	—	4000—4400	—	нѣсколько ледниковъ.
Анды Боливіи, O	16°	4850—5040	—	—	—	безъ ледниковъ.
„ „ W	16°	5620	—	—	—	
„ Перу	19°47′	5650	—	—	—	

ОБЛАСТИ, ГОРЫ.	Географическая широта.	Высота снѣговой линіи надъ уровнемъ моря въ метрахъ.	Средняя годовая температура у снѣговой линіи.	Высота нижняго конца ледниковъ въ метрахъ.	Средняя годовая температура у нижняго конца ледниковъ.	Степень оледенѣнія.
4. Южный умѣренный поясъ *).						
Анды, Атакама	24°30′	5200	—	—	—	немногіе и маленькіе ледники.
„ Чили, Аконкагуа . .	32°39′	4485	—	—	—	
„ Чили	33°	4500	—	—	—	
„ Чили, Нубль	35°	2580	—	2100	—	ледники.
„ Чили, берегов. цѣпь .	41°—44°	1830	—	—	—	многіе большіе ледники.
Вулканъ Озорно (Чили) . .	41°	1460	+3°	—	—	большое оледенѣніе.
Валдивія	39°14′	1750	—	—	—	
Корковадо (2289 м, Чили) .	43°	1800	—	—	—	
„	42°	1700	—	—	—	
Новая Зеландія (Сѣв. о-въ) .	39°20′	2380	—	—	—	
„ (Средн. и Южн. о-въ)	43°36′	2300	—	845—210	+10°	
Патагонія	46°50′	—	—	0	+8,4	
Магеллан. проливъ (Ю. Ам.) .	53°—54°	1100	—	—	—	снѣгъ и ледники.
Сарміето, Огненная Земля (Южн. Америка)	54°	1070	—	0	+6°	
Кергуэленъ о-въ	48°—50°	420 (800—900)	—	75	—	
Южная Георгія о-въ . . .	55°	360 (550)	—	0	—	
Южно-Шотландскіе острова (Георгъ)	62°	0 (?)	—	0	—	
5. Южно-полярный поясъ.						
Пальмеръ-лэндъ	65°	50 (300)	—	—	—	мощное оледенѣніе.
Викторія (S пол. мат.) . .	70°—78°	0 (150)	—	0	—	
Гора Мельбурнъ	74°15′	0	—	—	—	

ваемыя временныя снѣговыя линіи (temporäre Schneegrenze); положеніе ихъ естественно мѣняется съ временами года, они понижаются къ зимѣ и поднимаются лѣтомъ. Очевидно, что временная снѣговая граница лѣтомъ отступаетъ до положенія дѣйствительной снѣговой границы. Чѣмъ проще конфигурація горныхъ массъ, тѣмъ болѣе сближаются между собою орографическая и дѣйствительная снѣговыя границы. Наоборотъ онѣ удаляются тѣмъ больше, чѣмъ расчлененнѣе и круче очертанія горъ, при этомъ они понижаются и абсолютно, такъ какъ съ крутизною горъ возрастаютъ и благопріятныя орографическія условія для сохраненія снѣга. Климатическая снѣговая граница вообще должна быть между орографической и дѣйствительной. Климатическія условія въ отдѣльные годы могутъ подвергаться довольно значительнымъ колебаніямъ, слѣдовательно, и снѣговая линія въ однѣхъ и тѣхъ же горахъ можетъ перемѣщаться; хотя такія измѣненія и не могутъ быть значи-

*) Цифры въ скобкахъ относятся къ высотамъ, которыя были наблюдаемы непокрытыми снѣгомъ.

тельными, но вѣроятно этому обстоятельству часто слѣдуетъ приписывать разногласіе въ измѣреніяхъ путешественниковъ для странъ, рѣдко посѣщаемыхъ.

Изъ таблицы высотъ снѣговой линіи видно, что не смотря на низкое вообще положеніе снѣговой границы въ арктическомъ поясѣ тамъ всетаки нѣтъ мѣстъ, гдѣ бы эта граница проходила на уровнѣ моря; въ антарктическомъ же поясѣ съ нѣкоторой вѣроятностью можно принять ея положеніе на обширныхъ пространствахъ на уровнѣ моря. Океаническое положеніе антарктическаго пояса выражается въ гораздо болѣе слабыхъ колебаніяхъ температуры въ теченіе года и въ болѣе низкихъ температурахъ лѣта, чѣмъ въ арктическомъ поясѣ; въ сѣверныхъ полярныхъ областяхъ можно ожидать, слѣдовательно, надъ поверхностью суши довольно существенное нагрѣваніе Распредѣленіе барометрическаго давленія въ антарктическихъ *) и арктическихъ областяхъ также такого, что въ первыхъ оно благопріятствуетъ обилію зимнихъ осадковъ (преобладаютъ зимою экваторіальные вѣтры), а въ сѣверныхъ полярныхъ областяхъ вызываетъ преобладаніе сухихъ сѣверныхъ вѣтровъ (преобладаютъ полярные вѣтры).

Въ снѣговыхъ областяхъ ежегодно остается часть зимняго снѣга, который въ слѣдующую зиму покрывается новымъ, отъ этого также остается часть и т. д.; слѣдовательно, казалось бы, что области эти отъ постепеннаго наростанія снѣговыхъ слоевъ должны значительно возвышаться, — такъ, напр., Альпы должны бы были возвыситься на 1.000 м. въ періодъ времени отъ Р. Х. до нашихъ дней; однако, на самомъ дѣлѣ этого не происходитъ. Снѣгъ, накопляющійся въ высокихъ областяхъ, въ сущности не остается на нихъ вѣчно, а постоянно смѣняется; онъ не выноситъ такъ сказать, собственной тяжести; подъ вліяніемъ давленія, производимаго новыми слоями, старые подвигаются внизъ, въ область высшей температуры, гдѣ снова превращаются въ воду. Это движеніе снѣга сверху внизъ совершается двоякихъ способомъ: 1) съ крутыхъ гребней и склоновъ онъ періодически, въ видѣ оползней или обваловъ, низвергается съ громадною быстротою и большими массами, которыя называютъ лавинами (Lavi, Lavina, Lawine, avalanche, avalanga **), 2) изъ котловинъ въ снѣговыхъ областяхъ, превратившись въ ледъ, онъ вытекаетъ медленно и спускается внизъ по долинѣ незамѣтнымъ, но постояннымъ движеніемъ, въ видѣ ледяныхъ потоковъ, которые называютъ ледниками или глетчерами (Gletscher, Glacier).

Такимъ образомъ, при помощи лавинъ и ледниковъ, природа поддерживаетъ равновѣсіе въ снѣговыхъ областяхъ, которыя постоянно обмѣниваютъ свой снѣгъ, а не сохраняютъ его вѣчно. Быстро и періодически низвергающіяся лавины можно сравнить съ періодически дѣйствующими, а ледники—съ постоянными потоками снѣга или льда. Какъ

*) Прохожденіемъ многочисленныхъ циклоновъ объясняется и значительная измѣнчивость среднихъ температуръ по днямъ, какъ это обнаруживается по даннымъ Арктовскаго (Comp. rendus, 1904, CXXXIX, 2, № 1).

**) Въ Швейцарскихъ Альпахъ lauenen означаетъ падать, низвергаться.

въ источникахъ, ручьяхъ, въ большихъ рѣкахъ, оползняхъ и обвалахъ, такъ въ лавинахъ и ледникахъ возможно отличить три главныхъ области: 1) сборный бассейнъ, или область питанія (изъ снѣговыхъ областей) (Sammelgebiet oder Abrissgebiet), 2) область стока или сточный каналъ (движеніе внизъ) (Abflusskanal oder Sturzbahn) и 3) область отложенія (Ablagerungsgebiet) или растаиванія (Abschmelzung).

Дѣятельность лавинъ имѣетъ несравненно меньшее физико-геологическое значеніе, нежели дѣятельность ледниковъ; весьма вѣроятно, что въ этомъ обстоятельствѣ, а также въ трудности изученія лавинъ, кроется причина ихъ недостаточнаго изслѣдованія *) сравнительно съ ледниками, которые во многихъ отношеніяхъ изучены съ замѣчательной подробностью, такъ что въ настоящее время о нихъ составилась цѣлая литература. Сообразно съ важностью и степенью изученія разсмотримъ сначала вкратцѣ лавины, а затѣмъ болѣе подробно опишемъ природу и дѣятельность ледниковъ.

Лавины.

Лавины, какъ уже сказано, представляютъ падающія массы снѣга, аналогичныя обваламъ; ихъ сборная область или область питанія находится преимущественно на горахъ съ ровною обширною вершиною и съ крутыми склонами выше предѣла лѣсной растительности. Ихъ путь (область стока — Lawinenzug, couloir) обозначается рытвинами на подобіе рытвинъ при образованіи осыпей вывѣтриванія. Ихъ область отложенія обозначается скопленіемъ снѣга, называемымъ лавиннымъ конусомъ (Lawinenkegel), аналогичнымъ коническимъ осыпямъ (см. выше, стр. 205, гл. III). Низвергаясь съ высокихъ склоновъ, лавины въ Альпахъ достигаютъ низкихъ населенныхъ частей долинъ, а въ Скандинавіи — даже до фіордовъ. Каждая рытвина вывѣтриванія на склонахъ представляетъ готовый путь, по которому зимой и весной устремляются лавины; отсюда понятно, что количество ихъ до нѣкоторой степени обусловливается характеромъ и интенсивностью вывѣтриванія. Мѣстами, напр., въ группѣ С.-Готарда, насчитываютъ до 530 лавинныхъ рытвинъ, а область питанія ихъ въ верховьяхъ Рейна, Рейсы и Течины образуетъ площадь около 325 квадратн. километровъ. По вычисленію г. Коаца, для С.-Готарда среднее количество снѣга, скатывающагося по отдѣльнымъ лавиннымъ путямъ въ долины, ежегодно составляетъ около 600.000 куб. метр., а всѣми вмѣстѣ—до 325.000.000 куб. метровъ.

Массивность лавинъ зависитъ отъ толщины снѣгового покрова, которая весьма неравномѣрна вслѣдствіе вліянія вѣтра: такъ, напр., въ Швейцарскихъ Альпахъ залежи снѣга достигаютъ мѣстами 10—20 м. толщины, тогда какъ слой выпадающаго снѣга на высотахъ отъ 1.800 до 2.500 м., гдѣ начинаются лавины, не превышаетъ 5 м. и maximum 8 м. (слой снѣга 12 м. толщиною даетъ при растаиваніи слой воды

*) J. Coaz, Die Lawinen in den Schweizeralpen, Bern, 1881. Heim, Handb. d. Gletscherkunde, 1885, 22—38. Мушкетовъ, Тр. Спб. Общ. Ест., т. X.

въ 1 м. толщиною). Кромѣ залежей снѣга (Schneelager — залежи снѣга въ швейцарскихъ кантонахъ называютъ различно: Gwechten, Zwechta, Goufla, Cuss, menée, и т. д.), образуются еще—подъ защитою скалъ или гребней—такъ-называемые снѣговые навѣсы или щиты (Schneeschilder; они тоже имѣютъ различныя провинціальныя названія: Schneeschild, Schneebrett, corniches de neige, curuna da nev), которые при благопріятныхъ условіяхъ могутъ достигать значительныхъ размѣровъ даже и въ малоснѣжныя зимы, а потому количество и величина лавинъ не всегда совпадаютъ съ многоснѣжными зимами. Что касается качества снѣга, то оно зависитъ отъ температуры, при которой онъ выпадаетъ; если онъ падаетъ при 0° — 7°, то имѣетъ видъ большихъ хлопьевъ, а при — 12° — въ видѣ ледяныхъ кристалловъ или звѣздочекъ.

Лавины, происходящія отъ снѣговыхъ залежей и навѣсовъ, захватываютъ съ собою массу продуктовъ вывѣтриванія — отъ мелкаго щебня до большихъ камней, а также стволы деревьевъ и даже трупы животныхъ. Чѣмъ больше этихъ обломковъ, тѣмъ неправильнѣе движеніе лавинъ, а чѣмъ меньше, тѣмъ больше движеніе ихъ приближается къ теченію; такъ что чистые лавины представляютъ періодическіе снѣговые потоки.

Между лавинами различаютъ: зимнія лавины (ихъ называютъ также пылеобразными лавинами — Staublawinen), весеннія лавины (ихъ называютъ еще основными лавинами—Grundlawinen), ледниковыя лавины — (Eis-Gletscherlawinen) и градовыя лавины (Hagellawinen). Послѣдніе два рода лавинъ происходятъ весьма рѣдко и представляютъ явленіе, связанныя съ періодами возрастанія ледниковъ или съ обильнымъ выпаденіемъ града въ горахъ.

Зимнія лавины (Staub-Winterlawinen, avalanches de poussiére) происходятъ вслѣдствіе того, что свѣже-выпавшій. сырой снѣгъ, налегая на старый, обмерзшій съ поверхности, скользитъ по немъ и на крутыхъ склонахъ сваливается массами отъ малѣйшей причины; иногда такія лавины вызываются или порывомъ вѣтра, или животными, или даже громкимъ крикомъ, свистомъ, ударомъ, выстрѣломъ и пр. Паденіе такой лавины сопровождается сильнымъ порывомъ вѣтра и цѣлымъ облакомъ снѣжной пыли, которая заполняетъ воздухъ и разносится на большое пространство. Порывы вѣтра бываютъ такъ сильны, что вырываютъ деревья, срываютъ крыши и даже разрушаютъ зданія. Та часть снѣга, которая достигаетъ подошвы склона, располагается въ видѣ ровной площадки. Паденіе зимнихъ лавинъ неправильно и зависитъ отъ условій мѣстности и времени выпаденія снѣга. Массу приносимаго ими снѣга разсчитать очень трудно, вслѣдствіе разсѣиванія его въ видѣ пыли. Вредъ причиняемый ими, бываетъ значителенъ, тѣмъ болѣе, что предусмотрѣть образованіе этихъ лавинъ почти невозможно; такъ, въ зиму 1877—78 г. въ лѣсномъ округѣ Гуссверкѣ, въ Штейермаркѣ, двѣ лавины уничтожили площадь лѣса въ 44.340 кв. м. съ 3.320 деревьями и задавили 155 штукъ дикихъ животныхъ.

Весеннія лавины (Grundlawinen, avalanches de fond) падаютъ исключительно въ періодъ таянія, слѣдовательно чаще всего весной и притомъ въ самое теплое время дня—отъ 10 до 3 ч.; только подъ вліяніемъ фёна онѣ могутъ падать всякій часъ, не исключая даже ночи. Онѣ направляются всегда по одному и тому же готовому пути, намѣченному, какъ выше сказано, скатываніемъ осыпей вывѣтриванія. Происхожденіе ихъ объясняется тѣмъ, что вода, образующаяся при таяніи, проникаетъ черезъ массу снѣга до почвы и, стекая внизъ между почвою и снѣговымъ покровомъ, образуетъ между ними свободное пространство—такъ сказать, разъединяетъ ихъ. Масса снѣга, не имѣя опоры, отрывается частями во всю толщину снѣгового пласта и скатывается внизъ въ видѣ лавинъ, захватывая съ собою множество каменныхъ обломковъ разной величины: отъ мелкихъ до большихъ глыбъ. На мѣстѣ скатившагося снѣга почва остается обнаженною, въ видѣ черныхъ прогалинъ среди бѣлой поверхности снѣга;

въ нѣкоторыхъ случаяхъ эти прогалины получаютъ борозды, штрихи и даже полировку отъ камней, скатывающихся съ лавинами. Паденіе этихъ лавинъ сопровождается сильнымъ шумомъ и трескомъ; большія глыбы, отскакивая въ воздухъ, производятъ удары въ родѣ пушечныхъ выстрѣловъ. На крутыхъ склонахъ лавина двигается перекатываніемъ; если обрывается даже небольшая глыба снѣга, то, перекатываясь по склону, она постепенно наростаетъ и внизу достигаетъ значительныхъ размѣровъ (Rollawinen Шлагинтвейта). Достигая пологой почвы долины движеніе ея замедляется и измѣняется; лавина пріобрѣтаетъ характеръ медленно текущаго потока, причемъ скорость въ срединѣ ея больше, нежели у краевъ. Въ концѣ своего движенія лавины, скатывающіяся по одному и тому же пути, образуютъ лавинный конусъ (Lawinenkegel), поверхность котораго вначалѣ довольно рыхлая, трудно проходимая (Геймъ сравниваетъ ее съ свѣже-вспаханнымъ полемъ), но затѣмъ снѣгъ уплотняется и смерзается. Лавинные конусы большею частью имѣютъ отъ 5 до 20 м. толщины, но длина и ширина ихъ достигаютъ нѣсколькихъ сотенъ метровъ,— напр. лавины Рашичъ у Цернера 23 апрѣля 1876 г. достигли Энгаденской почтовой дороги и долины Инна; конусъ ихъ имѣетъ 168 м. ширины, 300 м. длины, 12 м. толщины и содержитъ 600.000 куб. м. снѣга, лавинный конусъ при Амштегѣ въ долинѣ Рейссы состоялъ изъ 1.000,000 куб. м. плотнаго, полу-оледенѣлаго снѣга.

Такая масса снѣга, попадая на небольшія рѣчки или ручьи, прикрываютъ ихъ и образуетъ надъ ними своды, называемые снѣговыми мостами. При благопріятныхъ орографическихъ условіяхъ, напр. въ узкихъ и глубокихъ поперечныхъ долинахъ обращенныхъ къ сѣверу, напр. въ Тянь-шаньскихъ долинахъ: Суёкъ, Каратурукъ, Каначъ-су, снѣговые мосты занимаютъ всю долину въ ширину и держатся все лѣто до слѣдующей зимы даже въ низкихъ горизонтахъ, на 1.000—2.000 м. ниже снѣговой линіи (въ Тянь-Шанѣ при высотѣ снѣговой линіи въ 3.750 м., снѣговые мосты попадаются на высотѣ 2.000 м., напр. на Суёкѣ и Кара-Турукѣ). Если въ слѣдующую зиму лавины образуются въ тѣхъ же мѣстахъ, то снѣговые мосты еще болѣе возрастаютъ и превращаются въ двухъ и даже въ трехъ-лѣтніе мосты *). Нижняя часть снѣгового моста обыкновенно превращена въ ледъ, верхняя же представляетъ зернистый фирнъ. Поверхность ихъ среди лѣта довольно ровная, но до такой степени грязная отъ пыли, щебня и валуновъ, что съ перваго взгляда ее нельзя признать снѣговою; только красивый сводъ на нижнемъ концѣ моста даетъ возможность опредѣлить составъ и строеніе его. Валуны большихъ размѣровъ, при таяніи снѣга съ поверхности, выступаютъ на подобіе ледниковыхъ столовъ, съ которыми познакомимся ниже. Слой щебня и валуновъ, образующійся лѣтомъ на поверхности снѣгового моста, будучи засыпанъ послѣдующими лавинами, попадаетъ въ средину; по числу этихъ галечниковыхъ слоевъ, залегающихъ среди снѣга и отчетливо наблюдаемыхъ въ разрѣзѣ нижняго свода, иногда возможно опредѣлить долговѣчность моста, т. е. принадлежитъ ли онъ къ одно-, двумъ- или трехъ-лѣтнимъ мостамъ. Этими особенностями снѣговые мосты, образуемые лавинами, рѣзко отличаются отъ снѣговыхъ мостовъ, происходящихъ отъ накопленія снѣга вѣтромъ, которые могли бы быть названы эоловыми снѣговыми мостами. Они наблюдались на высокихъ долинахъ (сыртахъ) Тянь-шаня и Памира, а также въ Сибири, гдѣ ихъ иногда называютъ ледяными долинами (Миддендорфъ).

Особый видъ лавинъ представляютъ обвалы частей ледниковъ, обыкновенно незначительныхъ, такъ называемыхъ висячихъ, и къ этому мы вернемся въ своемъ мѣстѣ. Лавины, въ томъ числѣ и ледниковыя, представляютъ катастрофы часто періодическія, которыя можно своевременно предвидѣть, но для этого нужна система постоянныхъ наблюденій, и въ этомъ отношеніи сдѣлано немного даже въ Альпахъ **).

Лавины распространены не только во всѣхъ горахъ, гдѣ имѣются ледники, напр. Альпы, Тянь-шань, Гималай, Кавказъ (гдѣ ихъ называютъ «завалы», напр. на Военно-Грузинской дорогѣ), Новозеландскія Альпы, Скандинавскія горы и пр., но также во многихъ горахъ, лишенныхъ ледниковъ, — напр. въ Сіерра-Невадѣ (Калифорнія), слѣдовательно, географическое распространеніе ихъ больше, нежели ледниковъ. Хотя лавины производятъ большой вредъ растительности, животнымъ и даже горнымъ поселеніямъ, тѣмъ не менѣе онѣ имѣютъ весьма благодѣтельное зна-

*) Сѣверцовъ, Орогр. очеркъ Памирской горн. системы, 1886.

**) См.: Observations sur l'enseignement et sur les chutes d'avalanches. Comm. française des glaciers. 1903.

ченіе для климата, уравномѣряя холодъ высокихъ снѣжныхъ областей и жаръ сухихъ низкихъ областей. Вредъ ихъ для населенія значительно умаляется искусственными сооруженіями, все болѣе и болѣе распространяющимися въ Альпахъ. Кромѣ того, перенося съ собой большія массы кампей, онѣ способствуютъ разрушенію горъ и накопленію наносовъ въ долинахъ.

Ледники.

Ледники представляютъ обыкновенное явленіе природы и встрѣчаются во многихъ мѣстахъ на земной поверхности: но научное изслѣдованіе ихъ началось въ Швейцаріи преимущественно мѣстными учеными, которые и до сихъ поръ считаются лучшими гляціалистами, а потому Гюнтеръ *) не безъ основанія замѣчаетъ, что біографическіе очерки швейцарскихъ ученыхъ Вольфа представляютъ до нѣкоторой степени исторію изслѣдованія ледниковъ вообще, особенно первой половины ея.

Шейхцеръ первый въ 1805 г. началъ изучать природу ледниковъ, за нимъ Мюнстеръ, Альтманнъ, но особенно Груперъ и Соссюръ съ замѣчательнымъ самоотверженіемъ продолжали наблюденія надъ ледниками и возбудили къ нимъ общій интересъ; въ XIX столѣтіи является цѣлый рядъ ученыхъ, которые, съ поразительною энергіею, неутомимо преодолѣвая страшныя препятствія, представляющіяся на каждомъ шагу въ негостепріимныхъ ледниковыхъ областяхъ, изучили швейцарскіе ледники съ такою подробностью, что явилась возможность выяснить и установить нѣсколько положительныхъ законовъ о характерѣ и дѣятельности ледниковъ. Болѣе ранніе изслѣдователи, какъ-то: Венецъ, Шарпантье, А. Агассисъ, Дезоръ, Дольфуссъ-Оссе, Хюги, Фробель, Рандю, Гееръ, Форбсъ, Тиндаль и др., опредѣлили размѣры многихъ ледниковъ, зависимость ихъ отъ орографіи, открыли и доказали существованіе движенія ледниковъ, выяснили характеръ этого движенія, явленія, соединенныя съ нимъ, и до нѣкоторой степени причину его. Главнѣйшіе результаты этихъ первыхъ изслѣдованій сведены цюрихцемъ Альбертомъ Муссономъ **) въ его маленькой по объему, но замѣчательной по содержанію книгѣ, появившейся въ Цюрихѣ въ 1854 г. и долгое время служившей лучшимъ источникомъ положительныхъ свѣдѣній о ледникахъ. Послѣдующіе изслѣдователи, какъ-то: Форель, Геймъ, Градъ, Хагенбахъ, Клоке, Рихтеръ и др., кромѣ размѣровъ, движенія ледниковъ и пр., главнымъ образомъ выяснили внутреннюю структуру льда и тѣсную связь ея съ движеніемъ ледниковъ, а также причины колебаній въ величинѣ ихъ.

Замѣчательные успѣхи въ изслѣдованіяхъ швейцарскихъ ледниковъ и особенно многочисленность плодотворныхъ результатовъ, достигнутыхъ ими, давно уже побудили ученыхъ путешественниковъ разныхъ странъ и народовъ прослѣдить характеръ ледниковъ въ другихъ частяхъ земли. Обширныя изслѣдованія новѣйшаго времени въ первоклассныхъ горныхъ кряжахъ, какъ Гималай, Тянь-шань, Кавказъ, Анды, Ново-зеландскіе Альпы и пр., а также въ полярныхъ странахъ, особенно въ Гренландіи, Шпицбергенѣ, Землѣ Франца-Іосифа и т. д., не только значительно расширили выводы, полученные въ Швейцаріи, но придали имъ такую общность и положительность, что нѣкоторые изъ нихъ получили характеръ научныхъ аксіомъ.

У насъ въ Россіи, въ противоположность прежнему мнѣнію, ледники развиты въ большомъ количествѣ и достигаютъ громадной величины, особенно на Кавказѣ и Тянь-шанѣ; но, къ сожалѣнію, за исключеніемъ весьма немногихъ, удаленность ихъ отъ культурныхъ центровъ до сихъ поръ не позволяетъ установить такихъ же полныхъ систематическихъ наблюденій надъ ними, какъ въ Швейцаріи. Однако, не смотря на такія неблагопріятныя условія, свѣдѣнія о нашихъ ледникахъ значительно расширились за послѣднія три десятилѣтія, благодаря трудамъ русскихъ путешественниковъ и изслѣдователей, какъ-то: Абиха, Стебницкаго, Семенова, Статковскаго, Хатисова, Каульбарса, Динника, Шепелева, Иванова, Ошa-

*) Günther, Handb. d. Geophysik, 1899, II, 724.

**) Alb. Mousson, Die Gletscher d. Jetztzeit. Eine Zusammenstell. und Prüfung ihrer Erscheinung u. Gesetze. Zürich, 1854.

нина, Федченко, Сѣверцова, Игнатьева, Краснова, Мушкетова, Сапожникова, Липскаго и др.

Разнообразныя и интересныя данныя, добытыя многочисленными изслѣдователями ледниковъ въ различныхъ странахъ, разсѣянныя во всевозможныхъ изданіяхъ и не сведенныя въ какую бы то ни было систему, были почти недоступны большинству путешественниковъ и поэтому не могли имѣть такого широкаго распространенія, какого они заслуживаютъ. Только въ 1885 г. лучшій современный гляціалистъ, цюрихскій проф. Альбертъ Геймъ, по примѣру своего земляка Альберта Муссона, свелъ всѣ главнѣйшіе результаты изслѣдованій ледниковъ въ своей превосходной книгѣ „Handbuch der Gletscherkunde", которая оказала большое вліяніе на развитіе нашихъ знаній о ледникахъ.

Въ послѣдніе годы вниманіе ученыхъ было сосредоточено на изслѣдованіи колебаній ледниковъ въ связи съ климатологическими особенностями отдѣльныхъ странъ и на изученіи структуры ледниковаго льда; въ цѣляхъ возможно широкаго распространенія изслѣдованій перваго рода и единообразія въ методахъ, съ 1894 года функціонируетъ международная комиссія для изслѣдованія ледниковъ (Commission Internationale des Glaciers). Также подверглись тщательному пересмотру представленія объ отложеніяхъ, оставляемыхъ ледниками, въ особенности материковаго характера, ихъ движеніи и механической работѣ. Новѣйшія изслѣдованія въ Гренландіи (Дригальскій, Chamberlin, Salisbury), на Шпицбергенѣ (Conway, Gregory, Garwood, Русско-шведская экспедиція), въ Аляскѣ (Reid, Russell, Gilbert) и въ антарктическихъ странахъ значительно расширили познанія о характерѣ современнаго ледниковаго покрова, а изслѣдованія въ областяхъ широкаго распространенія ледниковыхъ отложеній (Ваншаффэ, Гейнитцъ, Sederholm, Ramsay, Пенкъ, Дж. Гикки и др.) дали обширные матеріалы для возстановленія исторіи оледенѣнія сѣвера Европы. Работы Vallot, Финстервальдера, Краммера, Рида (Reid) и Гесса (H. Hess), опирающіяся на непосредственныя систематическія наблюденія надъ ледниками альпійскаго характера, даютъ возможность выяснить способъ перемѣщенія ледниками обломочнаго матеріала и дать болѣе разработанныя теоріи движенія ледниковъ. Совмѣстными трудами лучшихъ гляціалистовъ намѣчается рядъ изслѣдованій, желательныхъ для рѣшенія нѣкоторыхъ спорныхъ вопросовъ. Гессъ *) далъ обширную работу, въ которой съ достаточной полнотою сопоставлены результаты всѣхъ новѣйшихъ изслѣдованій о ледникахъ, хотя преимущественно альпійскаго характера.

Формы ледниковъ или типы оледенѣнія.

Альпійскій типъ. Гдѣ въ высокихъ расчлененныхъ горахъ альпійскаго типа верховья долинъ, поднимаясь въ снѣговую область, образуютъ обширныя котловины или цирки, тамъ скопляется крупно-зернистый снѣгъ или фирнъ (Firn, névé) въ видѣ какъ бы обособленнаго бассейна. Эти фирновые бассейны (или ф. мульды, Firnmulde) или просто снѣжники бываютъ простые, обставленные крутосклонными, зубчатыми гребнями и высокими вершинами, или же развѣтвленные, т. е. имѣющіе нѣсколько второстепенныхъ вѣтвей. Фирновый бассейнъ или снѣжникъ представляетъ собственно область питанія (Nährgebiet, Firngebiet, glaciers-reservoirs, zone of growth), а ледяной потокъ, выходящій изъ фирноваго бассейна и составляющій собственно ледникъ, называется областью стока (Gletscherzung, glacier d'écoulement, zone of waste). Такимъ образомъ, каждый ледникъ состоитъ изъ двухъ частей: фирнового бассейна или снѣжника, т. е. области питанія, и ледяного потока (языка) или ледника, — т. е. области стока. Первая лежитъ выше снѣговой линіи, вторая—ниже; граница, раздѣляющая ихъ, называется фирновою линіей. Въ области питанія различаютъ фирновые склоны и фирновую мульду; фирнъ, стекая съ крутыхъ склоновъ, питаетъ мульду, изъ которой вытекаетъ ледникъ.

*) Dr. H. Hess, Die Gletscher. Braunschweig, 1904.

Маленькіе ледники питаются обыкновенно изъ простого фирноваго бассейна—напр. Гларенскій (кантонъ Гларусъ), Вейссгорнскій (кантонъ Валлисъ), Пріетскій (Юнгфрау), Караказыкскій (Алайскій хребетъ—Фергана), Наурузскій (Алайскій хр.), Койсуйскій (лѣвый—въ Заилійскомъ Алатау) и др. ледники. Большіе же ледники имѣютъ вѣтвистый фирновый бассейнъ,—напр. Верхній, Средній и Большой Алечь, Азау (на Эльбрусѣ), Зеравшанскій (Алайскій хр.) и др.

Весьма часто ледники, выходящіе изъ различныхъ фирновыхъ бассейновъ, въ нижнихъ частяхъ главной долины соединяются и образуютъ одинъ главный ледяной потокъ, по отношенію къ которому остальные будутъ притоками на подобіе притоковъ большой рѣки. Въ этомъ отношеніи ледники можно раздѣлить на простые, не имѣющіе боковыхъ притоковъ,—напр. Азау на Эльбрусѣ, — двойные, состоящіе изъ двухъ отдѣльныхъ вѣтвей, — напр. Караказыкскій ледникъ,—и сложные, составляющіеся изъ многихъ отдѣльныхъ ледниковъ,—напр. Зеравшанскій, Девдоракскій (фиг. 412), ледникъ Семенова (Ханъ-тенгри) и др. По положенію въ долинахъ или по развитію ледяного языка различаютъ ледники: перваго порядка или долинные ледники (Gl. I Ordnung oder Thalgletscher, glaciers encaissés, valley-glaciers), которые, выходя изъ области питанія, заполняютъ собою долину и опускаются по ней,—напр. Зеравшанскій, Федченко, Азау, Семенова, Дыхъ-су (фиг. 413—414) и др.; ледники второго порядка или висячіе ледники (Gl. II Ordnung, Hängegletscher, glaciers suspendus, hanging glaciers, glacierets), которые обладаютъ мало развитымъ языкомъ, и всею массою, такъ сказать, прикрѣплены къ крутому склону и висятъ на немъ, не доходя до дна долины, или же доходятъ, но по дну долины не спускаются, — напр. ледники Койсу, притоки ледника Семенова, притоки Дыхъ-су (фиг. 414) и др. Если такіе ледники находятся на двухъ противоположныхъ склонахъ и соединяются на гребнѣ, ихъ называютъ переметными ледниками (Jochgletscher). Разумѣется, рѣзкаго раздѣленія между тѣми и другими не существуетъ, такъ какъ они связываются цѣлымъ рядомъ переходныхъ формъ. Того и другого характера ледники нерѣдко спускаются съ одной центральной горной группы, расходясь лучеобразно во всѣ стороны,—напр. въ Альпахъ на Монбланѣ, Финстераарѣ, Монъ-Розѣ, на Кавказѣ — Эльбрусѣ, Казбекѣ (фиг. 415), въ Тянь-шанѣ на Ханъ-тенгри, Акъ-шійрякѣ, Зеравшанѣ и пр.

Среди ледниковъ второго порядка въ Альпахъ различаютъ кромѣ висячихъ еще *):

Мульдовые или ледники каръ (Kargletscher, corrie glaciers), расположенные въ глубокомъ расширеніи, ограниченномъ склонами горъ; такія кары, часто расположенныя цѣлымъ рядомъ вдоль гребня горъ, непосредственно не выходятъ въ долину, надъ которой онѣ лежатъ. Обыкновенно такіе ледники спускаются ниже снѣговой линіи очень незначительно.

Подъ именемъ Kar или Kahr (по Рихтеру) въ Альпахъ, также botn(er) въ Норвегіи, oules въ Пиренеяхъ **) понимаютъ вогнутыя или полыя

*) Richter, Die Gletscher der Ostalpen, 1888, стр. 8—9.
**) Англичане говорятъ coom и corrie.

формы рельефа, обыкновенно вблизи и выше снѣговой линіи, отличающіяся отъ обыкновенныхъ воронкообразныхъ сборныхъ бассейновъ долинъ

Фиг. 412. — Девдоракскій ледникъ (Казбекъ) 30 августа 1899 года.

размыва тѣмъ, что онѣ имѣютъ плоское, сглаженное дно и окружены крутыми островерхими склонами. По правильной округлости кары напоминаютъ нѣсколько вулканическія кальдеры. Эти полу-амфитеатры предста-

ной классификаціи ледниковъ. Это обязываетъ путешественниковъ и изслѣдователей возможно точнѣе описывать конфигураціи долинъ и ущелій, занятыхъ ледниками, чтобы пополнять матеріалъ для такой классификаціи.

Повсюду, гдѣ продолжительное время скопляется снѣгъ, тамъ происходитъ и образованіе льда, какъ увидимъ дальше; различной является только глубина, на которой происходитъ такой переходъ. Но не вездѣ ледъ проникаетъ изъ области постояннаго снѣга, гдѣ онъ постоянно находится на извѣстной глубинѣ, въ область ниже снѣговой линіи; послѣднее зависитъ уже отъ соотвѣтствующихъ орографическихъ условій. Мы имѣемъ въ такомъ случаѣ толщу льда подъ снѣжнымъ покровомъ, которая отъ этого покрова не обособляется вовсе. Зупанъ предлагаетъ такую форму льда называть фирновымъ ледникомъ. Въ полярныхъ странахъ, гдѣ въ особенности часто встрѣчаются такія формы льда, въ верхнихъ частяхъ состоящія изъ весьма пористаго матеріала и сокращающіяся или путемъ обламыванія въ море, или путемъ таянія,—Гамбергъ назвалъ ихъ недоразвившимися ледниками (unentwickelte Gletscher). Было бы, конечно, правильнѣе названіе ледникъ сохранить только для ледяныхъ языковъ все равно альпійскаго или другого типа, т. е. для массъ льда, рѣзко обособляющихся отъ фирнового покрова; въ такомъ случаѣ необходимо строго различать названія ледника и фирна, а понятію ледникъ противополагать понятіе о ледниковомъ покровѣ, т. е. обширныхъ массахъ льда полярныхъ странъ.

Съ горныхъ гребней, покрытыхъ фирновыми ледниками, убыль льда происходитъ путемъ обваловъ съ крутыхъ скалъ вершинъ. Если такіе обвалы происходятъ постоянно въ сторону какой нибудь ложбины, то глыбы льда, снова смерзаясь на ея почвѣ, образуютъ еще одну форму ледяныхъ образованій, которую называютъ полуразвитыми ледниками, также возрожденными (regenerierten Gletscher, glaciers remaniés, recemented glaciers), если эта форма образуется отъ спаиванія обломковъ собственно висячаго ледника. Въ томъ и другомъ случаѣ возникаетъ у подошвы склона ниже ледяной стѣны толща льда, занимающая часть долины, способная къ дальнѣйшему слабому передвиженію, но совершенно оторванная отъ питающаго ее фирна. Гики *) видѣлъ такія формы въ сѣверной Норвегіи (Jökuls Fjord), Шустеръ **) въ Тибетѣ. Такія формы льда трудно, конечно, отличить отъ мостовъ, описанныхъ, напр, Мушкетовымъ ***) на Кавказѣ. Въ юго-восточномъ Кавказѣ подобная, можетъ быть, форма льда наблюдалась на Базаръ-дюзы; она была описана Богдановичемъ ****) подъ названіемъ мертваго *****) ледника, какъ остатка ледника, начавшаго сокращаться въ крутой головной части.

---

*) Geikie, Text-Book of Geology, 1903, I, стр. 540.

**) См. Зупанъ, Физ. Геогр., 1899, стр. 168.

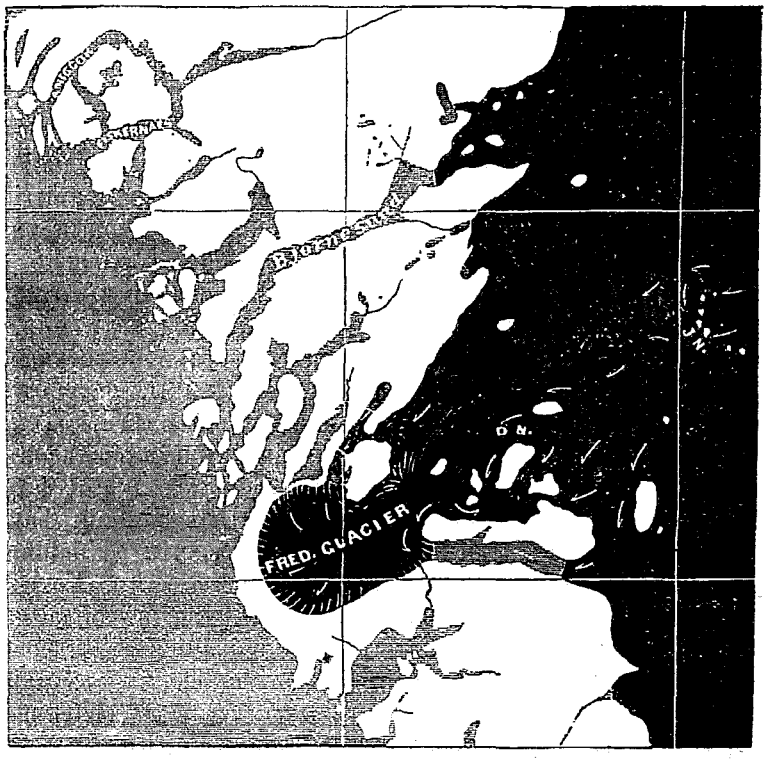
***) Геолог. очеркъ ледн. обл. Теберды и Чхалты на Кавказѣ. Тр. Геол. Ком., т. XIV, № 4, стр. 45.

****) Два пересѣченія главнаго Кавказскаго хребта. Тр. Геол. Ком., 1896, т. XIX, № 1, стр. 74.

*****) Въ американской литературѣ названіе мертвый (dead) ледникъ прилагается иногда къ ледникамъ, не достигающимъ до моря, въ отличіе отъ живыхъ (live), дающихъ айсберги.

Наиболѣе характернымъ признакомъ ледниковъ альпійскаго типа можно вообще считать, что каждый изъ такихъ ледниковъ имѣетъ отдѣльную область питанія, болѣе или менѣе вогнутой формы, представляющую наиболѣе верхнюю часть долины.

Типъ внутреннихъ или материковыхъ ледниковыхъ покрововъ (Inlandeis, Binneneis, ice-cap or plateau-glacier; ice-sheet, inlandis, calotte glaciaire). Совершенно другой типъ оледенѣнія мы видимъ въ полярныхъ областяхъ и въ Скандинавіи. Обширныя плоскогорья, какъ въ Скан-



Фиг. 416. — Часть ледниковаго покрова Гренландіи, по Jensen'y, съ ледникомъ Фредериксгаабъ (ширина 10—12 миль).

Черная часть — ледъ; бѣлая — берегъ и вершины свободныя отъ льда; заштрихованная — море и вода; *JN* — нунатаки Jensen'a; *DN* — нунатаки Dalager; бѣлые штрихи по черному — трещины; стрѣлки — направленіе движенія льда.

динавіи, или цѣлый континентъ, какъ въ Гренландіи, поднимаются тамъ выше снѣговой линіи, и цѣлыя обширныя пространства съ незначительнымъ уклономъ поверхности погребены подъ непрерывнымъ ледянымъ покровомъ (фиг. 416). Въ такой массѣ льда обнаруживается медленное движеніе къ его окраинамъ, гдѣ ледъ стекаетъ по отдѣльнымъ русламъ, узкимъ сравнительно съ громадной площадью всего покрова. Въ каждомъ изъ такихъ руселъ заключенъ нерѣдко мощный ледниковый потокъ, но мѣсто перехода области питанія въ ледниковый языкъ совершенно покрыто толщами снѣга и недоступно непосредственнымъ наблюденіямъ. Отъ одной области питанія расходится много долинныхъ ледниковъ; область

питанія имѣетъ всегда выпуклую поверхность, а не мульдообразную и вдавленную, какъ въ альпійскомъ типѣ.

Въ маломъ масштабѣ этотъ типъ мы имѣемъ въ Норвегіи, Исландіи, а въ полномъ развитіи въ Гренландіи и антарктическомъ поясѣ. Какъ въ Норвегіи, такъ и въ Гренландіи, и въ особенности на островахъ арктическаго пояса, напр., на Шпицбергенѣ, рядомъ съ оледенѣніемъ этого типа можно видѣть и ледники альпійскаго характера, какъ долинные, такъ и мульдовые, имѣющіе каждый отдѣльную область питанія.

Геймъ среди формъ ледниковъ выдѣлялъ три типа: гренландскій, альпійскій и переходный между ними норвежскій, или скандинавскій. Между двумя послѣдними различіе устанавливается въ зависимости отъ орографическихъ условій страны: альпійскіе свойственны преимущественно цѣпевымъ горамъ (Kettengebirgen), а норвежскіе — платообразнымъ горамъ.

Дригальскій *) выдѣляетъ только два типа: выступленіе льда изъ береговъ, которое поглощаетъ формы поверхности, и покрытіе льдомъ, которое приспособляется къ формамъ поверхности. Первый типъ это — внутренній покровъ (Inlandeis), представляющій бо́льшую независимость отъ формъ страны; во второмъ можно уже отличить различные виды такой зависимости, характеризующей дальнѣйшія подраздѣленія. Къ этому второму типу и относятся съ такой точки зрѣнія норвежская и альпійская формы Гейма. Въ Гренландіи горныя страны, несущія ледники, вдоль восточнаго берега представляютъ платообразныя горы (см. дальше), гдѣ фирновые бассейны распространяются поверхъ водораздѣловъ, отдѣляя ледники равномѣрно въ различныя стороны, но ледники и фирны локализированы, *они распространяются тамъ же, гдѣ возникли.* Такія формы льда Дригальскій называетъ ледниками нагорій (Hochlandeis), соотвѣтствующими слѣдовательно норвежскому типу Гейма. Хотя цѣпевыхъ горъ въ Гренландіи нѣтъ, но сильное расчлененіе въ области развитія трапповыхъ породъ создаетъ условія для изолированности отдѣльныхъ фирновъ и слѣдовательно развитія альпійскаго типа ледниковъ; такіе ледники въ Гренландіи Дригальскій называетъ окраинными (Küstengletscher).

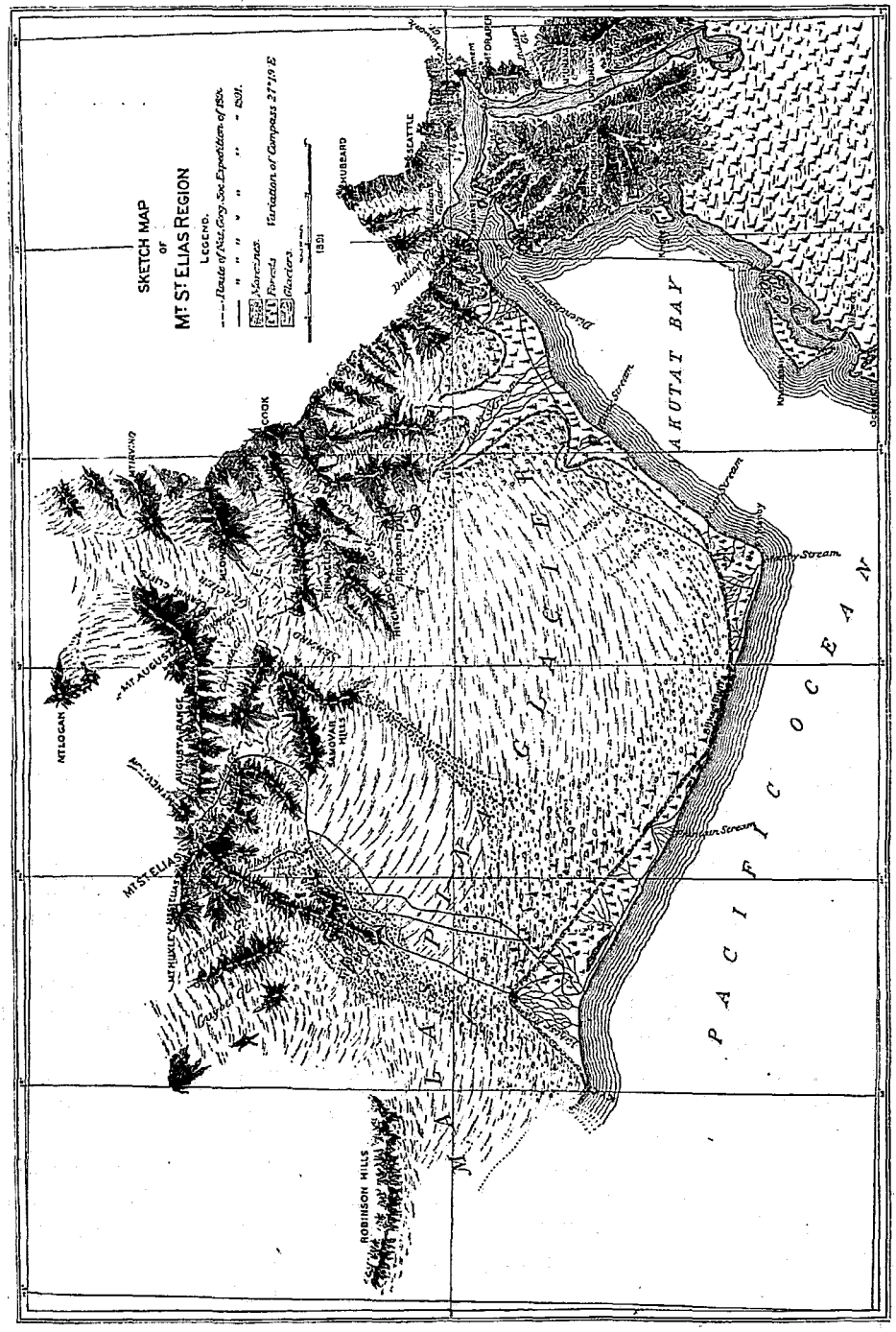
Рихтеръ и Пенкъ**) различаютъ собственно ледниковые покровы, какъ формы, скрывающія неровности ложа вслѣдствіе громаднаго развитія мощности ледяныхъ массъ, и ледники платообразныхъ горъ (Plateaugletscher), принимающіе форму сплошного покрова, вслѣдствіе очертаній самой поверхности ложа, отличающагося незначительными колебаніями въ высотѣ.

Эта форма ледниковъ съ обширными фирновыми полями, которыя отдѣляютъ только короткіе и крутые, чаще всего висячіе, ледники, преобладаетъ въ Норвегіи; слѣдовательно, и соотвѣтствуетъ норвежскому типу Гейма. Между этой формой и типомъ внутренняго покрова разница въ дѣйствительности только въ размѣрахъ; различіе же между нею и альпійскимъ типомъ выражается въ отсутствіи какихъ-либо ясныхъ границъ между областями питанія отдѣльныхъ ледниковъ.

---

*) Drygalski, Grönland-Expedition, 1897, I, стр. 298 и слѣд.
**) Penck, Morphologie der Erdoberfläche, I, 1894, стр. 386.

Это разногласіе между мнѣніями авторитетныхъ гляціалистовъ показываетъ, что въ природѣ въ сущности нѣтъ рѣзкихъ различій между раз-



Фиг. 417. — Ледникъ Маласпина. Типъ ледниковъ подножія горъ (piedmont glacier).

личными формами оледенѣнія. На формѣ ледниковаго покрова очертанія поверхности его ложа почти вовсе не отражаются; но уже по окраинамъ

Гренландскаго покрова (см. дальше), также на Шпицбергенѣ (по Conway *) и трудамъ Русско-шведской экспедиціи) · форма ложа отражается на характерѣ поверхности ледяного покрова; съ другой стороны, области питанія типичныхъ альпійскихъ ледниковъ иногда также сливаются въ одно, трудно раздѣлимое цѣлое, напр., на Эльбрусѣ и Казбекѣ.

Типъ ледника Маляспина (ледникъ подножія, piedmont glacier, Vorlandvergletscherung). Ледники горы Св. Ильи въ Аляскѣ могутъ быть разсматриваемы, согласно Рёсселю **), за типъ промежуточный между внутреннимъ ледниковымъ покровомъ и формой оледенѣнія Альпъ во время ледниковой эпохи. Рёссель назвалъ ледникъ Маляспина ледникомъ подножія, потому что онъ образуетъ какъ бы подножіе горъ, вслѣдствіе соединенія и сліянія въ одно ледниковое поле отдѣльныхъ ледниковъ съ прилежащихъ горъ (фиг. 417). Вслѣдствіе низкаго положенія снѣговой линіи (до 600—650 м.) ледники, спускающіеся съ горъ Св. Ильи и Логанъ (Mount Logan) отъ областей питанія на высотахъ около 3.000 м., образуютъ, соединяясь, ледяное поле ледника Маляспина, шириною до 96 км. и общей площадью до 3.900 кв. км. (1.500 кв. миль). Ледникъ Маляспина представляетъ по описанію Рёсселя широкое, почти горизонтальное, плато льда, поднимающееся въ разстояніи 5 или 6 миль отъ края до высоты 1.500 фут.; въ одномъ мѣстѣ на протяженіи 9 км. ледникъ опускается непосредственно къ морю утесами до 300 фут. высоты.

Подобныя же формы оледенѣнія указываютъ на одной изъ вѣтвей гренландскаго покрова (Friederickshaabgletscher, фиг. 416) и на ледникѣ St. Rafael въ южномъ Чили. Несомнѣнно грандіознаго развитія эта форма достигаетъ по окраинамъ антарктическаго материка (на Alexanderland по Арктовскому).

Условія развитія и географическаго распространенія ледниковъ.

Изученіе условій развитія и географическаго распространенія ледниковъ важно въ томъ отношеніи, что оно выясняетъ намъ условія распространенія ледниковыхъ явленій въ прошедшія геологическія эпохи. Наблюдая ледники на земной поверхности, мы видимъ, что они образуются далеко не на всѣхъ горахъ, выступающихъ за предѣлы снѣговой линіи,—для образованія ихъ необходимо сочетаніе многихъ орографическихъ и климатическихъ условій.

Орографическія условія.—Разнообразіе орографическаго характера снѣговыхъ областей, съ одной стороны, обусловливаетъ неравномѣрное развитіе ледниковъ въ однѣхъ и тѣхъ же горахъ и при одномъ и томъ же климатическомъ характерѣ, а съ другой, какъ мы видѣли—опредѣляетъ частью и формы оледенѣнія. Въ Альпахъ, Тянь-шанѣ и др. высокихъ горахъ развитіе ледниковъ находится въ прямой зависимости отъ величины котловинообразнаго расширенія въ верховьяхъ долинъ, называемаго циркомъ; чѣмъ обширнѣе цирки, въ которыхъ скопляется снѣгъ,

*) Conway, W. M., First crossing of Spitzbergen, 1897.

**) Rusell, Isr. Cook, Second expedition to Mount St. Ellias. 13 An. Rep. U. S. G. Surv., 1893.

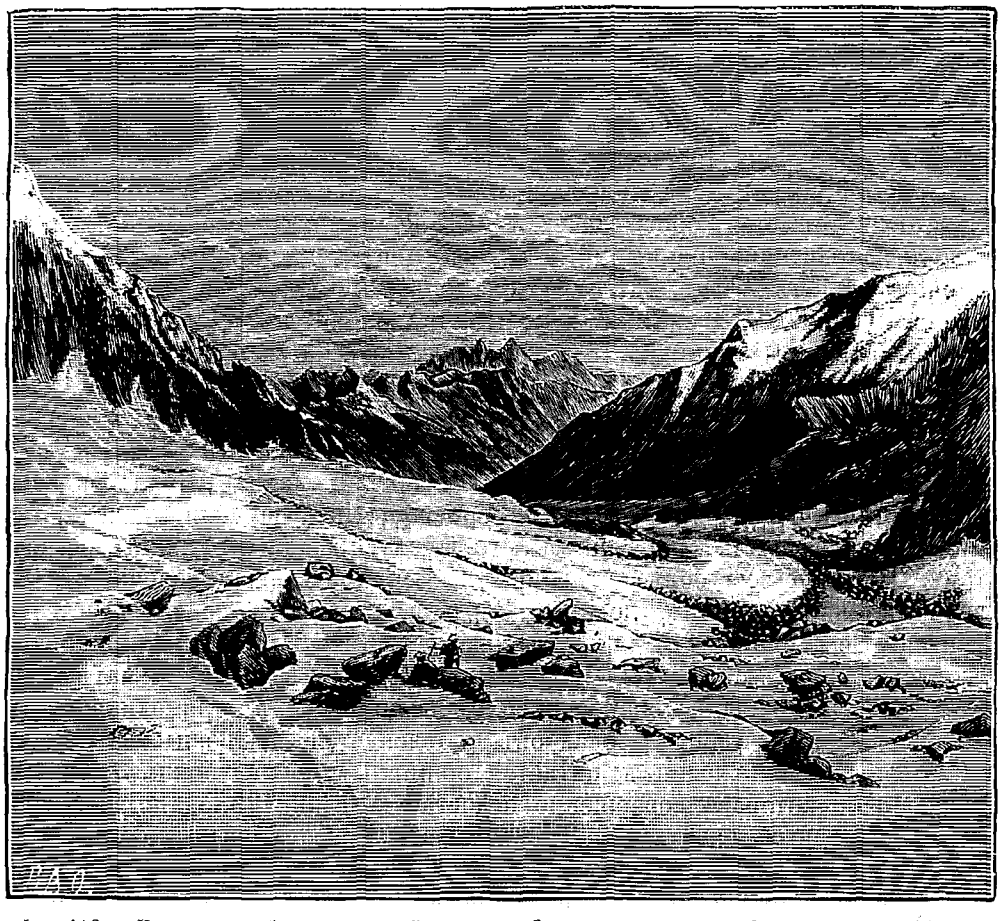
питающій ледникъ, тѣмъ самый ледникъ массивнѣе и тѣмъ ниже по долинѣ спускается онъ.

Въ Альпахъ часто встрѣчаются ледники, находящіеся совершенно въ одинаковыхъ климатическихъ условіяхъ, но весьма различные по величинѣ. Извѣстная Аарская долина заключаетъ огромнѣйшій ледникъ, а сосѣдняя и параллельная съ нею долина Бехли содержитъ только маленькій висячій ледникъ, который никогда не спускается въ нижнюю часть долины. Причина столь неодинаковаго развитія ледниковъ заключается въ различіи орографическихъ особенностей долинъ: первая имѣетъ обширный циркъ, а вторая нѣтъ. Величайшимъ изъ всѣхъ швейцарскихъ ледниковъ считается Алечъ, и онъ принадлежитъ не Монблану, а Юнгфрау, высота которой меньше Монблана; кромѣ того, Алечъ находится на южной сторонѣ Бернскихъ Альпъ, а не на сѣверной; слѣдовательно на этомъ примѣрѣ ясно видно, что вліяніе абсолютной высоты и климата уничтожается орографическими причинами: въ верховьѣ долины Алечъ находится обширный циркъ, какого нѣтъ на Монбланѣ и на сѣверномъ склонѣ Альпъ, гдѣ имѣются только террасы, весьма неудобныя для скопленія снѣга въ такомъ количествѣ, какое необходимо для образованія большого ледника.

Еще рельефнѣе вліяніе орографическихъ условій выступаетъ въ Алайскомъ хребтѣ и въ Тянь-шанѣ. Въ группѣ Зеравшанскихъ ледниковъ, спускающихся лучеобразно съ горнаго узла, соединяющаго хребты: Алайскій, Заалайскій, Туркестанскій и Гиссарскій, находится до тридцати ледниковъ; изъ нихъ два—главный Зеравшанскій и Зардаля—спускаются отъ перевала Матча, первый къ юго-западу, а второй къ сѣверо-востоку. Несмотря на болѣе благопріятныя климатическія условія на сѣверо-восточномъ склонѣ, ледникъ Зардаля, длиною 6 верстъ, вчетверо меньше Зеравшанскаго, длина котораго 24 версты, а нижній конецъ его лежитъ на высотѣ 2.700 м., тогда какъ конецъ Зардаля—на высотѣ 3.480 м. Такая громадная разница въ величинѣ ихъ, при одинаковомъ количествѣ атмосферныхъ осадковъ, объясняется исключительно тѣмъ, что Зеравшанскій ледникъ питается обширнымъ и глубокимъ циркомъ (фиг. 418), котораго совершенно недостаетъ леднику Зардаля, залегающему съ самаго перевала Матча въ узкомъ, крутомъ ущельѣ (фиг. 419). Подобная же разница, зависящая отъ той же причины, замѣчается и между боковыми ледниками, впадающими въ главный Зеравшанскій, а именно съ правой стороны ледники: Рама, Фарахнау, Скачковъ, Толстовъ и Миръ аминъ, а съ лѣвой—ледники: Ярхичъ, Поракъ, два Назаръ-айляка, Ахунъ, Бѣлый и Алашбай; первые залегаютъ въ длинныхъ, пологопадающихъ долинахъ, заполняя ихъ совершенно; они вытекаютъ изъ обширныхъ цирковъ и отличаются обильными моренами; вторые же почти висятъ на склонахъ, бѣдны моренами, коротки и до того раздроблены разнообразными трещинами, что мѣстами представляютъ какъ бы застывшіе водопады.

Климатическія условія—Каковы бы ни были орографическія условія и какъ ни важно ихъ вліяніе, однако ихъ однихъ еще недостаточно для развитія ледниковъ; для этого требуются еще климатическія условія: направленіе и качество вѣтра, влажность воздуха, температура,

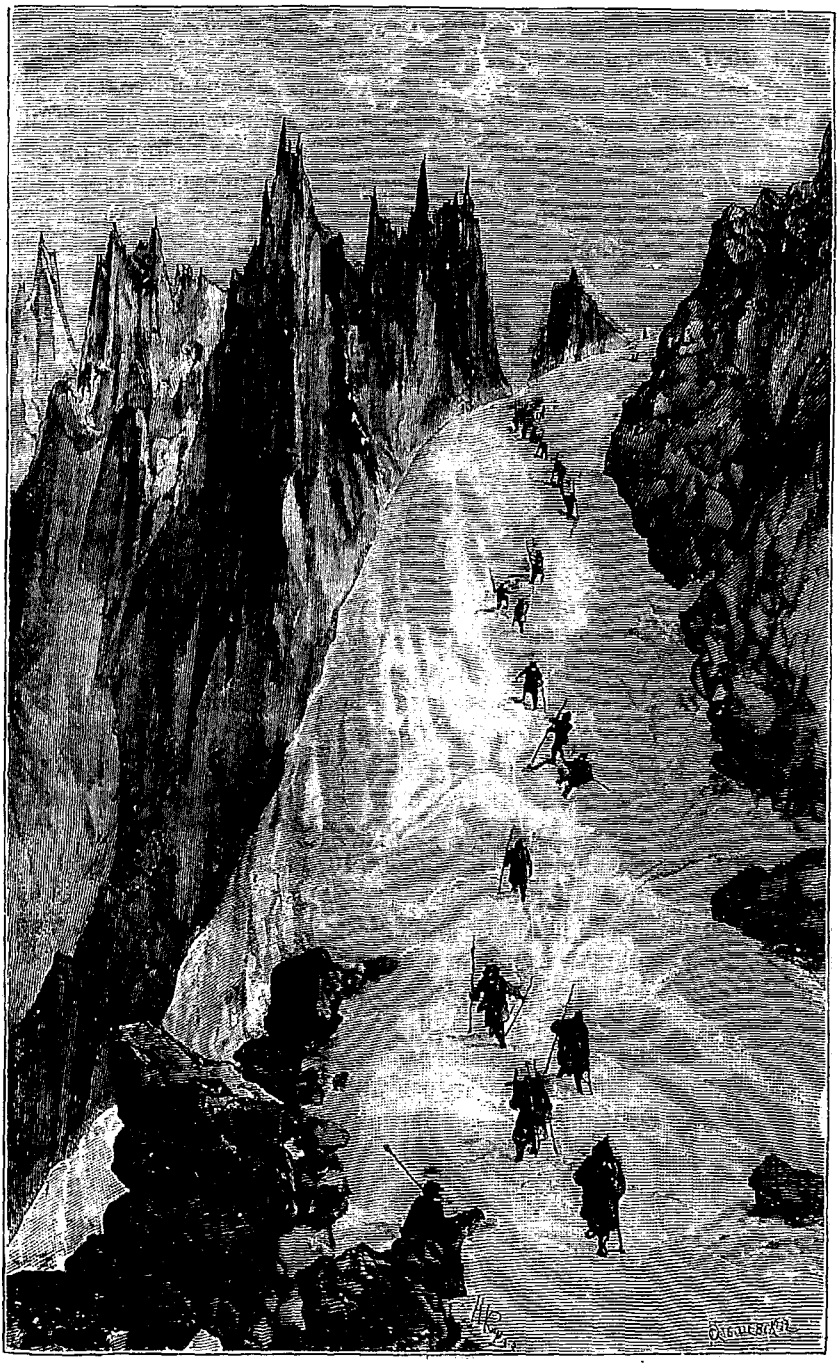
количество и, въ особенности, форма осадковъ. Какъ бы ни былъ холоденъ климатъ и благопріятны орографическія условія, ледники не появятся, если годовое количество снѣга будетъ очень мало. Изъ вышеприведенной таблицы (стр. 657), а еще лучше изъ главы I этой книги (см. также карты изотермъ и распредѣленія осадковъ) видно, что во всей Восточной Сибири, за исключеніемъ Амурскаго края и части Енисейской губ., средняя годовая температура ниже 0°, кромѣ того большая



Фиг. 418. — Нижняя часть фирноваго бассейна главнаго Зеравшанскаго ледника. Видъ съ перевала Матча.

часть Восточной Сибири гориста и, слѣдовательно, несомнѣнно обладаетъ благопріятными орографическими условіями для образованія ледниковъ; тѣмъ не менѣе, не смотря на низкую температуру и гористость, ледники, и то весьма небольшіе, находятся только въ одномъ пунктѣ—на горѣ Мунко-Сардыкъ. Даже такія холодныя и высокія мѣстности, какъ Вознесенскій пріискъ (59° с. ш., средняя годовая температура—9° Ц., высота надъ у. м. 920 м.) въ Олекминско-Витимскихъ горахъ Якутской области или около г. Верхоянска ($67^1/_2$° с. ш., средняя г. т.—15° Ц.) Якутской области не имѣютъ ни одного ледника; точно также весь довольно высокій Верхоянскій хребетъ лишенъ ихъ. Эти, повидимому, аномальныя явленія

объясняются тѣмъ, что вообще въ Восточной Сибири, за исключеніемъ



Фиг. 419. — Вершина ледника Зардаля. Алайскій хребетъ.

прибрежья Охотскаго моря, выпадаетъ зимой весьма мало снѣга, который, при сухости зимняго воздуха, частью испаряется, а оставшійся, быстро

таетъ весной. Необыкновенно низкія температуры зимой сопровождаются яснымъ небомъ и затишьемъ, т. е. условіями, благопріятными для значительнаго охлажденія снѣга и нижняго слоя воздуха, но никакъ не для накопленія большого количества снѣга *).

Съ другой стороны, области, отличающіяся сравнительно высокою среднею температурою года, но и обильными снѣговыми осадками, обладаютъ многочисленными и мощными ледниками; для примѣра возьмемъ Новую Зеландію, представляющую совершенную противоположность Восточной Сибири по отношенію къ развитію ледниковъ. Не смотря на то, что средняя годовая температура у нижнихъ концовъ Новозеландскихъ ледниковъ равняется + 10° Ц., т. е. на 25° отличается отъ Верхоянской, тѣмъ не менѣе въ Новой Зеландіи извѣстно уже до 50 большихъ ледниковъ I-го порядка, множество мелкихъ, и они спускаются такъ низко, что около нихъ растутъ древовидные папоротники, пальмы и другія растенія теплаго климата. Это обиліе ледниковъ въ такой сравнительно небольшой странѣ, какъ Новая Зеландія, объясняется вліяніемъ влажныхъ NW вѣтровъ, которые, восходя на приближенныя къ западному берегу Новозеландскіе Альпы (высота вершинъ 3.000 м., а наибольшая гора Кука или Ао-ранги—3.768 м.), пріобрѣтаютъ характеръ фёна и отлагаютъ на NW склонѣ этихъ горъ обильные осадки, количество которыхъ увеличивается съ высотою; вслѣдствіе этого на западномъ берегу южнаго острова годовое количество осадковъ (Хокитика—2,87 м.) въ 4—5 разъ больше, чѣмъ на восточномъ (Церковь Христа—0,66 м.), слѣдовательно и снѣга на NW склонѣ выпадаетъ больше, чѣмъ на SO склонѣ, гдѣ тотъ же вѣтеръ является въ долинахъ фёномъ. Разница въ количествѣ снѣга объясняетъ то обстоятельство, что ледники на NW склонѣ Новозеландскихъ Альпъ спускаются гораздо ниже ледниковъ SO склона; такъ, на первомъ ледники Франца-Іосифа и Принца Альфреда спукаются до высоты 214—215 м. надъ у. м., т. е. такой, какой не наблюдается ни у одного ледника другихъ странъ (за исключеніемъ развѣ Западной Патагоніи) умѣреннаго пояса ни въ южномъ, ни въ сѣверномъ полушаріи; а въ средней Европѣ и Азіи даже въ ледниковый періодъ ледники не спускались такъ низко. На другомъ SO склонѣ ледники оканчиваются гораздо выше, напр. ледники: Большой Тасманскій—749 м., Гукера—903 м. и Мюллера—870 м. Можно было бы ожидать, что разность уровня ледниковъ того и другого склона будетъ еще больше, но дѣло въ томъ, что фирновые бассейны или снѣжники Новозеландскихъ Альпъ общіе и питаютъ ледники обоихъ склоновъ, да, кромѣ того, кажется, орографическія условія восточнаго склона благопріятнѣе для развитія ледниковъ.

Такое же рѣзкое различіе въ развитіи ледниковъ выступаетъ при сравненіи странъ одного и того же полушарія—напр. Норвегіи, Урала и Алтая. На Алтаѣ площадь ледниковъ не превышаетъ 90 кв. в. (см. дальше); на Уралѣ ихъ совершенно нѣтъ, не смотря на низкую среднюю температуру года, особенно въ сѣверномъ Уралѣ; въ Норвегіи

*) Воейковъ, Климатич. условія ледник. явленій настоящ. и прошедшихъ. Зап. Мин. Общ., т. XVI, 1881.—Климаты земнаго шара, 1884.

же, наоборотъ, ледники, какъ мы уже говорили, достигаютъ обширнаго распространенія и спускаются до высоты, гдѣ средняя годовая температура + 4,8° Ц. Эта разница, какъ и въ предыдущемъ примѣрѣ, объясняется обиліемъ осадковъ въ Норвегіи, гдѣ на западномъ берегу выпадаетъ болѣе 1.000 мм. въ годъ, а въ горахъ—вѣроятно еще болѣе; притомъ большая часть этого количества падаетъ осенью и зимой, т. е. въ такое время года, когда въ горахъ, особенно выше 1.500 м. преобладаетъ снѣгъ. Уралъ и Алтай, напротивъ, отличаются бѣдностью осадковъ (см. гл. I).

Наконецъ, вліяніе снѣговыхъ осадковъ сказывается даже на разныхъ концахъ или на разныхъ склонахъ одного и того же хребта. Такъ, въ Альпахъ замѣчается весьма большое различіе въ распространенности ледниковъ между Монбланъ-Бернскими Альпами и Тирольскими. Въ первыхъ ледники больше, спускаются ниже и имѣютъ у конца среднюю температуру слишкомъ на 4° (см. табл. на стр. 658) выше, чѣмъ во вторыхъ. Еще Дове замѣтилъ, что Швейцарія отличается огромными и многочисленными ледниками, а горы Тироля и Зальцбурга—красивыми водопадами; онъ объяснялъ это распредѣленіемъ осадковъ, которые въ Швейцаріи обильно выпадаютъ въ холодное время года, значитъ въ горахъ въ видѣ снѣга, а въ Австрійскихъ Альпахъ—лѣтомъ—въ видѣ дождя.

Впрочемъ, къ этому представленію нужно внести существенную поправку; точныя измѣренія болѣе новаго времени показали, что различіе въ высотѣ снѣговой линіи здѣсь зависитъ не отъ западнаго или восточнаго положенія частей горъ, а отъ ширины горнаго пояса, слѣдовательно, отъ массивности поднятія. Во внутреннихъ частяхъ массивныхъ горъ снѣговая линія выше, чѣмъ на ихъ внѣшнихъ частяхъ. Рихтеръ *) показалъ, что въ восточныхъ Альпахъ линіи одинаковой высоты снѣговой границы окаймляютъ высшія горныя вершины концентрическими кривыми. Въ сѣверныхъ известняковыхъ Альпахъ снѣговая линія лежитъ всего на высотѣ 2500 м.; въ Тауэрнѣ уже на 2700 м., во внутреннемъ Ётцталѣ на 2900 м., а на южной сторонѣ этой группы выше 3000 м. Если бы въ Ётцталѣ снѣговая линія была на той же высотѣ, какъ въ Тауэрнѣ, здѣсь не было бы отдѣльныхъ ледниковъ, а одинъ мощный ледникъ, много превосходящій по своимъ размѣрамъ Алечъ. На южной сторонѣ этихъ Альпъ несмотря на болѣе южное положеніе и болѣе высокую температуру снѣговая линія снова опускается, и въ Юлійскихъ Альпахъ она лежитъ едва ли выше, чѣмъ въ сѣверномъ известняковомъ поясѣ. Съ снѣговой линіей поднимаются и опускаются и всѣ другіе климатическіе высотные пояса. Напр., въ Пинцгау (между Высокимъ Тауэрномъ и Китцбюллеромъ) пашни не поднимаются выше 1300 м., а въ долинѣ Шнальзерта (недалеко отъ Мерана на южной сторонѣ Ётцтальскихъ Альпъ) ячмень доходитъ до 1800 м.; около Града сплошной лѣсъ не поднимается выше 1800 м., а въ долинѣ Мартеля (около Мерана) кедры можно встрѣтить еще на 2300 м., т. е. болѣе чѣмъ на 100 м. выше, чѣмъ вершина Hochschwab (въ Nordsteierische Alpen, къ сѣверу отъ долины Мюрца). Брюкнеръ показалъ то же для Швейцаріи, гдѣ напр., въ группѣ Säntis на окраинѣ Альпъ снѣговая линія на 2400 м., а на Монте-Роза на 3200 м.

Бо́льшая сухость внутреннихъ горныхъ частей можетъ объяснить это явленіе только частью. Среднія годовыя температуры и лѣтнія также не могутъ этого объяснить. Брюкнеръ показалъ, что температуры наиболѣе теплыхъ часовъ дня во внутреннихъ Альпахъ на той же высотѣ значительно выше, чѣмъ на окраинахъ Альпъ, т. е. иными словами, что тамъ та же степень теплоты поднимается значительно выше, чѣмъ на окраинахъ. Такъ въ Säntis изотерма 15° теплыхъ часовъ дня проходитъ на 1300 м., а въ Энгаденъ она поднимается до 1900 м. Отъ лѣтней температуры и въ частности отъ температуры теплыхъ часовъ дней зависитъ положеніе снѣговой линіи; низкая лѣтняя температура благопріятствуетъ сохраненію твердыхъ осадковъ на болѣе низкихъ высотахъ.

*) Die Gletscher der Ostalpen, 1888, 292—293.

Въ Альпахъ сгущеніе водяныхъ паровъ воздуха происходитъ интенсивнѣе на нѣкоторой опредѣленной высотѣ, гдѣ и обнаруживается максимумъ осадковъ. Центральныя группы горъ поднимаются далеко выше этой зоны, но тѣмъ не менѣе онѣ получаютъ и зимою меньше осадковъ, чѣмъ наружныя части, но зато почти исключительно въ видѣ снѣга (выше 3000 м.). Но кромѣ количества осадковъ на развитіе ледниковъ оказываетъ большое вліяніе и лѣтняя температура; соотвѣтственно этому замѣчается, что въ каждой группѣ горъ снѣговая линія нѣсколько поднимается отъ края по направленію къ центру и снѣговая линія въ отдѣльныхъ группахъ лежитъ ниже на сѣверной сторонѣ, чѣмъ на южной.

На Кавказѣ еще болѣе рѣзкая разница между сѣверо-западною (до Казбека включительно) и юго-восточною частями его, съ одной стороны, и, съ другой, между сѣвернымъ и южнымъ склонами его. Влажные вѣтры, дующіе съ Чернаго моря, почти всѣ свои осадки оставляютъ въ NW части; такъ напр., въ долинѣ Ріона въ теченіе зимы образуется слой снѣга толщиною отъ 5 до 7 м. Общее количество осадковъ въ годъ составляетъ на южномъ склонѣ NW части Кавказа около 2 м.; но на томъ же склонѣ въ средней части хребта выпадаетъ уже только половина, т. е. 1 м., а въ SO части—всего только 0,5 м. въ годъ. Лѣтомъ, когда тучи идутъ выше, осадки чаще въ Дагестанѣ, но въ это время больше идетъ дождь, чѣмъ снѣгъ. Благодаря такому распредѣленію осадковъ, снѣговая линія на южномъ склонѣ лежитъ на 300—400 м. ниже, чѣмъ на сѣверномъ, и притомъ отъ запада къ востому она поднимается отъ 2.900 м. до 3.500 м.; на сѣверномъ склонѣ она поднимается отъ 3.300 до 3.900 въ томъ же направленіи. Ледники находятся въ NW части Кавказа и опускаются ниже 2.000 м. (Калчидонъ 1.710 м.); но наибольшіе изъ нихъ, вѣроятно благодаря орографическимъ условіямъ, залегаютъ на сѣверномъ склонѣ. Болѣе замѣтное отступаніе лѣтомъ ледниковъ южнаго склона показываетъ вліяніе лѣтней температуры на развитіе ледниковъ даже при болѣе низкомъ положеніи снѣговой линіи. Въ SO части Кавказа и даже въ высокомъ Дагестанѣ, напротивъ, ледниковъ весьма мало и они не спускаются ниже 2.700 м. И такъ, согласно съ уменьшеніемъ осадкомъ, развитіе снѣговъ и ледниковъ на Кавказѣ уменьшается съ NW къ SO.

Вліяніе сухого материковаго климата еще рельефнѣе отражается въ Азіи. О Сибири сказано уже выше; разсмотримъ теперь остальную часть высокой Азіи. Восточная часть азіатскаго нагорья характеризуется господствомъ муссоновъ (см. гл. I), дующихъ періодически: зимой съ NW, т. е. съ материка къ морю, лѣтомъ наоборотъ, т. е. съ SO—съ моря къ материку; вслѣдствіе этого осаждается много дождя, но мало снѣга, и потому ледники не могутъ образоваться даже въ самыхъ крайнихъ восточныхъ горахъ. Въ Ханъ-хаѣ сильнѣйшая сухость воздуха и ничтожество осадковъ, вѣроятно, по словамъ Воейкова, не превышающихъ и 30 мм. въ годъ—условія еще менѣе благопріятныя для развитія ледниковъ.

Въ Тянь-шанѣ и на Памирѣ, представляющихъ сѣверную и западную окраины нагорной Азіи, условія нѣсколько другія. Благодаря громадной высотѣ этихъ горъ, въ нихъ развиваются ледники, не смотря на большую сухость воздуха и незначительность осадковъ, порождающихъ бѣдную растительность въ широкихъ долинахъ и на плоскогорьяхъ, но ледники ихъ стоятъ весьма высоко, только весьма немногіе спускаются до 2.700 м., громадное же большинство оканчивается на высотѣ болѣе 3.000 м. Въ Тянь-шанѣ и на Памирѣ зимній снѣгъ больше всего падаетъ на высотахъ отъ 2.500 до 3.000 м., а лѣтомъ только на высотахъ около 4.000 м. и болѣе. Тянь-шань главнымъ образомъ питается снѣгами, приносимыми холодными NO вѣтрами, которые, переходя сначала жаркія степи, а потомъ высокіе хребты, оставляютъ на сѣверныхъ склонахъ и преимущественно въ мѣстахъ наибольшаго вздутія горъ, свою влагу; поэтому ледники въ Тянь-шанѣ распредѣлены весьма неравномѣрно и скопляются, главнымъ образомъ, у высочайшихъ горныхъ узловъ (Ханъ-тенгри, Акъ-шійрякъ, Чиликъ-Кебинъ или Талгаръ, Манасъ и др.) При

общности снѣжниковъ ледники спускаются и на южныхъ склонахъ на подобіе Новоземельскихъ.

На Памирѣ, по мнѣнію Воейкова, обиліе осадковъ въ горахъ, особенно зимой, объясняется тѣмъ, что въ среднихъ широтахъ, по крайней мѣрѣ на значительной высотѣ, преобладаетъ западное теченіе воздуха. Слѣдовательно западныя части Памира и Алая, а можетъ быть отчасти и Тянь-шань получаютъ болѣе или менѣе влажный воздухъ съ Каспійскаго и Чернаго морей и даже съ Атлантическаго океана—отсюда развитіе огромныхъ ледниковъ на западѣ (Зеравшанскіе, Щуровскаго, Таракъ, Мукъ-су) и быстрое уменьшеніе ихъ къ востоку, на Алаѣ и Памирѣ.

Къ западу отъ Памира, гдѣ горы не достигаютъ такой высоты, сколько-нибудь значительныхъ ледниковъ неизвѣстно. Въ западномъ Гиндукушѣ ледники небольшіе и мало извѣстны, а далѣе до Арменіи попадаются только изолированныя небольшія снѣговыя поля на выдающихся вершинахъ, напр. въ SO ч. Копетъ-дага, на Демавендѣ, Аргеусѣ и др.

Въ восточной части Гиндукуша, и въ особенности въ Каракорумѣ, ледники достигаютъ такого громаднаго развитія, что по величинѣ уступаютъ развѣ только Гренландскимъ. «На первый взглядъ,—говоритъ Воейковъ,—это могло бы показаться страннымъ, такъ какъ къ югу отъ Каракорума возвышается Гималайскій хребетъ. Но дѣло въ томъ, что послѣдній въ своей западной части значительно ниже Каракорума, такъ что верхнее юго-западное теченіе воздуха переходитъ черезъ Гималай и приноситъ достаточно влаги для обильныхъ снѣговъ. Къ тому же Гималайскій хребетъ, особенно зимой, составляетъ рѣзкую климатическую границу, къ сѣверу отъ которой гораздо холоднѣе».

Вліяніе климатическихъ условій наиболѣе наглядно обнаруживается при сравненіи тропическихъ и умѣренныхъ странъ. Въ тропическомъ поясѣ ледниковъ очень мало; они извѣстны только въ Африкѣ и Америкѣ и залегаютъ на громадныхъ высотахъ, больше 4000 м.

Климатъ полярныхъ областей. Наиболѣе постоянными факторами, опредѣляющими климатъ этихъ областей, служатъ совершенное прекращеніе солнечнаго лучеиспусканія въ теченіе значительной части года и непрерывная инсоляція въ теченіе другой части. Согрѣваніе въ теченіе полярнаго дня происходитъ очень незначительное на горизонтальныхъ поверхностяхъ и гораздо болѣе замѣтное на наклонныхъ, обращенныхъ непосредственно къ косымъ солнечнымъ лучамъ. Этимъ объясняется болѣе богатая растительность склоновъ полярныхъ странъ сравнительно съ бѣдной флорой горизонтальныхъ тундръ. Нагрѣваніе темныхъ предметовъ происходитъ настолько сильно, что снѣгъ около нихъ начинаетъ таять даже при—31°—33°, если условія инсоляціи благопріятны. Естественно, что не только зимнія температуры, но и лѣтнія въ полярныхъ странахъ очень низки. Нансенъ на высотѣ 2300 м. на гренландскомъ ледниковомъ покровѣ лѣтомъ во время ночи имѣлъ температуры до—34°. Въ океанѣ температуры, конечно, выше, какъ видно по даннымъ Нансена во время путешествія на «Фрамѣ», но и тамъ зимою температура часто опускается ниже—40°.

Воздухъ полярныхъ странъ отличается однако сухостью, въ особенности зимою, хотя вѣтеръ часто поднимаетъ снѣговую пыль въ видѣ снѣжнаго тумана. Естественно, что и количество осадковъ въ полярныхъ странахъ, въ особенности зимою, очень невелико. Въ Рейкіявикѣ въ Исландіи годовое количество осадковъ 75 см., на Янъ-Майенѣ—486 мм., на Шпицбергенѣ—19 см. Въ Арктической сѣв. Америкѣ и сѣв. Гренландіи по даннымъ англійской экспедиціи 1882—83 г. количество осадковъ было 178 мм. Въ зап. Гренландіи Дригальскій опредѣлилъ 108 мм. въ Каракъ-фіордѣ; къ югу количество осадковъ быстро возрастаетъ до 1241 мм. въ Ivigtut. Всѣ эти измѣренія относятся къ станціямъ на уровнѣ моря; каково количество осадковъ въ болѣе высокихъ областяхъ остается

неизвѣстнымъ; можно предполагать, по уменьшенію абсолютной влажности въ высокихъ областяхъ Гренландіи, что конденсація водяныхъ паровъ воздушныхъ теченій, направляющихся къ сѣверу наступаетъ уже съ приближеніемъ къ холодной зонѣ, которая оказываетъ такое же вліяніе, какъ горы въ умѣренномъ поясѣ. О болѣе океаническомъ климатѣ антарктическаго пояса мы уже говорили (стр. 660).

Въ арктическомъ поясѣ въ наиболѣе благопріятныхъ условіяхъ для выпаденія снѣга находятся именно Гренландія и острова къ сѣверу отъ Европы и Азіи (Шпицбергенъ, Земля Франца-Іосифа). Дѣйствительно, здѣсь имѣются моря, далеко не замерзающія сплошь, и проходятъ циклоны съ О и SO; они сопровождаются обыкновенно снѣгомъ, такъ какъ испареніе происходитъ съ поверхности морей, имѣющихъ температуру около 0°. Тѣмъ не менѣе прямыхъ доказательствъ увеличенія количества осадковъ въ области питанія гренландскаго покрова мы не имѣемъ, и вопросъ о равновѣсіи убыли этого покрова и его питанія едва ли можно считать вполнѣ рѣшеннымъ. Архипелагъ арктической Америки, по крайней мѣрѣ около пролива Дэвиса и Баффинова залива, имѣетъ многочисленные ледниковые покровы, только недавно изслѣдованные Свердрупсомъ. Въ Лабрадорѣ же и вообще на прилежащей части материка постоянныхъ льдовъ совсѣмъ нѣтъ, хотя средняя температура года и особенно зимы гораздо ниже гренландской; это потому, что тамъ вообще падаетъ мало снѣга, что, въ свою очередь зависитъ отъ того, что зимой, весной и осенью давленіе воздуха выше на сѣверѣ (см. гл. I и карты) и внутри материка; отсюда преобладаніе N и NW вѣтровъ, неблагопріятныхъ для осадковъ. Слѣдовательно, американскій центръ низшей температуры также бѣденъ ледниками, какъ и сибирскій.

Къ востоку отъ Гренландіи ледники также уменьшаются. Въ Исландіи хотя нѣтъ недостатка во влагѣ, но подъ вліяніемъ Гольфстрема даже зимой часто падаетъ дождь, отчего снѣгъ на горахъ быстро таетъ вмѣсто того, чтобы накопляться. Вслѣдствіе этого, вмѣсто сплошного ледяного покрова, въ Исландіи появляются отдѣльныя поля фирна и льда, но типа внутреннихъ покрововъ.

Острова къ сѣверу отъ Европы и Азіи между 73° и 82° с. ш. представляютъ болѣе благопріятныя условія для развитія ледниковъ, чѣмъ Исландія: средняя температура года и зимы ниже, а осадки болѣе обильны; поэтому ледники образуются на Шпицбергенѣ, Янъ-Майенѣ, Медвѣжьихъ о-вахъ, въ сѣверной части Новой Земли и особенно на землѣ Франца-Іосифа. На этомъ архипелагѣ, расположенномъ между 80° и 82° с. ш., гдѣ средняя годовая температура измѣняется между — 10° и — 16°, влажность воздуха такъ велика, что на крутыхъ склонахъ иногда отлагается цѣлый слой гололедицы, и острова кажутся покрытыми прозрачнымъ слоемъ льда.

Разсмотрѣніе арктическихъ льдовъ приводитъ Гейма къ тому заключенію, что двѣ трети около-полярныхъ странъ совершенно лишены ледниковъ и только вслѣдствіе недостатка осадковъ, или несвоевременнаго ихъ выпаденія.

Разсмотрѣніе климатическихъ условій развитія ледниковъ приводитъ къ тому заключенію, что при морскомъ климатѣ достаточно очень не-

большой разности температуръ (5°—10°), чтобы отъ полнаго отсутствія снѣгового покрова перейти къ громаднымъ скопленіямъ снѣга въ горахъ и ледникамъ у уровня моря. Напротивъ, при материковомъ климатѣ нужны особенныя географическія условія для того, чтобы явились ледники. Поэтому въ материковыхъ областяхъ, гдѣ доказано прежнее большое распространеніе ледниковъ, климатъ значительно измѣнился.

Примѣры ледниковыхъ областей.

Альпы. Альпійская ледниковая область отъ группы Монблана до Анкогель въ восточныхъ Альпахъ имѣетъ площадь ледниковъ 3765.9 кв. км.; на восточные Альпы по измѣренію Рихтера, приходится изъ этого числа 1461.9 кв. км. Площадь ледниковъ Дофинэ и западныхъ италіанскихъ Альпъ до сихъ поръ точно не измѣрена. Изъ отдѣльныхъ ледниковыхъ группъ наибольшими являются:

Монбланъ	277.2	кв. км.
Монте-Роза-Матергорнъ.	445.0	» »
Финстераарторнъ	482.3	» »
Бернина	122.8	» »
Ортлеръ	191.5	» »
Ётцталь-Штубайеръ	484.6	» »
Тауэрнъ	530.8	» »

Группа Монблана имѣетъ на сѣверо-западномъ склонѣ девять ледниковъ перваго порядка (Mer de Glace, Bosson, d'Argentière и др.), а на юго-западномъ—одиннадцать (de l'Allée blanche, Miage italien, de la Brenva и друг.), да еще около сорока ледниковъ второго порядка. Наиболѣе низко опускаются: Боссонъ—до 1099 м., Mer de Glace—1150 м.; ледникъ de Miage italien оканчивается на высотѣ 2000 м. Въ группѣ Финстераарторна находится 16 ледниковъ перваго порядка и около ста ледниковъ второго порядка; они спускаются до 1080 м. (Нижн. Гриндельвальдъ)—2326 м. (Средн. Алечъ).

На Монте-Роза находится 15 ледниковъ долинныхъ и 120 висячихъ; на Бернинѣ, Теди и др. также залегаетъ по нѣсколько ледниковъ. Всего въ Альпахъ считаютъ до 2000 ледниковъ, изъ нихъ 309 принадлежатъ Тирольскимъ Альпамъ.

Наиболѣе крупные ледники: Алечъ (115 кв. км. и 28.8 км. длина), Горнеръ (67.2 кв, км. и 15 км. дл.), Mer de Glace (55.3 кв. км., 15 км.), Фишеръ (31 кв. км., 16 км.), Унтерааръ (39 кв. кл., 16 км.) и въ восточныхъ Альпахъ—Пастерце (32 кв. км.), Гепачфернеръ (25 кв. км.), Ведретта дель Форно (17 кв. км.). Вообще ледниковъ съ площадью больше 20 кв. км. въ Швейцарскихъ Альпахъ 17, а въ восточныхъ только 2 *),

Пиренеи. Наиболѣе высокая вершина западной части горъ Pic d'Anie (2590 м.) всегда покрыта снѣгомъ, и снѣговая линія здѣсь около 2600 м. Главный гребень на востокѣ поднимается до 2800 м. и свободенъ отъ

*) Подробности см. Heim, Handbuch de Gletscherkunde. Richter, Die Gletscher der Ostalpen. Hess, Die Gletscher.

снѣга, слѣдовательно снѣговая линія около 2900 м. (высшая верш. Малядета—3404 м.). Шрадеръ опредѣляетъ площадь ледниковъ всего въ 40 кв. км.; единственный ледникъ перваго порядка (Vignemale) опускается до 2200 м. Какъ этотъ, такъ и немногіе ледники второго порядка всѣ находятся на сѣверной сторонѣ горъ.

Кавказъ. На Кавказѣ по послѣднимъ подсчетамъ Михайловскаго *) въ его центральной части находится 183 долинныхъ ледника и 679 втораго порядка (всего 862 ледника). Число долинныхъ ледниковъ значительнѣе чѣмъ въ Альпахъ; орографическія условія благопріятствуютъ развитію мощныхъ ледниковыхъ языковъ, спускающихся значительно ниже снѣговой линіи, и иногда ниже, чѣмъ въ Альпахъ. Самые значительные ледники Альпъ, напр., Пеннинскихъ Альпъ, спускаются ниже снѣговой линіи на 1000—1200 м. (Горнеръ—1177 м., Корбасьеръ—1063 м.), а ледники Монблана на 1000 (Miage) и до 1850—1900 м. (Bosson и Mer de glace). На Кавказѣ ледники спускаются ниже снѣговой линіи на такія числа: Гизель-донъ (басс. Ардона гора Шау-хохъ) 1610 м., Карагомъ (басс. Уруха гора Адай-хохъ) 1562 м., Чалаатъ (басс. Ингура гора Бэредухъ) 1421 м., Лекзыръ (басс. Ингура Сванетскіе Альпы) 1265 м., Цейскій (басс. Ардона гора Адай-хохъ) 1241 м., Безенги (басс. Черека горы Шхара, Дыхъ-тау, Ляльеръ) 1206 м., Дыхъ-су (басс. Черека гора Шхара) 1173 м. Ледниковъ съ площадью больше 20 кв. км. можно насчитать въ центральномъ Кавказѣ до 15; наиболѣе длинные Безенги—19.6 км. (длина языка—16.1 км.), Дыхъ-су—14.3 (языка—10.1), Карагомъ—15.5 (языка—9.6 км.), Цаннеръ—13.1 (языка—10 км.; въ басс. Ингура), Лекзыръ—15.1 (языка—10.7 км.), Цейскій—9.6 (языка—5,1). Если исключить Алечъ въ Альпахъ, то ледники Кавказа имѣютъ размѣры, мало уступающіе альпійскимъ. По разнообразію формъ и красотѣ своей дикой природы Кавказскіе ледники, по словамъ Мерцбахера **), далеко превосходятъ альпійскіе.

На всемъ Кавказѣ, прибавляя сюда западный Кавказъ, Дагестанъ и Араратъ въ Закавказьи, можно принять до 221 ледниковъ перваго порядка и до 1000 второго порядка. Наибольшее количество ледниковъ находится въ такъ называемыхъ Абхазскихъ (съ Эльбрусомъ 5646 м.), Сванетскихъ (съ Шхельды—4383 м., Гистола—4856 м., Дыхъ-тау—5198 м., Шхара—5050 м.), Дигорскихъ (съ Адай-хохъ—4646 м.) и Осетинскихъ (съ Казбекомъ—5043 м.) альпахъ; всѣ поименованные выше ледники относятся именно къ этимъ частямъ Кавказа.

Общая площадь кавказскихъ снѣговыхъ полей и ледниковъ не можетъ быть подсчитана еще съ достаточной точностью. Михайловскій и друг. полагаютъ, что хотя снѣговая линія на Кавказѣ лежитъ выше, чѣмъ въ Альпахъ, но вслѣдствіе большей высоты Кавказа вертикальная область его снѣговъ не меньше Альпійской.

---

*) В. Г. Михайловскій, Горныя группы и ледники Центральнаго Кавказа. Землевѣдѣніе, 1894, кн. 1.

**) Gottfried Merzbacher, Aus den Hochregionen des Kaukasus. 1901, стр. 119. Два тома этого превосходнаго сочиненія, богато иллюстрированнаго видами ледниковъ Кавказа, также какъ Freshfield, The exploration of the Caucasus, 1896, I—II v., могутъ служить пособіемъ для подробнаго ознакомленія съ природою ледниковыхъ областей Кавказа.

Тянь-шань, Памиръ и Сибирь. Въ Тянь-шанѣ и на Памирѣ ледниковыя группы находятся во многихъ мѣстахъ и ледники достигаютъ громадныхъ размѣровъ. Питаніе ледниковъ необходимо предполагать преимущественно подъ вліяніемъ NO холодныхъ вѣтровъ и также западныхъ, со стороны Каспія и Арала.

Зеравшанская группа содержитъ до тридцати большихъ ледниковъ. Главный Зеравшанскій (2.700), Бѣлый, Алашбай, Ахунъ, Назаръ-айлякъ 1-й, Назаръ-айлякъ 2-й, Поракъ, Ярхичъ, Рама (2 800), Фарахнау, Толстова, Скачкова, Миръ-аминъ, это по SW склону перевела Матча, а на NO находятся ледники Зардаля (3.480), два Матчинскихъ и три Саръ-Ташскихъ; по сосѣдству съ ними, на сѣверномъ склонѣ Алайскаго хребта, находится ледникъ Щуровскаго (3.219) и еще, по крайней мѣрѣ, семь ледниковъ, судя потому, что Федченко наблюдалъ на ледникѣ Щуровскаго не менѣе 6 рядовъ срединныхъ моренъ, да восточнѣе Зардаля въ верховьяхъ Яшилькуля недавно открыто нѣсколько (5—6) у перевала Таракъ. Изъ этихъ ледниковъ самый большой Зеравшанскій *), длина его 24 вер., а высота нижняго конца 2.700 м., всѣ другіе ледники лежатъ выше. Зеравшанская группа изслѣдована только отчасти, и весьма вѣроятно, что будущіе изслѣдователи откроютъ въ ней еще много большихъ ледниковъ, особенно по сѣверному склону Алайскаго хребта, между ледникомъ Щуровскаго и Зардаля. Въ той же группѣ много висячихъ мелкихъ ледниковъ, но число ихъ неизвѣстно.

Въ группѣ Мукъ-су залегаютъ три большихъ ледника: Федченко (4.300 м.), Танимаскій и Сель-су, изъ которыхъ Федченко до 20 вер. длиною. Въ группѣ Мустагъ-ата (7.650 м.) много ледниковъ отъ общей области питанія, но они не спускаются ниже 4.000—4.200 м.; вѣроятно, развитію ихъ препятствуютъ неблагопріятныя орографическія условія этой колоссальной горы **). Повидимому, и въ другихъ мѣстахъ Памира находятся ледники, но они совершенно не изслѣдованы.

Въ Алайскомъ хребтѣ на сѣверномъ склонѣ извѣстны ледники: въ верховьяхъ Караказыка (около 3.500, три ледника), Наурузъ (два ледника—3.700), Ой-Джайляу (3.500), Сарыкъ-моголъ и др.

Липскій ***) открылъ и описалъ много ледниковъ въ хребтахъ Гиссарскомъ и Петра Великаго. Ледники Гиссарскаго хребта относятся къ категоріи втораго порядка, залегаютъ на большой высотѣ и не спускаются ниже 10000′, имѣютъ обширные цирки и представляютъ короткіе ледопады (ледникъ Мушкетова). Въ хребтѣ Петра Великаго ледники относятся къ долиннымъ (Боральмазъ, Петра Великаго, Ошанина—фиг. 420), но оканчиваются также высоко.

Въ группѣ Манасъ въ Таласскомъ Алатау извѣстно нѣсколько большихъ ледниковъ, особенно развитыхъ въ верховьяхъ Майданъ-тала, Ой-таинка и Санталаша на южномъ склонѣ, а также на сѣверномъ по Бакапру, Кашка и Кошкарата. Въ Джебаглинской вѣтви Таласскаго Алатау ледники находятся на Кокъ-сай и Акъ-сай.

Въ системѣ Майданъ-тала и Чатана въ Таласскомъ Алатау Федченко ***) открылъ многочисленные (до 26) ледники второго порядка (фиг. 421—422), оканчивающіеся на высотахъ отъ 9730′ до 12200′.

Извѣстны также, но небольшіе, ледники въ Ферганскомъ хребтѣ, спускающіеся до 3.500 м. Гораздо больше развиты ледники въ Кунгей и Терской-Алатау. Въ первомъ можно насчитать болѣе десяти ледниковъ I-го порядка и до сотни II-го порядка; они сгруппированы, главнымъ образомъ, въ Чиликско-Кебинскомъ узлѣ, соединяющемъ Заилійскій и Кунгей-Алатау; они спускаются до 3.500—3.750 м. изъ нихъ болѣе подробно изучены только ледники Кой-су и Кебина.

Въ Терской-Алатау ледники имѣютъ мощное развитіе, но число ихъ даже при-

---

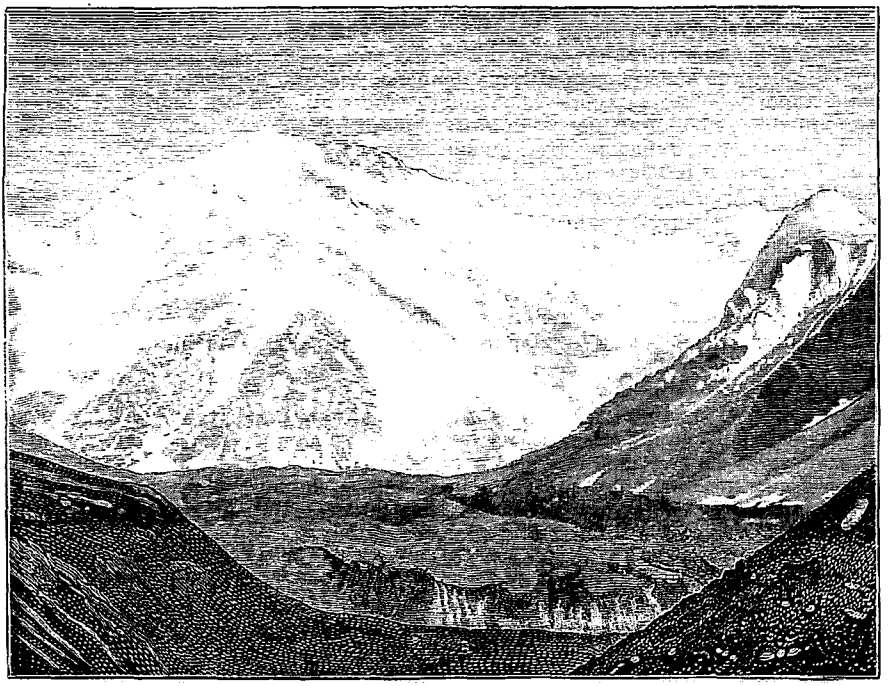
*) А. П. Федченко, Путеш. въ Туркестанъ, I, ч. II, 1875, стр. 78. Кромѣ сочиненія Федченко, свѣдѣнія о ледникахъ Тянь-шаня находятся въ статьяхъ: Семенова, Сѣверцова, Ошанина въ Изв. Геогр. Общ., 1881, XVII. Иванова, Изв. Геогр. Общ., 1884, XX и Зап. Мин. Общ., 1886, XXII; Мушкетова, Изв. Географ. Общ. 1881, XVII; Каульбарса, Мат. по геогр. Тянь-шаня, Зап. Геогр. Общ. 1875, V; Краснова и Игнатьева, Изв. Геогр. Общ. 1887, XXII.

**) S. Hedin, Die Gletscher des Mustag-ata. Zeitsch. d. Ges. f. Erdkunde in Berlin, 1894, XXIX и 1895, XXX, 1.

***) В. И. Липскій, Горная Бухара, 1902 и рядъ статей въ Изв. Геогр. Общ.

****) Федченко, Поѣздка въ западный Тянь-шань для изученія ледниковъ въ Таласскомъ Алатау, Изв. Геогр. Общ. 1898, т. XXXIV, в. IV.

близительно неизвѣстно. Главными ледниковыми центрами здѣсь являются Акъ-шійрякъ, откуда спускаются огромные ледники: Петрова (20 вер. длины и $1^1/_2$ вер. шириною), Мусъ-туръ, Колпаковскаго, Фриде, Барскоунъ, Заука, Заукшакъ и множество другихъ, еще неопредѣленныхъ; въ долинѣ Якъ-таса, по Краснову и Сапожникову, болѣе 5 ледниковъ; въ знаменитой группѣ Ханъ-тенгри (7.200) цѣлый рядъ большихъ ледниковъ спускается на юго-западной сторонѣ; изъ нихъ опредѣлены шесть ледниковъ Инылъчекъ, изъ которыхъ главный спускается до высоты 3.450 м., ледникъ Мушкетова (3.420 м., длиною 8 вер. до фирна), Семенова (3.390, длиною 10 вер. до фирна, до 10 притоковъ), Тезнынъ-басы, Байгаза, Тыной, Вектуръ, Тура-джерга; къ востоку отъ Ханъ-тенгри замѣчательны Музартскіе ледники, изъ которыхъ главный—Джипарлыкъ (длина 14 вер.), спускающійся ниже всѣхъ—до 2.820 м., не смотря на то, что лежитъ на южномъ склонѣ Музартскаго перевала. Къ югу отъ Ханъ-тенгри извѣстенъ ледникъ Савабцп. Общее число ледниковъ въ Тянь-



Фиг. 420. — Ледникъ Ошанина; видъ издали съ древней морены.

шанѣ точно опредѣлить невозможно, но во всякомъ случаѣ большихъ ледниковъ болѣе 100, а маленькихъ—до нѣсколькихъ сотъ.

Въ Джунгарскомъ Алатау, не смотря на его болѣе сѣверное положеніе, находятся только небольшіе ледники въ верховьяхъ Боротала, Біени, Каратала, Аксу, но они не изслѣдованы. Въ Тарбагатаѣ большихъ ледниковъ неизвѣстно.

На Алтаѣ проф. Сапожниковъ *) открылъ пять ледниковыхъ центровъ (болѣе 30 ледниковъ):

1. Горная группа Бѣлуха, гдѣ опредѣлено шесть большихъ, сложныхъ ледниковъ съ общей площадью оледенѣнія до 50 кв. в. Ледники: Берельскій (дл. 9 в.), Катунскій (или Геблера, дл. 8 в.), Черный, Акъ-кэмскій (или Родзевича, фиг. 423), Ядыгемскій (или Менъ-су) и Куркуре. Всѣ ледники оканчиваются на высотѣ около 2000 м.

2. Чуйскіе Бѣлки, гдѣ опредѣлено до 8 ледниковъ, изъ которыхъ ледникъ Іикъ-ту съ притоками занимаетъ до 18 кв. в.

3. Горы Бишъ-Іирду, извѣстно пока три ледника.

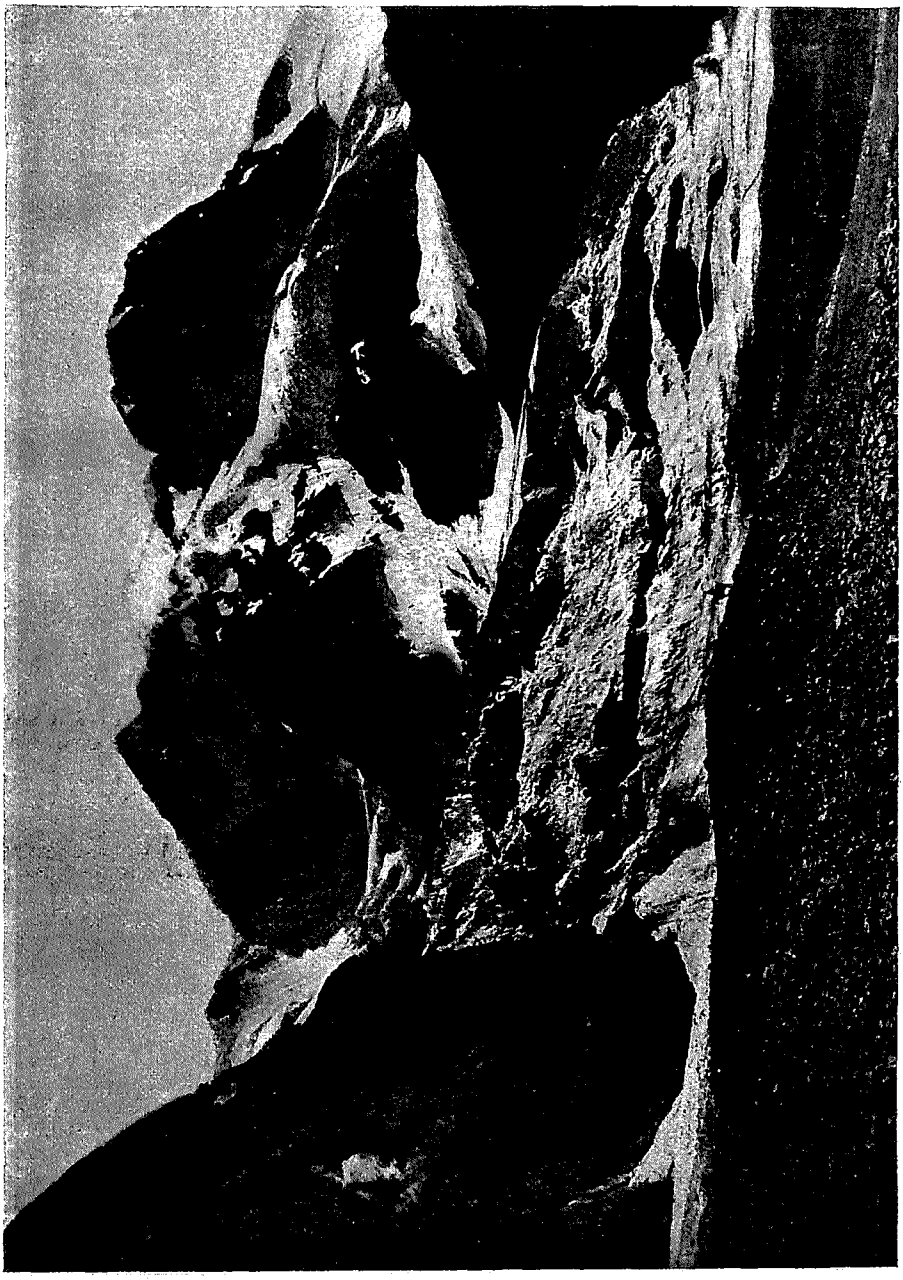
---

*) Алтайскіе ледники, Изв. Геогр. Общ. 1897, XXXIII, в. IV и Катунь и ея истоки, Томскъ, 1901.

4. Горы Табынъ-Богдоола, въ системѣ р. Калгутты (юго-восточный Алтай), гдѣ извѣстно уже 7 ледниковъ.

5. Рядомъ съ предыдущимъ, въ истокахъ р.р. Укёка, Каласа и Бухтармы.

Въ Восточной Сибири небольшіе ледники извѣстны около оз. Коссогола на горѣ Мунко-сардыкъ и въ Тургунскомъ и Харкиринскомъ бѣлкахъ (хр. Танну-ола).



Фиг. 421. — Ледникъ Карабулакъ, притокъ Майдантала.

Каракорумъ и Гималай. Наиболѣе значительное оледенѣніе для средней Азіи наблюдается въ Каракорумѣ, гдѣ извѣстны наиболѣе длинные ледники всей земли. Снѣговая линія находится на высотѣ 5300 и

5600 м.; осадки очень обильны въ высокихъ областяхъ, гдѣ вершины горъ поднимаются до 7000 и 8000 м. *)

Наибольшіе ледники принадлежатъ группѣ Балтистана: Аранду (дл. 48 кил., ш. $2^1/_2$ к., наклонъ $1^1/_2$—2; конецъ выше 3.300 м. въ истокахъ р. Баша), Зайтхаръ,

Фиг. 422. — Майдантальскій ледникъ, 6-ой отъ устья въ долинѣ Чатана.

Бальторо, Біафо, Чого (противъ Шайока и Инда)—всѣ они болѣе 50 кил. длиною и имѣютъ отъ 10 до 30 большихъ притоковъ. Бальторо въ группѣ Дапсанга (8.614 м.),

*) Conway, W. M., Climbing and Exploration in the Karakorum Himalaya. 1894.

въ верховьяхъ р. Бральду, имѣетъ 56 кил. длины, а Біафо—64 кил. Всѣ они оканчиваются на 3000 м., спускаясь ниже древесной растительности (3.500 м.).

Къ югу отъ Каракорума лежитъ массивный Гималай *), который уже находится

Фиг. 423. — Ледникъ Акъ-кемъ и Бѣлуха съ сѣвера.

подъ вліяніемъ влажныхъ SW муссоновъ, доставляющихъ обильные осадки, особенно на южномъ склонѣ, гдѣ поэтому ледники достигаютъ громаднаго развитія и спускаются

*) Freshfield and Prof. Garwood, On the Glaciers of the higher Himalayas, Geograph. Journ., 1902, апрѣль и іюль, также Carl Diener, Mitteilungen über eine Reise in Central-Himalaya, Zeitchr. d. deut. u. österr. Alpenver., 1895, B. XXVI.

на 1.000—1.200 м. ниже, нежели на сѣверномъ склонѣ, прилегающемъ къ сухой и жаркой центральной Азіи. Хотя Гималайскіе ледники изслѣдованы еще весьма мало, тѣмъ не менѣе извѣстно, что въ сѣверо-западномъ Гималаѣ и Загималаѣ (къ югу отъ Инда—между 33° с. ш. и 36° с. ш.—Кашмирскій Гималай), гдѣ высота снѣговой линіи отъ 4.800 до 5.650 м., находится много ледниковъ: восточнѣе Сетледжа въ группѣ Цанскара (многіе ледники до 25 кил. длиною), Нунъ-куна (7.134м.), между Нункуномъ и переваломъ Цоджи (ледн. Мечихой—3.300 м.), Тархингъ въ долинѣ Асторъ—самый низкій ледникъ—2.865 м. и много неизслѣдованныхъ ледниковъ въ горахъ Гангъ-лизъ-ри (24½°—31½° с. ш.), напр. въ группѣ Кайласъ (6.164—6.714 м.).

Въ среднемъ Гималаѣ и Загималайскихъ горахъ (Непалъ, Кумаонъ, Гарвалъ, Гнари 29°—33° с. ш.)—ледниковъ много, но болѣе извѣстны: Руфини или Куфини (3.444 м.), Пиндаръ (3.657 м.); въ истокахъ Багиратиганга нѣсколько ледниковъ, тоже у Нанда-деви (7.825 м.), гдѣ Милашъ спускается до 3.500 м., а въ Загималайскихъ горахъ—въ группѣ Ибп-Гашинъ.

Въ юго-восточномъ Гималаѣ и Загималайскихъ горахъ (Бутанъ, Сикким, Вост. Непалъ—отъ 27° до 29° с. ш.), изслѣдованныхъ еще менѣе предыдущихъ частей, ледниковъ много въ группѣ Кинчинжинга (8.582 м.) на границѣ, Сикким и Непала, Гаурисанкара (8.840 м.—самая высокая вершина на землѣ) и въ другихъ мѣстахъ.

Ледники Кинчинджинга по изслѣдованію Freshfield'a занимаютъ площадь въ 460 кв. км.

Переходя отъ Азіи черезъ Японію и Камчатку къ Сѣверной Америкѣ, мы не встрѣчаемъ по пути большихъ ледниковъ; въ Японіи только небольшія снѣговыя поля; въ Камчаткѣ ледники открыты въ Срединномъ хребтѣ и на группѣ Ключевскихъ вулкановъ.

Ледниковыя области Америки. Анды Южной Америки, ихъ продолженіе черезъ центр. Америку, Сіерра-Невада Калифорніи, Каскадныя горы и хребты Аляски образуютъ мощный непрерывный поясъ горъ, круто поднимающійся надъ Тихимъ океаномъ. Влажные вѣтры дуютъ съ запада, соотвѣтственно чему западный склонъ этого пояса гораздо богаче осадками, чѣмъ восточный.

Около экватора многія вершины Кордильеровъ поднимаются выше 6000 м., но онѣ имѣютъ только отдѣльныя снѣговыя пятна и незначительные ледники выше 4000 м., а части, расположенныя выше почти совершенно свободны отъ снѣга. Это объясняется очень крутымъ наклономъ верхнихъ частей такихъ вулканическихъ горъ и сухостью верхнихъ слоевъ воздуха. Такъ, Аконкагуа (подъ 33° ю. ш.) не смотря на 6834 м. высоты не покрыта снѣгомъ, хотя снѣговая линія здѣсь лежитъ только на 4000 м. На большихъ вулканахъ Экуадора *) снѣговыя поля покрываются слоями вулканическаго пепла, и вершины ихъ кажутся безснѣжными. Снѣга на этихъ вулканахъ способствуютъ образованію грозныхъ грязевыхъ потоковъ (avenidas) съ обломками горныхъ породъ, пепломъ, глыбами лавы и льда.

Высокія горы и нагорія Боливіи и Сѣв. Чили очень сухи, такъ какъ тамъ преобладаютъ восточные вѣтры, дующіе съ материка. Южнѣе 33° ю. ш., гдѣ начинаютъ преобладать влажные NW вѣтры, уже внѣшній видъ странъ измѣняется: вмѣсто пустынь и степей появляются лѣса, снѣговая линія съ 5000 м. подъ 36° ю. ш. спускается быстро до 2000 м., подъ 43° ю. ш., въ Корковадо до 1700 м., а подъ широтою Альпъ (46° 50′ ю. ш.) ледники спускаются уже почти къ морю, и, наконецъ, подъ 50° с. ш. даютъ уже айсберги. Наибольшее оледенѣніе извѣстно здѣсь въ Андахъ Чили **) и Патагоніи. Въ южномъ Чили (Ancud) годовое количество осадковъ 2,4 м.

*) Reiss u. Stübel, Reisen in Südamerika. Das Hochgebirge der Republik Ecuador. 1902.

**) R. Hauthal, Gletscherbilder aus d. argent. Cordillere. Zeitschr. d. d. u. ö. Alpenver., 1904.

Изъ вулкановъ центр. Америки многіе поднимаются выше снѣговой линіи (4900 м.) и имѣютъ только отдѣльные снѣжники или небольшіе ледники, какъ на Антизанѣ, Иллиниссѣ.

Сѣверныѣ горы замѣтно понижаются, и только подъ 35° с. ш. отдѣльныя вершины снова поднимаются выше снѣговой линіи *), напр. Mount Whitney (4357 м.) въ Сіерра Калифорніи и смежныя съ нею Mount Ritter и Mount Dana. На этихъ горахъ извѣстны только многочисленные незначительные ледники: самый крупный имѣетъ длину 1,6 км. Mount Shasta (41° 34′ с. ш.) въ Калифорніи представляетъ обособленный конусъ высотою 4300 м.; на немъ извѣстно 5 ледниковъ общей площадью въ 7,6 кв. км. Наиболѣе крупный, ледникъ Уитнея, имѣетъ длину 34 км., и ширину 300—600 м. Ледники опускаются до 2400 м. при высотѣ снѣговой линіи около 3000 м.

На подобномъ же обособленномъ конусѣ Mount Rainier (46° 47′ с. ш.) извѣстно уже 10 ледниковъ съ площадью до 100 кв. км. Снѣговая линія—2000 м., а ледники спускаются до 1200—1600 м. Mount Hood и Mount Baker (49° с. ш.) имѣютъ только незначительный снѣжный покровъ и небольшіе ледники, при высотѣ снѣговой линіи около 1600 м.

Болѣе внутреннее положеніе относительно Тихаго океана имѣютъ горы Selkirk (51° с. ш.), въ Скалистомъ хребтѣ, съ наиболѣе высокими вершинами Mount Sir Donald (3250 м.), M. Hooker и M. Murchison. Здѣсь уже находятся многочисленные ледники, съ наиболѣе изученнымъ Illecillewaet, который видѣнъ и хорошо доступенъ со станціи Glacier House Канадской жел. дороги. Снѣговая линія—2200—2300 м., а ледникъ оканчивается на 1460 м. Къ западу отсюда на о-вѣ Ванкуверъ снѣговая линія ниже (1700 м.), слѣдовательно она повышается въ сторону материка, какъ это увидимъ и въ другихъ мѣстахъ.

Наиболѣе интенсивное оледенѣніе въ С. Америкѣ представляетъ Аляска **). Въ прибрежной полосѣ на уровнѣ моря годовое количество осадковъ здѣсь достигаетъ 2 м., и даже южные отроги береговыхъ горъ, едва поднимающіеся до 1800 м., служатъ областями питанія мощныхъ ледниковъ, далеко превосходящихъ своими размѣрами европейскіе. Возможно, что здѣсь обнаруживается на количествѣ осадковъ вліяніе теплаго теченія Куро-Сиво. Лучше всего изученъ здѣсь ледникъ Муръ (Muir), который вмѣстѣ съ многими другими (Grand Pacific, Charpantier) спускается колоссальными потоками въ заливу Glacierbay (58° 40′ с. ш.). Площадь его, по изслѣдованіямъ Рида ***), равняется 1200 кв. км. Онъ составляется изъ многочисленныхъ притоковъ, области питанія которыхъ раздѣляются сильно расчлененными гребнями. Ледникъ спускается въ заливъ Muir inlet, шириною до 2,7 км., гдѣ и образуетъ айсберги. На ледникѣ находится нѣсколько озеръ, а поверхность его покрыта величественными моренами. Около нижняго конца ледника по берегу залива обращаютъ на себя вниманіе слоистыя отложенія (высотою до 30—50 м.)

*) Rusell, I. C. Glaciers of North America. 1901.

**) Harriman Alaska Exp.; Alaska, Vol. III. Gilbert, Gr. K., Glaciers and Glaciation, 1904.

***) Reid, Harry Fielding, Glacierbay and its Glaciers. 16 An. Rep. U. S. G. Surv., 1896, Part 1.

песка и щебня, которыя объясняются дѣятельностью подледниковыхъ водъ. Наблюденія подъ перемѣщеніемъ матеріала на этомъ ледникѣ имѣютъ особенное значеніе для объясненія многихъ особенностей ледниковъ прошлаго.

Снѣговая линія здѣсь проходитъ на 700 м., а дальше къ сѣверу въ области горъ Св. Ильи (5525 м.) и Mount Logan (5900 м.) опускается еще ниже, до 600—650 м. *). Количество осадковъ очень велико, но области питанія описаннаго уже ледника Маляспина сравнительно невелики и расположены на значительныхъ высотахъ до 4000 м. Сплошная масса мореннаго щебня покрываетъ поверхность ледника Маляспина отъ края по крайней мѣрѣ на 15 км.; высокій дремучій лѣсъ съ буйной травянистой растительностью растетъ на поверхности этой морены, занимая площади въ сотни кв. км. Несмотря на толщину этого мореннаго накопленія всего въ 1 м. и такую близость подъ почвой льда, успѣваетъ расти богатая флора, а животный міръ имѣетъ многихъ представителей гораздо болѣе теплыхъ странъ; такъ здѣсь калифорнійская колибри доходитъ до 61° с. ш., а на сухомъ холодномъ западномъ берегу полуострова Аляски моржъ спускается до 56° с. ш.

Къ группѣ Св. Ильи съ запада примыкаетъ цѣпь Alaskan Mountains; съ ея южнаго склона спускаются многочисленные ледники. Значительно сѣвернѣе залива Кука (Cook Inlet) въ мощной горной группѣ съ вершиной Mount Mc. Kinley (64° с. ш., 6240 м., самая высокая гора С.-Америки) открыты многочисленные ледники, одинъ изъ которыхъ длиною 45 км. и шириною 10—13 км. питаетъ р. Чулитна, наиболѣе значительный притокъ р. Шушитна (или Cook Riv.).

Внутреннія части Аляски отличаются холодомъ и сухостью; на Юконѣ, въ области Клондайка, подъ 65° с. ш. и 141° з. д. годовое количество осадковъ только 484 мм. Распространеніе ледниковъ тамъ до сихъ поръ остается почти неизвѣстнымъ. Можно думать, что снѣговая линія внутри страны поднимается, такъ уже около залива Linn Canal, къ западу отъ Glacierbay, на перевалѣ Чилькатъ (дорога въ Клондайкъ) снѣговая линія лежитъ выше 1200 м.

Условія развитія ледниковъ юго-восточнаго берега Аляски показываютъ съ особенной ясностью, что при влажномъ климатѣ, сравнительно высокой средней температурѣ и малыхъ ея колебаніяхъ въ теченіе года могутъ развиваться ледники, которые по своей мощности и распространенію, пожалуй, не уступаютъ ледникамъ предгорій Альпъ во время ледниковой эпохи.

Новая Зеландія. Ледники Новой Зеландіи представляютъ длинные, глубоко расположенные ледяные потоки, площадь которыхъ сравнительно съ ихъ фирнами гораздо больше, чѣмъ въ Альпахъ (такъ называемый Ново-Зеландскій типъ); другимъ отличіемъ ихъ служитъ необыкновенно сильное развитіе моренъ, такъ что нижніе концы ихъ большею частью сплошь закрыты каменнымъ покровомъ; условія океаническаго климата вызываютъ слабое таяніе ледниковъ, слѣдовательно значительную длину языковъ. Самый большой Тасманскій ледникъ по описанію г. Лендендфельда **) имѣетъ длину до 28 вер.

---

*) Rusell, Second Expedition to Mt. Elias in 1891. 13 An. R. U. S. G. S., 1893.
Filippo de Filippi, La Spedizione di il Princ. Luigi Amedeo di Savoia etc. al Monte Sant'Elia. 1900.

**) R. Lendenfeld, Der Tasman Gletscher und seine Umrandung. Erg.-Heft Pet. Mitt., № 75, 1884 и также № 87.

На юго-восточномъ склонѣ Центральныхъ Альпъ Новой Зеландіи извѣстны слѣдующіе важнѣйшіе ледники съ SW къ NO: у горы Дана, въ системѣ р. Вайтаки нѣсколько большихъ ледниковъ, изъ которыхъ замѣчательные: Мюллера (дл. 9,5 вер., ш. 1,5 в.), Гукера (дл. 12,5 в., ш. 1,5 в.), Гохштеттера—притокъ Тасманскаго (дл. 28 в., безъ фирна 16 вер., ш. 2,5 в.), и Мурчисона. Въ системѣ р. Текапо находятся ледники: Классена (дл. 12,5 в., ш. 3,5 в.), Годлэй (дл. 20 в., ш. до $5^1/_2$ в.), Титцегеральдъ и Маколэй. Въ системѣ р. Рангитата: Клиди, Лаврентія, Форбса и много мелкихъ. Въ системѣ р. Асбуртонъ, но особенно въ системѣ р. Какайя находятся ледники: Рамзая, Ляйэлля, Мартина, Камерона, Ниве, Матіаса; также извѣстны ледники въ системѣ рр. Ваймакарири, Гурупуи и пр.

На сѣверо-западномъ склонѣ находится много ледниковъ въ системѣ рр. Аравата (Касторъ и Поллуксъ), Гааста, Паринга, Карангаруа, Вайкукуна (Франца-Іосифа, Агассиса и др.), Хакитика, Тарамакау и др.

Гохштеттеръ считалъ на Новой Зеландіи до 50 долинныхъ ледниковъ. Къ наиболѣе значительнымъ относятся ледники Рамзая—11,2 км. длины и Ляйэлля—12,8 км.

Полную противоположность Ново-Зеландскому типу представляютъ ледники тропическаго типа, въ горахъ съ теплымъ лѣтомъ, гдѣ таяніе идетъ сильно и быстро почти безъ перерыва. Ледники Андъ и экваторіальной Африки *), этого типа представляютъ самыя крайнія формы таянія; усиленіе таянія темными камнями на поверхности ледника обусловливаетъ развитіе вертикальныхъ колодцевъ и трещинъ; фирновое поле часто представляетъ непрерывную сѣть ледяныхъ утесовъ и столбовъ; ледники короткіе, но мощные. Ледники такого типа развиваются преимущественно на вершинахъ вулкановъ въ древнихъ кратерахъ, и Ратцель называетъ ихъ ледниками шапкообразныхъ фирновъ вулканическихъ конусовъ. Въ аргентинскихъ кордильерахъ особой формой ледниковъ тропическаго типа является такъ называемый «снѣгъ кающихся» (las nievas penitentes); это обширныя ледяныя поля, ниже фирновой границы, превращенныя дѣйствіемъ солнца и вѣтра въ отдѣльные изрѣзанные пики и столбы (по Бракебушу). **).

Скандинавія. Вдоль западнаго берега полуострова протягивается значительная горная цѣпь, которая характеризуется платообразными высотами. Высокія пространства, расчлененныя только плоскими мульдами и куполами, такъ называемыя фіельды (Fjeld), покрытыя сплошь или частями обширными фирнами,—представляютъ наиболѣе типичную для Норвегіи форму оледенѣнія ***) (Юстедаль, Фольгефондъ, Лангефіельдъ). Гдѣ встрѣчаются альпійскія формы горъ, или по крайней мѣрѣ подобныя имъ, тамъ развиваются и ледники долинные, висячіе и каровые; въ особенности часто встрѣчаются послѣднія двѣ формы (въ Гальдхопигъ, Іотунгеймъ). Преобладающій типъ ледниковъ платообразныхъ горъ имѣетъ существенно иной характеръ въ зависимости отъ того, спускаются ли ледниковые языки (bræ) крутыми ущельями въ глубокія долины и фіорды или же нѣтъ. Въ первомъ случаѣ область питанія лежитъ на высотахъ, а область убыли въ долинахъ (Фольгефондъ, Юстедаль); во второмъ же и область убыли расположена на фіельдахъ (Лангефіельдъ, отчасти Іотунгеймъ). Въ этомъ послѣднемъ случаѣ фирновыя поля окружены различной ширины подножіемъ изъ льда; основныя формы фіельда здѣсь расчленены такъ слабо, что нигдѣ не возникаетъ настоящаго ледниковаго языка; если край льда лежитъ при этомъ не высоко на фіельдѣ, то ледъ нависаетъ надъ крутыми склонами въ формѣ широкой блестящей занавѣси, кой-гдѣ пересѣкаемой темными скалами.

---

*) Meyer, H., Der Kilimandjaro. Reisen und Studien. 1900.

Uhlig, C., Vom Kilimandjaro zum Meru, Zeitschr. d. G. f. Erd. zu Berlin, 1904, № 9, съ прекрасными фотографіями ледниковъ Кибо и Килиманджаро.

**) Hauthal, R., Büsserchnee (Nieve penitente). Zeitchr. d. deutch. u. öster. Alpenver., 1903, стр. 114, съ изображеніями этихъ формъ на Аконкагуа.

***) Richter, Die Gletscher Norwegens. Geogr. Zeitschr. 1896, 2.

Общая площадь фирна и льда Скандинавіи не менѣе 5000 кв. км., изъ которыхъ 4600 кв. км. приходятся на Норвегію. Наибольшее оледенѣніе сосредоточивается въ Средней Норвегіи, гдѣ обширныя фирновыя поля Фольгефондъ, Юстедаль, Хардангеръ, Іотунгеймъ и друг. покрываютъ по вычисленію Рихтера, около 3000 кв. км.

Рихтеръ приводитъ слѣдующія данныя для высотъ снѣговой линіи въ Норвегіи:

	Разстояніе отъ берега км.	Площадь кв. км.	Высота снѣговой линіи м.
Аальфотбрэ . . .	30	125	1100—1300
Фольгефондъ . .	60	288	1450—1500
Юстедаль	100	1076	1600—1650
Іотунгеймъ. . .	180	207	1900

показывающія, что снѣговая линія повышается съ удаленіемъ отъ моря.

На всѣхъ фіельдахъ можно видѣть вершины высотою болѣе 2000 м. свободными отъ снѣга, притомъ не какіе нибудь острые пики, а куполообразныя, на которыхъ фирнъ могъ бы образоваться. Южные склоны остаются свободными даже до высоты 2100—2200 м.; наоборотъ на сѣверныхъ склонахъ находятся низкіе фирновые цирки (такъ наз. botner). Очевидно, что положеніе, благопріятное для инсоляціи, дѣятельность вѣтра и орографическія условія оказываютъ здѣсь большое вліяніе на высоту снѣжной линіи.

Въ Юстедаль и Фольгефондъ фирновая (снѣговая) граница не совпадаетъ съ краемъ плоскогорій; она лежитъ выше, слѣдовательно болѣе или менѣе значительныя части окраины ледяного покрова подвергаются таянію, и убыль этого покрова происходитъ не только черезъ низко опускающіеся ледники, но также и по краямъ его. Въ Юстедаль и Лангефіельдъ Рихтеръ видѣлъ на постоянно затѣненной сѣверной сторонѣ склоновъ плоскогорья снѣговыя поля, не имѣющія никакой связи съ общимъ фирномъ, но въ своихъ нижнихъ частяхъ превращенныя въ ледъ со всѣми особенностями ледника, какъ полосчатость и трещины; такія формы скопленія льда, не имѣющія никакой орографически выраженной области питанія, Рихтеръ называетъ Schneewehengletscher, т. е. ледники навѣянные.

Въ сѣверной Норвегіи наиболѣе значительной ледниковой группой является Swartisen, между 66° 20′ и 67° с. ш., высотою около 1450 м. На ея западной сторонѣ расположенъ ледниковый покровъ площадью до 450 кв. км., отъ котораго расходятся многочисленные крупные ледники (Nordfjordbrae, Fandalsbrae, Engobrae). На восточной же сторонѣ находятся ледники альпійскаго характера. Снѣговая линія здѣсь на 1000—1100 м. Южнѣе нѣсколько массивъ Oxtinder имѣетъ ледниковый покровъ въ 80 кв. км., представляя уже переходъ къ альпійскому типу. На Börgefield (65° с. ш.) находятся только отдѣльные каровые ледники.

На отдаленномъ сѣверѣ Норвегіи извѣстно еще нѣсколько ледниковыхъ областей и платообразныхъ ледниковъ, совершенно почти не изслѣдованныхъ. Изъ нихъ Jökulfield (70° 10′) имѣетъ площадь около 190 кв. км., при снѣговой линіи около 800 м.

На Шведской сторонѣ Скандинавскихъ горъ въ Финмаркенѣ (67—68° с. ш.) находятся ледниковыя группы Almajalos (22 кв. км.), Сулительма (40 кв. км.) и др. Снѣговая линія проходитъ выше 1200 м., но ниже 1500 м. Ледники альпійскаго характера, но съ небольшими языками, опускающимися до 900 м.

Западный склонъ Скандинавскихъ горъ обнаруживаетъ большое однообразіе въ положеніи нижнихъ концовъ ледниковъ, именно между изогипсами 600 и 800 м. на всемъ протяженіи отъ 59° до 70° с. ш. Это показываетъ, что ледниковыя ложа разработаны здѣсь значительно однообразнѣе, чѣмъ, напр., въ Альпахъ и на Кавказѣ.

Исландія (63° с. ш. до полярн. круга). Площадь, покрытая фирнами и льдомъ, составляетъ 13400 кв. км., т. е. почти пятую часть всего острова, и въ три раза больше площади снѣга и льда въ Альпахъ.

Снѣговая линія на южной сторонѣ острова проходитъ на 600 м., на сѣверной—на 870—900 м., а во внутреннихъ частяхъ острова отдѣльныя горы высотою до 1100—1300 м. остаются непокрытыми снѣгомъ. Исландія находится подъ вліяніемъ теплаго теченія Гольфстрема и холоднаго восточно-гренландскаго; этимъ объясняется неравномѣрность климата Исландіи, слишкомъ значительная при океаническомъ положеніи острова; такъ лѣтнія температуры на южномъ и сѣверномъ берегу составляютъ 11° и 8°, а зимнія 0° и —4°. Вліянію Гольфстрема слѣдуетъ приписать и сильныя колебанія температуры зимою, не благопріятствующія накопленію снѣга, какъ было указано раньше.

Наиболѣе значительныя ледниковыя площади Исландіи *):

Vatnajökull **) . . .	8500 кв. км.	1400—1900 м.	высота
Hofs »	1350 » »	1700 »	»
Eang »	1300 » »	1400 »	»
Myrdals »	1000 » »	1500 »	»
Drynga »	350 » »	890 »	»

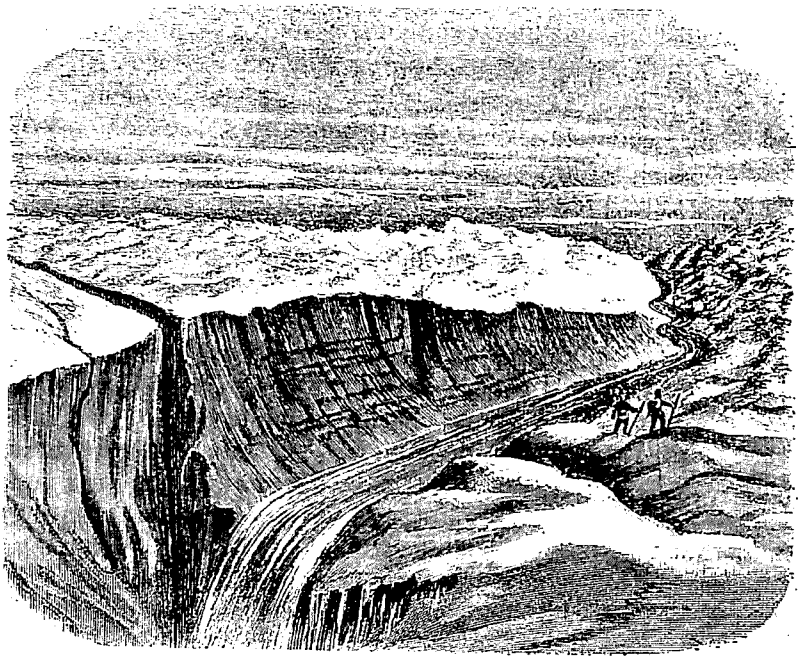
Кромѣ этихъ площадей есть нѣсколько меньшихъ и ледники альпійскаго характера въ Фаскрудфіордѣ. Большіе ледниковые покрывы даютъ многочисленные ледники. Наиболѣе извѣстные отъ Vatnajökull: Skeidararjökull — дл. 20 км., мощность льда 314 м.; Breidamerkurjökull — покрываетъ площадь въ 400 кв. км., мощность льда 100—150 м. Этотъ ледникъ покрываетъ пространства, которыя въ XIV столѣтіи были культурными землями. Ни одинъ изъ исландскихъ ледниковъ не достигаетъ до моря, но большинство оканчиваются на весьма незначительной высотѣ, такъ Skeidararjökull на высотѣ 61 м. Впереди ихъ расположены обшир-

*) Th. Thoroddsen, Isländische Gletscher. Peterm. Mitt., 1892.

**) jökull — ледникъ. Въ Исландіи различали Hoch-jökull и Tall-jökul, соотвѣтствующіе ледникамъ перваго и второго порядка, раньше, чѣмъ такое дѣленіе было установлено въ наукѣ.

ныя аллювіальныя отложенія песка и щебня; холмы такихъ отложеній подледниковыхъ водъ называютъ тамъ зандрами (Sandr).

Другой особенностью исландскихъ ледниковъ служитъ, что области питанія ихъ расположены частью на дѣйствующихъ вулканахъ; въ періодъ изверженія слои фирна покрываются слоями пепла; потоки лавы изливаются на поверхность ледниковъ, способствуя образованію грандіозныхъ потоковъ воды и грязи. Иногда изверженія происходятъ непосредственно подъ льдомъ, и тогда вмѣстѣ съ вулканическими выбросами по-



Фиг. 424. — Общій видъ гренландскаго ледниковаго покрова, съ поверхностными потоками и водопадами.

токи воды выносятъ глыбы льда; это явленіе называютъ изверженіемъ ледника (Jökullhlaupt).

На небольшомъ островѣ Янъ Маейнъ (Jan Maeyn), расположенномъ одиноко въ Ледовитомъ океанѣ, на сѣверной сторонѣ вулканическая гора Beerenberg (2545 м.) поднимается значительно выше снѣговой линіи (700—800 м.). Куполообразная гора покрыта снѣговымъ покровомъ, до 70 кв. км., дающимъ на NW три и на O—шесть ледниковъ длиною отъ 1 до 4 км., спускающихся до моря.

Гренландія. Материкъ Гренландіи почти всей своей площадью расположенъ выше полярнаго круга (отъ 60° до 83°39′ с. ш. и между 20° и 70° з. д.). Западный берегъ болѣе доступенъ и поэтому лучше изслѣдованъ, а восточный къ сѣверу отъ 77° с. ш. остается почти совершенно не извѣстнымъ.

Первую крупную попытку проникнуть вглубь Гренландіи сдѣлалъ Норденшельдъ въ 1883 г., когда ему удалось пройдти подъ 70° с. ш.

почти до половины разстоянія между зап. и вост. берегами. Въ 1888 г. Нансенъ *) пересѣкъ Гренландію къ сѣверу отъ 64° с. ш., сдѣлавъ на лыжахъ въ 40 дней переходъ въ 560 км. Пири (R. E. Peary) въ 1892 г. и 1895 г. проникъ въ наиболѣе сѣверныя части Гренландіи. Многочисленныя экспедиціи какъ прежнія, такъ и послѣдняго времени, въ особенности Дригальскаго (1891 — 93 г.г.), достаточно познакомили съ окраинами Гренландіи подъ различными широтами.

Всѣ эти изслѣдованія показали, что внутренняя часть Гренландіи представляетъ сплошной фирново-ледниковый покровъ (фиг. 424), заполняющій всѣ углубленія, и только выдающіяся вершины выступаютъ среди фирна и льда, въ видѣ изолированныхъ острововъ, называемыхъ въ Гренландіи нунатаки (фиг. 425). Кромѣ нунатаковъ, только узкая окраинная по-

Фиг. 425. — Гренландскіе нунатаки, т. е. скалы, выступающія среди льда.

лоса Гренландіи свободна отъ льда, и то не вездѣ; многочисленные фіорды, прорѣзывающіе ее, въ особенности на сѣверѣ заняты мощными ледниками, которые представляютъ какъ бы отроги или вѣтви сплошного покрова, получившаго въ отличіе отъ окраинныхъ ледниковъ названіе внутренняго или материковаго льда (Binneneis, Inlandeis) или, по гренландски, сермерсоакъ (большой ледъ). Площадь его исчисляется приблизительно въ 1,9 милл. кв. км.; вся извѣстная до сихъ поръ площадь Гренландіи составляетъ 2,1 милл. кв. км., слѣдовательно площадь льда и фирна въ 9—10 разъ больше площади окраинной полосы. Хотя сермерсоакъ далеко еще не изслѣдованъ, тѣмъ не менѣе путешественники, проникавшіе во внутрь Гренландіи, преимущественно съ западнаго берега, между 62° и 78° с. ш., свидѣтельствуютъ, что поверхность его, съ

*) Nansen, Fr., Auf Schneeschuhen durch Grönland, 1889, но въ особенности: Mohn und Nansen, Wissenschaftliche Ergebnisse von Dr. F. Nansens Durchquerung von Grönland 1888. Erg.-H. Pet. Mitt. № 105, 1892.

удаленіемъ отъ берега, значительно поднимается: такъ, Бессельсъ и Гай (Bessels и Hayes), прошедшіе около 100 кил. подъ 78° с. ш. внутрь страны, нашли высоту 1550 м.; Іенсенъ въ разстояніи 76 кил. подъ $62^1/_2$° с. ш. нашелъ 1570 м. высоты; Норденшельдъ даетъ высоту въ 2000 м. на разстояніи почти 300 км. отъ берега, съ указаніемъ, что далѣе внутрь она еще болѣе увеличивается. Высшая точка пути Нансена—2720 м. лежитъ нѣсколько ближе къ восточному берегу. Наиболѣе высокая точка Гренландіи опредѣлена на восточномъ берегу (Petermannspitze, 3500 м.) въ вершинѣ глубоко врѣзывающагося въ сушу фіорда имп. Франца-Іосифа. Ледяной покровъ Гренландіи достигаетъ наибольшей высоты, повидимому, вдоль линіи, расположенной нѣсколько ближе къ восточному берегу и измѣняющейся отъ 2300 м. на югѣ (по Garde), до 3500 м. въ серединѣ, и 2500 м. на сѣверѣ (по Пири). Нансенъ сравниваетъ эту форму съ щитомъ, поверхность котораго приняла форму, близкую къ математической — шара, подчиняясь исключительно пластическимъ свойствамъ самого льда.

Дригальскій *) сопоставляя всѣ наши свѣдѣнія о распространеніи ледниковаго покрова въ Гренландіи, указываетъ на болѣе сложное отношеніе его къ своему основанію.

Южная оконечность Гренландіи представляетъ высокую горную страну, расчлененную многочисленными фіордами и заливами. Значительныя высоты поднимаются до 2000 м. и больше; ихъ заостренныя формы не носятъ, по мнѣнію Гольма и Гардэ, никакихъ слѣдовъ какой-либо обработки льдомъ. Отдѣльные участки покрыты покровами льда типа Hochlandeis, посылающими многочисленные ледники, часто спускающіеся до моря (Ивигтутъ, Юліансгаабъ).

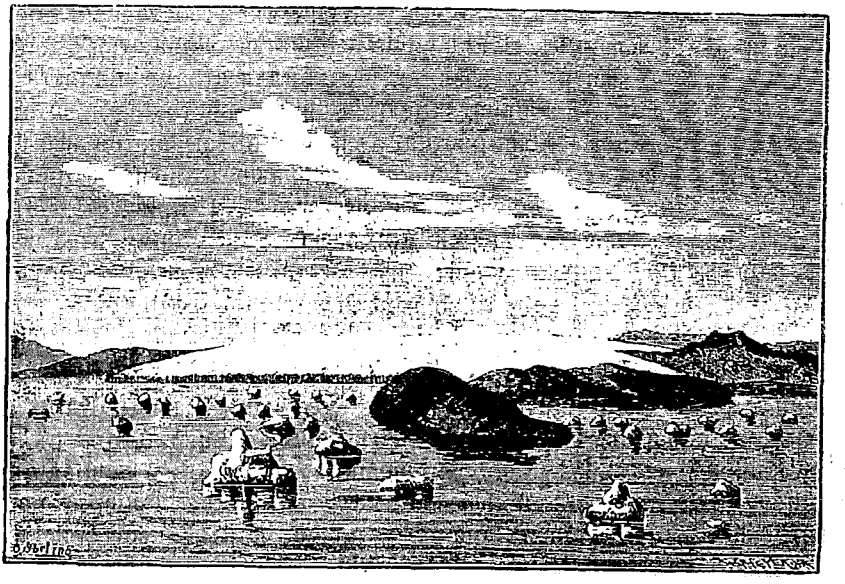
Къ сѣверу отроги этой горной страны распространяются вдоль восточной стороны Гренландіи. Отдѣльные покровы льда начинаютъ между собою соединяться, заполняя однимъ внутреннимъ покровомъ все пространство между узкими береговыми полосами, свободными отъ льда. Только самыя высокія вершины горъ поднимаются еще надъ этимъ покровомъ на востокѣ и югѣ въ видѣ нунатакъ. Къ 62° с. ш. исчезаютъ и эти слѣды гористаго основанія; остается только необозримый однородный внутренній ледниковый покровъ, съ замѣтнымъ наклономъ поверхности къ западу соотвѣтственно наклону основанія. Ледники даже самые значительные, какъ Фредериксгаабъ шириною до 12 м. (фиг. 416), рѣдко достигаютъ до моря.

Тѣмъ не менѣе можно отмѣтить рѣзкій контрастъ между восточной и западной стороной Гренландіи къ сѣверу отъ 62° с. ш. На восточной сторонѣ сначала можно еще прослѣдить продолженіе горной страны юга; дальше къ сѣверу она скрывается совершенно подъ ледянымъ покровомъ, но около 69° с. ш. горная страна замѣтно расширяется къ востоку, до-

*) Grönland-Expedition, I, 1897, главы VII и XVIII. Въ сочиненіи Дригальскаго съ достаточной полнотою извлечены и главнѣйшіе результаты трудовъ Holm, Garde, Knutsen, Eberlin, Kornerup, Jensen, Ryder и другихъ участниковъ датскихъ экспедицій на Гренландію; отчеты этихъ экспедицій, иногда съ извлеченіями на французскомъ языкѣ, печатаются съ 1879 г. въ рядѣ томовъ „Meddelelser om Grönland etc.“, богато иллюстрированныхъ картами и рисунками.

стигая своими вершинами до 3000 м. Глубокіе фіорды отдѣляютъ отъ нея отдѣльные участки, какъ на южной оконечности, покрытыя мощными ледяными покровами, какъ бы оторванными отъ внутренняго. О ширинѣ этой горной страны, къ западу совершенно скрытой подъ внутреннимъ покровомъ, можно только догадываться по линіи наибольшаго поднятія поверхности внутренняго покрова.

Въ противоположность горной странѣ восточнаго берега, скрытой совершенно подъ ледянымъ покровомъ, сливающимся съ внутреннимъ, гористое западное побережье Гренландіи составляетъ самостоятельную систему, въ которую льды проникаютъ съ востока. До 69° с. ш. высоты этого побережья незначительны и рѣдко гдѣ покрываются отдѣльными



Фиг. 426. — Гренландскій ледникъ, спускающійся къ морю въ Аулайттифіордѣ.

ледниковыми покровами; только немногіе фіорды достигаютъ до окраины внутренняго покрова. Къ сѣверу отъ 69° с. ш. съ запада распространяются значительныя заливы, пересѣкающіе береговое пространство и врѣзывающіеся многочисленными фіордами въ окраину внутренняго покрова; эти фіорды широкіе и глубокіе принимаютъ въ себя колоссальныя массы внутренняго покрова (ледники Upernevikslаnd и Umanaksland — Каралякъ, Уміамакъ, Тарсукатакъ, Якобсгаабъ и друг.), обломки котораго въ видѣ айсберговъ достигаютъ и открытаго моря (фиг. 426).

Острова и полуострова, какъ Диско, Нугсуакъ, Агпатъ и другіе, достигаютъ значительной высоты и несутъ обширные самостоятельные (Hochlandeis) покровы льда или совершенно изолированные, или частью соединяющіеся съ внутреннимъ. Отъ этихъ покрововъ отдѣляются окраинные ледники, какъ Серміарсутъ, Асакакъ, Комэ и друг. Но эти покровы, если и соединяются съ внутреннимъ, то только лишь потому, что они возникли на высотахъ, до которыхъ съ запада достигли отпрыски вну-

тренняго покрова. Округленныя очертанія многихъ скалъ и склоновъ, въ противоположность восточному берегу, носятъ часто слѣды обработки ихъ льдомъ, свидѣтельствуя о прежнемъ большемъ распространеніи ледяныхъ массъ, почти до самыхъ крайнихъ шхеръ въ морѣ.

Изолированные покровы западнаго берега Гренландіи, лежащіе тамъ, гдѣ они возникли, представляютъ наиболѣе ясныя формы Hochlandeis, т. е. покрова, тѣсно связаннаго съ формами основанія. На южной оконечности Гренландіи и восточномъ берегу тѣ же формы сливаются слишкомъ тѣсно съ внутреннимъ покровомъ; тамъ нельзя уже отличить формъ основанія, опредѣляющихъ предѣлы распространенія такихъ отдѣльныхъ покрововъ.

Въ наиболѣе сѣверной части Гренландіи, изслѣдованной благодаря экспедиціямъ Пири, контрастъ между западнымъ и восточнымъ берегами исчезаетъ, такъ какъ формы Hochlandeis все болѣе сливаются съ внутреннимъ покровомъ. Къ сѣверу отъ залива Мельвилля страна покрыта только внутреннимъ покровомъ, распространяющимся съ востока; береговая полоса, свободная отъ льда, расширяется, а фіорды врѣзываются все глубже. Въ эти фіорды оканчиваются самые колоссальные ледяные потоки Гренландіи, какъ ледникъ Гумбольдта (шириною до 45 м. при устьѣ въ море) въ заливѣ Канэ и ледникъ Foetal въ заливѣ Мк. Кормика. Такъ какъ внѣшнія берега Гренландіи къ сѣверу отъ 77° с. ш. начинаютъ сближаться, то сѣвернѣе можетъ лежать область, какъ предполагаетъ Пири, къ сѣверу отъ 82° с. ш., гдѣ фіорды съ обѣихъ сторонъ встрѣчаются, и внутренній покровъ совершенно ограничивается.

Горная страна восточнаго берега въ сочетаніи съ высотами юга и сѣверо-запада опредѣляетъ нѣчто въ родѣ необозримаго цирка съ естественнымъ стокомъ къ западу, соотвѣтственно очертаніямъ основанія; восточное побережье представляетъ область питанія, или лучше зарожденія оледенѣнія какъ соединенія фирновыхъ полей, а западный берегъ — конечную область оледенѣнія. Это подтверждается какъ нѣкоторыми особенностями льда, именно распространеніемъ кріоконита, такъ и отношеніемъ льда къ нунатакамъ.

Кріоконитомъ Норденшельдъ назвалъ пыль, покрывающую мѣстами поверхность ледниковаго покрова; она частью космическаго происхожденія, частью органическаго или представляетъ продуктъ вывѣтриванія породъ Гренландіи. Кріоконитъ совершенно отсутствуетъ на поверхности фирна и льдовъ восточнаго берега и очень обиленъ на западной сторонѣ, потому что въ области фирна онъ поглощается снѣгомъ по мѣрѣ его пониженія, а въ конечной области, по мѣрѣ таянія льда, происходитъ обогащеніе имъ поверхности покрова. На восточной сторонѣ фирнъ покрываетъ склоны нунатакъ; на западной между ними и льдомъ всегда можно замѣтить довольно глубокія щели, какъ слѣдствіе таянія льда подъ вліяніемъ болѣе нагрѣвающихся темныхъ породъ.

Необъятный внутренній покровъ Гренландіи, изолированные покровы (Hochlandeis) и окраинные ледники (Küstengletscher) представляютъ рядъ формъ, примыкающій послѣдними къ обыкновенному типу альпійскихъ ледниковъ.

Новая Земля. По изслѣдованіямъ Чернышева *) въ 1895 г. на Новой землѣ проявляются три типа оледенѣнія: область сплошного оледенѣнія, на подобіе Гренландскаго и на Шпицбергенѣ; область ледниковъ мѣстныхъ, альпійскаго типа, и область фирновыхъ полей неподвижнаго льда, такъ называемые недоразвитые ледники. Первая область лежитъ, какъ это было уже указано Гёферомъ, къ сѣверу отъ Крестовой губы, вторая — къ сѣверу и югу отъ Маточкина шара, до Безымянной губы, и, наконецъ, областью развитія фирновыхъ полей служитъ вся часть Новой Земли къ югу отъ Безымянной губы.

Строго разграничить, однако, одну область отъ другой не представляется возможнымъ, такъ какъ къ сѣверу отъ Маточкина шара наблюдается переходъ отъ мѣстныхъ ледниковъ къ сплошному оледенѣнію; равнымъ образомъ, въ области ледниковъ альпійскаго типа наблюдаются на склонахъ горъ значительныя скопленія фирноваго льда, которыя, какъ уже замѣчено Гёферомъ, связаны рядомъ промежуточныхъ стадій съ типомъ висячихъ ледниковъ альпійскаго характера.

Наиболѣе обширное распространеніе фирновыхъ полей неподвижнаго льда проявляется къ югу отъ Безымянной губы, гдѣ конфигурація мѣстности имѣетъ характеръ типичнаго плато размыва. По структурѣ фирновый ледъ тождественъ съ льдомъ ледниковъ, мощность его достигаетъ нѣсколькихъ десятковъ метровъ, горизонтальное же распространеніе отдѣльныхъ полей льда достигаетъ нерѣдко нѣсколькихъ десятковъ километровъ.

Южная около-полярная область. Послѣднія экспедиціи бельгійская («Belgica»), шведская («Antarctic»), нѣмецкая («Gauss») и англійская («Discovery») вполнѣ подтвердили, что къ югу отъ почти непрерывныхъ ледяныхъ полей, начинающихся уже подъ 64° ю. ш., находится континентъ, который поднимается до 2700 м. подъ 80° ю. ш. Только что вернувшаяся экспедиція «Discovery» (кап. Scott) проникла вглубь земли Викторіи (78°—80° ю. ш.), встрѣчая повсюду высокое нагоріе (2700 м.), съ отдѣльными непокрытыми льдомъ вершинами на восточномъ берегу земли. Борхгревинкъ (1901 г.) прослѣдилъ распространеніе ледяного континента къ западу, а нѣмецкая экспедиція «Гаусса» (Дригальскаго) встрѣтила этотъ материкъ подъ южнымъ полярнымъ кругомъ, доказавъ его распространеніе на 10° долготы отъ извѣстныхъ раньше крайнихъ его точекъ на востокѣ. Эта экспедиція показала присутствіе внутренняго ледниковаго покрова, спускающагося къ морю непрерывно на протяженіи вѣроятно около 17000 км. Этотъ колоссальный покровъ, не менѣе 13 милл. кв. км., прежде былъ еще больше, какъ показали слѣды прежняго покрытія льдомъ вершины горы Гаусса (тоже подтверждаетъ для другой части континента «Discovery»), слабо выдающейся въ видѣ плоскаго конуса среди окружающаго его ледниковаго покрова **). Экспедиція «Belgica», какъ мы говорили раньше, подъ тѣми же широтами, но въ разстояніи почти 180° долготы отъ области изслѣдованій «Гаусса», видѣла высокую гористую страну (Alexander-Land) съ ледниками типа Маляспина.

Шведская экспедиція О. Норденшельда, изслѣдовавшая землю Грагама, ближайшую къ землѣ Александра, видѣла высокую горную страну съ мощными долинными ледниками, а дальше вглубь, нагоріе скрывающееся подъ сплошнымъ покровомъ льда.

Антарктическія экспедиціи подтверждаютъ также распространеніе ледяного покрова на значительныхъ пространствахъ непосредственно въ море, какъ это было впервые показано Россомъ на основаніи значи-

---

*) Ѳ. Чернышевъ, Новоземельская экспедиція 1895 года. Изв. Географ. Общ., т. XXII, вып. 1, 1896, стр. 24.

**) Drygalski, Bericht über Verlauf und Ergebnisse der Deutschen Südpolar-Expedition. Zeitsch. d. Ges. f. Erdk. zu Ber., 1904, № 1.

тельныхъ глубинъ (до 290 саж.) около самого края антарктической ледяной стѣны (Eisschranke). Подобное же явленіе, въ меньшемъ масштабѣ, наблюдается и около береговъ Шпицбергена.

Острова южно-полярной области имѣютъ ледники такого же характера, а къ сѣверу отъ южнаго полярнаго круга, напр., на Южной Георгіи и Кергуэленѣ появляются мощные ледники альпійскаго типа.

Площадь оледенѣнія на землѣ. Гессъ приводитъ слѣдующую табличку площадей, занятыхъ фирномъ и льдами:

Европа	Альпы	> 3800 кв. км.
	Пиренеи	40 » »
	Скандинавія	5000 » »
	Исландія и Янъ-Маейнъ . .	13470 » »
	Кавказъ	> 1840 » »
Азія:	Средняя Азія и Сибирь	10000 » »
Америка:	Сѣв. Америка и Аляска . .	20000 » »
	Южн. Америка	10000 » »
Африка	. . . . .	20 » »
Австралія:	Новая Зеланція	> 1000 » »
Полярныя страны:	Гренландія	1900000 » »
	Шпицбергенъ . . .	56000 » »
	З. Франца-Іосифа .	17000 » »
	Новая земля . . .	15000 » »
	Архип. о-въ Сѣв. Ам.	> 100000 » »
	О-ва южно-пол. обл.	3000 » »
	Южно-пол. материкъ.	13000000 » »
Общая площадь ледниковъ . . .		> 15156000 кв. км.

Площадь оледенѣнія занимаетъ приблизительно 3% всей земной поверхности или около 10% поверхности суши и эта цифра скорѣе меньше дѣйствительной.

Наиболѣе значительная часть приходится на полярныя области, а оледенѣніе высокихъ горъ умѣренныхъ поясовъ составляетъ менѣе, чѣмъ 0,5% всей площади ледниковъ.

Образованіе ледниковъ.

Снѣгъ высокихъ горъ подъ вліяніемъ лучей солнца оплавляется и превращается въ зернистый снѣгъ, или фирнъ: послѣдній, цементируясь замерзающею водой, даетъ фирновый ледъ, который подъ вліяніемъ давленія уплотняется, выдѣляетъ воздухъ и постепенно переходитъ въ плотный ледниковый ледъ прекраснаго голубого цвѣта. Фирнъ можно сравнить съ пескомъ, фирновый ледъ—съ конгломератомъ, а ледниковый ледъ представляетъ зернисто-кристаллическій аггрегатъ льда. При этомъ превращеніи значительно возрастаетъ плотность: такъ, по словамъ Рихтгофена *), кубическій метръ свѣжаго снѣга вѣситъ 85 килогр., тогда

*) Richthofen, Führer, стр. 215.

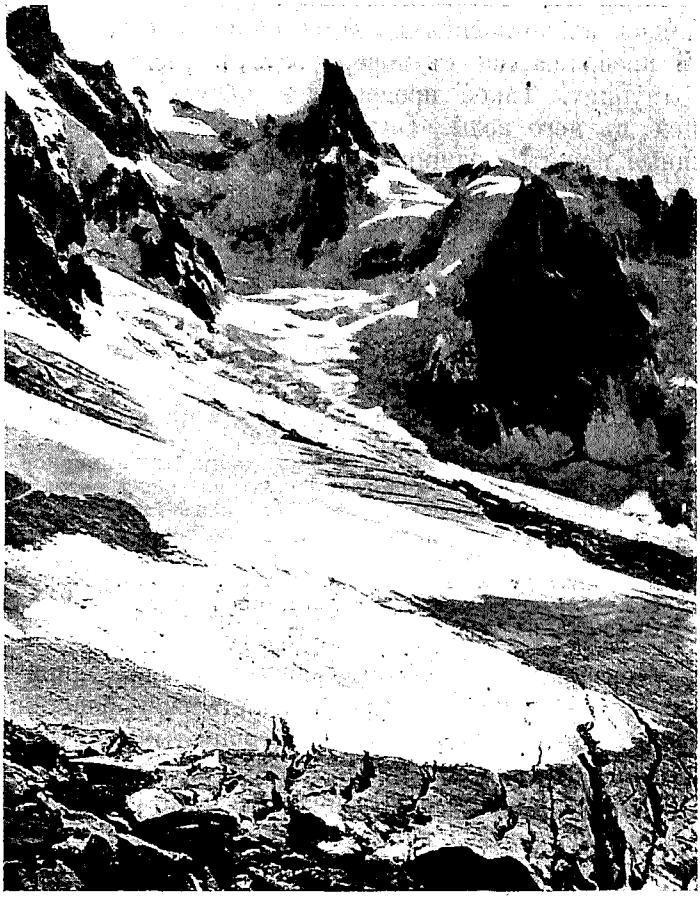
какъ куб. мет. фирноваго льда — отъ 500 до 600 килгр., а ледниковаго льда—отъ 900 до 960 килгр.

Снѣгъ высокихъ горъ. Снѣгъ высокихъ областей рѣдко бываетъ клочковатый, а чаще въ видѣ маленькихъ блестящихъ иголочекъ или звѣздочекъ, которые при вѣтрѣ превращаются въ зерна въ родѣ крупы. Этотъ порошковатый сухой снѣгъ называется снѣгомъ высокихъ горъ или порошковатымъ снѣгомъ (Hochschnee, neige poudreuse, Шлагинтвейтъ называетъ его Hörnerschnee). Покрывая высокія горы и особенно скопляясь въ котловинахъ, этотъ снѣгъ претерпѣваетъ нѣкоторыя измѣненія и превращается съ поверхности въ ледъ, а лѣтомъ даже на нѣкоторую глубину. Такое превращеніе обусловливается замерзаніемъ проникающей въ него воды. Снѣгъ и ледъ высокихъ горъ образуютъ иногда мощные пласты, толщиною 70—90 м.; напр. Геймъ наблюдалъ на Юнгфрау въ 90 м., на вершинѣ Монблана въ 50 м. и т. д.; на крутыхъ склонахъ онъ образуетъ тонкій покровъ, обледенѣвшая корка котораго разламывается отъ вѣтра и постоянно скатывается внизъ; нельзя вступить на такую поверхность, чтобы не произвести цѣлый потокъ, такъ сказать, ледяныхъ черепковъ. Температура такого снѣга очень низка, напр. на Монбланѣ на глубинѣ 0,20 м. она никогда не поднимается выше —8,2°, и естественно, что ходьба по такому рыхлому снѣгу составляетъ одно изъ тяжелыхъ испытаній даже для привычныхъ альпинистовъ.

Снѣговыя вершины часто имѣютъ форму дюны, принимаемой снѣгомъ подъ вліяніемъ преобладающаго вѣтра; уплотненіе подъ вліяніемъ вѣтра придаетъ этимъ формамъ значительное постоянство. Но это постоянство лишь формы, а не въ самой массѣ снѣга, который, уплотняясь, перемѣщается постепенно книзу, такъ что гребень образованъ всегда новымъ снѣгомъ. При проведеніи туннеля въ снѣгу Монблана для изслѣдованія грунта подъ основаніе обсерваторіи Жансена въ 1891 г., на глубинѣ 7 м. нашли косточку чернослива, брошенную на поверхность за нѣсколько лѣтъ раньше.

Фирнъ. При продолжительномъ вліяніи лучей солнца снѣгъ высокихъ горъ, постепенно оплавляясь, утрачиваетъ свою блестящую кристаллическую форму, становится тусклымъ и зернистымъ, т. е. превращается, такъ сказать, въ снѣговой песокъ, извѣстный подъ именемъ фирна (старый снѣгъ, Firn) въ нѣмецкой Швейцаріи и нэвэ (névé) во французской. Фирнъ можетъ образоваться изъ всѣхъ родовъ снѣга (крупы, порошковатаго и клочковатаго снѣга) или въ теченіе продолжительнаго періода времени, или въ нѣсколько теплыхъ часовъ. Фирнъ отъ снѣга отличается не только мѣньшимъ блескомъ, но также округленностью зеренъ, бо́льшимъ вѣсомъ и уплотненностью; при хожденіи по немъ только въ теплые дни ноги проваливаются до $^1/_2$ м., обыкновенно же остается неглубокій слѣдъ въ нѣсколько сантиметровъ; зерна его равномѣрной величины, округленныя и, разсматриваемыя отдѣльно, представляютъ прозрачный ледъ съ небольшими пузырьками воздуха. Онъ таетъ гораздо медленнѣе снѣга. Поверхность фирна довольно ясно отличается (фиг. 427) отъ поверхности свѣжаго снѣга своимъ желтовато- или буровато-грязнымъ оттѣнкомъ, который придается ей пылью, листочками и насѣкомыми, приносимыми издали вѣтромъ, или же отложеніемъ на ней космической пыли. Если температура часто мѣняется около 0°, т. е. отъ + переходитъ къ —, то нѣкоторыя фирновыя зерна, быстрѣе другихъ растаивая, уничтожаются,

а другія, напротивъ, служатъ какъ бы центрами, вокругъ которыхъ происходитъ новая кристаллизація и увеличеніе объема ихъ; въ этомъ состояніи фирнъ представляетъ рыхлый оолитовый ледъ, сравниваемый съ известковымъ или желѣзнымъ оолитомъ. Чѣмъ ниже спускаются фирновыя поля, тѣмъ фирнъ крупно-зернистѣе (зерна его достигаютъ величины гороха или орѣха), и, наоборотъ, на самыхъ высокихъ мѣстахъ онъ мелко-



Фиг. 427. — Окраина фирноваго поля ледника des Périades, притокъ Mer de Glace, на Монбланѣ. Свѣжій снѣгъ рѣзко отличается отъ фирна. На переднемъ планѣ видны краевыя трещины (rotures).

зернистый; поэтому отличаютъ высокій фирнъ (Hochfirn, haut-névé) и низкій фирнъ (Tieffirn, bas-névé). Николе доказалъ опытомъ, что сухой снѣгъ съ водою при 0° переходитъ въ фирнъ.

Превращеніе снѣга въ фирнъ происходитъ при таяніи снѣга, значитъ оно можетъ происходить б. или м. непрерывно только на извѣстной высотѣ. Дѣйствительно, на высокихъ вершинахъ инсоляція мало дѣйствительна, такъ какъ разрѣженная атмосфера слишкомъ суха и теплопрозрачна для лучей, отражаемыхъ снѣгомъ. *Только ниже, гдѣ влажность значительнѣе, излучаемая теплота задерживается* и идетъ на таяніе снѣга. Фирновыя поля наиболѣе распространены въ Альпахъ на высотахъ ниже 3300 м., а выше преобладаетъ сухой снѣгъ высокихъ областей.

Послѣднія наблюденія Vallot *) на вершинѣ Монблана показали, что одного давленія, оказываемаго верхними слоями снѣга, можетъ быть достаточно для превращенія сухого снѣга въ фирнъ и ледъ. Такъ на высотахъ отъ 4300 до 4800 м. пробы снѣга съ глубины 2 м., гдѣ постоянная температура—10°, и съ глубины 15 м., гдѣ температура была—17°, показали плотность 0,38 и 0,86; послѣднее число уже мало отличается отъ плотности льда ледниковъ (0,91). Vallot констатировалъ присутствіе настоящаго льда, напр., на Dôme du Goûter (наиболѣе низкая вершина Монблана, 4331 м.); время отъ времени обломки этого льда падаютъ на Petit Plateau, и можно видѣть, что они представляютъ глыбы голубаго плотнаго льда.

Снѣгъ и фирнъ не накопляются безпредѣльно на вершинахъ горъ; они постепенно опускаются внизъ и къ склонамъ. Это ясно обнаружилось при постройкѣ обсерваторіи на снѣжной вершинѣ Монблана. Не найдя скалъ подъ снѣгомъ, Жансенъ поставилъ въ 1899 г. обсерваторію прямо на снѣгѣ. Онъ высчиталъ, что постройка съ площадью основанія 50 кв. м. и вѣсомъ въ 187000 кл. (около 2500 пуд.) должна осѣсть всего на нѣсколько см. Для предотвращенія неравномѣрности осѣданія были примѣнены домкраты, посредствомъ которыхъ зданіе постоянно поддерживалось въ одномъ положеніи. Но уже въ 1898 г. обнаружилось значительное перемѣщеніе всей постройки въ сторону головокружительной крутизны надъ ледникомъ des Bossons.

Снѣгъ и фирнъ, опускаясь книзу, обезпечиваютъ питаніе ледниковъ. Въ горахъ альпійскаго типа рѣдко снѣгъ въ этомъ движеніи слѣдуетъ по отлогому склону; обыкновенно очертанія скалъ неправильны, склоны крутые; первый же утесъ на пути движенія снѣга разбиваетъ его на отдѣльныя глыбы, падающія на поверхность фирноваго поля, расположеннаго ниже. Если фирновое поле имѣетъ видъ цирка, питающаго ледникъ, то снѣгъ, выпадающій на склонахъ, быстро сползаетъ книзу и образуетъ кругомъ цирка крутой склонъ, болѣе прочный, чѣмъ верхній снѣгъ, но менѣе плотный, чѣмъ фирнъ внизу. Нижняя часть такого склона, опирающаяся на фирновое поле ледника, постепенно опускается вмѣстѣ съ его поверхностью; верхняя часть, плотно покрывающая поверхность окружающихъ скалъ, задерживается при этомъ вслѣдствіе тренія, и возникаетъ разрывъ въ этой массѣ, дающій трещины по краямъ фирноваго поля; такія краевыя трещины фирноваго поля называютъ въ Альпахъ Дофинэ—rimayes, на Монбланѣ—rotures и въ Швейцарскихъ Альпахъ—Bergschrunde. Такія трещины часто перекрыты глыбами снѣжнаго склона или просто снѣговыми мостами, которыми обыкновенно и пользуются при восхожденіяхъ, чтобы перейти съ поверхности фирноваго поля на окружающія скалы (фиг. 428). Эти трещины не долговѣчны; онѣ заполняются первымъ же снѣжнымъ обваломъ сверху и затѣмъ снова возникаютъ.

Поверхность фирновыхъ полей на плоскогорьяхъ, напр., ледниковъ скандинавскихъ и исландскихъ, ровная и однообразная слегка волнистая, выпуклая; трещины появляются очень рѣдко. Въ Альпахъ, Гималаяхъ, на Кавказѣ они имѣютъ болѣе или менѣе вогнутую поверхность (мульдообразную), понижающуюся къ мѣсту выхода въ долину. Въ обширныхъ фирнахъ въ серединѣ эта поверхность довольно ровная, она круто поднимается только къ окраинамъ, причемъ увеличивается и число трещинъ. Онѣ располагаются то по одиночкѣ, то параллельными рядами, то, чаще всего, въ видѣ запутанной сѣти, раздѣляющей фирновый покровъ на отдѣльныя части. Величина ихъ весьма разнообразна: отъ самыхъ маленькихъ, едва замѣтныхъ, до 30 м. шириною и отъ 5 до 80 м. длиною. Въ

*) Annales de l'observ. de Mont Blanc, 1900, III.

срединѣ мульды онѣ, повидимому, обусловливаются, главнымъ образомъ, неровностями дна, и потому расположеніе ихъ неправильно; тогда какъ на окраинахъ онѣ располагаются правильными рядами, параллельными крутымъ склонамъ, какъ было упомянуто раньше. Фирновыя трещины, прикрываясь свѣже выпавшимъ снѣгомъ, представляютъ наибольшія опас-

Фиг. 428. — Переходъ черезъ Bergschrunde по снѣговому мосту.

ности для альпинистовъ, тѣмъ болѣе, что нѣтъ никакой законности въ ихъ расположеніи (фиг. 429).

Въ разрѣзахъ трещинъ наблюдается ясная слоистость фирна, причемъ довольно правильные пласты имѣютъ отъ $^1/_2$ до 3 м. толщины. Нижніе пласты состятъ изъ болѣе плотнаго, мутнаго и грязнаго фирна, до нѣкоторой степени представляющаго бѣлый, богатый пузырьками, неясно зернистый фирновый ледъ, который, съ пониженіемъ или приближеніемъ къ началу ледниковаго потока, все болѣе и болѣе разростается и у нижней границы фирна залегаетъ на ничтожной глубинѣ. Этотъ переходъ обусловливается давленіемъ и частою смѣною таянія и замерзанія, «при-

чемъ проникающая въ фирнъ вода, замерзая, цементируетъ его и превращаетъ въ фирновый ледъ, который хотя плотенъ и твердъ, но уступаетъ въ этомъ отношеніи льду рѣкъ, озеръ, ледниковъ и пр. Въ массѣ его нерѣдко замѣчаются тонкіе прослойки однороднаго льда, представляющаго бывшую обмерзшую корку снѣга. Толщина пластовъ фирно-

Фиг. 429. — Трещины фирноваго поля ледника du Géant на Монбланѣ. Фотографія снята во время спуска проводниковъ Шамуни съ трупами туристовъ, погибшихъ въ 1895 году.

ваго льда съ пониженіемъ уменьшается и сѣровато-бѣлый цвѣтъ ихъ переходитъ въ блѣдный синевато-зеленый.

Подъ вліяніемъ постояннаго движенія и давленія, фирновый ледъ постепенно переходитъ въ ледниковый; такъ что границу между ними опредѣлить трудно, — она далеко не такая яспая, какъ между фирномъ и фирновымъ льдомъ.

Фирновая граница. Граница между областями, покрытыми снѣгомъ и свободными отъ него, постепенно поднимается все выше въ теченіе весны и лѣта;

она поднимается въ такой же степени, какъ ставаетъ и снѣговой покровъ послѣдней зимы на ледникѣ и нижней части фирноваго поля. Къ осени положеніе этой границы наиболѣе высокое, и нерѣдко можно видѣть, какъ ниже послѣдняго слоя снѣга, оставшагося отъ предшествующей зимы, проглядываетъ уже ледъ, окрашенный пылью въ слегка сѣроватый цвѣтъ. Такъ какъ снѣгъ, выпавшій на ледникъ, всегда лежитъ на поверхности одинаковой температуры около 0°, то можно ожидать бо́льшее постоянство для линіи, гдѣ къ осени снѣговые слои на такой поверхности сходятъ на нѣтъ и показывается ледъ. Эту нижнюю границу снѣга или верхнюю границу льда Хюги (Hugi) и назвалъ фирновой линіей или границей. Такъ какъ положеніе этой линіи испытываетъ меньшія колебанія и ее легче опредѣлить, чѣмъ измѣнчивое положеніе снѣга на скалахъ, то часто и пользуются ею для опредѣленія снѣговой границы. Въ дѣйствительности эта линія на 200 м. ниже снѣговой линіи даже по опредѣленіямъ Хюги при наиболѣе благопріятныхъ условіяхъ, а затѣмъ убѣдились, что положеніе этой линіи подвержено также колебаніямъ изъ года въ годъ въ предѣлахъ отъ 100 до 200 м. Эта линія представляетъ границу между областями питанія и убыли ледника; она опускается ниже въ годы, богатые снѣгомъ, и поднимается выше въ теплые и сухіе годы, слѣдовательно колеблется въ теченіе болѣе значительныхъ промежутковъ времени около нѣкотораго средняго положенія. Послѣ нѣсколькихъ безснѣжныхъ сухихъ лѣтъ можно видѣть, какъ среди полей прежде сплошнаго фирна показываются пятна сѣраго льда; „ледъ открылся“—das Eis apert aus—говорятъ въ Альпахъ, гдѣ на мѣстныхъ нарѣчіяхъ aper въ Тиролѣ, aaber въ Швейцаріи означаетъ — свободный отъ снѣга. Фирновая линія иногда называется также Aperlinie.

Въ виду трудности непосредственнаго опредѣленія какъ снѣговой линіи, такъ и фирновой, давно уже было предложено нѣсколько пріемовъ косвеннаго опредѣленія климатической снѣговой границы по точнымъ картамъ ледниковыхъ областей *).

Методъ предѣльныхъ величинъ. Снѣговая линія находится между двумя границами: верхнюю представляютъ наиболѣе низкія вершины, которыя даютъ еще ледники, а нижнюю — сосѣднія же вершины, наиболѣе высокія изъ не имѣющихъ сколько нибудь значительныхъ снѣжныхъ полей. Зупанъ опредѣляетъ еще такъ: какую изогипсу должна превышать гора для того, чтобы дать начало леднику? Эта изогипса и будетъ приблизительно снѣговой линіей для данной группы горъ. Этотъ методъ тѣмъ пригоднѣе, чѣмъ больше форма горъ приближается къ платообразной и чѣмъ больше мы имѣемъ такихъ ступеней высотъ (по Рихтеру). Этотъ методъ единственно пригоденъ для составленія понятія о положеніи снѣговой границы во время ледниковой эпохи.

Методъ отношенія между фирновой областью и цунгомъ Хюги (Брюкнера) основанъ на положеніи, что фирновая линія дѣлитъ ледниковую область на части, приблизительно относящіяся какъ 1 : 3, т. е. что по крайней мѣрѣ $^3/_4$ поверхности ледника лежитъ выше снѣговой границы, или цунгъ составляетъ только $^1/_3$ области питанія. Слѣдовательно, если мы найдемъ (посредствомъ планиметра) изогипсу, которая дѣлитъ горизонтальную проекцію ледниковой области въ этомъ отношеніи, то эта линія приблизительно и будетъ фирновой.

Методъ Куровскаго. Такъ какъ количество осадковъ увеличивается съ высотою, а таяніе въ томъ же отношеніи уменьшается, то средней высотою ледника, т. е. фирна и цунга, должна быть та линія, на которой факторы уравновѣшиваются, т. е. снѣжная линія. Хотя это не совсѣмъ вѣрно и приложимо, конечно, только къ ледникамъ стаціонарнымъ и открытолежащимъ, тѣмъ не менѣе средняя высота ледниковъ приблизительно соотвѣтствуетъ (немного выше) высотѣ снѣговой линіи.

Ледъ ледниковъ.

Зернистость льда. Сущность преобразованія фирна и фирноваго льда въ ледниковый состоитъ въ томъ, что округленныя фирновыя зерна, заключенныя въ мутный ледяной цементъ, постепенно уменьшаются и, наконецъ, совершенно исчезаютъ; находящійся въ нихъ воздухъ концентрируется въ отдѣльные пузырьки, вслѣдствіе чего ледъ дѣлается прозрач-

*) Richter, Die Gletscher der Ostalpen, 1888, стр. 24—53. Также работа Брюкнера, Die Vergletscherung d. Salzachgebiets, 1886 и другія. Kurowski, Die Höhe d. Schneegrenze, Arb. d. Geogr. Inst. d. Univ. Wien, 1891.

нымъ, съ сѣтью капиллярныхъ трещинъ, которыя разбиваютъ ледъ на угловатые кусочки, называемые глетчерными или ледниковыми зернами.

Съ удаленіемъ воздуха изъ массы льда, удѣльный вѣсъ его возрастаетъ,—такъ, по Николе:

въ 1 килогр.	фирноваго снѣга находится	64	куб. сант.	воздуха.
„ 1 „	бѣлаго пузыристаго фирноваго льда .	15	„ „	„
„ 1 „	синяго плотнаго ледниковаго льда .	1	„ „	„

По мѣрѣ преобразованія фирна въ ледниковый ледъ, количество воздуха въ немъ уменьшается, а плотность возрастаетъ, что̀ доказано опредѣленіями Долльфуса, Шлагинтвейта и Стенструпа, приведенными въ слѣдующей табличкѣ, заимствованной у Гейма, а также упомянутыми выше опредѣленіями Vallot:

	Удѣльный вѣсъ. При 0° въ Альпахъ. Долльфуса.	Шлагинтвейта.	При 0° въ Гренландіи Стенструпа.	Въ 1000 частяхъ. Льда.	Воздуха.
Плотный фирновой снѣгъ	0,628	—	—	698	302
Бѣлый пузыристый ледниковый ледъ	0,871	0,862	0,888	958 952	42 48
Голубой ледниковый ледъ съ небольшимъ количествомъ пузырьковъ воздуха	0,897	—	—	986	14
Голубой ледниковый ледъ безъ воздуха	0,909	0,915	0,986	1,000	0

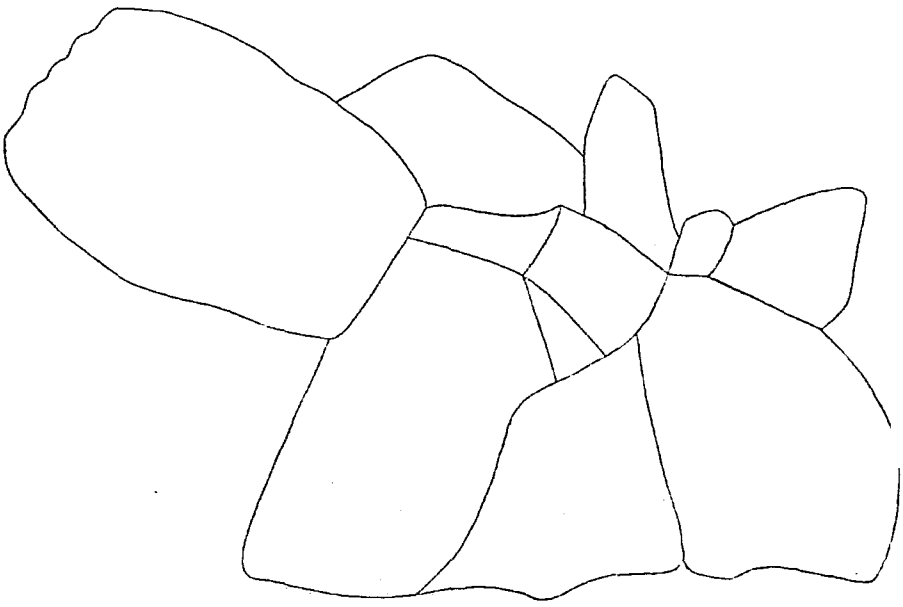
Въ воздухѣ, поглощенномъ льдомъ, количество азота возрастаетъ до 83,2% на счетъ кислорода, котораго только до 16,8% въ плотномъ льдѣ.

Цвѣтъ плотнаго ледниковаго льда голубой, но менѣе интенсивный, нежели голубой цвѣтъ неба. Какъ бы ни казался онъ чистымъ, тѣмъ не менѣе Агассицъ и Эшеръ фонъ-деръ-Линтъ опредѣлили, что въ одномъ литрѣ его заключается до $2^1/_2$ гр. или $^1/_{400}$ мельчайшаго песка и пыли.

Ледникъ во всей своей массѣ состоитъ изъ ледяныхъ зеренъ, которыя становятся видимыми только при температурѣ выше 0°; при температурѣ ниже 0° (gesundes Eis) они такъ тѣсно сливаются между собою, что масса льда кажется однородною, плотною. Зерна имѣютъ неправильно-поліэдрическую форму, причемъ изогнутыя плоскости сосѣднихъ зеренъ соотвѣтствуютъ другъ другу, т. е. выпуклость одного прилегаетъ къ вогнутости другого (фиг. 430); они настолько крѣпко сцѣпляются, что даже при таяніи съ трудомъ раздѣляются. Вода при таяніи льда проникаетъ въ капиллярныя трещинки и между зернами: вслѣдствіе различной преломляемости свѣтовыхъ лучей во льду и водѣ, становятся видимыми плоскости соприкосновенія зеренъ. Оптическое изслѣдованіе показываетъ, что зерна оріентированы различно, какъ во всякомъ аггрегатѣ самостоятельныхъ недѣлимыхъ.

Величина зеренъ возрастаетъ къ нижнему концу ледника. Въ верхней части, у фирновой границы, зерна не превышаютъ величины обыкновеннаго орѣха, въ срединѣ ледника—уже съ грецкій орѣхъ и на концѣ самыхъ большихъ ледниковъ увеличиваются до куринаго яйца и даже до 8—10 сант. въ діаметрѣ. Впрочемъ, на концѣ, вмѣстѣ съ большими, находятся и маленькія зерна, такъ что величина ихъ—по Клоке—варьируетъ отъ 1 до 15 сант. Мѣстами маленькія окружаютъ большія, а мѣстами большія зерна распредѣлены равномѣрно. По Хюги, на вогнутой сторонѣ изгибающагося ледника зерна меньше, нежели на выпуклой.

Величина зеренъ возрастаетъ однако книзу и въ области фирна. Это нетрудно замѣтить на обломкахъ льда любого верхняго фирна, падающихъ съ какой-нибудь кручи. Слѣдовательно, въ теченіе времени, пока свѣжій снѣгъ дойдетъ отъ поверхности фирноваго поля до дна занимаемой имъ мульды, онъ испытываетъ уже измѣненіе. Прежде полагали, что вода, возникающая при таяніи льда на поверхности ледника, проникаетъ по волоснымъ трещинкамъ черезъ всю массу льда, которая насыщается водой, какъ губка; замерзаніемъ этой воды объясняли какъ увеличеніе зерна льда, такъ и его движеніе. Однако Форель, который поддерживалъ эту теорію, самъ и показалъ, что инфильтрація воды проникаетъ только на незначительную глубину *), такъ что на всю массу ледника вода поверхности не можетъ имѣть никакого вліянія. Въ области фирна



Фиг. 430.—Зерна льда Большаго Каяакскаго ледника Гренландіи, по Дригальскому. Естеств. величина.

въ особенности мало возникаетъ воды; слѣдовательно причину увеличенія крупности зерна нижнихъ частей фирна и ледника нужно искать въ явленіяхъ на глубинѣ же.

Мы уже говорили, что снѣгъ, собираемый въ фирновой мульдѣ, по временамъ подвергается съ поверхности вліянію инсоляціи и теплаго воздуха; онъ обтаиваетъ съ поверхности; вода на поверхности и на нѣко-

*) Многочисленные опыты съ красящими жидкостями Агассица, Хюги, Шлагинтвейта и другихъ (Heim, Gletscherkunde, стр. 125) не дали согласныхъ результатовъ. Полагаютъ, что изъ двухъ разновидностей льда, слагающихъ ледникъ (бѣлый ледъ, богатый пузырьками воздуха, и голубой ледъ—плотный, безъ пузырьковъ) голубой болѣе проницаемъ для воды, а бѣлый только съ поверхности до глубины 2—3 м. По мнѣнію Гейма, наибольшая проницаемость соотвѣтствуетъ ребру, въ которомъ соприкасаются три зерна; тогда какъ въ плоскостяхъ соприкосновенія или сцѣпленія зеренъ проницаемость, если она только существуетъ, крайне ничтожна.

торой глубинѣ при послѣдующемъ замерзаніи служитъ для соединенія маленькихъ снѣговыхъ кристалловъ и зеренъ въ болѣе крупные индивидуумы. Рыхлый снѣгъ становится плотнѣе и прозрачнѣе, на поверхности его образуется даже блестящая корка льда. Первый новый снѣгъ предохраняетъ уже эту измѣненную часть стараго отъ дальнѣйшаго дѣйствія солнца и колебаній температуры. Такимъ измѣненіямъ подвергается въ свою очередь новый верхній слой выпавшихъ осадковъ, а нижніе начинаютъ подвергаться подъ вліяніемъ все увеличивающейся нагрузки давленію и молекулярнымъ силамъ между отдѣльными зернами.

Пока давленіе, подъ которымъ находится какой-нибудь горизонтъ фирновой или ледниковой массы, остается постояннымъ, не можетъ наступить и никакого измѣненія въ состояніи этого горизонта. Ледъ, какъ извѣстно изъ опытовъ Томсона, превращается въ воду при температурѣ ниже 0° подъ вліяніемъ давленія *); слѣдовательно, при колебаніяхъ давленія можетъ происходить частичное таяніе и смерзаніе, которыя могутъ повести къ увеличенію однихъ зеренъ на счетъ другихъ, если ничтожныя количества возникающей при этомъ воды присоединяются къ первымъ подъ вліяніемъ ихъ большей массы или какихъ-либо другихъ благопріятныхъ условій. Если это правильно, наибольшія зерна должны быть находимы въ тѣхъ мѣстахъ фирна или ледника, гдѣ массы подвергаются наибольшимъ колебаніямъ давленія, слѣдовательно, около боковъ и дна русла; дѣйствительно, въ этихъ мѣстахъ зерна обнаруживаютъ наибольшую величину (Дригальскій).

Хагенбахъ-Бишофъ **) предложилъ иное объясненіе увеличенія ледниковыхъ зеренъ, допускающее такое увеличеніе безъ измѣненія аггрегатнаго состоянія вещества единственно подъ вліяніемъ молекулярныхъ (частичныхъ) силъ.

Срастаніе сосѣднихъ зеренъ въ одинъ индивидуумъ подъ вліяніемъ силъ сцѣпленія можетъ происходить только при условіи полной взаимной параллельности ихъ кристаллическихъ осей; если нѣтъ такого параллелизма, то прежде должно послѣдовать вращеніе одного или обоихъ кристалловъ. При неправильно-многогранной формѣ зеренъ и ихъ изогнутости рѣчь можетъ быть только о необычайно ничтожныхъ измѣненіяхъ въ положеніи зеренъ, обнаруживаемыхъ ими подъ вліяніемъ силы тяжести или молекулярныхъ силъ. Какой-либо оріентировки крупныхъ зеренъ, которую можно было бы свести на дѣйствіе тяжести, не наблюдается, и вѣроятнѣе

*) Для всѣхъ тѣлъ, которыя при переходѣ изъ твердаго состоянія въ жидкое уменьшаются въ объемѣ, точка плавленія понижается съ повышеніемъ давленія (Томсонъ, Клаузіусъ, новыя изслѣдованія Таммана), такъ какъ давленіе производитъ часть работы, необходимой для уменьшенія объема (сближенія молекулъ) и которая при обыкновенныхъ условіяхъ исполняется притокомъ тепла. Это свойство льда объясняетъ явленіе смерзанія (Regelation) двухъ кусковъ льда при уменьшеніи давленія ихъ другъ на друга; давленіе, какъ работа, вызываетъ теплоту, превращающую въ воду часть льда при температурѣ ниже 0°, а при уменьшеніи давленія эта вода снова замерзаетъ, соединяя куски льда (Гельмгольцъ). Фаредэй обратилъ вниманіе, что режеляція наступаетъ и безъ давленія, при тѣсномъ соприкосновеніи, слѣдовательно, она можетъ быть объяснена дѣйствіемъ частичныхъ силъ, т. е. сцѣпленія между частицами тѣла, чему лишь способствуетъ сильное давленіе.

**) Hagenbach-Bischoff, Das Gletscherkorn, 1888; Ueber Gletschereis, 1889, въ Verh. d. naturf. Gesellsch. in Basel.

вліяніе молекулярныхъ силъ. Но при каждомъ измѣненіи давленія должно мѣняться и распредѣленіе массъ между сосѣдними зернами, слѣдовательно трудно допустить, чтобы дѣйствія молекулярныхъ силъ такъ именно суммировались, чтобы устанавливалось параллельное положеніе между двумя зернами. Во всякомъ случаѣ можно допустить, что давленіе является причиной возрастанія зерна безъ измѣненія состоянія вещества, если зерна подвергаются какимъ нибудь изогнутіямъ (Translation) и смѣщеніямъ, какъ это предполагаютъ при движеніи массы ледника (Геймъ).

Чэмберленъ *) приводитъ, какъ возможную причину перемѣщенія молекулъ отъ одной точки къ другой, еще постоянныя проникновенія массы льда воздухомъ и его выдѣленіе при колебаніяхъ барометрическаго давленія. Такое проникновеніе воздуха вполнѣ возможно въ фирновомъ полѣ, гдѣ пористость снѣга и льда достаточны для этого; при этомъ происходитъ конденсація влажности такого воздуха внутри льда, а затѣмъ ея испареніе на болѣе открытыхъ поверхностяхъ зеренъ при колебаніяхъ температуры. Такой процессъ, какъ извѣстно, дѣйствительно наблюдается въ пористыхъ почвахъ. Хотя въ итогѣ отъ такого сгущенія и расширенія водяныхъ паровъ къ массѣ льда существенно можетъ и ничего не прибавиться, но самый колебательный характеръ процесса можетъ быть благопріятенъ перемѣщеніямъ молекулъ и измѣненію величины зеренъ.

Хагенбахъ опирается въ своихъ выводахъ на наблюденіи, что часто между большими ледниковыми зернами находятся мелкія, и дѣлаетъ заключеніе, что съ теченіемъ времени большія зерна совершенно поглощаютъ маленькія (Grosse den Kleinen frisst) только вслѣдствіе молекулярныхъ перемѣщеній. Аналогичное явленіе мы имѣемъ въ образованіи болѣе значительныхъ водяныхъ капель изъ мелкихъ сосѣднихъ частицъ облаковъ. Это явленіе было подвергнуто даже математическому анализу Томсономъ; къ сожалѣнію мы знаемъ еще слишкомъ мало о силахъ натяженія и сцѣпленія, опредѣляющихъ состояніе твердаго тѣла. Теорія Хагенбаха нѣсколько подтверждается наблюденіями Эмдена **), что во всякомъ льдѣ, напр., погребовъ и искусственномъ, со временемъ число индивидуумовъ уменьшается, а размѣры возрастаютъ. Опыты были поставлены при почти неизмѣнной температурѣ и постоянномъ давленіи. Вышеупомянутыя наблюденія Vallot надъ переходами снѣга въ грубозернистый ледъ на вершинѣ Монблана также показываютъ, что такое измѣненіе можетъ происходить при относительно слабомъ давленіи и температурѣ значительно ниже 0° или вообще соотвѣтствующей точки плавленія.

Слѣдуетъ ли приписывать увеличеніе зерна одной изъ указанныхъ причинъ или обѣимъ, остается открытымъ. Во всякомъ случаѣ несомнѣнно, что это увеличеніе есть функція времени; индивидуумы, которые существуютъ дольше, слѣдовательно, или на днѣ фирновой мульды, или при оконечности ледника, находятся въ условіяхъ наиболѣе благопріятныхъ для увеличенія своихъ размѣровъ. Равнымъ образомъ, и вліяніе замерза-

*) T. C. Chamberlin, A contribution to the Theory of Glacial Motion. The Decennial Publications the Univ. of Chicago, vol. IX, 1904, стр. 194—195.

**) Ueber das Gletscherkorn, 1890.

нія инфильтраціонной воды съ поверхности должно оказывать вліяніе на увеличеніе зерна на концѣ ледника и по его оси. Къ этому вопросу мы еще вернемся при разсмотрѣніи движенія ледника.

Не совсѣмъ также ясно еще, какимъ образомъ воздухъ, который при возрастаніи ледниковыхъ зеренъ долженъ постепенно выдѣляться изъ болѣе глубокихъ частей, достигаетъ свободной поверхности. Извѣстно, что на поверхности ледника можно слышать особый шорохъ и замѣтить выдѣленіе воздуха изъ едва примѣтныхъ отверстій. Повидимому, надо предполагать, что въ массѣ ледника возникаютъ особые узкіе каналы, которые служатъ для отвода воздуха, но остается неизвѣстнымъ, не происходитъ ли такой воздухъ изъ снѣга, попадающаго только въ трещины ледника; конечно, въ трещинахъ, по которымъ можетъ выдѣляться воздухъ изъ массы льда, нѣтъ недостатка.

Надо предполагать также, что по мѣрѣ измѣненія льда капилярные воздушные пузырьки могутъ соединиться въ болѣе крупные; отъ этого зависитъ и увеличеніе прозрачности льда. Слѣдовательно, даже при отсутствіи прямого выдѣленія воздуха изъ болѣе глубокихъ частей льда, онъ долженъ становиться все чище и прозрачнѣе. Гессъ указываетъ на случай полости, наполненной водой подъ высокимъ давленіемъ, встрѣченной имъ при буреніи во льду одного ледника.

На поверхности зеренъ льда, при таяніи ихъ въ сухомъ воздухѣ, замѣчается тонкая прямолинейная штриховатость, параллельная опредѣленнымъ плоскостямъ. Хагенбахъ назвалъ это явленіе штрихами Фореля. Мы уже говорили, что Дригальскій обнаружилъ такое же явленіе на льдѣ изъ воды и объясняетъ это строеніемъ каждаго ледяного кристалла изъ пластинокъ въ параллельномъ сростаніи. Другіе замѣтили это явленіе и на льдѣ ледяныхъ пещеръ; словомъ это отнюдь не составляетъ особенности ледниковаго льда.

Полосчатость льда (Bänderung). Въ ледниковомъ льдѣ часто обнаруживается полосчатость или пластинчатая структура, развитая неодинаково не только у различныхъ ледниковъ, но даже въ разныхъ мѣстахъ одного и того же ледника; отчѣтливѣе она проявляется съ приближеніемъ къ нижнему концу. Среди бѣлаго, мутнаго, обильнаго пузырьками воздуха льда въ верхней части ледника появляются сначала мелкія, чечевицеобразныя пластинки, отъ 1 до 50 сант. шириною, прозрачнаго голубого льда, почти лишеннаго пузырьковъ; онѣ залегаютъ то изолированно, выклиниваясь на небольшомъ разстояніи, то соединяются въ группы, то, наконецъ, преобладаютъ надъ бѣлою пузыристою основною массою льда. Наибольшаго развитія онѣ достигаютъ въ нижнемъ концѣ большихъ ледниковъ: въ Альпахъ, Гималаѣ, Тянь-шанѣ, въ Гренландіи и пр. Полосы голубого льда имѣютъ сходство со льдомъ, происшедшимъ отъ непосредственнаго замерзанія воды въ трещинѣ. Такъ какъ основная масса пузыристаго льда таетъ быстрѣе, то голубыя пластины выступаютъ небольшими гребнями или валиками на поверхности ледника, обусловливая, какъ увидимъ дальше, расположеніе грязевыхъ полосъ, съ которыми нерѣдко смѣшивали полосчатость. Валики, производимые полосчатостью на поверхности ледника, называютъ огивами (Ogiven).

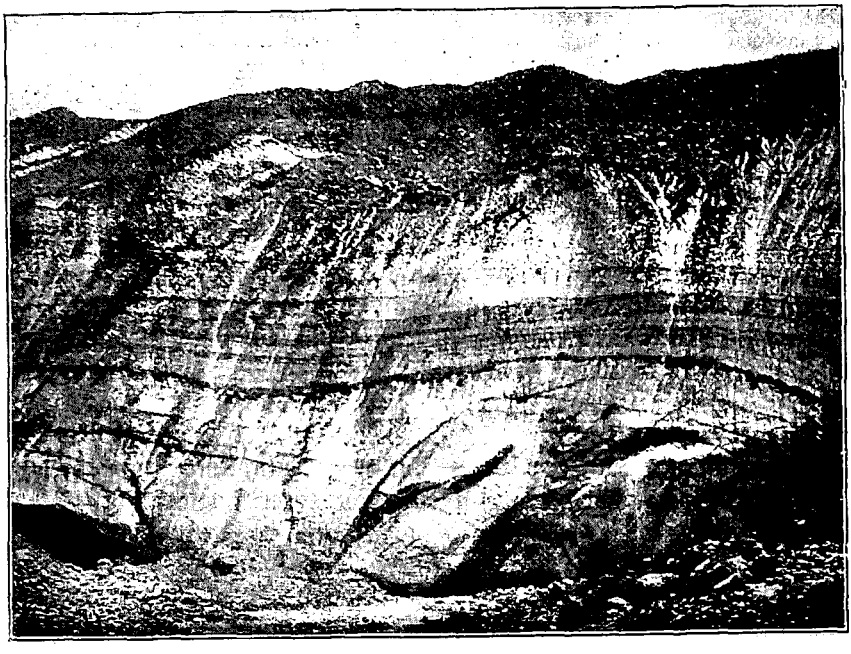
Полосчатость у краевъ ледника простирается поперекъ (см. фиг. 423), а въ срединѣ—вдоль ледника; въ нижнемъ концѣ она волнообразна и пересѣкаетъ трещины всегда подъ нѣкоторымъ острымъ угломъ; иногда пластины падаютъ во всѣ стороны подъ углами отъ 5° до 20°.

Гессъ говоритъ, что около краевъ ледника полосы слѣдуютъ вообще болѣе или менѣе параллельно очертаніямъ ложа, но уже въ самомъ близкомъ разстояніи отъ краевъ онѣ принимаютъ болѣе крутое положеніе; чѣмъ ближе къ оси ледника, тѣмъ рѣже обнаруживаются полосы, которыя имѣютъ здѣсь и менѣе крутое положеніе. На поверхности ледника

полосы, вслѣдствіе перемежаемости льда различной плотности, проявляются, какъ сказано, валиками или бороздками шириною отъ нѣсколькихъ сантиметровъ до нѣсколькихъ дециметровъ; такія борозды протягиваются черезъ всѣ неровности поверхности, ясно приноравливаясь къ направленію движенія льда.

Иногда неоднородность льда проявляется только въ развитіи грязныхъ полосъ льда (фиг. 431) съ воздушными пузырьками среди голубого льда, какъ это обнаруживается въ болѣе глубокихъ частяхъ ледника.

Всѣ такого рода явленія, прежде извѣстныя подъ названіями: голубая пластинчатость, Blaublätterstructur, Bandstruktur, structure rubanée, structure lamellaire, riboned structure, по предположенію международной кон-



Фиг. 431. — Полосчатости грязныя полосы на оконечности ледника Ошанина (хр. Петра Великаго). Ниже середины обнаруживается валунный слой.

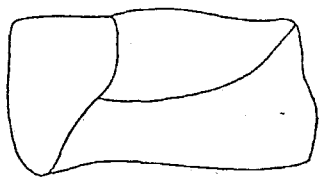
ференціи въ 1899 г. *) принято теперь называть Bänderung, что по русски ближе всего передается словомъ полосчатость, согласно съ дѣйствительнымъ характеромъ этого явленія.

Крамеръ **) указываетъ, что и бѣлый ледъ ледниковъ въ сущности состоитъ изъ явственныхъ плоскихъ чечевицеобразныхъ полосъ, которыя легко замѣтить въ верхнихъ частяхъ стѣнъ трещинъ и на гребняхъ при обтаиваніи льда. Несомнѣнно, что вся масса льда представляетъ часто полосчатость.

До сихъ поръ недостаточно выяснено, не происходитъ ли какого нибудь измѣненія въ оріентировкѣ ледниковыхъ зеренъ въ отдѣльныхъ по-

*) Verh. des VII Intern. Geographen-Kongress, 1901, стр. 287—288.
**) Crammer, Eis- und Gletscherstudien, N. Jahr., B. B., 1903, 1 ч., стр. 95.

лосахъ льда. Нѣкоторые полагаютъ, что къ концу ледника оріентировка зеренъ становится болѣе однообразной. Въ дѣйствительности, если бы это происходило, ледъ долженъ обнаруживать нѣчто въ родѣ спайности. Гессъ говоритъ, что этого никогда не наблюдалось. Чэмберленъ высказывается за вѣроятность нѣкоторой правильной оріентировки зеренъ подъ вліяніемъ давленія въ нижнихъ частяхъ ледника, а Дригальскій говоритъ, что правильная оріентировка зеренъ даже преобладаетъ въ нижнихъ частяхъ ледника съ ясной слоистостью (Schichtung, см. дальше), что доказывается сравнительной легкостью полученія изъ этихъ частей льда разрѣзовъ, перпендикулярныхъ къ оптической оси, если брать пластинки параллельно такой слоистости (фиг. 432). Форель давно уже указывалъ, что въ направленіи простиранія пластинъ ледниковыя зерна значительно больше, чѣмъ въ направленіи перпендикулярномъ; въ этомъ послѣднемъ направленіи, по словамъ Фореля, они какъ бы сжаты. Дригальскій въ измѣненіи оріентировки зеренъ въ нижнихъ частяхъ ледника видитъ доказательство преобразованій, испытанныхъ льдомъ подъ вліяніемъ разжиженія и смерзанія. Съ этой точки зрѣнія голубая пластинчатость обозначаетъ именно тѣ поверхности, гдѣ происходило непрерывное измѣненіе состоянія льда.



Фиг. 432. — Расположеніе зеренъ въ нижнихъ частяхъ льда внутренняго покрова Гренландіи, по Дригальскому (естеств. величина).

Бѣлыя полосы (die weissen Blätter, bandes lactées, white ice-seams), указываемыя часто на поверхности ледника, не имѣютъ ничего общаго съ только что упомянутыми. Онѣ также обусловливаются бѣлымъ мутнымъ льдомъ, содержащимъ много воздушныхъ пузырьковъ, но развиваются только въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ на ледникѣ находятся трещины, и доходятъ въ глубину только до 10 м. Происходятъ онѣ отъ того, что зимній снѣгъ, заваливая трещины, сохраняется въ нихъ и лѣтомъ, переходя отчасти въ ледъ; поэтому на поверхности онѣ выражаются бороздами и попадаются только въ ледникахъ богатыхъ трещинами.

Температура льда ледниковъ. Всѣ наблюденія приводятъ къ заключенію, что температура внутри ледника остается постоянною около 0°.

Первыя наблюденія были сдѣланы Хюги въ 1832 г. Онъ спустился на канатѣ въ трещину на Грюндельвальдскомъ ледникѣ и установилъ термометры въ небольшія отверстія, пробуренныя во льду. Онъ нашелъ температуры:

воздуха на поверхности ледника	— 15° до — 19°
» въ трещинѣ	— 7,5° » — 9°
льда въ стѣнѣ трещины	— 5,0° » — 6°
» на глубинѣ 1,2 м. въ ледникѣ . . .	0°

Агассицъ въ буровыхъ скважинахъ глубины 4, 8, 30 и 60 м. нашелъ повсюду температуру 0°.

Болѣе точныя наблюденія исполнили Форель и Хагенбахъ въ 1888 г. Они пришли къ заключенію, что повсюду около дна ледника (Arolla) температуры колеблются между — 0,002° и — 0,02° С, и

высказались за нѣкоторое пониженіе точки плавленія льда, вызываемое давленіемъ.

Блюмкэ и Гессъ сдѣлали рядъ тщательныхъ наблюденій въ буровыхъ скважинахъ на разныхъ глубинахъ. Гессъ приводитъ слѣдующіе результаты (по различнымъ скважинамъ въ августѣ 1895, 1899 и 1902 г.):

Глубина.	Температура.	Глубина.	Температура.
0,5 м.	+ 0,05° C	40 м.	— 0,04 ° C
10 »	+ 0,01° C	54 »	— 0,046° C
20 »	— 0,01° C	82 »	— 0,062° C
30 »	— 0,02° C	148 »	— 0,137° C

Эти температуры отличаются отъ вычисленныхъ температуръ для точки плавленія льда на различныхъ глубинахъ, если принять измѣненіе точки плавленія съ увеличеніемъ давленія на одну атмосферу (1 клг. на 1 кв. см.) въ 0,0075°, на 0,037°—0,009° C, причемъ отклоненія тѣмъ больше, чѣмъ бо̀льшая глубина наблюденія. Это показываетъ, что давленіе въ ледникѣ зависитъ не только отъ вертикальной мощности, но и отъ другой составляющей, именно равнодѣйствующей отъ давленія вслѣдствіе движенія льда.

Эти наблюденія показали также, что колебанія температуры поверхности отражаются еще глубже 8 м., но вообще вліяніе временъ года на температуру льда ледниковъ ничтожно, какъ видно изъ старыхъ данныхъ Агассица и новѣйшихъ—Чэмберлена и Дригальскаго.

Послѣдній показалъ, что на внутреннемъ покровѣ Гренландіи при самыхъ низкихъ температурахъ воздуха на поверхности, вліяніе ихъ не отражается уже на глубинѣ нѣсколькихъ метровъ, и температура льда остается близкой къ 0°; незначительное пониженіе ниже 0° простирается только до глубинъ 20—30 м. Значительнѣйшая часть массы льда, мощность котораго не менѣе 500—600 метровъ, напр. на ледникѣ Каракъ, и въ теченіе зимы имѣетъ температуру близкую къ 0°.

Дригальскій обращаетъ вниманіе, что согласно опытамъ Le Chatelier точка плавленія льда понижается даже на 0,091° C, если при давленіи полученная вода удаляется; ледяная масса, изъ которой удаляется вода плавленія, начинаетъ таять подъ тѣмъ же давленіемъ при температурѣ болѣе низкой, чѣмъ масса льда, въ которой вода сохраняется и продолжаетъ подвергаться тому же давленію, что и ледъ. Это свойство воды, распредѣленной въ нижнихъ частяхъ мощной толщи льда, ведетъ къ тому, что температура и тамъ остается въ общемъ очень близкой къ нулю, а съ другой стороны, разъ только вода не удаляется, то и эти нижнія части не могутъ быть совершенно превращены въ воду. Чистыя ледяныя массы должны сопротивляться переплавленію подъ вліяніемъ давленія значительно слабѣе, чѣмъ массы, насыщенныя водой.

Постоянство температуры въ массѣ льда можетъ регулироваться постояннымъ замерзаніемъ воды плавленія, если она перемѣщается въ сторону меньшаго давленія, такъ какъ при такомъ замерзаніи освобождается часть тепла. Геймъ правильно указываетъ, что замерзаніе воды, пропитывающей верхнюю часть ледника въ моментъ наступленія холодовъ, кладетъ предѣлъ проникапія холода въ ледъ; когда вся вода, распредѣленная во льду, замерзаетъ, температура льда опускается ниже нуля, какъ это и видно на верхнихъ горизонтахъ внутренняго гренландскаго покрова, гдѣ на глубинѣ 2,20 метра температура зимою понижается отъ — 0,3° до — 9,0° C (Дригальскій).

Проникновеніе лѣтняго тепла въ массу льда происходитъ двояко: черезъ теплопроводность, пока температура не достигла точки таянія и черезъ посредство воды, когда температура достигла этой точки. Послѣ того какъ на поверхности ледника температура сдѣлалась равной 0°, вся доставляемая теплота идетъ на таяніе льда и превращается въ потенціальное состояніе; ледъ, пропитанный водой,—потенціально, но не ощутительно для термометра, теплѣе, чѣмъ ледъ, который только еще достигъ до температуры таянія. Нисходящее движеніе этого тепла ограничивается низкой температурой болѣе глубокихъ частей ледника.

Вообще можно сказать, что въ нормальныхъ условіяхъ ледникъ состоитъ изъ двухъ зонъ: 1) верхней съ температурами измѣняющимися и 2) нижней съ температурой приблизительно постоянной. Нижней зоны можетъ и не быть, если толщина льда меньше, чѣмъ толщина пояса перемѣнныхъ температуръ при данныхъ климатическихъ условіяхъ; это дѣйствительно должно наблюдаться въ очень тонкихъ ледникахъ въ полярныхъ странахъ и на оконечностяхъ всѣхъ ледниковъ. Верхняя зона тѣмъ шире, чѣмъ вообще холоднѣе зимы.

Ледникъ мощностью въ 1000 м. долженъ при днѣ имѣть температуру около — 1° С, если принять вышеуказанную степень пониженія температуры плавленія на одну атмосферу давленія. Вѣроятность постоянной температуры около точки плавленія при днѣ ледника подтверждается присутствіемъ подледниковыхъ потоковъ и зимою, напр., въ Гренландіи, хотя, по замѣчанію Чэмберлена, такое заключеніе было бы слишкомъ рѣшительнымъ, такъ какъ часть такой воды, если даже не вся, можетъ происходить изъ горныхъ породъ дна ледниковъ.

Теоретически можно предполагать, что въ зонѣ постоянной температуры въ предѣлахъ области накопленія ледника ледъ имѣетъ температуру ниже точки таянія, а въ предѣлахъ области убыли ледника температура вообще на точкѣ таянія. Послѣднее обусловливается не только нисходящимъ движеніемъ воды, но также давленіемъ и треніемъ при движеніи ледника, а первое можетъ нарушаться повышеніемъ температуры отъ давленія и тренія и при днѣ ледника также теплопроводностью горныхъ породъ снизу.

Движеніе ледниковъ.

Ледники, спускаясь гораздо ниже снѣговой линіи, подвергаются сильному таянію, и потому казалось бы, что нижніе концы ихъ должны исчезать; однако, напротивъ, во многихъ мѣстахъ ледники, не смотря на таяніе, увеличиваются и удлиняются до того, что достигаютъ самыхъ глубокихъ долинъ: слѣдовательно существуетъ процессъ, который, такъ сказать, восполняетъ постоянную убыль отъ таянія; этотъ процессъ—непрерывное поступательное движеніе ледника.

Съ перваго взгляда каждый ледникъ представляетъ такую спокойную, твердую массу, что движеніе ея кажется невѣроятнымъ. Этимъ объясняется, что ученые изслѣдователи долгое время не подозрѣвали столь важнаго явленія, хотя горные жители Швейцаріи давно уже знали о немъ и даже наблюдали перемѣщеніе ледниковыхъ валуновъ. Всеобщую извѣстность

это явленіе получило послѣ работъ Шейхцера (1705 г.) и въ особенности послѣ изданія путешествій Соссюра; они не только констатировали фактъ движенія ледниковъ, но и пытались разъяснить причину его, хотя ни одинъ изъ нихъ не думалъ объ измѣреніи скорости движенія.

Честь первыхъ измѣреній движенія ледниковъ принадлежитъ Хюги. Въ 1827 г. онъ построилъ себѣ небольшую хижину на Унтераарскомъ ледникѣ у подошвы скалъ Абшвунгъ, а въ 1830 г. хижина эта оказалась на 100 метр. ниже; къ 1836 г. она спустилась на 716 метр., въ 1841 г.—на 1428 метр.; слѣдовательно, среднимъ числомъ хижина подвигалась около 100 метр. въ годъ. Послѣ того знаменитый изслѣдователь альпійскихъ ледниковъ Агассицъ произвелъ точныя инструментальныя измѣренія движенія Финстераарскаго и Лаутераарскаго ледниковъ, и тѣмъ самымъ доказалъ, что средина ледниковъ движется гораздо быстрѣе, нежели боковыя части ихъ; слѣдовательно характеръ движенія ледниковъ имѣетъ сходство съ теченіемъ рѣкъ. Извѣстный изслѣдователь Савойскихъ горъ, епископъ Рандю, еще въ 1841 г., утверждалъ, что Ледяное-Море Шамуни представляетъ такое полное сходство съ рѣкою, что невозможно указать ни одного явленія, свойственнаго ему, которое вмѣстѣ съ тѣмъ не было бы свойственно рѣкѣ.

Послѣдующія многочисленныя измѣренія, преимущественно въ Альпахъ, Гренландіи, Новой Зеландіи и пр. (Агассица, Вильда, Форбса, Тиндаля, Шлагинтвейта, Севе, Града, Дюпрэ, Гейма, Стенструпа, Гаммера, Гелланда, Абиха, Дригальскаго, Рида, Vallot, Финстервальдера и многихъ другихъ) доставили весьма богатый матеріалъ, и въ настоящее время, благодаря ему, выяснились если не всѣ, то главнѣйшіе основные законы движенія ледниковъ.

Измѣренія показываютъ, что скорость движенія весьма разнообразна у различныхъ ледниковъ; въ Альпійскихъ, Норвежскихъ, Кавказскихъ, Тянь-шаньскихъ и въ окраинныхъ Гренландскихъ величина перемѣщенія части, двигающейся съ наибольшей скоростью, колеблется отъ 0,1 м. до 0,3 и даже 0,4 м. въ сутки,—слѣдовательно въ годъ отъ 40 до 100 м.; бо́льшую скорость имѣютъ только немногіе мощные ледники. Въ Гималаѣ у большихъ ледниковъ скорость возрастаетъ до 2 и даже 3,7 м. (въ годъ 700 до 1300), а въ Гренландіи нѣкоторые ледники имѣютъ громадную скорость,—напр. Итвдліарзукъ—отъ 5 до 20 м., Якобсгавнъ—отъ 15 до 22,46 м. въ сутки (въ годъ отъ 1000 до 7000 м.).

Скорость вообще зависитъ отъ величины ледника, отъ количества осадковъ въ области питанія и топографическихъ условій ледниковой области.

Слѣдуетъ замѣтить, что всѣ болѣе старыя измѣренія даютъ цифры, достаточныя только для общей характеристики движенія. Для возможности сравненія движенія различныхъ частей ледника и ледниковъ различной величины необходимы измѣренія гораздо большей точности *) и въ теченіе возможно большаго промежутка времени.

*) О современныхъ пріемахъ измѣренія и съемки ледниковъ: Finsterwalder, Zur Praxis der Gletscheraufnahmen, Mitteil. d. d. u. ö. Alp.-ver., 1887, № 4. Finsterwalder u. Blümcke, Die Vermessung des Vernagtfernes, тамъ же, 1888, № 19. Finsterwalder, Blümcke u. Hess, Der Vernagtferners, die Nachmessungen in d. Jahr. 1891, 1893 u. 1895, Wissensch. Ergänzungshefte d. d. u. ö. Alp.-ver., I, 1897. Hess, Die Gletscher, 1904, стр. 115—117. Richter, Der Oberzulzbachgletscher in den Jahren 1800—1882, Z. d. d. u. ö. Alp.-ver., XIV. Ax. Hamberg, Zur Technik der Gletscheruntersuchungen. Comp. rendu Cong. géol. intern. IX, Vienne, 1904, стр. 749—766.

Въ слѣдующей таблицѣ указаны по Гейму нѣкоторыя прежнія данныя о скорости движенія ледниковъ:

		Среднее въ годъ.	Среднее въ сутки.
Унтераарскій		50—77 м.	0,140—0,211 м.
Боссонъ		maximum (іюль)	1.323 м.
Mer de Glace		80—250 м.	0,217—0,687 „
„ „ „	средняя скорость изъ измѣр. 1788—1832 (Соссюръ)	114 м.	0,321 м.
Талефръ (Монбланъ)		131 „	0,359 „
Пастерцъ (Тироль)		—	0,06 —0,43 „
Боюмъ	Норвегія	—	0,1 —0,523 „
Тунсбергдаль	Норвегія	—	0,087—0,395 „
Лодальбрэ	Норвегія	—	0.102—0,651 „
Торсукатакъ	Вѣтви гренландскаго сермерсоака.	—	6,150 м.
Якобсгавнъ	Вѣтви гренландскаго сермерсоака.	—	15,0—22,46 „
Тазерміутъ	Вѣтви гренландскаго сермерсоака.	—	3,75 м.
Тазерсуакъ	Вѣтви гренландскаго сермерсоака.	—	3,14 „
Итвдліарзукъ	Вѣтви гренландскаго сермерсоака.	—	5,0—20,0 „
Караякъ	Вѣтви гренландскаго сермерсоака.	—	3,1—12.0 „

При такой скорости очевидно, что перемѣщеніе частичекъ льда отъ фирновой линіи до нижняго конца ледника совершается весьма медленно; въ большинствѣ Альпійскихъ ледниковъ I-го порядка это перемѣщеніе происходитъ въ теченіе 60—80 до 100 лѣтъ; но въ самыхъ массивныхъ ледникахъ значительно больше, напр. въ Алечѣ отъ 170 до 200 лѣтъ, а снѣгъ съ вершины Юнгфрау на прохожденіе до нижняго конца ледника Алечъ употребляетъ около 450 лѣтъ.

Измѣненіе скорости отъ краевъ къ серединѣ. Вслѣдствіе тренія о бока ложа въ каждомъ ледникѣ скорость движенія въ серединѣ гораздо больше, нежели у краевъ, и эта разница тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше скорость движенія ледника.

Хотя ускореніе движенія отъ краевъ къ серединѣ возрастаетъ неравномѣрно — быстрѣе вблизи боковъ и медленнѣе съ приближеніемъ къ серединѣ, тѣмъ не менѣе оно совершается не скачками, а постепенно. Въ серединѣ ледника полоса наибольшей и приблизительно одинаковой скорости тѣмъ шире, чѣмъ значительнѣе величина ледника. Отношеніе скоростей у краевъ и въ серединѣ разнообразно не только у различныхъ, хотя бы одинаковыхъ размѣровъ, ледниковъ, но даже въ разныхъ мѣстахъ одного и того же ледника и въ одномъ и томъ же мѣстѣ на разныхъ краяхъ и въ разное время; напр., измѣренія на Унтераарскомъ ледникѣ показали, что отношеніе скоростей лѣваго края и средины какъ 3 : 7, а праваго края и средины какъ 2 : 9, на ледникѣ Гюфи Геймъ нашелъ это отношеніе какъ 2 : 7. Среднимъ числомъ считаютъ, что краевая скорость къ срединной относится какъ 1 : 10, т.-е., послѣдняя въ 10 разъ больше первой. Неравномѣрность отношеній обусловливается иногда неправильностью склоновъ долины; напр., передъ скалистымъ выступомъ ледъ задерживается и почти останавливается, такъ что въ этихъ мѣстахъ краевое движеніе равно почти нулю, а слѣдовательно отношеніе скоростей значительно возрастаетъ; тогда какъ движеніе ниже выступающей скалы быстрѣе у края, и, значитъ, отношеніе скоростей уменьшается. Если скала будетъ разрушена и склонъ сглаженъ, то отношенія снова измѣнятся. У ледниковъ II-го порядка, имѣющихъ обыкновенно небольшую среднюю скорость, разница между краевымъ и срединнымъ движеніемъ гораздо меньше, — они относятся какъ 3 : 4 или 6 : 7; тогда какъ у громадныхъ ледниковъ Гренландіи, обладающихъ значительною скоростью, эта разница достигаетъ наибольшихъ размѣровъ. Это отношеніе скоростей у краевъ и въ серединѣ не отличается постоянствомъ даже въ теченіе одного года; ниже мы увидимъ, что лѣтомъ ледники двигаются быстрѣе, нежели зимой; вслѣдствіе этого лѣтомъ разница скоростей краевъ и средины возрастаетъ, а зимой уменьшается. Впрочемъ разница эта тѣмъ меньше, чѣмъ больше ледникъ; напротивъ, на маленькихъ ледникахъ вліяніе времени года отражается рѣзко. Такимъ образомъ, неравномѣрное движеніе ледника въ одномъ и томъ же поперечномъ профилѣ, обусловливаясь, какъ и при движеніи воды въ рѣкѣ, треніемъ о берега или вообще о бока ложа, претерпѣваетъ постоянныя колебанія въ зависимости отъ характера склоновъ, величины ледника и времени года, словомъ — отъ всѣхъ тѣхъ факторовъ, которые вліяютъ на среднюю скорость движенія, и чѣмъ эта послѣдняя больше, тѣмъ и разница въ скоростяхъ краевъ средины больше, и наоборотъ.

Для доказательства сказаннаго приведемъ нѣкоторыя цифровыя данныя. Измѣренія Агассица на Унтераарскомъ ледникѣ въ теченіе трехъ лѣтъ (1842—1845) посредствомъ 21 вѣхи, расположенныхъ по прямой линіи поперекъ ледника, у павильона Дольфуса дали слѣдующіе результаты:

	Разстояніе отъ средней морены.	Скорость движенія въ годъ въ метрахъ. $18^{42}/_{43}$	$18^{43}/_{44}$	$18^{44}/_{45}$	Среднее. $18^{42}/_{45}$
Лѣвый край	525	4,3	2,7	2,0	3,0
	425	6,1	5,1	4,0	5,6
	450	20,8	24,4	17,0	20,7
	375	39,4	42,6	64,25	48,7
	301	54,1	65,5	47,4	55,3
	150	64,6	68,4	55,5	62,8
Средняя морена	0	69,4	74,5	58,5	67,4
Финстераарскій притокъ	180	74,5	75,5	60,0	70,0
	450	68,5	68,5	55,3	64,1
	464	50,8	51,2	40,8	47,6
	690	43,5	45,5	34,6	39,8
	780	12,5	11,5	12,2	11,9
	840	2,1	0,5	2,3	1,6
Средняя скорость		39,25	40,2	34,9	38,34

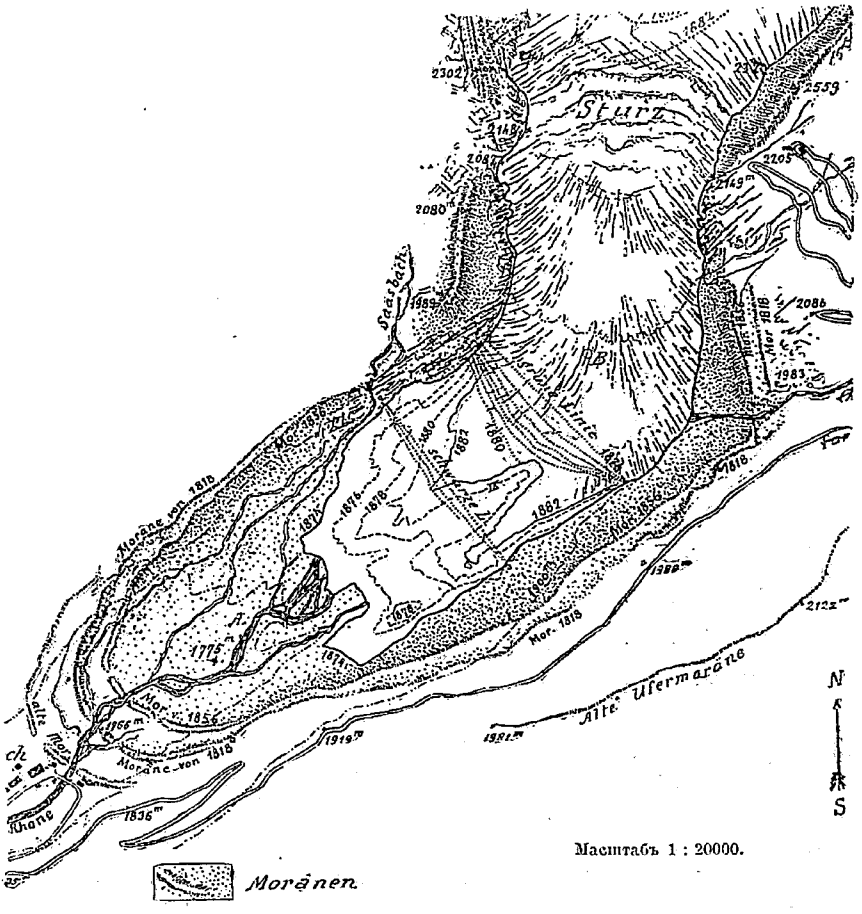
Прямая линія вѣхъ съ каждымъ годомъ все болѣе и болѣе изгибалась, направляясь выпуклостью къ нижнему концу ледника.

Еще болѣе интересныя данныя о постепенномъ увеличеніи скорости движенія къ серединѣ были получены Геймомъ при наблюденіяхъ на Ронскомъ ледникѣ въ теченіе времени съ 1874 по 1880 г. Это измѣреніе слѣдуетъ считать первымъ, когда были примѣнены болѣе точные способы измѣренія. Въ 1874 г. были заложены на поверхности ледника четыре линіи камней (фиг. 433), изъ которыхъ верхняя, такъ называемая «красная профиль» на высотѣ 2550 м., въ теченіе шести лѣтъ показала по различнымъ номерамъ, установленнымъ въ разстояніи 20 м. другъ отъ друга, слѣдующую среднюю годовую скорость:

№№ пункт. отъ зап. (прав.) края.	Средняя годовая скорость.	№№ пункт. отъ зап. (прав.) края.	Средняя годовая скорость.	№№ пункт. отъ зап. (прав.) края.	Средняя годовая скорость.
1 до 4	?	23	95,8	39	89,0
5	12,9	24	96,7	40	87,4
8	43;25	25	98,2	41	85,5
10	50,9	26	98,0	42	83,4
11	58,0	27	98,0	43	81,3
12	65,1	**28**	**98,4**	44	79,3
13	70,4	29	98,1	45	75,9
14	75,1	30	98,0	46	71,3
15	79,1	31	97,1	47	67,5
16	82,4	32	97,0	48	60,7
17	85,3	33	95,9	49	50,9
18	88,2	34	95,1	50	39,2
19	90,2	35	94,2	51	25,8
20	92,1	36	93,4	52	18,0
21	94,4	37	92,1	53	10,0
22	95,8	38	90,3		

Скорость возрастаетъ, слѣдовательно, отъ краевъ довольно быстро и достигаетъ максимума въ серединѣ (№ 28) при постепенно ослабѣвающемъ приращеніи.

Ронскій ледникъ простой, а Унтераарскій — сложный, но увеличеніе скорости на послѣднемъ происходитъ также равномѣрно, слѣдовательно послѣ соединенія нѣсколькихъ ледниковъ въ одинъ никакого нарушенія



Фиг. 433. — Карта нижняго конца Ронскаго ледника, въ періодѣ отступанія.

Пунктирныя линіи показываютъ положеніе линіи камней въ различные годы. Прерывистыя линіи показываютъ положеніе конца ледника въ разные годы.

въ движеніи не происходитъ. Это вполнѣ подтверждается и болѣе новыми наблюденіями Гесса и Блюмкэ на Hochjochgletscher и Гамберга на ледникѣ Mika *) въ Шведской Лапландіи; но законъ приращенія скорости для каждаго ледника иной, также какъ и иной для каждой стороны ледника. Это показываетъ, что скорость движенія на поверхности зависитъ отъ формы поперечнаго сѣченія, отъ его величины и угла наклона ложа, которые мѣняются на самыхъ короткихъ пространствахъ.

*) Hamberg, l, c., стр. 758—759.

Въ какой степени зависитъ скорость на поверхности отъ величины ледника, показываетъ слѣдующая таблица Гесса. Можно замѣтить, что дѣйствительно наибольшія скорости имѣютъ большіе ледники, но не обнаруживается никакой пропорціональности между размѣрами ледника и его скоростью движенія.

Ледники.	Величина кил.^{2}	Отношеніе $\frac{\text{фирна}}{\text{языку}}$	Ширина м.	Скорость м.
Унтераарскій . .	42,6	2,2	1365	70
Ронскій	23,8	4,7	1060	98
Mer de Glace . .	30,1	3,5	640	176
Алечъ	119,2	2,8	1500	180
Пастерце	31,9	2,5	1550	51
Гепачъ	25,0	3,0	740	64
Гинтерейсъ . . .	14,1	2,2	865	52
Гусларъ	4,0	3,0	550	39
Гиндеръ	3,7	3,0	430	16
Мика	11,2	2,3	973	56
Сюотасъ	9,6	3,2	1700	40
Энгабрэ	—	—	900	629
Тасманскій . . .	156	1,8	1900	167
Мюллеръ	44	2,4	800	112

Скорости Алечскаго и Унтераарскаго пропорціональны площадямъ ихъ слабо наклонныхъ и очень правильно движущихся массъ. Для Тасманскаго, который больше Алечскаго, скорость оказывается меньше; впрочемъ онъ имѣетъ относительно очень крупный языкъ и значительно шире, чѣмъ самый большой изъ ледниковъ Альпъ. Относительно малый ледникъ Mer de Glace имѣетъ такую же скорость, какъ Алечъ; здѣсь повидимому главная причина большой скорости—незначительная ширина. Нѣсколько болѣе наклонный ледникъ Гепачъ почти при такихъ же ширинѣ и величинѣ имѣетъ скорость въ три раза меньшую, чѣмъ Mer de Glace. Словомъ, какую бы ни принять группировку между ледниками болѣе извѣстными по площади и скорости движенія, нельзя указать никакого простого отношенія между скоростью и однимъ изъ факторовъ, отъ которыхъ она зависитъ. Наклонъ ледниковъ изслѣдованъ очень мало, также какъ величина поперечнаго сѣченія, и вообще вліяніе этихъ факторовъ на скорость не можетъ быть выражена сколько-нибудь точно.

Приведемъ еще по Гейму нѣкоторыя старыя данныя объ измѣненіи скорости движенія по временамъ года въ различныхъ разстояніяхъ отъ края ледника, на Якобсгавнѣ въ Гренландіи; ширина ледника по линіи измѣренія 4500 м.; при уклонѣ около $^1/_2{}^c$.

Разстояніе отъ края ледника въ метрахъ.	Средняя суточная скорость въ метрахъ.		Разстояніе отъ края ледника въ метрахъ.	Средняя суточная скорость въ метрахъ.	
	Іюнь 1875 г. Гелландъ.	Зима и весна 1879—1880 гг. Гаммеръ.		Іюнь 1875 г. Гелландъ.	Зима и весна 1879—1880 гг. Гаммеръ.
1	0,02	—	549	—	8,38
282	—	5,23	615	—	9,68
400	14,70	—	872	—	12,30
420	15,36	—	875	—	12,64
445	15,18	—	1.049	19,77	—
449	15,24	—	1.059	19,54	отъ 15 до 16

Хотя изъ этой таблицы уже видно, что лѣтнее движеніе быстрѣе зимняго, но, къ сожалѣнію, профили Гелланда и Гаммера не тождественны. Эта разница обнаруживается и въ измѣреніяхъ Тиндаля на Ледяномъ-Морѣ:

		Суточная скорость: Лѣтомъ.	Зимой.
Профиль выше отеля Montanvert	Minimum (край лед.)	0,191	0,165
	Maximum (средина)	0,697	0,400
Профиль ниже отеля Montanvert	Minimum (край лед.)	0,311?	0,197
	Maximum (средина)	0,855	0,445

Также Форбсъ нашелъ на ледникѣ Буа (1000 м. выше конца Ледяного-Моря), что maximum скорости въ іюлѣ 1,323, относится къ minimum скорости въ январѣ 0,240 какъ 100 : 22, т. е. превышаетъ почти въ 5 разъ. Что же касается измѣненія скорости въ теченіе однѣхъ и тѣхъ же сутокъ, то, по мнѣнію Гейма, если оно существуетъ, то едва ли поддается опредѣленію, такъ какъ величина его ничтожна и не превосходитъ предѣла ошибки наблюденій. Въ различные годы скорость также измѣняется, какъ видно изъ предыдущей таблицы Агассица. Это обусловливается неравномѣрностью снѣговыхъ осадковъ, питающихъ ледники; ниже, при изложеніи причинъ убыли ледниковъ, мы подробнѣе ознакомимся съ этимъ.

Измѣненіе движенія въ продольной профили ледника. Въ продольной профили ледника можно замѣтить область наибольшей скорости обыкновенно близко отъ выхода ледника изъ фирна въ узкій выводной каналъ; отсюда скорость движенія уменьшается какъ вверхъ, такъ и внизъ.

Подробныхъ изслѣдованій по всей длинѣ ледника до сихъ поръ немного, только на Ронскомъ ледникѣ съ 1882 г. и на Hintereisferner'скомъ ледникѣ въ 1894 г. (Гессъ и Блюмкэ). Всѣ наблюденія показываютъ, что скорость зависитъ отъ формы поперечнаго сѣченія и отъ уклоновъ дна ложа, чѣмъ можно объяснить случаи, когда скорость увеличивается къ нижнему концу ледника.

Движеніе Унтерарскаго ледника происходитъ отъ фирновой мульды съ постепенно увеличивающейся скоростью, а послѣ мѣста соединенія всѣхъ притоковъ скорость постепенно уменьшается до самого конца (Агассицъ).

На Mer de Glace Форбсъ нашелъ обратное отношеніе на части ледника отъ фирна des Lechaux до Montanvert. По болѣе точнымъ изслѣдованіямъ Vallot эта особенность объясняется условіями наклона, наиболѣе значительнаго у Montanvert и ниже около самаго конца (Chapeau).

На такомъ правильномъ ледникѣ, какъ Алечъ, Дюпрэ и Градъ въ 1869 г. нашли:

Разстояніе отъ нижняго конца въ метр.	Абсолютная высота въ метр.	Средняя суточная скорость профиля въ метр.	Максимальная суточная скорость въ метр.
15000	2600	0,404	0,505
2000	2150	0,294	0,392
8000	1850	0,240	0,264

На Ронскомъ ледникѣ, гдѣ были установлены четыре ряда камней, для годовъ съ 1874 по 1876 г. были получены слѣдующія цифры для скоростей:

	Разстояніе отъ конца ледника въ 1874 г. метр.	Высота надъ уровнемъ моря метр.	Максимальная скорость.	
			Сент. 1874 г. до Сент. 1875 г.	Сент. 1875 г. до Сент. 1876 г.
Черная линія	400	1854	12	11
Зеленая линія у подножія ледопада .	750	1917	33	29
Желтая линія выше ледопада . . .	2450	2420	101	96
Красная линія при выходѣ изъ фирна	4050	2553	97	94

Замѣчается увеличеніе скорости около ледопада; ниже его, движеніе замѣтно медленнѣе и быстро уменьшается книзу. Линіи камней, красная и желтая, замѣчательно правильно прошли черезъ ледопадъ: въ ледопадѣ онѣ исчезли, а черезъ четыре года снова оказались на поверхности, причемъ кривыя, которыя онѣ образовали ниже его, составляютъ продолженія кривыхъ выше ледопада. Интерполированіемъ была опредѣлена скорость въ самомъ ледопадѣ, которая въ два раза больше, чѣмъ выше.

Измѣренія съ 1882 до 1888 года въ области фирна посредствомъ шестовъ обнаружили, что скорость возрастаетъ книзу и наибольшая скорость тамъ, гдѣ вся масса снѣга и фирна переходитъ въ ледниковый языкъ.

Измѣренія Rekstad'a на Энгабрэ въ Норвегіи съ 1890 до 1891 г. показали, что скорость отъ фирна книзу сначала увеличивается, достигаетъ въ наиболѣе узкомъ мѣстѣ максимума въ 172 см. въ день и затѣмъ быстро уменьшается.

Гамбергъ поставилъ на ледникѣ Mika двѣ линіи камней, положеніе которыхъ было опредѣлено въ 1895 и 1897 гг. Нижняя линія обнаружила бо́льшую скорость, но обѣ линіи были значительно ближе къ фирну, чѣмъ къ концу ледника, а нижняя въ значительномъ съуженіи поперечной профили.

Дригальскій на ледникѣ Sermiarsuè, одномъ изъ потоковъ Hochlandeis, нашелъ, что на концѣ его скорость больше, чѣмъ въ разстояніи 3100 м. выше, несмотря даже на съуженіе, изъ котораго здѣсь выходитъ ледникъ. Гессъ сомнѣвается въ правильности полученныхъ результатовъ, указывая на то, что средняя скорость на нижней линіи (16 м.) всетаки меньше средней скорости на верхней (20 м.).

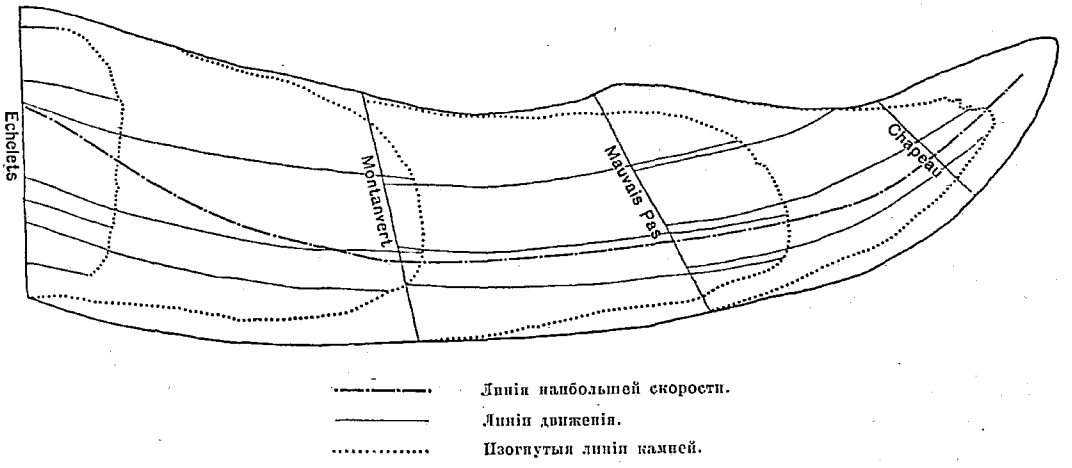
Тотъ же результатъ былъ полученъ Дригальскимъ на Каракъ, отпрыскѣ внутренняго покрова; въ этомъ случаѣ этотъ результатъ согласенъ и со всѣми другими наблюденіями относительно внутренняго покрова. Здѣсь дѣло касается ледниковъ, какъ Каракъ, дающихъ айсберги, слѣдовательно оканчивающихся не подъ вліяніемъ естественной убыли черезъ таяніе, а путемъ отламыванія значительныхъ частей въ морѣ. Уже Геймъ правильно указалъ, что условія движенія на такихъ ледникахъ должны соотвѣтствовать состоянію альпійскихъ ледниковъ выше ледопада. Уменьшеніе массы ледника при отламываніи части его въ видѣ айсберга уменьшаетъ сопротивленіе движенію верхнихъ массъ.

Миграція центра. Если соединить всѣ точки съ наибольшей скоростью на различныхъ поперечныхъ линіяхъ, то получимъ линію наибольшей скорости (см. фиг. 434), которая не всегда совпадаетъ съ осью ледника; это явленіе названо Агассицомъ «миграціею центра», а Тиндаль первый доказалъ зависимость его отъ направленія и характера долины, и тѣмъ самымъ выяснилъ еще черту, сходную съ теченіемъ рѣки. Если долина съ залегающимъ въ ней ледникомъ дугообразно изгибается, то полоса наибольшей скорости, такъ сказать, прижимается къ вогнутому краю долины и потомъ удаляется отъ выпуклаго; такъ что средняя скорость выпуклой половины ледника больше средней скорости вогнутой половины, на заворотѣ наибольшая скорость лежитъ посреди ледника и обѣ половины его двигаются одинаково.

При частыхъ изгибахъ. т. е. въ долинахъ змѣевидной формы, это перемѣщеніе происходитъ то къ одному, то къ другому краю ледника; линія наибольшей скорости въ общихъ чертахъ повторяетъ какъ изгибы долины, такъ и геометрическую сре-

динную линію ледника, но только сильнѣе изогнута вправо и влѣво и пересѣкаетъ срединную линію ледника въ мѣстахъ поворота. Это змѣевидное направленіе линіи наибольшей скорости на поверхности ледника проявляется въ расположеніи огивъ, грязевыхъ полосъ и срединныхъ моренъ. Геймъ разъяснилъ, что направленіе движенія отдѣльныхъ частицъ льда въ средней части ледника, указываемое срединными моренами, въ каждомъ данномъ мѣстѣ лежитъ между геометрической срединной линіей ледника и линіей максимальнаго движенія его; тѣ мѣста, въ которыхъ наибольшія скорости лежатъ ближе всего къ краю ледника, находятся, при правильныхъ изгибахъ долины, всегда въ нижней половинѣ дуги, заключающейся между двумя поворотными пунктами; тѣ мѣста, гдѣ линія наибольшей скорости пересѣкаетъ геометрическую срединную линію, всегда лежатъ сдвинутыми нѣсколько внизъ отъ поворотныхъ точекъ изгибовъ геометрической линіи. Линія максимальнаго движенія обнаруживается на поверхности ледника небольшимъ сводообразнымъ валомъ, гребень котораго совпадаетъ съ линіею наибольшей скорости. Такимъ образомъ, наоборотъ, по срединному валу возможно заключить о направленіи линіи наибольшей скорости.

Боковое движеніе. Кромѣ поступательнаго движенія внизъ по долинѣ, на многихъ мѣстахъ замѣчается еще такъ-называемое боковое движеніе. Хотя характеръ его еще не изученъ съ достаточною полнотою,



Линіи наибольшей скорости.
Линіи движенія.
Изогнутыя линіи камней.

Фиг. 434.—Движеніе ледника Mer de Glace, по Vallot.

тѣмъ не менѣе выяснено, что оно бываетъ двухъ родовъ: 1) отъ средины ледника къ краямъ и 2) отъ краевъ къ срединѣ. Первое наступаетъ въ мѣстахъ значительнаго расширенія ложа ледника или въ случаѣ уменьшенія движенія къ концу ледника; второе же появляется приувеличеніи движенія къ концу или въ мѣстахъ съуженія ложа ледника.

Эта особенность движенія ледника обнаруживается, если построить горизонтальныя проекціи (фиг. 434) путей отдѣльныхъ камней каждаго наблюдаемаго ряда, это такъ называемыя линіи движенія (Bewegungslinien); боковыя линіи передъ съуженіемъ ложа или при изгибахъ его, такъ сказать, выбрасываются на берегъ, не достигая конца ледника. Это показываетъ, что измѣренія скорости движенія на краѣ ледника практически иногда не осуществимы.

Вліяніе наклона. Съ увеличеніемъ наклона скорость движенія ледника при другихъ равныхъ условіяхъ возрастаетъ.

Мы говорили уже о вліяніи наклона на Ронскомъ ледникѣ и Mer de Glace. Многолѣтнія измѣренія Vallot на Mer de Glace (фиг. 434) даютъ, напр., для различныхъ періодовъ такое распредѣленіе скоростей въ зависимости отъ наклона:

	Echelets.		Montanvert.		Mauvais Pas.		Chapeau.	
	Скорость сант. въ день.	Наклонъ °/₀.	Скорость сант. въ день.	Наклонъ °/₀.	Скорость сант. въ день.	Наклонъ °/₀.	Скорость сант. въ день.	Наклонъ °/₀.
1891—1892	39,1	6,2	44,2	11,5	36,2	8,4	—	—
1893—1894	38,1	2,7	40,8	14,5	34,5	14,6	47,4	50,0
1894—1895	34,2	8,5	33,2	15,2	31,0	10,8	—	—
1897—1898	33,7	7,3	27,9	11,6	33,8	39,0	—	—

Наблюденія ведутся по линіямъ камней, непрерывно мѣняющихъ положеніе, слѣдовательно, постоянно въ новыхъ условіяхъ наклона; только данныя 1893—94 г. показываютъ зависимость между скоростью и наклономъ. Остальные ряды цифръ, за шесть лѣтъ всего, обнаруживаютъ болѣе значительное вліяніе другихъ факторовъ, напр., съуженія около Montanvert и убыли ледника около Mauvais Pas. Въ ледникахъ очень правильныхъ безъ рѣзкихъ измѣненій паденія, напр. на Hintereisferner, гдѣ тщательныя измѣренія производилъ Гессъ, гораздо больше вліяніе массы льда, величины поперечнаго сѣченія и глубины его; такъ на этомъ ледникѣ, не смотря на постепенное возрастаніе уклона, скорость къ концу непрерывно убываетъ.

Наклонъ поверхности ледниковъ 1-го порядка въ среднемъ не превосходитъ 10°, большею частью отъ 5° до 8° и даже отъ 1° до 2°, а иногда, напр., на Горнерскомъ и Аарскомъ ледникѣ—только 0°, 18′, 12″. Висячіе ледники или II-го порядка, напротивъ, отличаются крутизною и имѣютъ уклонъ отъ 30° до 50°, чаще до 45°. У большихъ ледниковъ уклонъ поверхности льда всегда больше уклона ложа; отношеніе между этими уклонами Шлагинтвейтъ называетъ удѣльнымъ уклономъ; онъ зависитъ отъ скорости движенія и интенсивности таянія, а потому у конца ледника онъ больше.

Вліяніе поперечнаго сѣченія. Болѣе крупные ледники имѣютъ вообще и болѣе значительную скорость, но точнаго выраженія этой зависимости до сихъ поръ не удалось получить.

Можно предполагать, что подобно движенію жидкостей скорость движенія ледника зависитъ отъ величины поперечнаго сѣченія, а именно, что она возрастаетъ съ увеличеніемъ поперечнаго сѣченія, т. е. количества льда, а съ другой стороны при томъ же количествѣ льда возрастаетъ съ сосредоточеніемъ русла (см. стр. 389—390). Трудность провѣрки этой зависимости заключается въ опредѣленіи элемента, всегда недоступнаго наблюденію, именно глубины поперечнаго сѣченія; приходится находить этотъ элементъ приблизительно. Существованіе ледника опредѣляется тремя факторами: преобладаніемъ осадковъ надъ таяніемъ ихъ въ области питанія, движеніемъ льда и усиленіемъ процессовъ таянія въ области языка. Общая убыль ледника опредѣляетъ количество льда, протекающее черезъ сѣченіе на фирновой линіи; это количество есть наибольшее, съ каждымъ сѣченіемъ ниже количество протекающаго льда уменьшается. Изъ двухъ поперечныхъ сѣченій ледника черезъ нижнее пройдетъ количество льда, равное количеству, прошедшему черезъ верхнее, минусъ количество, стаявшее на пространствѣ между сѣченіями. Зная годичную убыль на поверхности ледника и длину его, опредѣлимъ общую убыль или количество льда, прошедшее черезъ сѣченіе въ фирновой линіи; слѣдовательно, можно опредѣлить массу льда, проходящаго черезъ любое сѣченіе. Зная скорость теченія и массу протекающаго льда въ любомъ сѣченіи, можно опредѣлить и глубину его. Агассицъ, которому принадлежитъ этотъ принципъ, опредѣлилъ глубину Унтераарскаго ледника около скалъ

«Im Abschwung» въ 360 м., причемъ изъ полученной имъ величины убыли ледника была вычтена сумма прироста въ теченіе зимы, а предполагая, что паденіе русла Аара около конца ледника сохраняется подъ всѣмъ ледникомъ, замѣчательнымъ по своей правильности, до Abschwung, онъ получилъ глубину около 460 м. Результаты его наблюденій сведены Геймомъ въ слѣдующей таблицѣ:

СТАНЦІИ:	Ширина: ледянаго потока	Вѣроятная глубина: въ метрахъ.	Вѣроятная площадь поперечнаго разрѣза въ кв. м.	Годовая: средняя скорость въ метрахъ.	Суточная: средняя скорость въ метрахъ.
Бэренрицъ	650	100 до 125	50000	36	0,1059
Брандламмъ . . .	1080	250 » 300	205200	56	0,1547
Павильонъ Долльфуса	1150	350 » 375	338400	69	0,1850
Отель Нефшатель. .	1450	400 » 475	385200	76	0,1968

наглядно показывающей, что чѣмъ больше поперечное сѣченіе, тѣмъ больше и скорость.

Что касается ледниковъ II-го поряда, то, не смотря на значительный уклонъ ложа ихъ, они двигаются медленнѣе ледниковъ I-го порядка; это зависитъ отъ небольшой мощности ихъ и значительнаго тренія. Слѣдовательно, вышеуказанное вліяніе уклона ложа ледника къ нимъ неприложимо.

Примѣняя тотъ же принципъ Агассица, Гессъ по даннымъ для скорости, убыли и наклона поверхности ледника Hintereisferner въ 1894 г. вычислилъ величину поперечныхъ сѣченій, которыя ледъ долженъ былъ бы имѣть, если всю его массу представить себѣ въ видѣ ряда вертикальныхъ столбовъ, двигающихся со скоростью ихъ поверхности. Получаются, конечно, минимальныя поперечныя сѣченія, такъ какъ въ дѣйствительности скорость движенія на глубинѣ уменьшается. Гессъ даетъ слѣдующую таблицу:

ПРОФИЛИ.	Минимальное поперечное сѣченіе въ м.²	Средняя глубина метр.	Средняя скорость на поверхности. метр.
IX	96000	113	40
VIII	76000	88	42
VII	66000	80	46
VI	59000	81	44
V	50000	74	42
IV	44000	68	38
III	30000	49	31
II	19000	39	24
I	7000	23	18

Въ верхнихъ частяхъ ледника, двигающихся приблизительно съ одинаковой скоростью, никакой прямой зависимости между скоростью и глубиною не обнаруживается.

Болѣе точныя свѣдѣнія о зависимости скорости движенія отъ глубины льда можно получить только при посредствѣ буренія.

Мощность или толщина ледниковъ вообще изучена очень мало, но въ Альпахъ, Тянь-шанѣ и на Кавказѣ она, повидимому, достигаетъ 200 и даже 400 м. у большихъ ледниковъ I-го порядка, у висячихъ же колеблется отъ 10 до 50 м. О толщинѣ фирна почти нѣтъ данныхъ.

Что касается мощности ледниковыхъ покрововъ, напр., Гренландскаго, то нужно думать, судя по толщинѣ льда айсберговъ (стр. 652), что она гораздо значительнѣе. Нансенъ, принимая во вниманіе рельефъ дна покрова, оцѣнивалъ его мощность до 1800—2500 м. Но такъ какъ вѣроятно, что высота водораздѣльныхъ хребтовъ восточной стороны Гренландіи мало разнится отъ наивысшей высоты поверхности покрова, а глубина долинъ едва ли болѣе 900—1000 м., то цифры Нансена слѣдуетъ считать преувеличенными. Съ другой стороны можно предполагать и значительную подпруду льда, вслѣдствіе затруднительности стока, такъ что мощность льда нужно принимать во всякомъ случаѣ болѣе 400—500 м., вопреки мнѣнію, напр. Гесса.

Измѣненіе скорости движенія ледника на глубинѣ. Здѣсь, также какъ въ рѣкахъ, треніе о дно должно значительно замедлять движеніе. Чтобы опредѣлить законъ, по которому происходитъ такое уменьшеніе, Агассицъ предложилъ воспользоваться наблюденіями надъ обтаваніемъ около вертикальнаго шеста, опущеннаго въ глубокую буровую скважину, и его наклономъ при такомъ обтаваніи; но ни ему, ни кому другому до сихъ поръ не удалось поставить такихъ наблюденій. По мнѣнію Гесса этимъ путемъ, если бы и можно было съ нѣкоторымъ приближеніемъ получить зависимость уменьшенія скорости съ глубиною, то потребовались бы наблюденія въ теченіе цѣлыхъ десятилѣтій. По его мнѣнію скорѣе и точнѣе можно достигнуть того же результата, если провести въ различныхъ мѣстахъ ледника скважины до дна и вычислить среднія скорости массы льда для цѣлаго ряда такихъ поперечныхъ сѣченій. Среднюю скорость всего сѣченія можно вычислить, зная массу льда (изъ наблюденій надъ убылью) и сѣченіе. По отношеніямъ такихъ среднихъ скоростей для сѣченій разной глубины къ скоростямъ на поверхности $\left(\frac{v_m}{v_0}\right)$ можно до извѣстной степени судить и о скорости на днѣ.

По глубинамъ, полученнымъ буреніемъ на ледникѣ Hintereisferner Блюмкэ и Гессъ даютъ такую таблицу:

Буровыя скважины.	Глубина въ метр.	Приведенныя къ поверхности ледника въ 1894 г.		$\frac{v_m}{v_0}$
		Дѣйствительная глубина.	Минимальная глубина.	
1899 г.	66,5	12	41	0,57
1899 г.	84,5	90	54	0,60
1903 г.	118,0	131	87	0,66
1902 г.	153	162	108	0,67

Цифры минимальныхъ глубинъ получены по даннымъ таблицы 1894 г. и показываютъ, каковы должны быть глубины въ пунктахъ буренія, если бы скорости поверхности оставались бы неизмѣнными до дна. Таблица показываетъ, что съ глубиною отношеніе $\frac{v_m}{v_0}$ возрастаетъ, т. е. чѣмъ больше толщина льда, тѣмъ средняя скорость сѣченія больше. Конечно, отсюда еще трудно вычислить скорость у дна; можно сдѣлать допущеніе, что уменьшеніе скорости пропорціонально глубинѣ, и тогда получимъ, если

взять среднее изъ четырехъ чиселъ для $\frac{v_m}{v_0} = 0{,}63$ или $63^0/_0$, что скорость у дна $= 26^0/_0$ скорости на поверхности, т. е. составляетъ одну четвертую ея часть.

Прямыхъ наблюденій надъ числовыми величинами скорости ледника у дна очень немного—Тиндаля, Форбса, Мартэна. Всѣ они согласно показываютъ уменьшеніе скорости, но наибольшаго довѣрія заслуживаютъ цифры Тиндаля. Въ 1857 г. онъ установилъ съ немалой опасностью три знака на вертикальной стѣнкѣ трещины около восточнаго края ледника Glacier du Géant (около Tacul); измѣренія были сдѣланы посредствомъ теодолита, къ сожалѣнію суточное перемѣщеніе точекъ было очень незначительно:

знакъ на верхнемъ краю трещины .	15,24 см.	—42,7 м. отъ дна
» въ средней части	11,25 »	—10,7 » » »
» у подошвы стѣны	6,30 »	— 1,3 » » »

Заслуживаетъ вниманія, что эти числа довольно близко совпадаютъ съ данными Гесса.

Заключеніе. Суммируя все, что получено путемъ измѣреній относительно движенія ледниковъ, можно указать слѣдующія положенія (по Гессу):

1) Скорость возрастаетъ во всѣхъ частяхъ ледника отъ краевъ его къ серединѣ.

2) Скорость возрастаетъ отъ дна ложа къ поверхности ледника.

3) Скорость возрастаетъ отъ верхнихъ частей фирноваго цирка до выхода изъ него ледниковаго языка.

4) Скорость наибольшая тамъ, гдѣ ледникъ достигаетъ наибольшей мощности.

5) При одинаковой мощности льда скорость тѣмъ больше, чѣмъ круче паденіе.

6) На ледникахъ правильной формы скорость уменьшается отъ наиболѣе верхней части языка до его оконечности.

7) Съуженія ложа вызываютъ возрастаніе, расширенія ложа—уменьшеніе скорости.

8) Кривая наибольшей скорости обнаруживаетъ болѣе значительные изгибы, чѣмъ геометрическая ось ледника, тѣмъ не менѣе согласно съ которою она изогнута. Области наибольшей скорости расположены обыкновенно въ частяхъ ледника выпуклыхъ къ берегу.

9) При соединеніи нѣсколькихъ ледниковъ въ одинъ ледяной потокъ, краевыя части ихъ получаютъ ускореніе и ниже соединенія онѣ имѣютъ скорость, соотвѣтствующую средней части общаго русла.

Всѣ эти положенія совершенно согласны съ результатами изслѣдованій надъ движеніемъ воды въ рѣкахъ. Для полноты аналогіи не достаетъ только доказательства о максимальной скорости не на поверхности, а на нѣкоторой глубинѣ подъ нею.

Движеніе составляетъ главнѣйшее свойство ледниковъ, которымъ обусловливается не только ихъ наружный видъ, интенсивность ихъ дѣятельности, но даже внутренняя структура льда. Давно уже извѣстно, что ледники, вслѣдствіе движенія, разбиваются многочисленными трещинами, располагающимися или по одиночкѣ, параллельно другъ другу, или цѣ-

лыми группами, пучками, безпорядочно перепутываясь между собою. Количество ихъ мѣстами бываетъ такъ велико, что ледникъ какъ бы совершенно утрачиваетъ цѣльность и представляетъ груду ледяныхъ глыбъ, наваленныхъ безъ всякаго порядка, напр., Ледяное-Море на Монбланѣ, Карабулакъ (фиг. 421) и Джипарлыкъ на Музартѣ (фиг. 438). Полосчатость (Bänderung) льда зависитъ также отъ его движенія, хотя до сихъ поръ эта зависимость объясняется еще различно.

Трещины.

Если обратить вниманіе на изогнутіе линіи камней, первоначально расположенныхъ на поверхности ледника по прямой линіи, то нетрудно замѣтить, что разстояніе между ними съ теченіемъ времени измѣняется неравномѣрно. Гессъ приводитъ интересную таблицу:

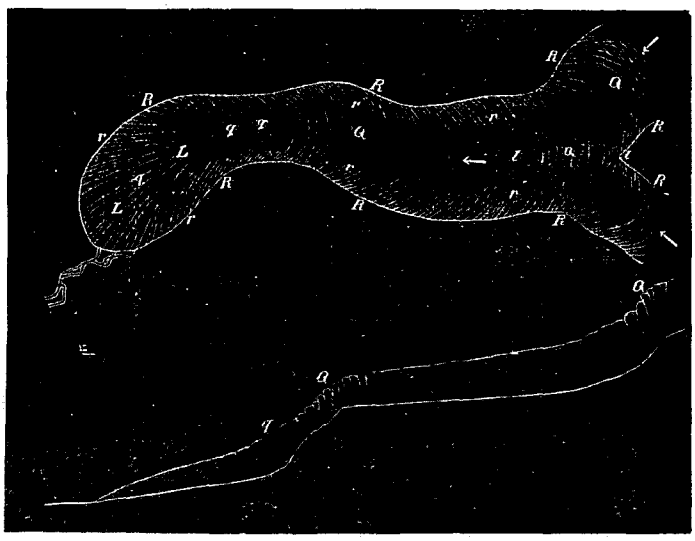
	1894 г. метр.	1899 г. метр.	
Камни 1 и 2 въ разстояніи . .	35	53	Край ледника.
„ 2 и 3 „ „ . .	39	73	
„ 3 и 4 „ „ . .	35	45	
„ 4 и 5 „ „ . .	38	43	
„ 5 и 6 „ „ . .	39	44	
„ 6 и 7 „ „ . .	40	42	
„ 7 и 8 „ „ . .	39	42	
„ 8 и 9 „ „ . .	41	41	Середина ледника.

показывающую, что въ то время, какъ въ серединѣ ледника удлиненіе отдѣльныхъ участковъ не превосходитъ 2—3 м., на краю ледника въ теченіе пяти лѣтъ первоначальныя разстоянія увеличились почти вдвое.

Если представимъ себѣ ледникъ, состоящимъ изъ ряда пластинъ перпендикулярныхъ къ его оси, то нетрудно понять, что вслѣдствіе давленія при движеніи массы льда такія пластины должны подвергаться расплющиванію. Кромѣ силы давленія, производящей эту работу, необходимо должна проявляться и сила растяженія въ направленіяхъ, по которымъ происходитъ вытягиваніе пластинъ. Изъ опытовъ (Пфаффъ, Мк. Коннель, Мюггэ, Гессъ и друг.) извѣстно, что ледъ при $t = 0°$ обладаетъ нѣкоторой упругостью (до нагрузки въ 0,5 килог. на кв. см.), а сопротивленіе растягиванію измѣряется 1—8 кил. на кв. см. Если растяженіе переходитъ, слѣдовательно, черезъ извѣстный предѣлъ, наступаетъ разрывъ, и трещины должны быть направлены перпендикулярно къ направленію растяженія. Силы растяженія направлены отъ края ледника внизъ къ его оси, слѣдовательно, трещины должны быть направлены отъ края къ оси вверхъ; это такъ называемыя краевыя трещины (Randspalten, crevasses marginales) (фиг. 435, 450).

Процессъ образованія трещинъ можно наблюдать весьма часто, особенно въ ясные и теплые дни. Кому приходилось проводить на ледникахъ по нѣсколько сутокъ, тотъ навѣрно много разъ бывалъ свидѣтелемъ зарожденія новыхъ трещинъ. Появленіе ихъ сопровождается глухимъ гуломъ или рѣзкимъ трескомъ, или же ударомъ на

подобіе выстрѣла, причемъ ледяная масса иногда сотрясается какъ отъ землетрясенія. За отдѣльными ударами иногда слышится свистящій шумъ, свидѣтельствующій о расширеніи трещины. Громкіе удары или трескъ, свидѣтельствующіе о зарожденіи новыхъ трещинъ, иногда происходятъ, такъ сказать, подъ ногами наблюдателя, и тѣмъ не менѣе открыть эти трещины не всегда удается,—такъ онѣ малы и тонки; большею частью онѣ представляютъ тончайшія разсѣлинки (иногда нѣсколько параллельныхъ сразу, напр. по 8—10 на разстояніи 100 м.), которыя только черезъ нѣсколько дней превращаются въ зіяющія трещины съ острыми краями, гладкими стѣнками, и равномѣрной ширины. По прошествіи нѣсколькихъ недѣль, онѣ значительно расширяются до 2—3 и даже до 20 м., а края ихъ округляются, представляя большія затрудненія для перехода черезъ нихъ; вдоль такихъ трещинъ слѣдуетъ ходить съ большой осторожностью. Иногда ширина трещинъ больше ширины раздѣляющихъ ихъ гребней. Большинство трещинъ съуживаются книзу до выклиниванія на глубинѣ отъ 5 до 50 м., и только немногія прорѣзываютъ ледникъ во всю толщину и доходятъ до дна. На Аарскомъ ледникѣ трещина до 260 м. глубиною не доходила до дна.



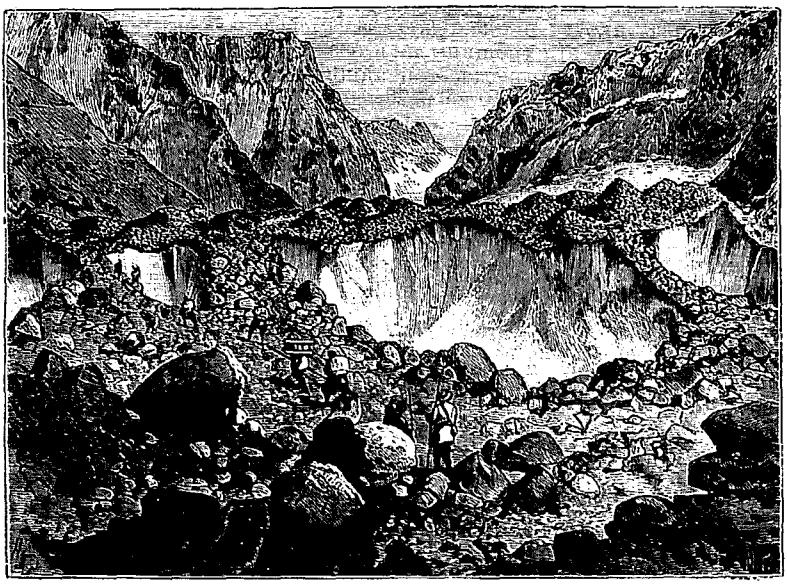
Фиг. 435. — Схематическій планъ и профиль ледника. Сплошныя линіи — трещины: *R* — краевыя, *Q* — поперечныя, *L* — продольныя. Пунктирныя линіи *r*, *q*, *l* — различное проявленіе полосчатости.

Чѣмъ мощность ледника больше, тѣмъ меньше трещинъ и тѣмъ правильнѣе онѣ распредѣлены, и, наоборотъ, въ маленькихъ ледникахъ ихъ много и онѣ неправильнѣе, потому что на такихъ ледникахъ отражаются всѣ неровности ложа, точно также какъ въ маленькихъ ручьяхъ или рѣчкахъ. Этимъ объясняется то часто наблюдаемое явленіе, что ледники, легко доступные въ недавнее прошлое, при уменьшеніи ихъ становятся непроходимыми, и, наоборотъ, недоступные мелкіе ледники, при увеличеніи, становятся проходимыми.

Трещины съуживаются книзу вслѣдствіе меньшаго вытягиванія льда на глубинѣ; по мѣрѣ расширенія трещинъ, увеличивается и ихъ глубина; трещины до дна обыкновенно находятся у самаго края ледника. Краевыя трещины на большихъ ледникахъ не протягиваются дальше $^1/_{10}$ ширины ледника, и гораздо значительнѣе въ верхней части ледника; въ маленькихъ ледникахъ трещины распространяются гораздо дальше.

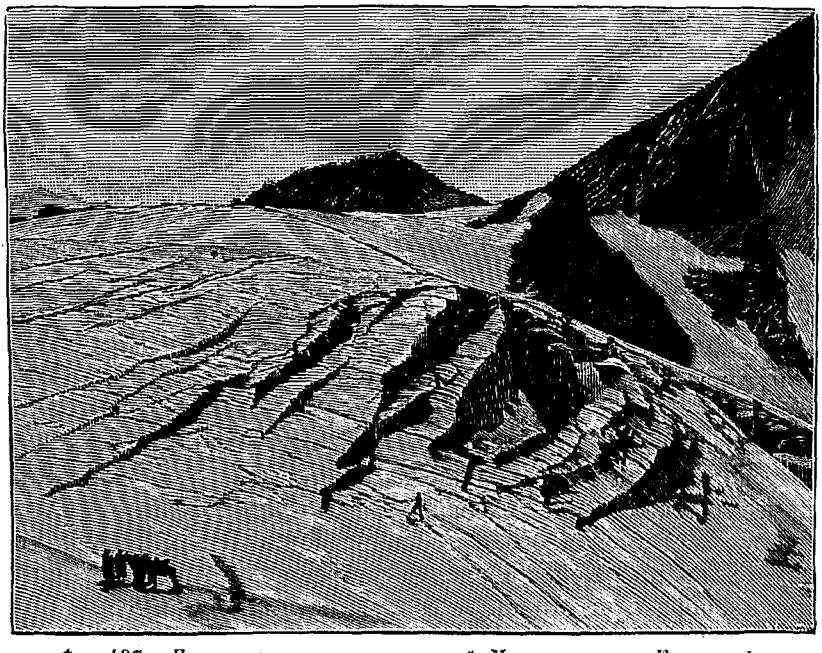
Вслѣдствіе постояннаго движенія, краевыя трещины, разумѣется, не могутъ сохранить надолго свое положеніе, и, благодаря большой быстротѣ средины, уголъ наклоненія ихъ около 45° къ краю постепенно измѣняется, а потому въ дѣйствительности 45° наблюдается очень рѣдко; трещины перемѣщаются въ положеніе перпендикулярное къ берегу, а затѣмъ наклоняются въ обратную сторону, т. е. внизъ по направленію движенія. Въ этомъ положеніи максимальное вытягиваніе уже не дѣйствуетъ, а потому трещины не расширяются, а, напротивъ, подъ вліяніемъ давленія, съуживаются и, наконецъ, закрываются. Иногда закрытіе ихъ происходитъ неравномѣрно по длинѣ одной и той же трещины, и тогда полу-

чается рядъ ямъ или воронокъ, какъ это наблюдается на нижнемъ концѣ



Фиг. 436. — Трещины, превратившіяся въ ледяные колодцы среди сплошнаго каменнаго покрова на нижнемъ концѣ Зеравшанскаго ледника.

Зеравшанскаго ледника (фиг. 436). Но пока первая трещина совершаетъ описанное перемѣщеніе, на поверхности ледника успѣваютъ образоваться

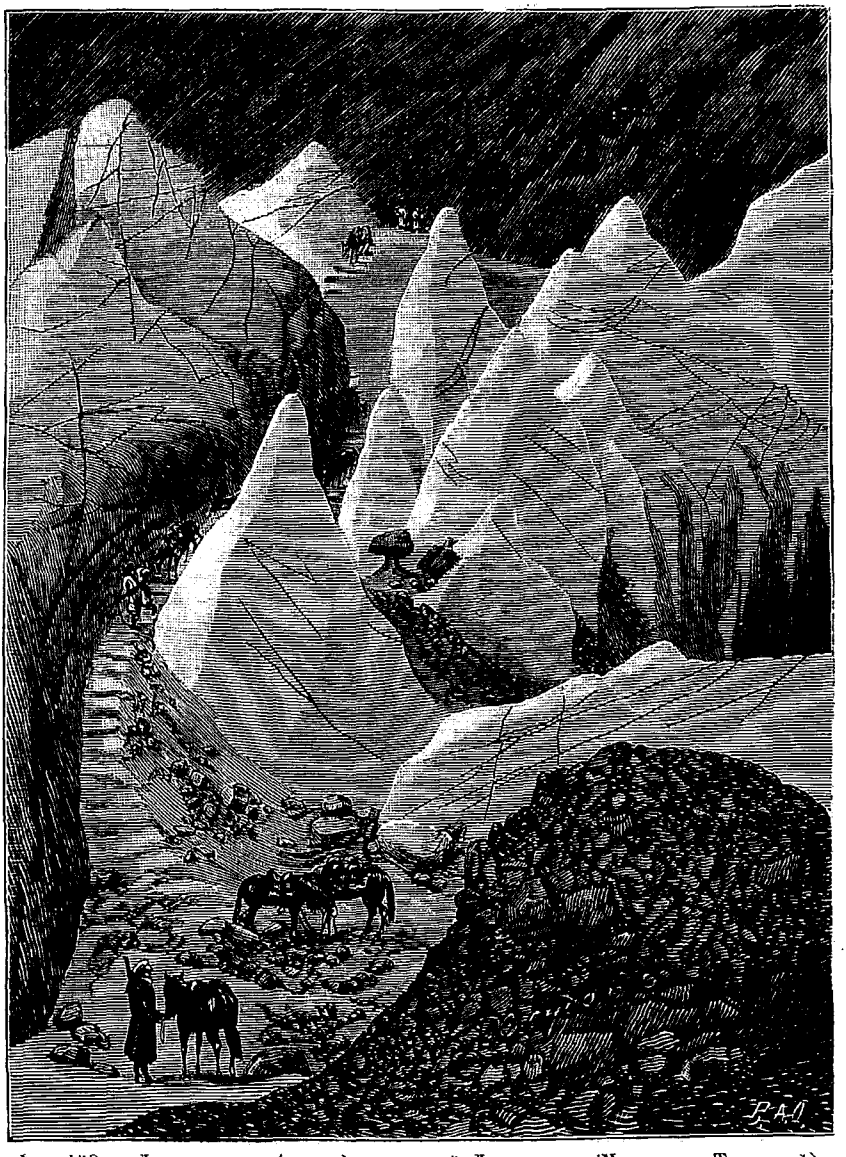


Фиг. 437.—Поперечныя трещины на ледникѣ Мушкетова въ Каратегинѣ.

новыя, направленныя также подъ угломъ 45° назадъ, которыя испытываютъ такое же измѣненіе, и т. д.; такимъ образомъ, край ледника избо-

рождается множествомъ пересѣкающихся трещинъ, въ которыхъ трудно разобрать послѣдовательный ходъ цѣлаго явленія.

На ледникахъ равномѣрной и достаточной ширины, одинаково повсюду наклонныхъ и болѣе или менѣе прямолинейныхъ, трещины появляются



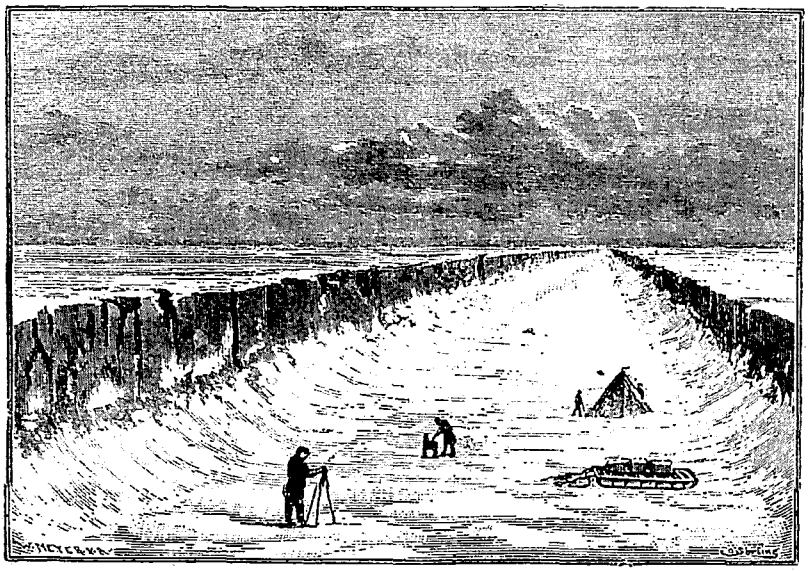
Фиг. 438. — Ледяные пики (сэраки) на ледникѣ Джипарлыкъ (Музартъ въ Тянь-шанѣ).

только вдоль краевъ ледника. Обыкновенно же ложе ледниковъ представляетъ уступы, долина его изогнута и слѣдовательно развиваются силы растяженія и въ другихъ мѣстахъ.

Проходя чрезъ неровности или гдѣ ложе сразу становится крутымъ, ледъ перегибается и, подъ вліяніемъ развивающагося продольнаго вытягиванія, раскалывается по всей толщинѣ множествомъ трещинъ, которыя тѣмъ многочисленнѣе и шире, чѣмъ сильнѣе перегибъ ложа (фиг. 435. 437).

Это трещины поперечныя (Querspalten, Transversalspalten, crevasses médianes).

Подобно тому какъ рѣка, пройдя водопады и пороги, обыкновенно разливается по широкому и спокойному руслу, такъ и ледникъ, пройдя черезъ выпуклости или террасы снова сглаживается; поперечныя трещины съуживаются и, наконецъ, закрываются. Если на пути встрѣчается вторая выпуклость или терраса, то ледникъ снова образуетъ каскадъ трещинъ, которыя на ровномъ мѣстѣ опять исчезаютъ, и т. д. Нижній Гриндельвальдскій ледникъ представляетъ поразительный примѣръ послѣдовательнаго образованія поперечныхъ трещинъ и ихъ исчезновенія. При ровномъ ложе съ равномѣрнымъ уклономъ, поперечныхъ трещинъ на ледникѣ вовсе



Фиг. 439.—Сочетаніе сбросовъ (Graben) въ ледниковомъ покровѣ Шпицбергена.

не образуется; надъ крутыми и высокими террасами, напротивъ, ледникъ такъ сильно разбивается ими, что представляетъ застывшій водопадъ или ледопадъ, напр. на Ахунѣ въ группѣ Зеравшанскихъ ледниковъ и на ледникѣ Джипарлыкъ (фиг. 438). Безчисленныя глыбы, на которыя разбивается при этомъ ледникъ, въ Альпахъ называютъ сэраками (séracs, напр. Ронскаго ледника, Mer de Glace, des Bossons и друг.).

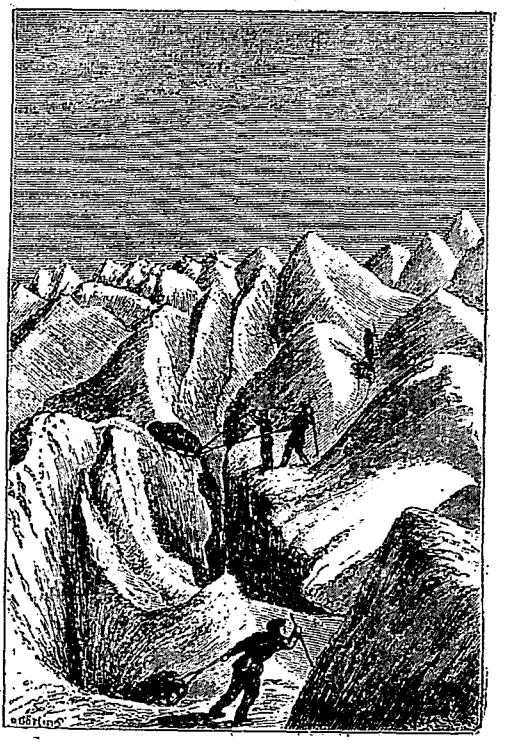
Поперечныя трещины рѣдко разбиваютъ ледникъ во всю ширину; но часто онѣ соединяются съ краевыми и образуютъ родъ дугъ, выпуклыхъ въ сторону теченія.

Продольныя трещины (Längsspalten, crevasses longitudinales), въ противоположность поперечнымъ, образуются отъ продольныхъ неровностей дна и особенно при выходѣ ледника изъ съуженія въ расширеніе или на концѣ, причемъ параллельныя трещины расходятся вѣерообразно (crevasses frontales), а, соединяясь съ краевыми, представляютъ лучистыя или радіальныя трещины, какъ представлено выше (см. фиг. 435).

Кромѣ того, Геймъ отличаетъ еще поддонныя или основныя трещины (Grundspalten), аналогичныя краевымъ, такъ какъ онѣ происходятъ отъ замедленія движенія льда треніемъ о дно ложа. Онѣ развиты на нижней поверхности ледянаго потока и до верхней не доходятъ. Онѣ весьма мало изучены, такъ какъ наблюденіе ихъ очень затруднительно, да и не всегда возможно. Только Хюги, проникшій подъ ледъ ледника Фишеръ, видѣлъ такую трещину широкую внизу и съуживающуюся кверху, но не болѣе 7 м. въ вышину.

Иногда по трещинамъ на ледникѣ происходятъ небольшіе сбросы. Въ большихъ размѣрахъ на явленіе сбросовъ указываетъ Норденшельдъ *) въ ледникахъ Шпицбергена, гдѣ онъ наблюдалъ большіе параллельные сбросы, которые производятъ на поверхности ледника долинообразныя углубленія (фиг. 439), на подобіе формы дислокаціи, называемой грабенъ; глубина ихъ до 40 ф. и ширина отъ 30 до 300 ф.; самыя трещины обыкновенно закрыты съ поверхности снѣгомъ. Дригальскій указываетъ, какъ очень характерное явленіе мелкіе сбросы и сдвиги по трещинамъ на ледникахъ Гренландіи.

Ледники платообразныхъ горъ Скандинавіи отличаются слабой трещиноватостью, такъ какъ условія для возникновенія трещинъ въ широкихъ ложахъ встрѣчаются, конечно, рѣже. Гренландскіе ледники отъ внутренняго покрова представляютъ сложную систему трещинъ: a) Краевыхъ въ области окраинъ, прилежащихъ къ нунатакамъ; такія трещины Дригальскій называетъ простыми вслѣдствіе постоянства ихъ направленій и распространенія ихъ также въ области внутренняго покрова, гдѣ собственно онѣ и преобразовываются въ открытыя щели, главнымъ образомъ подъ вліяніемъ размыва водой. На возникновеніи ихъ несомнѣнно отражаются и неровности ложа; слѣдовательно, эта категорія трещинъ обнимаетъ какъ поперечныя, такъ и продольныя трещины альпійскихъ ледниковъ. b) Другой видъ трещинъ представляетъ разнообразное расчлененіе какъ поверхности отдѣльныхъ ледниковъ, такъ и внутренняго покрова. По своему происхожденію онѣ не отличаются отъ предыдущихъ, но возможно, какъ предполагаетъ Дригальскій, что сложность ихъ происходитъ частью отъ постепеннаго расширенія при скручивающемъ усиліи (Drehungsspalten). Это сложное расчлененіе и придаетъ поверхности большихъ ледниковъ внутренняго покрова хаотическій видъ съ глубокими мульдами, пересѣченными разнообразными трещинами и окруженными дикими ледяными конусами (фиг. 440).



Фиг. 440. — Ледяныя горы на Гренландскомъ ледяномъ покровѣ

Выше мы уже говорили о трещинахъ фирна, и здѣсь напомнимъ только, что онѣ происходятъ также вслѣдствіе движенія всей массы фирна и льда. Спѣпленіе фирновыхъ слоевъ значительно слабѣе, чѣмъ плотнаго льда ледниковъ, поэтому даже при болѣе слабыхъ наклонахъ ложа фирновыя трещины шире, чѣмъ ледниковая; трещины шириною 1—2 м. встрѣчаются на совершенно ровныхъ частяхъ мульды, и трещины въ десять и болѣе метровъ не составляютъ рѣдкости. Вѣроятно, что въ болѣе мощныхъ фирнахъ трещины также, какъ и въ ледникахъ, не достигаютъ до дна, по

*) Nordenskjöld, Grönland, Leipzig 1886.

которому медленно сползаютъ болѣе сплошныя массы льда. Фирновыя трещины на ровныхъ частяхъ мульды открываются совершенно только къ осени, когда послѣдній снѣгъ совершенно стаетъ или преобразуется въ фирновый ледъ; тогда нетрудно и оріентироваться среди трещинъ для перехода черезъ нихъ, чаще всего по снѣговымъ мостамъ; раннимъ лѣтомъ даже при очень большой опытности ихъ трудно, а иногда и невозможно, отличить подъ покровомъ свѣжаго снѣга. Неопытнымъ альпинистамъ это слѣдуетъ твердо помнить.

Трещины ледниковъ могутъ быть заполнены снѣгомъ, который, уплотняясь при закрытіи трещины, образуетъ узкія, короткія полосы бѣлаго льда, богатаго пузырьками воздуха. Наоборотъ вода, поподающая въ трещины, если не имѣетъ выхода, замерзаетъ зимою и даетъ также короткія полосы и чечевицы, но льда голубаго почти совершенно безъ пузырьковъ воздуха; если такія включенія недавняго происхожденія, ихъ можно отличить еще по положенію ледяныхъ кристалловъ. Съ теченіемъ времени по структурѣ ихъ нельзя уже отличить отъ остального льда, отъ котораго они всетаки замѣтно отличаются своимъ голубымъ цвѣтомъ.

Слоистость и полосчатость.

Въ разрѣзахъ, обнаруживаемыхъ большими трещинами фирна, можно замѣтить, что фирновый ледъ представляетъ чередованіе болѣе свѣтлыхъ и болѣе темныхъ полосъ иногда совершенно горизонтальныхъ, чаще уже различнымъ образомъ наклоненныхъ, притомъ ясно приноровленныхъ къ формамъ ихъ ложа. Эти полосы представляютъ слѣдъ первоначальнаго отложенія или накопленія снѣга въ фирновой области, слѣдовательно слоистости въ тѣсномъ геологическомъ смыслѣ.

Въ фирновой области, какъ и повсюду дни обильные осадками смѣняются днями безъ осадковъ. Въ теченіе такихъ ясныхъ дней выпавшій снѣгъ подвергается съ поверхности измѣненіямъ въ фирнъ; на поверхности его образуется даже слой тонкозернистаго льда; при продолжительной погодѣ безъ осадковъ на немъ отлагается довольно замѣтно тонкая пыль отъ вывѣтриванія окружающихъ скалъ. Въ послѣдующій періодъ выпаденія осадковъ на этой поверхности отлагается новый слой снѣга, мощность и распространенность котораго зависятъ отъ продолжительности и количества осадковъ. Процессъ измѣненія верхней части этого слоя продолжается также, какъ и перваго, и т. д., такъ что вся фирновая масса, представляющая матеріалъ, изъ котораго образуется ниже расположенный ледникъ, не есть однородное тѣло, а слоистое отложеніе. Слоистость фирноваго льда можно прослѣдить по всему фирну, слѣдовательно, въ теченіе постепеннаго пониженія и движенія фирновой массы первоначальная слоистость ея не исчезаетъ и эта характерная особенность ея строенія сохраняется.

Въ ледниковомъ льдѣ слоистости такого рода не замѣчается, а мы видимъ только, какъ было указано уже раньше, полосчатость (Bänderung). До сихъ поръ между гляціалистами существуетъ разногласіе на счетъ происхожденія полосчатости и причинной связи между слоистостью фирна и полосчатостью ледниковаго льда; большинство изслѣдователей (Ридъ,

Финстервальдеръ, Крамеръ, Рихтеръ, Гессъ и друг.) склоняется теперь къ мнѣнію, что полосчатость есть водоизмѣненная слоистость.

Характернѣе всего полосчатость обнаруживается на сложныхъ ледникахъ; при изслѣдованіи поверхности среднихъ частей такого ледника съ срединными моренами можно убѣдиться, что полосы существуютъ раздѣльно для каждаго потока, что онѣ вблизи срединныхъ моренъ расположены параллельно имъ, а около оси каждаго отдѣльнаго ледника образуютъ выпуклыя книзу дуги, которыя и называютъ огивами. Этимъ поверхностнымъ явленіямъ соотвѣтствуетъ вполнѣ опредѣленное строеніе массы каждаго отдѣльнаго ледника, именно полосчатость, которая выражается въ ложкообразномъ, объемлющемъ другъ друга, расположеніи такихъ полосъ. Огивы можно ясно различать съ нѣкотораго разстоянія; лучше всего онѣ развиты обыкновенно при концѣ ледниковъ; здѣсь хорошо можно прослѣдить, что огивы не что иное, какъ выходы на поверхность ложкообразно объемлющихъ полосъ льда неодинаковыхъ плотности и вида.

Уже Агассицъ обратилъ вниманіе на эту структуру льда и говорилъ, что она является слѣдствіемъ вытягиванія фирновыхъ слоевъ при переходѣ ихъ изъ широкой фирновой мульды въ узкое ложе ледника. Но обстоятельство, что полосчатость особенно ясно обнаруживается также у подножія ледопадовъ, заставило его и Тиндаля обратиться къ давленію, какъ главному фактору, управляющему структурой ледниковаго льда. Тиндаль указалъ на случаи, гдѣ по его мнѣнію полосчатость и слоистость взаимно пересѣкаются, что еще болѣе укрѣпило представленіе о происхожденіи «голубой пластинчатости» отъ давленія. Мысль о возможности связи между слоистостью фирна и полосчатостью ледника была отвергнута совершенно, въ особенности послѣ того какъ Геймъ развилъ это ученіе о происхожденіи пластинчатой структуры отъ давленія и сравнилъ ее съ кливажемъ или ложной сланцеватостью. Геймъ различалъ три формы такой структуры: крутую поперечную (Querstructur) преимущественно у подножія разломовъ и ледопадовъ, гдѣ ложе имѣетъ вогнутость, гдѣ слѣдовательно развивается давленіе, а не растяженіе; крутую продольную (Längsstructur), гдѣ ледникъ испытываетъ боковое сжатіе, напр., при соединеніи двухъ ледниковъ, и пологую краевую (Randstructur), направляющуюся въ видѣ кривыхъ внизъ по движенію. Въ настоящее время всѣми признано, что всѣ эти формы структуры есть не что иное, какъ полосчатость въ ея разнообразномъ проявленіи въ различныхъ мѣстахъ ледника, но ложкообразной, если ее разсматривать въ цѣломъ (фиг. 435).

Очевидно, что единственный способъ доказать связь между полосчатостью и слоистостью, это прослѣдить отъ фирноваго поля рядъ ясныхъ слоевъ внизъ къ леднику и до его конца, гдѣ отчетливо обнаруживается полосчатость, чтобы выяснить есть ли какой-нибудь постепенный переходъ между этими двумя крайними структурами льда. Такую работу предпринялъ Ридъ на ледникахъ Форно и Унтераарскомъ, утверждающій, что можно видѣть постепенные переходы одной формы въ другую *). Инте-

*) Reid, De la progression des glaciers, leur stratification et leurs veines bleues. Comptes rendus Cong. géol. intern., VIII sess., Paris, 1901, стр. 749. Также, его же: The relation of the Blue veins of Glaciers to the Stratification etc., Comp. rendus Cong. géol. intern., IX sess., Vienne, 1904, стр. 704—705.

ресно, что Агассицъ, спеціально изучавшій Унтераарскій ледникъ, пришелъ къ такому же заключенію. Тиндаль и Форбсъ изучали преимущественно Mer de glace, а на этомъ ледникѣ недалеко отъ выхода изъ фирна находится крутой порогъ, совершенно прерывающій ясную связь между слоистостью и структурой нижней части ледника. На самомъ дѣлѣ теперь извѣстно, что крутое паденіе не прерываетъ правильности движенія, какъ это прослѣжено на Ронскомъ ледникѣ; нарушается связь только въ верхней части ледника, а подъ ними нижнія части проходятъ безъ особеннаго измѣненія первоначальной структуры. Какъ же объяснить полосчатость льда возрожденныхъ ледниковъ, т. е. образованныхъ спаиваніемъ отдѣльныхъ глыбъ льда? Форбсъ который объяснялъ полосчатую структуру неравномѣрнымъ движеніемъ различныхъ частей льда, на подобіе флюидальной структуры въ лавахъ, указывалъ, что полосчатая структура такихъ ледниковъ служитъ лучшимъ доказательствомъ отсутствія связи между слоистостью фирна и полосчатостью. Ридъ, Гессъ и Рихтеръ утверждаютъ, что послѣдовательное отложеніе обломковъ льда производитъ новое слоистое расположеніе матеріала, которое при движеніи такой массы ниже даетъ полосчатость (напр., на ледникѣ Suppheliaebrae въ Зогнефіордъ въ Норвегіи).

Положеніе голубыхъ полосъ всегда перпендикулярное къ направленіямъ наибольшаго давленія, какъ это утверждали Тиндаль и въ особенности Геймъ, не всегда оправдывается, и съ другой стороны нѣтъ ничего удивительнаго, что слои первоначально горизонтальные принимаютъ положеніе въ зависимости отъ давленія на нихъ.

Труднѣе всего объяснимыми остаются наблюденія Тиндаля и Агассица относительно пересѣченія слоистости полосчатостью. Можно замѣтить, что полосчатость иногда происходитъ отъ замерзанія воды въ трещинахъ, что на стѣнахъ трещинъ появляется иногда обманчивая слоистость, что кромѣ двухъ наблюденій (на ледн. Алечъ и около фирна Горнерскаго) Тиндаля другихъ фактовъ этого рода до сихъ поръ никто не наблюдалъ.

«Ложкообразное» расположеніе полосчатости, которое служитъ наиболѣе ея характернымъ и постояннымъ признакомъ, Гессъ и другіе объясняютъ преобразованіемъ первоначальной горизонтальной или слабо изогнутой слоистости фирна при переходѣ изъ широкой мульду въ узкую долину ледника. Извѣстное съуженіе при переходѣ отъ фирна къ языку наблюдается дѣйствительно повсюду отъ гренландскихъ ледниковъ до альпійскихъ. Гессъ поддерживаетъ это объясненіе удачнымъ опытомъ съ слоями воска, выдавливаемыми черезъ сравнительно узкое отверстіе, и соображеніемъ Рихтера, что такъ какъ въ ледниковомъ потокѣ нѣтъ другой ложкообразной структуры, кромѣ полосчатости, то весьма вѣроятно, что именно полосчатость произошла изъ слоистости. Наиболѣе ясное развитіе полосчатости какъ разъ при подножіи крутыхъ уступовъ и передъ съуженіями ледника объясняется тѣмъ, что въ такихъ мѣстахъ на сравнительно меньшемъ пространствѣ на поверхности обнажается гораздо больше полосъ, также какъ и при оконечности ледника.

Явленія полосчатости и слоистости льда отмѣчаютъ и для ледниковъ типа внутренняго покрова Гренландіи, Шпицбергена и друг. Полосча-

тость, Blauband-structur и Längsbänderung по описанію Дригальскаго *), сохраняетъ постоянное направленіе на значительныхъ пространствахъ и хорошо отличима уже издали, такъ какъ опредѣляетъ собою самый видъ поверхности льда. Она состоитъ изъ тонкихъ полосъ темно-голубого льда, рѣзко отличимыхъ отъ смежныхъ частей богатыхъ воздухомъ; полосы или быстро выклиниваются, или могутъ быть прослѣжены безъ перерыва на значительное разстояніе черезъ мульды и повышенія на поверхности ледника. На ширинѣ метра такихъ полосъ часто можно сосчитать до 20, толщиною отъ нити до 3 см. Направленіе полосчатости опредѣляетъ болѣе глубокія борозды на поверхности льда, такъ какъ полосчатость всегда расположена болѣе или менѣе перпендикулярно къ наружной поверхности льда. Общее направленіе полосчатости обыкновенно соотвѣтствуетъ направленію движенія отдѣльныхъ ледниковыхъ языковъ, но такъ какъ это послѣднее часто перпендикулярно къ движенію внутренняго покрова, то по мнѣнію Дригальскаго оно сохраняетъ именно поперечное направленіе къ движенію самого покрова. Если представить себѣ и здѣсь ложкообразное расположенія пластинчатости при выдавливаніи массъ льда въ отдѣльные потоки отъ общаго покрова, то такое отношеніе пластинчатости къ направленію движенія совершенно понятно.

Слоистость льда по описанію Дригальскаго, Чэмберлена, Мольтке, Іессена и друг. опредѣляется расположеніемъ скопленій песка, щебня и валуновъ въ нижнихъ частяхъ льда, а частью, и расположеніемъ воздушныхъ пузырьковъ. Такія грязевыя и богатыя воздухомъ полоски льда, сосредоточиваясь опредѣленными массами, образуютъ болѣе или менѣе уже непрерывныя скопленія, вызывающія впечатлѣніе, скорѣе, по мнѣнію Дригальскаго, чечевицеобразнаго (Flaserung) расположенія, чѣмъ настоящей слоистости (Schichtung). Обыкновенно это слоеобразное расположеніе параллельно основанію и нарушается только положеніемъ крупныхъ камней. Отъ примѣсей тонкаго обломочнаго матеріала цвѣтъ льда становится почти чернымъ, а отъ присутствія воздушныхъ пузырьковъ бѣлымъ; такія темныя и бѣлыя полосы перемежаются, плотно прилегая къ нагроможденію основной морены (см. фиг. 447). Кверху бѣлый ледъ постепенно смѣняется голубымъ, иногда можно замѣтить отдѣльныя полосы такого льда среди обыкновеннаго голубого, который до самаго верха, обнаруживая выше упомянутую полосчатость, не имѣетъ уже никакой сколько нибудь ясно выраженной слоистости. Строеніе льда изъ нижнихъ слоистыхъ массъ съ обломочнымъ матеріаломъ и чистыхъ верхнихъ толщъ превосходно иногда наблюдается на стѣнахъ айсберговъ.

Придерживаясь взглядовъ Гейма на происхожденіе полосчатости отъ давленія, Дригальскій объясняетъ такіе факты, какъ замѣщеніе полосчатости (именно Längsbänderung) грязевыми полосами (Schmutzbänder) ближе къ краямъ ледника и ясные переходы между слоистостью и поперечною полосчатостью (Querbänderung) загрязненіемъ сверху въ первомъ случаѣ разрыхленныхъ частей дѣйствительной полосчатости, а во второмъ поперечныхъ трещинъ. Какъ точный наблюдатель, Дригальскій не умалчиваетъ о случаяхъ и несомнѣнnаго перехода между слоистостью льда

*) Grönland-Expedition, I, стр. 75 и слѣд.

и полосчатостью, напр., на ледникѣ Фредериксгаабъ, но оговаривается, что это относится только къ ледниковымъ языкамъ отдѣльныхъ фирновыхъ областей (Hochlandeis), а не къ ледниковому покрову. Для послѣдняго онъ принимаетъ слоистость и полосчатость за совершенно различныя структуры. Стенструпъ для ледниковъ южной окраины Гренландіи (Hochlandeis по Дригальскому) и Нансенъ для внутренняго покрова съ этимъ не соглашаются. Онъ признаетъ, конечно, что годовые слои снѣга фирновъ внутренняго покрова должны существовать, но утверждаетъ, что въ дѣйствительности наблюдаемое явленіе слоистости нижнихъ частей ледниковаго покрова есть слѣдствіе постоянныхъ преобразованій льда. Какъ мы уже говорили, онъ указываетъ на нѣкоторую оріентировку зеренъ льда нижнихъ слоевъ; слоистость льда выражается въ параллельномъ расположеніи тонкихъ полосокъ среди однообразной массы темныхъ грязевыхъ частей и бѣлыхъ, богатыхъ воздухомъ; чередованіе такихъ грязевыхъ и бѣлыхъ слоеобразныхъ массъ, часто изогнутыхъ около крупныхъ камней,—наконецъ, сосредоченіе этихъ слоевъ только въ нижнихъ частяхъ льда,—все это, по его мнѣнію, факты плохо согласующіеся съ первоначальнымъ налеганіемъ другъ на друга слоевъ чистаго снѣга и снѣга богатаго пылью, какое только и можно себѣ представить въ области фирна. Возникновеніе слоеобразной структуры не есть только измѣненіе первичной слоистости, а преимущественно перераспредѣленіе заключенныхъ во льду постороннихъ примѣсей. Появленіе кристаллографической оріентировки зеренъ льда и связь слоистости съ нижними частями льда могутъ показывать, что этотъ процессъ зависитъ отъ давленія и происходитъ на мѣстѣ залеганія льда. Пластинчатость есть слѣдствіе давленія движенія, а слоистость—давленія нагрузки на неподвижное основіе. Слоистое расположеніе, которое обнаруживается частью и въ основной моренѣ, есть конечный результатъ такого давленія. Что касается перемежаемости грязевыхъ слоевъ льда и бѣлаго, то Дригальскій относитъ это на счетъ постепеннаго скопленія кріоконита въ теченіе значительнаго періода убыли ледниковаго покрова и послѣдующаго болѣе интенсивнаго его питанія: слѣдовательно, и это явленіе нельзя считать слоистостью въ геологическомъ смыслѣ. Словомъ слоистость льда, какъ она обнаруживается по окраинамъ ледника, есть выраженіе въ концентрированномъ видѣ явленій, совершающихся въ широкомъ масштабѣ, и первичная слоистость фирна, его годовые слои сохраняются при этомъ менѣе всего.

Самый процессъ перераспредѣленія матеріала въ массѣ льда Дригальскій объясняетъ частичнымъ плавленіемъ и смерзаніемъ льда подъ вліяніемъ давленія. Плавленіе начинается прежде всего въ наиболѣе глубокихъ частяхъ ледника; образующаяся при этомъ вода выдавливается кверху въ поры, пустоты и трещины льда; попадая въ условія пониженнаго давленія, она снова свободно замерзаетъ. Какъ первое слѣдствіе этого происходитъ освѣтлѣніе (Klarheit) льда, которое возрастаетъ отъ поверхности книзу. Съ теченіемъ времени вода плавленія уже не можетъ больше выдавливаться, она остается въ самой массѣ льда, который требуетъ въ этомъ случаѣ для своего переплавленія болѣе высокаго давленія; при первомъ же нарушеніи давленія вода замерзаетъ на мѣстѣ ея образованія, но всетаки подъ давленіемъ, слѣдовательно главныя кристалли-

ческія оси возникающихъ кристалловъ принимаютъ оріентировку параллельную давленію. Постороннія примѣси, какъ частицы песка и пузырьки воздуха, также при этомъ перемѣщаются, располагаясь по поверхностямъ нормальнымъ къ давленію. Возникаетъ родъ слоеобразнаго расположенія. Освѣтлѣніе льда есть переходная стадія, а его слоистость конечный результатъ такого преобразованія.

Постоянныя измѣненія состоянія (частичное внутреннее разжиженіе и смерзаніе) льда, по теоріи Дригальскаго, являются причиной его движенія; они вызываютъ горизонтальныя составляющія давленія вслѣдствіе перемѣщенія частицъ воды плавленія отъ областей высокаго давленія къ областямъ низкаго, т. е. отъ сѣченій (вертикальныхъ) большихъ къ сѣченіямъ меньшимъ; въ каждомъ такомъ сѣченіи боковое стремленіе тѣмъ сильнѣе, чѣмъ глубже точка, ибо съ глубиною возрастаетъ абсолютное давленіе, а значитъ и масса воды плавленія, по которой передается давленіе, и разрыхленіе сплошности льда. Въ двухъ смежныхъ вертикальныхъ сѣченіяхъ въ меньшемъ происходитъ смерзаніе воды, выдавленной изъ большого, и въ то же время механическое перемѣщеніе частицъ льда въ сторону меньшаго сѣченія. Съ развитіемъ его идеи такого движенія мы познакомимся дальше, а здѣсь замѣтимъ, что естественнымъ слѣдствіемъ изъ такого движенія является постоянное измѣненіе состоянія льда по нѣкоторымъ вертикальнымъ сѣченіямъ; поверхности такихъ сѣченій и представляются намъ въ видѣ полосчатости (Blaubänder). Прозрачность полосъ, обусловливающая ихъ цвѣтъ, показываетъ, что онѣ дѣйствительно связаны съ режеляціей; ихъ чередованіе зависитъ отъ того, что измѣненія состоянія перемѣщаются, такъ сказать, въ массѣ льда; давленіе, вызывающее ихъ, непрерывно колеблется, и правильной оріентировки зеренъ не можетъ быть. Если такое горизонтальное давленіе очень велико и постоянно, оно можетъ дать равнодѣйствующую съ постояннымъ давленіемъ нагрузки, и слоистость и пластинчатость сливаются въ одну систему.

Нельзя отказать этимъ разсужденіямъ Дригальскаго въ значительной степени убѣдительности; несомнѣнно, что высокое давленіе, подъ которымъ находятся нижнія части ледниковаго покрова, должно отразиться на ихъ состояніи; простое механическое измѣненіе слоистости фирна въ полосчатость ледника, какъ это можно считать доказаннымъ для альпійскихъ ледниковъ, здѣсь многообразно нарушается. Путь совершаемый частицами льда отъ фирна до ледниковаго языка, во внутреннемъ покровѣ слишкомъ великъ, чтобы на распредѣленіе этихъ частицъ не оказали вліянія другіе факторы, кромѣ теченія льда, и прежде всего давленіе, степень котораго здѣсь неизмѣримо больше, чѣмъ въ самыхъ крупныхъ альпійскихъ ледникахъ. Остается, конечно, сомнительнымъ, имѣютъ ли на развитіе слоеобразной структуры нижнихъ частей льда исключительное вліяніе только давленіе и періодическія измѣненія состоянія вещества; не могутъ ли при этомъ оказывать извѣстное вліяніе и механическія перемѣщенія цѣлыхъ массъ льда, т. е. образованіе плоскостей сдвига (thrust-planes)? Что касается до полосчатости (Längsbänderung Дригальскаго) льда внутреннихъ покрововъ, то очень вѣроятно, что въ этомъ выражается періодическое уплотненіе или даже образованіе

сланцеватости, возможность чего во льдѣ не отрицаютъ и крайніе защитники теоріи теченія льда ледниковъ, какъ напр., Гессъ.

Слоистость и полосчатость во всякомъ случаѣ тѣсно связаны съ движеніемъ льда, и вопросъ о нихъ рѣшаютъ различно исключительно въ зависимости отъ взглядовъ на самый способъ движенія льда. Движеніе льда представляетъ явленіе слишкомъ сложное; сложными и неоднообразными могутъ быть и слѣдствія его въ структурѣ льда.

Причины и слѣдствія убыли ледниковъ.

Каждый ледникъ находится подъ непрерывнымъ вліяніемъ агентовъ плавленія или таянія, которые дѣйствуютъ, а слѣдовательно и уменьшаютъ его со всѣхъ сторонъ: сверху, снизу и внутри. Ледники, спускающіеся къ морю, убываютъ сверхъ того образованіемъ айсберговъ, т. е. отрываніемъ нижнихъ концовъ.

Сообразно съ распредѣленіемъ агентовъ плавленія, сверху, снизу и внутри, общую убыль ледника можно раздѣлить на три категоріи: 1— верхнюю убыль, 2 — нижнюю убыль и 3 — внутреннюю убыль, всѣ онѣ зависятъ отъ различныхъ агентовъ.

Первая или верхняя убыль зависитъ отъ непосредственнаго дѣйствія лучей солнца, отъ нагрѣтаго воздуха, теплоты, отражаемой скалами, отъ сырого воздуха и дождя. Вторая или нижняя убыль—отъ боковыхъ ручьевъ, стекающихъ со склоновъ долины, отъ поддонныхъ ручьевъ, отъ теплаго воздуха, проникающаго черезъ ледниковыя пещеры и трещины къ нижней поверхности ледника, и, наконецъ, отъ внутренней теплоты земного шара. Третья или внутренняя убыль—отъ теплаго воздуха и воды, циркулирующей по капиллярнымъ трещинамъ ледника, и отъ давленія. Слѣдствіемъ убыли являются различные элементы на ледникахъ, такъ-то: каменные валы и конусы, ледниковые столы, стаканы, пещеры, ворота и, наконецъ, многочисленные ледниковые ручьи.

Таяніе съ поверхности ледника или верхняя убыль (Abschmelzung von oben, Ablation). Величина верхней убыли опредѣляется толщиною слоя льда, исчезающаго отъ таянія и испаренія въ теченіи опредѣленнаго времени. Толщину же эту можно опредѣлить или по уменьшенію глубины буровой скважины, проведенной для этой цѣли, или же по увеличенію высоты столба, вбитаго въ ледникъ *).

Наблюденія показываютъ, что величина верхней убыли весьма разнообразна не только для различныхъ ледниковъ или различныхъ мѣстъ одного ледника, но даже для одного и того же мѣста въ разное время и въ различную погоду.

Главная причина верхней убыли заключается въ солнечномъ лучеиспусканіи, которое на высокихъ горахъ проявляется гораздо интенсивнѣе, нежели въ мульдахъ и долинахъ. По Муссону, величина убыли, произведенной этимъ агентомъ въ ясный солнечный день, доходитъ до 0,02 м. и даже 0,025 м.

Солнечное лучеиспусканіе днемъ одинаково дѣйствуетъ какъ на поверхность ледника, такъ и на окружающія его скалы, но въ то время какъ на ледникѣ вся теплота тратится на плавленіе и испареніе льда, въ скалахъ она идетъ на нагрѣваніе ихъ. Послѣ заката солнца нагрѣтыя скалы лучеиспускаютъ теплоту, подъ вліяніемъ которой края ледника продолжаютъ убывать, и слѣдовательно убыль ихъ больше, нежели средины, а потому послѣдняя, вспучивающаяся уже отъ движенія, становится еще болѣе выпуклою и значительно возвышается надъ краями. Такъ какъ

*) Различные пріемы такихъ измѣреній, см. выноску на стр. 718.

нагрѣваніе скалъ на различныхъ сторонахъ неодинаково въ зависимости отъ положенія къ солнцу, то и убыль на разныхъ краяхъ ледника можетъ быть не одинакова.

Инсоляція, какъ замѣчено, усиливается съ высотою, именно приблизительно на $^1/_2\%$ на каждые 100 метровъ, тѣмъ не менѣе наблюденія показываютъ, что убыль ледника съ пониженіемъ возрастаетъ въ среднемъ на 50% на каждые 100 м. Это обнаруживается и на ледникахъ, языки которыхъ спускаются къ сѣверу, т. е. неблагопріятно относительно солнца. Слѣдовательно, кромѣ инсоляціи существенное значеніе имѣютъ и другіе факторы. Главнымъ изъ нихъ является температура воздуха, которая лѣтомъ возрастаетъ приблизительно на 1° C на каждые 140 м. книзу. Теплота воздуха особенно сказывается при фёнахъ, когда воздухъ, оставивъ свою влажность на одной сторонѣ горъ, опускается какъ сухой и холодной по другой сторонѣ, быстро при этомъ нагрѣваясь и насыщаясь влажностью. Въ нѣсколько дней фёна можетъ стаять снѣга гораздо больше, чѣмъ въ теченіе многихъ ясныхъ дней съ сильнымъ солнечнымъ лученспусканіемъ. Воздухъ вызываетъ убыль ледника также вслѣдствіе своей влажности. Водяной паръ воздуха конденсируется съ приближеніемъ къ холодной поверхности ледника и превращается въ росу, при этомъ выдѣляется нѣкоторое количество теплоты, которая идетъ на таяніе льда. Приблизительно считаютъ, что при образованіи вѣсовой единицы росы выдѣляется количество тепла, достаточное для превращенія въ воду семи вѣсовыхъ единицъ льда.

Съ другой стороны происходитъ и обратный процессъ, испаренія льда, который наступаетъ при циркуляціи сухого воздуха по поверхности ледника, хотя бы на ней совершенно не было воды. По мнѣнію Фореля и Дюфора конденсація пара происходитъ приблизительно въ семь разъ чаще, чѣмъ испареніе, и обѣ причины ведутъ къ убыли льда.

Дожди также помогаютъ верхней убыли, доставляя нагрѣтую воду на поверхность ледника.

Подъ вліяніемъ всѣхъ этихъ факторовъ, верхняя убыль достигаетъ значительныхъ размѣровъ; по наблюденіямъ Агассица, на Унтераарскомъ ледникѣ верхняя убыль равна $3^1/_2$ м. въ годъ. Колломбъ вывелъ годовую убыль у нижняго конца отъ 3 до $3^1/_2$ м. въ годъ, въ средней части отъ 2 до $2^1/_2$ м. и въ снѣжникѣ — 1 м. въ годъ. но вообще нужно сказать, что убыль ледника, вслѣдствіе рѣзкихъ годовыхъ колебаній, точно не опредѣлена. На ледникахъ Норвегіи въ области Юстедаля Севе нашелъ такую же величину годовой убыли, т. е. отъ $2^1/_2$ до $3^1/_2$ м. Суточная убыль для Альпійскихъ ледниковъ, по Шлагинтвейту, около 3 сант. Наибольшая убыль происходитъ въ іюлѣ, августѣ, сентябрѣ и отчасти въ октябрѣ; въ маѣ и іюнѣ ледникъ только освобождается отъ снѣгового покрова.

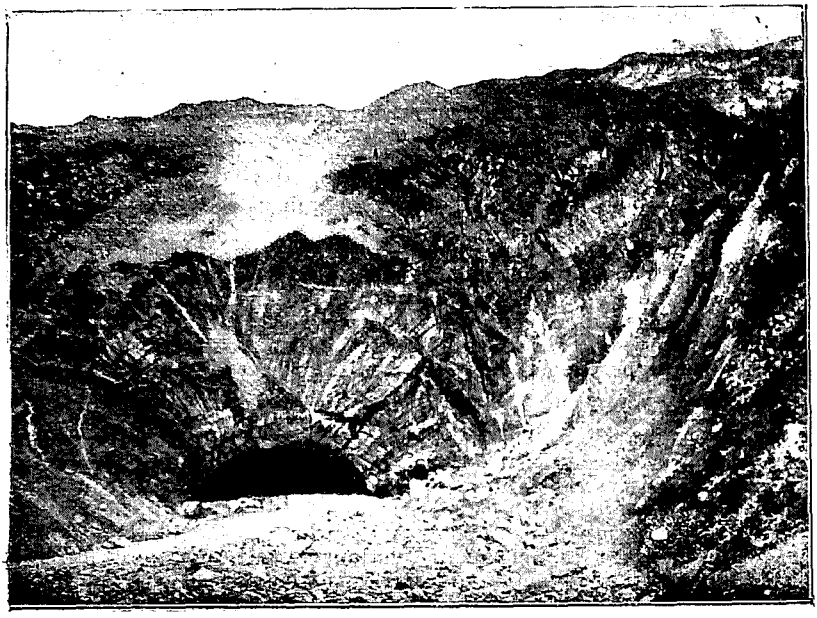
Новыя данныя Дригальскаго для Гренландіи даютъ 2,25 м. убыли на высотѣ 100 м., а Гамберга для Швеціи—3,3 м. на высотѣ 970 м., 0,9 м. на высотѣ 1100 м. и 0,04 м. на 1200 метрахъ.

Вода, какъ результатъ таянія льда (Ablationswasser), образуетъ на поверхности ледника многочисленные ручейки, большею частью, стекающіе внизъ, но иногда прорѣзывающіе ледникъ по разнымъ направленіямъ. Они отличаются большою быстротою, и потому горные жители считаютъ ледниковыя воды особенно „дикими“; ширина ихъ обыкновенно до 2—3 м., а глубина до $^1/_2$ м. Большею частью, они дѣйствуютъ только днемъ, а ночью замерзаютъ. На большихъ ледяныхъ покровахъ Гренландіи ручейки превращаются въ цѣлую рѣчную систему съ водопадами (см. фиг. 424) и многочисленными развѣтвляющимися притоками, которые вытекаютъ иногда изъ небольшихъ озеръ.

Всѣ эти ручейки не доходятъ до конца ледника, а большею частью, встрѣчая на пути трещину, устремляются въ нее и значительно расширяютъ; если трещина закроется, то на мѣстѣ впаденія ручья образуется вертикальная шахта; такого рода явленія называютъ ледниковыми мельницами (Gletschermühlen, Gletscherschächte, moulins, trous de cascades). Ледниковыя мельницы подвигаются вмѣстѣ съ ледникомъ, а на ея мѣстѣ образуется новая мельница, а старая, не получая питанія, превращается въ колодезь. Каждый ледникъ имѣетъ свои мельницы, а нѣкоторые нѣсколько ярусовъ. Глубина ихъ бываетъ до 50 и даже до 200 м., а на Унтераарскомъ ледникѣ Агассицъ наблюдалъ въ 260 м.; ими пользуются для измѣренія толщины ледника. Зимою мельницы наполняются совершенно или только отчасти снѣгомъ, который набивается въ нихъ довольно плотно. Если снѣгъ не заполняетъ всю глубину расщелины, а только соединяетъ ея верхніе края, то это называютъ снѣговымъ мостомъ. Такіе мосты весьма неустойчивы и обрушаются иногда отъ ничтожныхъ причинъ; а такъ какъ ни малѣйшій признакъ не выдаетъ страшной западни въ нѣсколько сотъ метровъ, то поэтому эти мосты представляютъ самую большую опасность для путешественниковъ. Достаточно иногда вступить на обманчивый мостъ, какъ онъ обрушается и вмѣстѣ съ путникомъ летитъ въ бездну. Много несчастныхъ случаевъ обязаны этой причинѣ,

Отъ вертикальныхъ колодцевъ часто отдѣляются боковые каналы; по которымъ вода достигаетъ болѣе глубокихъ частей ледника. Въ особенности на ледникѣ Маляспина, по Рёсселю, и на ледникѣ Муръ, по Риду, такіе туннели имѣютъ обширное развитіе. Они иногда выходятъ на поверхность ледника, не достигая до его дна; такъ на оконечности ледника Муръ ледниковые ключи выступаютъ на высотѣ 30—50 м. въ крутой стѣнѣ ледника. Иногда случается, что такой ключъ, переносящій значительное количество валуновъ и щебня, закрываетъ себѣ выходъ своими отложеніями и ищетъ новый путь, устремляясь даже снова на поверхность ледника.

Поверхностныя воды ледника и со склоновъ, попадая подъ ледникъ, образуютъ тамъ цѣлую сѣть каналовъ, обыкновенно слишкомъ низкихъ, чтобы можно было по нимъ далеко проникнуть подъ ледъ. Только при оконечности ледника, гдѣ разрушеніе его происходитъ наиболѣе интенсивно, ледниковые ручьи образуютъ высокія полости, такъ называемыя ледниковыя ворота (фиг. 441), иногда остающіяся въ неизмѣнномъ состояніи въ теченіе долгаго времени, а чаще совершенно распа-



Фиг. 441.— Ледниковыя ворота ледника Петра Великаго, въ верховіяхъ р. Базиракъ (хр. Петра Великаго) на высотѣ 10712 ф.

дающіяся въ теченіе одного лѣта. Изъ ледниковъ менѣе значительныхъ ручьи вытекаютъ изъ-подъ льда отдѣльными потоками, собирающимися въ одно русло уже ниже, или же подледниковая рѣка вытекаетъ однимъ широкимъ и мелкимъ русломъ. Въ мощныхъ ледникахъ, напр., Маляспина, можно видѣть нѣсколько воротъ, ведущихъ въ обширные туннели; по одному изъ нихъ Рёссель проникъ подъ ледникъ на нѣсколько километровъ. Всетаки и эта система каналовъ относится къ оконечности ледника, и можно думать, что въ болѣе центральныхъ частяхъ ледника ледъ лежитъ болѣе плотно на днѣ своего ложа, и даже вода принуждена часто мѣнять свое направленіе.

Кромѣ выпуклой средины, неравномѣрной высоты краевъ, ледниковыхъ ручьевъ и мельницъ, придающихъ поверхности ледника совершенно особую „лѣтнюю физіономію“, верхняя убыль производитъ еще нѣкоторые оригинальные элементы. На поверхности каждаго ледника находятся не только мелкая пыль или отдѣльные валуны, но большія накопленія продуктовъ вывѣтриванія склоновъ, располагающихся въ видѣ продольныхъ грядъ или полосъ по бокамъ и въ срединѣ ледника, называемыхъ моренами; происхожденіе и характеръ ихъ будутъ описаны ниже; теперь же замѣтимъ только, что присутствіе обломковъ горныхъ породъ придаетъ верхней убыли еще большую неравномѣрность, нежели какую она имѣетъ безъ нихъ.

Массовое скопленіе обломковъ защищаетъ ледъ отъ плавленія, и убыль его подъ ними происходитъ гораздо медленнѣе.

Въ мѣстахъ наибольшаго скопленія ихъ убыль будетъ наименьшая; гдѣ ихъ меньше, убыль будетъ больше, и самая наибольшая убыль происходитъ съ поверхности льда, не покрытаго обломками. Агассицъ опредѣлилъ, что на средней моренѣ Аарскаго ледника суточная убыль около 0,0075 м., тогда какъ, на сосѣдней чистой поверхности ледника суточная убыль составляетъ около 0,030 м.; вообще сплошной покровъ изъ обломковъ уменьшаетъ годовую убыль почти на 1 м. По изслѣдованіямъ Блюмке и Финстервальдера годовая убыль на поверхности ледника, покрытой щебнемъ, на 15% меньше, чѣмъ на открытой поверхности. Вслѣдствіе этого каменныя полосы или морены превращаются въ правильные валы или ряды холмовъ, смотря по равномѣрности валунныхъ накопленій.

Каменные валы и холмы съ правильными склонами въ 20°—30° достигаютъ иногда значительной высоты, отъ 20 до 60 метровъ. Въ мѣстахъ наибольшаго скопленія обломковъ, какъ бываетъ на нижнихъ узкихъ концахъ большихъ ледниковъ, поверхность ихъ покрыта сплошь болѣе или менѣе правильными конусами изъ обломковъ, ледъ обнажается только въ рѣдкихъ трещинахъ и поверхность ледника пріобрѣтаетъ характеръ каменистой пустыни; нижній конецъ Зеравшанскаго ледника (фиг. 436) представляетъ въ этомъ отношеніи классическій примѣръ; нѣкоторые конусы на немъ достигаютъ до 80 и 100 м.

Въ Гренландіи подобные каменные валы около нунатаковъ достигаютъ 115 м.

Отдѣльные, рѣдко разсѣянные большіе камни на поверхности ледника точно также защищаютъ ледъ отъ убыли; окружающая чистая поверхность постепенно понижается отъ большей убыли, оставляя родъ ледяного столба съ большимъ камнемъ на вершинѣ: эти какъ бы колонны, увѣнчанныя капителью, называютъ ледниковыми столами (Gletschertisch, tables des glaciers). По мнѣнію Шлагинтвейта величина убыли въ ледниковыхъ столахъ составляетъ только $^1/_3$ часть убыли чистой поверхности. Высота ледниковыхъ столовъ чаще всего $^1/_2$ м., но доходитъ до 4 м. и рѣдко болѣе, напр. на ледникахъ Музарта (фиг. 442), поверхность ихъ до 30 м. Въ сущности ледяной валъ или холмы подъ моренами представляютъ только совокупность ледниковыхъ столовъ.

Ледниковые столы почти никогда не лежатъ совершенно горизонтально на своихъ пьедесталахъ, а всегда нѣсколько наклонены въ сторону, наиболѣе освѣщаемую солнцемъ. Южный конецъ ихъ нагрѣвается сильнѣе, плавитъ свою ледяную подставку и постепенно наклоняется. Наконецъ, наклонъ становится такъ великъ, что камень соскальзываетъ со своего пьедестала, и тогда подъ нимъ начинается образованіе новаго ледянаго столба; такимъ образомъ, ледниковые столы, постоянно подвигаясь вмѣстѣ съ ледникомъ внизъ, вмѣстѣ съ тѣмъ постоянно перемѣщаются въ сторону наибольшаго нагрѣванія, позволяя иногда альпинистамъ ориентироваться на поверхности ледника въ туманную погоду.

Противоположный результатъ получится, если вмѣсто большихъ камней, на поверхности ледника находятся мелкія гальки, особенно чернаго цвѣта, или несплошной песчаный покровъ, или же космическая пыль (кріоконитъ), какъ наблюдали Норденшельдъ, Дригальскій и друг. на ледяномъ покровѣ Гренландіи. Въ этихъ случаяхъ, благодаря значительной лучепоглощательной способности и быстрому прогрѣванію мелкихъ камушковъ или песчинокъ, ледъ подъ ними будетъ плавиться гораздо скорѣе, нежели на окружающей поверхности, и они будутъ постепенно опускаться въ образованныя ими самими углубленія, которыя можно было бы назвать ледниковыми стаканами. Мѣстами ихъ такъ много, что поверхность ледника представляетъ видъ сита или рѣшета. Каждый стаканчикъ имѣетъ на днѣ камушекъ или песчинку; днемъ они приблизительно до половины наполнены водою, которая ночью превращается въ ледъ, отличающійся отъ ледниковаго своею структурою. На Зеравшанскомъ ледникѣ, ниже устья Ахуна и особенно на ледникѣ Ой-джайляу ледниковые стаканчики занимаютъ площади болѣе квадратной версты.

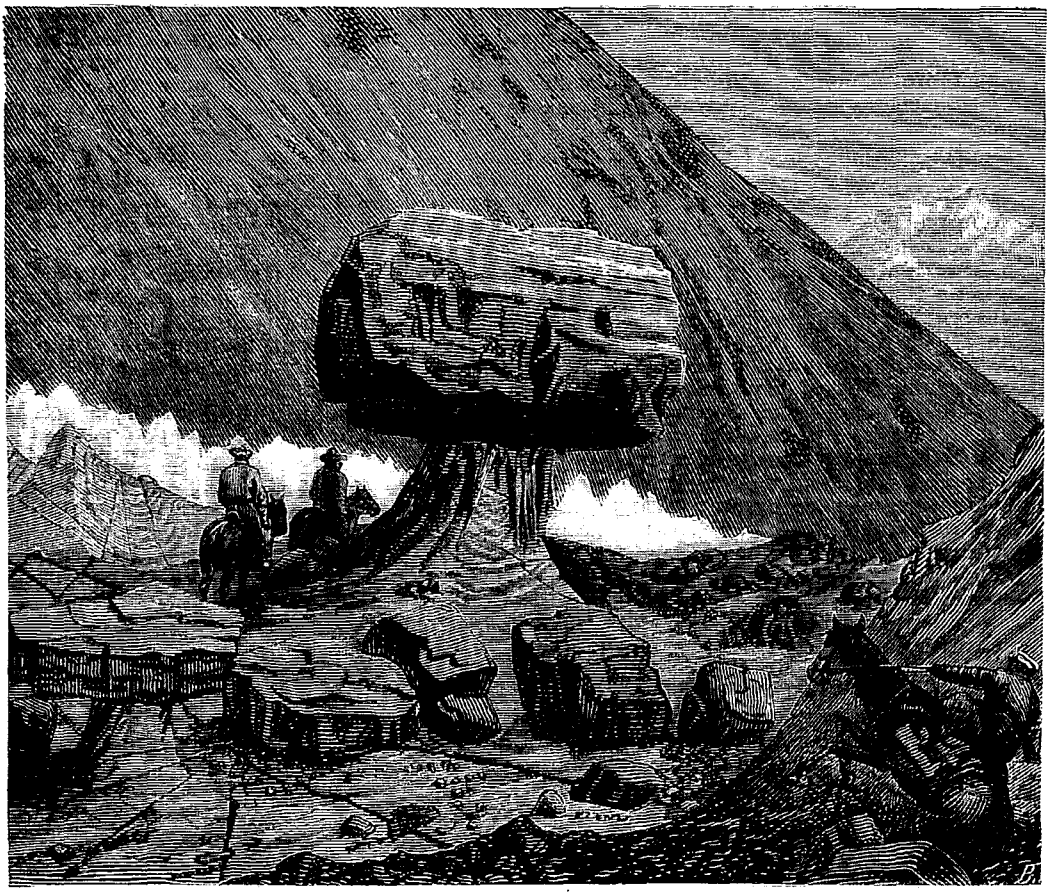
Прониканіемъ въ массу льда мелкихъ минеральныхъ частицъ объясняется, такъ сказать, минерализація ледниковаго льда; такъ, Агиссицъ нашелъ въ одномъ литрѣ воды, полученной изъ совершенно повидимому чистаго, прозрачнаго льда, взятаго на глубинѣ 7 м., около $2^1/_2$ гр. минеральныхъ веществъ. У насъ на Кавказѣ въ долинѣ Ардона въ группѣ ледниковъ Цеи (6575 ф. по Абиху) одинъ изъ ледниковъ, благодаря своей минерализаціи, считается цѣлебнымъ и эксплуатируется для этой цѣли не только туземцами, но даже пріѣзжими. Было бы весьма интересно изслѣдовать ближе это оригинальное явленіе.

Таяніе ледника снизу или нижняя убыль. Эта убыль зависитъ частью отъ тѣхъ же факторовъ, что и верхняя, т. е. проникновенія воды съ поверхности и вліянія воздуха, проникающаго подъ ледникъ.

Нижней убыли способствуютъ иногда источники, вытекающіе подъ ледникомъ, напр. на Горнерскомъ ледникѣ. Но болѣе постоянною причиною нижней убыли является внутренняя теплота земного шара. Вліяніе ея видно уже изъ опредѣленія

изогеотермическихъ линій, разсмотрѣнныхъ въ первой части нашего курса, гдѣ указана была зависимость величины геотермическаго градуса отъ снѣгового покрова. Въ Альпахъ изогеотерма 0°, по Шлагинтвейту, приходится на высотѣ 2800—2000 м.; по Штапфу—2775 м., а изотерма 0° на 1900—2200 м.; первая случайно совпадаетъ съ высотою снѣговой линіи; значитъ, ледники, спускающіеся ниже снѣговой линіи, должны подвергаться таянію отъ внутренней теплоты, которая поддерживаетъ температуру ледниковъ дна около 0° круглый годъ, о чемъ мы говорили уже раньше. Но вообще наблюденій въ этомъ направленіи сдѣлано слишкомъ мало, чтобы возможно было опредѣлить мѣру вліянія этого агента на убыль ледника.

Что касается степени внутренней убыли, то она мало извѣстна, да и трудно поддается изученію. Можно только сказать, что внутренняя масса ледника несо-



Фиг. 442.—Ледниковые столы на ледникѣ Джипарлыкъ (Музартъ въ Тянь-шанѣ).

мнѣнно подвержена убыли, которая обусловливается не только проникающею сверху водой, воздухомъ, но также и давленіемъ.

Общая убыль ледника, съ одной стороны, понижаетъ его, а съ другой, даетъ массу ручьевъ, которые, соединяясь вмѣстѣ, вытекаютъ иногда въ видѣ цѣлой рѣки изъ конечнаго свода или ледниковыхъ воротъ. Расходъ воды въ нихъ доходитъ до $4—5^1/_2$ куб. м. въ секунду,—напр. въ Пастерцкомъ ледникѣ. Температура маленькихъ ручьевъ около 0°, на большихъ доходитъ до 1,5° и даже 1,7° Ц., что, вѣроятно, объясняется вліяніемъ теплаго воздуха и внутренней теплоты земли. Съ удаленіемъ отъ ледника температура ихъ возрастаетъ быстро, но неправильно; такъ, по

Агассицу на Унтераарскомъ ледникѣ у воротъ 0°, въ разстояніи 500 м. — + 3° Ц., 1000 м. + 6° Ц., 2000 м. + 6,5° Ц.

Ледниковые ручьи отличаются непостоянствомъ и измѣняются въ зависимости отъ времени дня, отъ погоды, времени года и пр., словомъ, въ общемъ, согласно съ колебаніемъ величины убыли.

Такъ какъ изъ всѣхъ факторовъ, вліяющихъ на убыль ледника, постояннымъ остается только внутренняя теплота земли, обусловливающая часть нижней убыли, то именно этому фактору можно приписать образованіе воды въ подледниковыхъ ручьяхъ въ то время, когда верхняя убыль и осадки не могутъ совершенно давать воды. Наблюденія надъ измѣненіемъ количества воды, напр., изъ Ронскаго ледника въ 1900 — 1901 гг., показали, что количество зимней воды очень невелико сравнительно съ количествомъ лѣтней; среднее количество въ зимніе мѣсяцы выражается 0,45 м.^{3} въ 1″, а лѣтнее 4,25 м^3. Величина убыли отъ вліянія теплоты горныхъ породъ составляетъ при этомъ только 8,6% годовой убыли на поверхности ледника.

Стенструпъ и Дригальскій указываютъ, что зимою изъ подъ мелкихъ ледниковъ Гренландіи продолжаютъ истекать ручьи совершенно прозрачной воды, лѣтомъ тѣ же ключи несутъ мутную воду. Подледниковые ручьи крупныхъ ледниковъ, спускающихся въ море, оканчиваются также подъ водой; ихъ мутная вода, удѣльно болѣе легкая, распространяется широко на нѣсколько километровъ по поверхности моря около конца такихъ ледниковъ; они остаются мутными и зимой. Можно думать, что значительная часть воды, вытекающей изъ подъ внутренняго покрова, происходитъ на счетъ таянія льда при днѣ ледника.

До сихъ поръ не вполнѣ установлено, продолжаютъ ли давать воду незначительные альпійскіе ледники. Геймъ приводитъ случаи, когда подледниковые ключи зимою совершенно повидимому останавливались, но возможно, что вода просачивается при этомъ по горнымъ породамъ или скрывается среди моренныхъ отложеній.

Айсберги. Ледники, оканчивающіеся въ море, убываютъ кромѣ абляціи, дѣйствующей отъ фирна до уровня моря, также вслѣдствіе отламыванія своихъ переднихъ частей. Чѣмъ полярнѣе положеніе ледника, тѣмъ вліяніе первой причины становится слабѣе сравнительно съ другимъ факторомъ. На Шпицбергенѣ, землѣ Франца-Іосифа и въ особенности на окраинахъ антарктическаго материка мы имѣемъ ледники, которые въ сущности представляютъ только колоссальныя области питанія; фирновая граница лежитъ или очень невысоко надъ уровнемъ моря или непосредственно на этомъ уровнѣ; ледяныя массы обламываются крутыми обрывами прямо въ море, не посылая отъ себя никакихъ ледниковыхъ языковъ.

Слоистыя ледяныя массы постепенно выдвигаются въ море подъ вліяніемъ давленія выше лежащихъ частей; эти массы продолжаютъ двигаться по дну моря до тѣхъ поръ, пока подъ вліяніемъ подъемной силы морской воды онѣ не отдѣлятся отъ дна. Вѣсъ такой приподнятой массы и давленіе воды снизу вызываютъ образованіе трещинъ какъ на ея поверхности, такъ и на нижней сторонѣ, и, наконецъ, наступаетъ моментъ разлома.

Если отдѣлившаяся такимъ образомъ часть ледяной массы достаточно широка и длинна, она сохраняетъ свое первоначальное положеніе на

поверхности моря и послѣ разлома. Если горизонтальные размѣры такой массы малы сравнительно съ ея толщиною, льдина въ моментъ разлома повертывается, пока не придетъ въ устойчивое равновѣсіе. Въ такихъ ледяныхъ горахъ направленіе слоистости приходится подъ различными углами къ уровню моря. Иногда она опрокидывается совершенно, если ея нижняя сторона значительно меньше, чѣмъ верхняя. Процессъ отдѣленія ледяной горы сопровождается страшнымъ трескомъ, и на поверхности воды моментально поднимается ледяная гора; моряки, сравнивая моментальное всплытіе ледяной горы съ внезапнымъ появленіемъ на поверхности моря телятъ морскихъ животныхъ, говорятъ что льдина отелилась (calve, Kalbung); у насъ на сѣверѣ говорятъ—ощенилась.

По измѣреніямъ Стенструпа надводная часть ледяной горы относится къ подводной какъ 1 : 8,23, если ледъ совершенно свободенъ отъ воздуха, и какъ 1 : 7,41, если уд. вѣсъ льда менѣе, вслѣдствіе присутствія воздуха. Ледяныя горы высотою въ 70 м. надъ уровнемъ моря, какъ мы говорили раньше, не рѣдкость; слѣдовательно онѣ произошли отъ ледниковъ мощностью въ 500—600 м. Длина такой горы должна быть больше, чѣмъ мощность льда, если она сохраняетъ свое первоначальное положеніе; скорость движенія льда при оконечности такихъ ледниковъ достигаетъ до 25 м. въ день; слѣдовательно, значительныя ледяныя горы могутъ отдѣляться отъ ледника въ промежутки времени не менѣе 30—40 дней, т. е. крупное «Kalbung» представляетъ явленіе далеко не частое.

По мнѣнію Стенструпа этому явленію предшествуетъ постепенное отламываніе кусковъ льда отъ его верхняго края, двигающагося быстрѣе нижней поверхности; это уменьшаетъ вѣсъ всей массы, поддерживаемой водой, пока давленіе воды снизу не превыситъ сопротивленія льда разлому; только послѣ этого наступаетъ внезапный разломъ всей толщи, и ея отломокъ всплываетъ на поверхность, почти не обнаруживая поднятія. Дригальскій, Гаммеръ, Гелландъ и друг. считаютъ главной причиной разлома ледника давленіе воды снизу на конецъ ледника, свободно выдающійся въ море, и указываютъ, что образованіе айсберга всегда сопровождается поднятіемъ отломка, какъ это ясно обнаруживается болѣе высокимъ положеніемъ старой береговой линіи на его отвѣсныхъ частяхъ.

Ридъ наблюдалъ на ледникѣ Муръ образованіе небольшихъ ледяныхъ горъ только отъ обламыванія верхняго края ледника; нижняя часть ледника, имѣющая здѣсь мощность до 220 м., замѣтно менѣе выдается въ море, чѣмъ верхній край, частью вслѣдствіе уменьшенія скорости движенія книзу, частью вслѣдствіе болѣе сильнаго разрушенія нижней части отъ дѣйствія теплой воды моря.

Зимою, когда поверхность фіордовъ, въ которые оканчиваются гренландскіе ледники, сковывается пакомъ, онъ оказываетъ значительное сопротивленіе движенію ледниковъ. Поверхность пака изгибается при этомъ волнообразно; отламывающіяся ледяныя горы прижимаются другъ къ другу до наступленія теплаго времени. Оконечность ледника можетъ при этомъ удлиняться до 2—3 км.

По количеству ледяныхъ горъ и ихъ объему можно судить о степени убыли оканчивающихся такимъ образомъ ледниковъ. Гелландъ вычислилъ, напр., что годовая убыль ледника Якобсхавенъ составляетъ 5,4 куб. км.;

большой ледникъ Каракъ убываетъ ежегодно, по Дригальскому, на 9,4 куб. км. По вычисленію Ринка гренландское побережье ежегодно даетъ около 235 милл. куб. км. льда. Принимая во вниманіе еще верхнюю убыль гренландскаго внутренняго покрова на протяженіи 7000 км. береговой линіи при ширинѣ ея въ 10 км. въ количествѣ 1 м. въ годъ, слѣдовательно всего въ количествѣ 70 куб. км., получимъ общую убыль внутренняго покрова въ 305 милл. куб. км. Если принять среднее количество осадковъ въ 0,13 м., даваемое Нансеномъ, то на всей площади внутренняго покрова (1,9 милл. кв. км.) получимъ годовое количество въ 437 милл. куб. км., слѣдовательно превышеніе питанія надъ убылью. Этотъ разсчетъ не можетъ претендовать на особенную точность, такъ какъ количество осадковъ въ сущности не извѣстно, а для разсчета убыли приняты во вниманіе только фіорды; между тѣмъ только въ одномъ заливѣ Мельвилля и при оконечности ледника Гумбольдта айсберговъ возникаетъ больше, чѣмъ по всѣмъ фіордамъ, взятымъ вмѣстѣ. Несомнѣнно лишь, что окраина внутренняго покрова можетъ испытывать такія же колебанія, какъ и оконечности альпійскихъ ледниковъ; эти колебанія вызываются увеличеніемъ или уменьшеніемъ количества осадковъ и могутъ обнаружиться только спустя значительный промежутокъ времени, такъ какъ снѣговыя массы области накопленія внутренняго покрова могутъ достигнуть его окраины въ фіордахъ не менѣе какъ черезъ 2000—3000 лѣтъ. Эти же цифры показываютъ, что нѣтъ никакого основанія разсматривать внутренній покровъ за остатокъ отъ какой либо предшествовавшей геологической эпохи.

Механическая дѣятельность ледниковъ.

Ледники походятъ на рѣки не только движеніемъ, но также и характеромъ своей механической дѣятельности. Какъ водяные, такъ и ледниковые потоки разрушаютъ минеральный матеріалъ, переносятъ его, шлифуютъ и отлагаютъ въ новыхъ мѣстахъ, такъ что процессы, разсмотрѣнные нами при описаніи дѣятельности воды и воздуха, въ сущности повторяются и въ ледникахъ, но разумѣется, съ совершенно другою напряженностью, а значитъ и съ другими результатами. Слѣдовательно въ механической дѣятельности ледниковъ, также какъ и въ дѣятельности воды можно выдѣлить такіе же процессы: разрушенія, перенесенія, шлифованія и отложенія. Первые три въ ихъ совокупности получаютъ общее названіе—выпахиванія (Ausräumung) или экзарацiи (Exaration), подобно тому, какъ мы различали размываніе, абразію и развѣваніе для дѣятельности проточной воды, моря и вѣтра.

Изученіе механической дѣятельности ледниковъ и ея разнообразныхъ слѣдствій на земной поверхности, интересное само по себѣ, имѣетъ громадное физико-геологическое значеніе въ томъ отношеніи, что выясняетъ признаки, по которымъ возможно опредѣлить развитіе древнихъ, давно исчезнувшихъ отдѣльныхъ ледниковъ, или обширныхъ ледяныхъ покрововъ; констатированіе же послѣднихъ приводитъ къ познанію крупнѣйшихъ физико-географическихъ измѣненій, пережитыхъ землею.

Геологическая роль ледниковъ осложняется нѣсколько тѣмъ обстоя-

тельствомъ, что одновременно съ механической работой собственно льда мы имѣемъ здѣсь и работу подледниковыхъ водъ, которая въ конечномъ результатѣ даетъ отложенія, тѣсно связанныя съ отложеніями собственно ледниковъ.

Морены (Moränen, moraines, moraines).

Хотя ледники, подобно рѣкамъ, увлекаютъ съ собою массу разныхъ обломковъ, которые, достигнувъ конца ледника, отлагаются, тѣмъ не менѣе происхожденіе этихъ обломковъ, характеръ и распредѣленіе ихъ на ледникѣ и, наконецъ, способъ перенесенія и отложенія—совершенно другіе, нежели въ рѣкахъ.

Согласно съ Агассицомъ и по предложенію международной ледниковой конференціи 1899 г. *) принято называть моренами весь тотъ матеріалъ, который какъ переносится *на* ледникѣ, *въ самой* массѣ его и *подъ нимъ*, такъ и отлагается въ зависимости отъ движенія ледника и его таянія. Слѣдовательно нужно различать двѣ группы моренъ: перемѣщаемыя и отложенныя, которыя классифицируютъ съ различныхъ точекъ зрѣнія **).

Прежде всего необходимо познакомиться съ матеріаломъ моренъ и его происхожденіемъ.

Матеріалъ моренъ. Наибольшее количество минеральнаго матеріала, скопляющагося на поверхности ледника, происходитъ вслѣдствіе вывѣтриванія склоновъ ледниковой долины.

Мы уже знаемъ, что вывѣтриваніе разрыхляетъ породы и разбиваетъ ихъ на отдѣльные куски, которые, или вслѣдствіе собственной тяжести, или при посредствѣ вѣтра, дождя и особенно ливня, низвергаются съ крутыхъ склоновъ и образуютъ при подошвѣ ихъ коническія осыпи. Но если эти осыпи попадаютъ на подвижную поверхность ледника, то, очевидно, онѣ не сохраняютъ своего положенія, а перемѣщаются вмѣстѣ съ ледникомъ внизъ по долинѣ; осыпь, образовавшаяся сегодня, черезъ недѣлю будетъ на 1—3 м. ниже, а на мѣстѣ ея появится новая, и т. д.

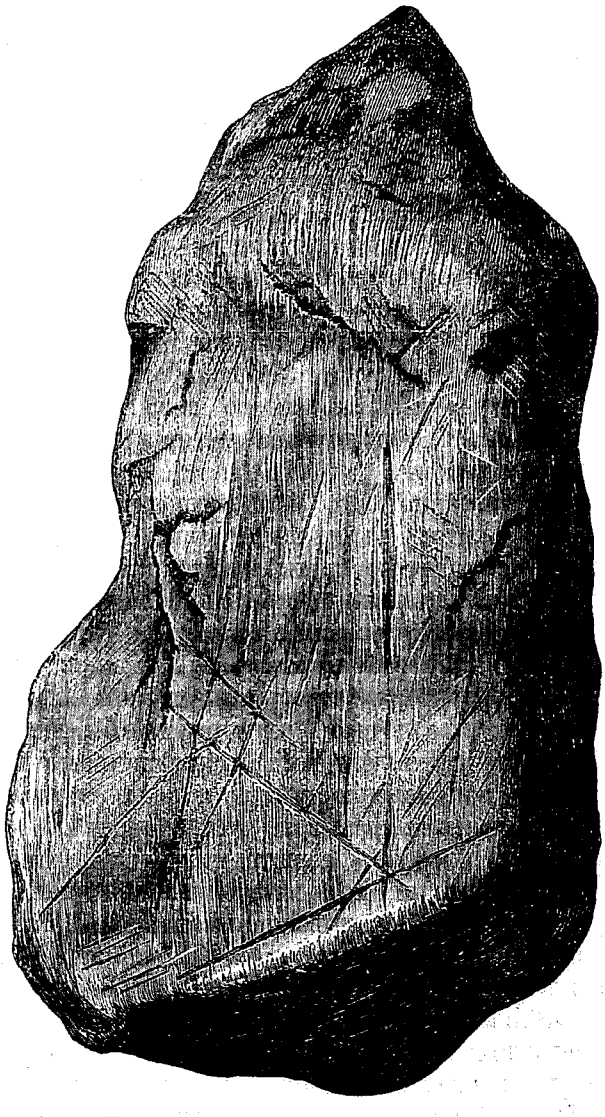
Совершенно также обломки породъ попадаютъ со склоновъ, окружающихъ фирнъ, на его поверхность; они покрываются свѣже выпавшимъ снѣгомъ и постепенно погружаются все ближе къ дну фирновой мульды, а вмѣстѣ со льдомъ перемѣщаются дальше къ его области стока; такъ возникаетъ часть матеріала, скопляющагося при почвѣ ледника.

Достигая дна ледника, этотъ матеріалъ начинаетъ подвергаться дальнѣйшей переработкѣ и въ свою очередь оказываетъ вліяніе на измѣненіе

*) Verhandl. d. VII Intern. Geographen-Kongr., Berlin 1899. II, 1901, стр. 285—286.

**) Такое подраздѣленіе нѣкоторыми наслѣдователями отрицается на основаніи только затруднительности провести границу между тѣми и другими въ нѣкоторыхъ случаяхъ. Böhm Edler v. Bömersheim въ обширной работѣ, посвященной этому вопросу (Geschichte der Moränenkunde, Abh. d. k. k. geogr Ges. in Wien, 1901, III Bd., № 4), даетъ иное раздѣленіе, чѣмъ предложенное международной конференціей, болѣе дробное, но съ многими новыми названіями, напр. Schwundmoränen (морены отступанія ледника), Stapelmoränen (морены нагроможденія), Feldmoränen, Holdenmoränen и друг. Критическія замѣчанія автора во всякомъ случаѣ очень любопытны, а значительная часть работы представляетъ цѣнный историческій очеркъ развитія представленій, связанныхъ съ понятіемъ о моренахъ.

ледниковаго ложа. Обломки наиболѣе твердыхъ породъ, попадая на нижнюю поверхность льда и вклиниваясь въ нее при благопріятныхъ къ тому условіяхъ, играютъ роль такъ называемыхъ вытачивающихъ камней (Scheuerstein); они бороздятъ поверхность горныхъ породъ ложа, покрывая ее штрихами и бороздами, а болѣе тонкій обломочный матеріалъ оказываетъ при движеніи ледника шлифующее вліяніе какъ на породы ложа, такъ и вытачивающіе камни. Гдѣ ледниковое ложе освободится отъ льда, тамъ повсюду можно замѣтить слѣды такой обработки; склоны и дно ложа покрыты многочисленными почти параллельными тонкими и грубыми штрихами, согласными съ направленіемъ движенія льда, а въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ твердость породъ или характеръ залеганія препятствовали болѣе глубокому проникновенію въ нихъ вытачивающихъ камней, можно замѣтить гладко отшлифованныя и округленныя скалы. Перемѣщаемый матеріалъ и самъ подвергается при этомъ дальнѣйшей переработкѣ; онъ измельчается, также шлифуется и истирается болѣе твердыми породами ложа. Продуктами такой взаимной переработки породъ ложа и перемѣщаемыхъ породъ являются тонкій песокъ и илъ, которые частью двигаются подледниковыми водами, всегда окрашенными такой ледниковой мукой. Въ зависимости отъ обилія такихъ водъ и величины матеріала онъ отлагается въ различномъ разстояніи отъ конца ледника.



Фиг. 443.—Валунъ известняка съ ледниковыми штрихами.

На почвѣ ледниковаго ложа, послѣ отступленія ледника, можно замѣтить сплошной покровъ щебня и валуновъ, отшлифованный и изборожденный видъ которыхъ (фиг. 443) свидѣтельствуетъ, что они возникли при нижней сторонѣ ледника, а не на его поверхности. Кромѣ матеріала,

попадающаго съ фирновой области, въ этомъ накопленіи принимаетъ значительное участіе и матеріалъ еще другого рода. Вслѣдствіе повышенія давленія въ массѣ ледника, напр. при прохожденіи льдомъ какого нибудь препятствія, часть льда превращается въ воду съ температурой ниже 0°; при возстановленіи равновѣсія давленія эта вода, проникшая въ трещины породъ, оказывавшихъ сопротивленіе движенію, замерзаетъ и вызываетъ этимъ дальнѣйшее растрескиваніе породы. Слѣдовательно, всѣ колебанія давленія, сопровождаемыя колебаніями температуры льда около точки замерзанія, что должно происходить именно около дна ледника, могутъ способствовать разрыхленію породъ подъ ледникомъ на всемъ его протяженіи. Это, такъ называемое, подледниковое вывѣтриваніе, исключительно механическое; почва ледника даетъ новыя массы разрыхленнаго матеріала, который увлекается дальше какъ движеніемъ самаго льда, такъ и матеріала, впаяннаго въ нижнюю поверхность ледника. Чѣмъ быстрѣе движеніе ледника, тѣмъ скорѣе дно ложа, очищенное отъ этихъ разрыхленныхъ частей, продолжаетъ подвергаться дальнѣйшему вывѣтриванію. Этимъ процессомъ объясняютъ непрерывное выпахиваніе или вытачиваніе ледникомъ своего ложа, являющееся однимъ изъ главныхъ источниковъ обломочнаго матеріала, перемѣщаемаго и скопляющагося подъ ледникомъ.

Естественно, что наиболѣе значительное разрушеніе ложа ледника нужно ожидать въ мѣстѣ его выхода изъ фирна, изгибовъ, неровностей ложа и около его крутыхъ уклоновъ, какъ въ мѣстахъ, гдѣ скорѣе всего можно предполагать непрерывное измѣненіе давленія, слѣдовательно интенсивное вывѣтриваніе. Степень и характеръ выпахиванія измѣняются также въ зависимости отъ твердости породъ и направленія ихъ слоистости. Бальтцеръ*) различаетъ выпахиваніе шлифующее (schleifende Erosion) и раскалывающее или раздробляющее (splitternde); первое—на болѣе твердыхъ породахъ и при направленіи слоистости болѣе или менѣе вкрестъ направленію движенія ледника; второе—въ тѣхъ случаяхъ, когда ледъ можетъ выхватывать куски породъ по ихъ слоистости. Слѣдовательно такія породы, какъ гнейсъ, слюдяный сланецъ, глинистые сланцы и другія сланцеватыя породы могутъ представлять наиболѣе благопріятныя условія для раскалывающаго выпахиванія, а массивно-кристаллическія породы, плотные известняки и доломиты наоборотъ скорѣе всего подвергаются шлифованію.

Вліяніе скорости движенія ледника на его выпахивающую дѣятельность должно обнаруживаться уже потому, что скорость тѣмъ больше, чѣмъ значительнѣе мощность ледника и около всѣхъ крутыхъ уклоновъ ложа; слѣдовательно, гдѣ больше скорость, тамъ необходимо предполагать и болѣе интенсивное вывѣтриваніе. Чѣмъ меньше толщина ледника и чѣмъ менѣе его паденіе, тѣмъ слабѣе и подледниковое вывѣтриваніе.

Словомъ, ледникъ въ области своей наибольшей скорости постоянно работаетъ надъ углубленіемъ своего ложа, а въ мѣстахъ наибольшаго

*) Baltzer. Studien am Unter-Grindelwaldgletcher über Glacialerosion, Längen- und Dickenveränderung in den Jahren 1892—1897. Denkschriften der Schweiz. naturforsch. Ges., Bd. XXXIII. 2, 1898.

уклона—надъ уменьшеніемъ этого уклона. Выпахиваемый при этомъ матеріалъ перемѣщается внизъ по долинѣ и отлагается ближе къ концу ледника, гдѣ меньше толщина ледника и его скорость. Въ конечномъ результатѣ выпахиваніе альпійскаго ледника выравниваетъ ложе ледниковаго языка, а въ области фирна, отъ его верхняго края до мѣста наибольшей скорости, выпахиваніе должно возрастать, такъ какъ на этомъ пространствѣ скорость движенія увеличивается и поэтому постепенно долженъ увеличиваться и уклонъ фирновой области. Дальше мы остановимся на этомъ вопросѣ еще подробнѣе, а теперь познакомимся съ нѣкоторыми числовыми данными о количествѣ матеріала выносимаго ледниками.

Ойэнъ (P. A. Oyen *) даетъ слѣдующее сопоставленіе количества тонкаго матеріала, перемѣщаемаго ледниковыми ручьями:

	Въ грамм. на 1 куб. м. воды.
Аляска, ледн. Муръ	12980
Гренландія, Изортокъ-риверъ	9744
» Алянгордлекъ	2374
Исландія, Іёкульза	1876
Норвегія, Лянгедальсбрэ	523
» Исдальскаакъ (Гардангеріёкуль)	345
» Лейра (Іотунгеймъ)	92

Наибольшее количество ила и песка несутъ рѣки областей сплошного оледенѣнія; чѣмъ обширнѣе оледенѣніе, тѣмъ сильнѣе и обработка основанія покрова, ибо вѣроятно больше и скорость движенія.

Количество ила и песка измѣняется съ временами года, достигая, напр., въ Альпахъ максимума въ іюлѣ и августѣ. По Гейму годичный выносъ Унтераарскаго ледника выражается 6000 м.^{3}, что соотвѣтствуетъ средному пониженію русла на 0,15 мм., или на 1 м. въ 6000 лѣтъ.

Ридъ даетъ для ледника Муръ величину годичнаго сноса всей его области въ 19 мм. ($^3/_4$ д.). Величина ледниковаго выпахиванія оказывается не многимъ меньше, чѣмъ размываніе рѣками; считаютъ, что рѣки Изаръ, Иннъ, Зальцахъ, Рейсса и Кандеръ понижаютъ свои области на 1 м. въ теченіе 4200, 5100, 4800, 4100 и 2600 лѣтъ. Гессъ считаетъ, что ледникъ даже быстрѣе работаетъ надъ углубленіемъ своего ложа, чѣмъ рѣка, такъ какъ въ указанные разсчеты выноса ледниковыхъ рѣкъ не входитъ грубо-обломочный матеріалъ—крупный песокъ и галька, перекатываемые по дну русла. Измѣреній этого матеріала, напр., посредствомъ подпорныхъ плотинъ, до сихъ поръ не было.

Интересная попытка опредѣлить величину подледниковаго вывѣтриванія предложена Бальтцеромъ; въ 1892 г. въ ожиданіи наступленія Унтергриндельвальдскаго ледника онъ заложилъ впереди его въ твердыхъ скалахъ нѣсколько буровыхъ скважинъ, глубиною до 2 м., заполненныхъ окрашенными глинами; положеніе скважинъ точно фиксировано на подробной картѣ. Послѣ новаго отступленія ледника, спустя

*) Hess, l. c., стр. 181.

можетъ быть нѣсколько десятилѣтій, можно будетъ по этимъ скважинамъ получить соотвѣтствующія указанія о степени выпахиванія ледникомъ своего ложа.

Перемѣщаемыя морены (Bewegte M., m. mouvantes, moving m.).

Матеріалъ, попадающій на ледникъ въ его фирновомъ полѣ и въ области стока, распредѣляется *на* поверхности ледника, *въ массѣ* его и *подъ* нимъ. Поэтому нужно различать морены:

а) Поверхностныя или верхнія (Obermor., m. superficielles, surface m.), b) внутреннія (Innenmor., m. internes, internal m.) и c) нижнія (Untermor., m. inferieures, basal m.).

Поверхностныя морены, возникающія на счетъ матеріала, падающаго со склоновъ ледниковаго языка, представляютъ прежде всего такъ называемыя боковыя морены (Seitenmor., m. latérales, lateral m.). Подъ этимъ названіемъ понимаютъ каменные валы, протягивающіеся вдоль ледника по краямъ его. Происхожденіе ихъ понятно: такъ какъ на одномъ и томъ же вывѣтривающемся склонѣ происходитъ много осыпей одновременно и всѣ онѣ подвигаются, то, очевидно, въ концѣ концовъ, отдѣльныя осыпи сольются и образуютъ одинъ непрерывный боковой валъ, который остается параллельнымъ краю ледника до тѣхъ поръ, пока измѣненіе очертаній долины не вызоветъ его смѣшенія съ матеріаломъ, выступающимъ изъ подъ ледника, или онъ не разрушится дѣйствіемъ ледниковыхъ ручьевъ. Форма и размѣры боковыхъ моренъ зависятъ исключительно отъ формы склоновъ ледниковой долины (фиг. 444, 433 и 450).

Боковыя морены той или другой величины составляютъ необходимую принадлежность каждаго ледника; онѣ состоятъ изъ валуновъ самаго разнообразнаго размѣра и формы, какіе только доставляются осыпями, т. е. отъ самыхъ мелкихъ и даже отъ песка и ила до 1000 и 3000 куб. м., но чаще всего въ нихъ преобладаютъ валуны отъ 1 до 20 куб. м. Они располагаются совершенно безпорядочно безъ всякихъ признаковъ слоистости. Количество ихъ мѣняется въ разныхъ частяхъ боковой морены, потому что осыпи образуются неодинаковой величины въ разныхъ частяхъ склона и въ разное время; этимъ объясняется зигзагообразный, волнистый гребень боковой морены, который представляетъ рядъ коническихъ возвышеній большей или меньшей величины. Валуны боковой морены, подвигаясь вмѣстѣ съ ледникомъ къ нижнему концу, не претерпѣваютъ никакого измѣненія въ своей формѣ, т. е. остаются такими же свѣжими, остроугольными какъ и вначалѣ.

Вслѣдствіе убыли, какъ сказано раньше, высота боковыхъ моренъ различна и достигаетъ 100 м., но чаще отъ 10 до 20 м. Если сходятся два равной величины ледника, то прилегающія боковыя морены ихъ, т. е. лѣвая боковая морена праваго ледника и правая боковая лѣваго ледника, сливаются въ одну и образуютъ каменный валъ, который на соединенномъ ледникѣ, при дальнѣйшемъ движеніи его, располагается не у краевъ, а по срединѣ ледника или близко къ срединѣ. Если ледникъ составляется изъ нѣсколькихъ рукавовъ или притоковъ, то по срединѣ его образуется нѣсколько параллельныхъ каменныхъ валовъ, которые въ отличіе отъ бо-

ковыхъ моренъ, называютъ срединными моренами (Mittel mor., m. médianes, medial m.),—напр. на большихъ ледникахъ Гренландіи, на ледникѣ Маляспина (см. фиг. 417), Зеравшанскомъ, Алечъ (фиг. 444) и т. д.

Количество срединныхъ моренъ опредѣляется иногда числомъ рукавовъ ледника, если послѣднихъ n, то срединныхъ моренъ на главномъ ледникѣ будетъ n—1; слѣдовательно, наоборотъ, по числу срединныхъ моренъ n

Фиг. 444.—Карта средней части ледника Большой Алечъ съ моренами (*A*), грязевыми полосами (*D*) и различными трещинами (*c*). *B*—ледникъ Средній Алечъ. Масштабъ 1:50000.

возможно опредѣлить число рукавовъ n + 1. Высота ихъ на нижнемъ концѣ ледника доходитъ до 100—200 м.

Матеріалъ ихъ имѣетъ такой же характеръ, какъ и боковыхъ моренъ, т. е. представляетъ остроугольные валуны самыхъ разнообразныхъ размѣровъ и состава, впрочемъ не всегда, какъ сейчасъ увидимъ.

Залеганіе валуновъ такое же безпорядочное, безъ всякихъ признаковъ слоистости, какъ и въ боковыхъ моренахъ. Петрографическій составъ ихъ, разумѣется, зависитъ отъ породъ, слагающихъ ледниковую долину; чѣмъ разнообразнѣе породы склоновъ, тѣмъ разнообразнѣе природа моренныхъ валуновъ, и наоборотъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ морены уже издали различаются своимъ цвѣтомъ, благодаря сложенію ихъ

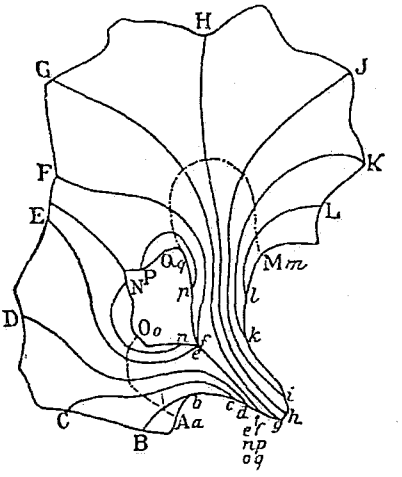
изъ различныхъ породъ,—напр. на Зеравшанскомъ ледникѣ, въ нижнемъ концѣ, лѣвый склонъ состоитъ изъ темныхъ, почти черныхъ глинисто-слюдяныхъ сланцевъ, а правый—изъ свѣтло-сѣрыхъ гранитовъ, вслѣдствіе чего лѣвая боковая морена почти чернаго цвѣта, а правая свѣтло-сѣраго; срединныя же представляютъ перемежающіяся полосы чернаго и сѣраго цвѣта, т. е. состоятъ или изъ сланцевъ, или изъ гранита. Выше боковыя морены только изъ сланцевъ, а срединныя изъ гранитовъ, и, наконецъ, еще выше сланцы кончаются и выступаютъ габбро—цвѣтъ моренъ снова мѣняется. На Аарскомъ ледникѣ то же самое: однѣ срединныя морены въ лѣвой половинѣ черныя и состоятъ изъ слюдяныхъ сланцевъ, а въ правой половинѣ сѣраго цвѣта и состоятъ изъ гранитовъ. Это различіе въ цвѣтѣ не исчезаетъ даже въ съуженныхъ частяхъ ледника, гдѣ морены почти сливаются между собою.

Въ первокласныхъ ледникахъ, обладающихъ обыкновенно большимъ числомъ срединныхъ моренъ, напр. Зеравшанскій (Алай), Алечъ (Альпы), Тасманскій (Нов. Зеландія) и др., на нижнихъ узкихъ концахъ всѣ морены сливаются до такой степени, что совершенно закрываютъ собою ледникъ и образуютъ, какъ выше сказано, каменную пустыню. Съ другой стороны, въ мѣстахъ развитія поперечныхъ трещинъ онѣ часто совершенно исчезаютъ, потому что валуны проваливаются въ трещины; но такъ какъ послѣднія рѣдко доходятъ до дна, то провалившіеся валуны вслѣдствіе убыли снова появляются на поверхности и увеличиваютъ собою каменныя скопленія на нижнемъ концѣ ледника.

Нерѣдко срединныя морены образуются самостоятельно, т. е. не происходятъ отъ боковыхъ; это бываетъ въ тѣхъ случаяхъ, когда изолированныя скалы выступаютъ среди ледника, напр. на Девдоракскомъ ледникѣ на Кавказѣ (фиг. 412). Въ послѣднее время проф. Финстервальдеръ *) подробно разобралъ происхожденіе такихъ моремъ и указалъ ихъ генетическую связь съ внутренними моренами. Чтобы понять его объясненія, необходимо еще замѣтить, что снѣгъ, выпадающій на самомъ краю фирноваго поля образуетъ наиболѣе нижній слой всей фирновой массы, онъ движется при самомъ основаніи; дѣйствительно, на своемъ болѣе или менѣе длинномъ пути отъ окраины фирна до фирновой границы онъ перекрывается всей совокупностью снѣговъ, выпадающихъ во время этого движенія. Если мы представимъ себѣ небольшую площадь фирноваго поля непосредственно выше снѣговой линіи, то при движеніи ледника эта площадь немедленно перейдетъ черезъ снѣговую границу и немедленно же стаетъ весь снѣгъ, выпавшій на этой площади въ предшествовавшій годъ. Вторая площадь расположенная выше непосредственно за первой, при своемъ прохожденіи черезъ снѣговую границу имѣетъ уже на себѣ снѣгъ, выпавшій на первой площади, и первоначальная поверхность второй площади только тогда откроется для таянія, когда покрывающій ее снѣгъ будетъ весь удаленъ. Точно также третій участокъ, расположенный еще дальше отъ снѣговой границы,

*) Finsterwalder, S., Ueber die innere structur der Mittelmoränen. Sitzungsber. d. kön. bayer. Akad. d. Wissensch., XXX, 1900, стр. 533—540. Такое же объясненіе моренъ далъ и Ридъ: Reid, Mechanics of Glaciers, Journ. of Geol., 1896, IV, стр. 921.

несетъ на себѣ при прохожденіи этой границы годовые слои снѣга второй и первой площади и подвергнется таянію лишь послѣ удаленія первыхъ двухъ площадей снѣга. Такимъ образомъ, каждый участокъ фирна, расположенный дальше отъ снѣговой границы и ближе къ окраинѣ фирна, подвергается таянію все ниже на ледниковомъ языкѣ, и снѣговыя массы, выпавшія на самомъ краю фирноваго поля, подвергнутся таянію только на самомъ низу оконечности ледника, совершивъ весь свой путь при самомъ днѣ ледника. Слѣдовательно, и весь матеріалъ, попадающій въ фирнъ съ его краевъ, а этотъ матеріалъ и является единственнымъ въ общемъ случаѣ, движется также при основаніи фирновой массы, онъ идетъ на образованіе такъ называемой нижней морены. Представимъ себѣ теперь изолированный островъ скалъ въ фирновой области. Если такой островъ расположенъ частью (фиг. 445) или совершенно въ области стока, т. е. на фирновой границѣ или ниже ея, то при движеніи снѣговыхъ массъ на такой островъ части нижней морены должны выдавливаться къ его краямъ, образуя около него боковыя морены, которыя около нижней части острова сливаются въ срединную и въ такомъ видѣ продолжаютъ свое перемѣщеніе внизъ по леднику. Такого рода срединныя морены заключаютъ кромѣ обломковъ и щебня со склоновъ острова также и матеріалъ нижней морены, слѣдовательно изборожденные и ошлифованные камни; но количество матеріала такой морены на всемъ ея протяженіи остается постояннымъ, какъ и на другихъ срединныхъ моренахъ обычнаго типа. Подъ такой мореной ледъ долженъ быть совершенно свободенъ отъ обломковъ, такъ какъ вся масса матеріала, бывшая при днѣ ледника около острова, теперь уже располагается на поверхности.

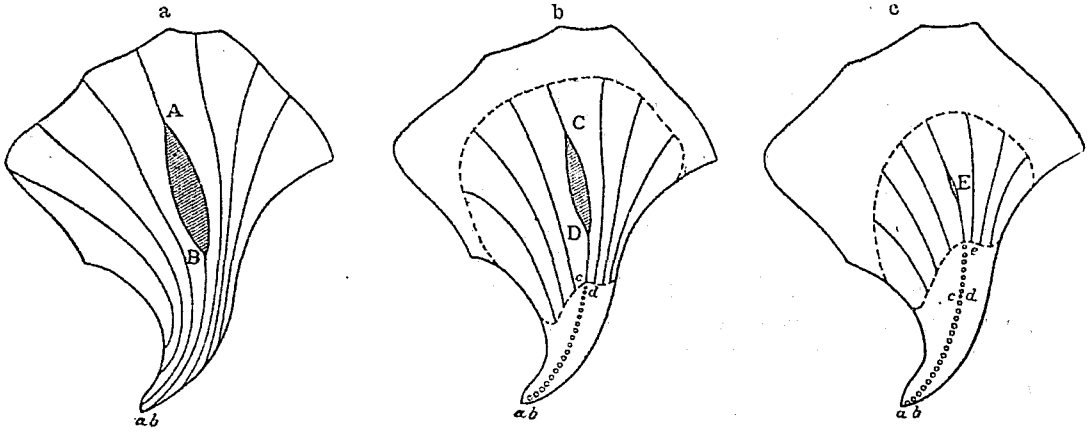


Фиг. 445. — Горизонтальная проекція площади ледника: *Aa*—*Mm* — фирновая линія; *Cc*, *Dd*, *Ee* и т. д. — линіи теченія (см. отдѣлъ теорій).

Если такой отдѣльный островъ поднимается въ области фирна, образованіе срединной морены происходитъ иначе (фиг. 446). Въ этомъ случаѣ фирновые слои болѣе нижніе огибаютъ препятствіе на горизонтѣ болѣе глубокомъ, чѣмъ слои болѣе верхніе; самые верхніе слои могутъ проходить даже свободно черезъ такое препятствіе, если оно не выдается достаточно высоко надъ поверхностью фирна. Если обломочный матеріалъ попадаетъ только по краямъ такого фирна, то въ сущности не произойдетъ никаго измѣненія въ распредѣленіи перемѣщаемаго ледникомъ мореннаго матеріала. Если же на закрытыхъ склонахъ такого фирноваго препятствія происходитъ самостоятельное образованіе щебня и обломковъ, то этотъ матеріалъ остается въ самой массѣ льда, потому что линіи теченія льда (см. въ отдѣлѣ теорій), соприкоснувшись съ дномъ фирна около препятствія, располагаются дальше ниже препятствія снова въ массѣ льда. Когда препятствіе пройдено, ниже его появляется при этомъ про-

дольная вертикальная полоса мореннаго матеріала въ самой массѣ льда, т. е. такъ называемая — внутренняя морена, камни которой часто стоятъ во льду на ребрѣ. Она переходитъ въ поверхностную только въ области энергичной убыли на фирновой границѣ. Весь матеріалъ такой внутренней морены носитъ слѣды пребыванія подъ льдомъ, и количество его, появляющееся въ видѣ поверхностной срединной морены, не остается постояннымъ, а постепенно по мѣрѣ убыли ледника все возрастаетъ къ оконечности ледника.

Если бы удалось опредѣлить количество матеріала такой внутренней морены, то можно приблизительно опредѣлить и величину выпахиванія ледникомъ, если, конечно, извѣстны съ достаточной точностью условія движенія и убыли ледника. Гессъ *) сдѣлалъ цѣлый рядъ такихъ наблюденій на Гинтерейсфернерскомъ ледникѣ и получилъ количество сноса съ каждаго квадратнаго метра дна ложа ледника въ теченіе года равнымъ 9 мм., а съ необходимыми поправками 4 мм. Впослѣдствіи для того же ледника въ томъ же мѣстѣ онъ опредѣлилъ величину сноса уже въ 1,5 см. **); очевидно, что этотъ методъ требуетъ еще улучшеній, и дѣлать какія либо общія выводы о величинѣ сноса по такимъ наблюденіямъ рискованно.



Фиг. 446. — Схема прохожденія льда около и черезъ какое нибудь препятствіе въ фирновомъ полѣ. *a*, *b*, *c* — проекціи трехъ послѣдовательныхъ на различныхъ горизонтахъ горизонтальныхъ сѣченій ледника; *a* — при днѣ фирна, *b* — среднее, *c* — на поверхности.

Если препятствіе поднимается надъ поверхностью фирна, то матеріалъ такой внутренней и затѣмъ образующейся изъ нея срединной морены состоитъ частью изъ щебня склоновъ, частью изъ продуктовъ подледниковаго вывѣтриванія. Одинъ изъ такихъ случаевъ образованія самостоятельной срединной морены изъ внутренней представленъ на фиг. 418, изображающей (съ перевала Матча) нижнюю часть фирноваго поля Зеравшанскаго ледника.

Финстервальдеръ, какъ подтвержденіе, такой связи между внутренними и срединными моренами, приводитъ измѣренія ширины срединной морены ледника Hochjochferner, расширяющейся отъ 0 на высотѣ 2790 м. въ разстояніи 1250 м. отъ конца ледника до 50 м. на высотѣ 2580 м.

*) Hess, Der Schuttinhalt von Innenmoränen. Pet. Mitt., 1903, стр. 34—36.
**) Hess, Die Gletscher, 1904, стр. 187—188 и 198—200.

при оконечности ледника. Такое же расширеніе срединныхъ моренъ обнаруживается на Унтераарскомъ ледникѣ, Гинтерейсфернерскомъ и друг.

На каждой срединной моренѣ, обыкновенно на ея гребнѣ, можно замѣтить грязевую полосу шириною отъ 0,5 до 1 м., которая своимъ видомъ значительно отличается отъ смежныхъ частей морены. Эта грязевая полоса происходитъ именно изъ свѣже обтаявшаго щебня и ила внутренней морены и представляетъ на поверхности слѣдъ спайки двухъ притоковъ ледника (Schweissnaht, швовъ соединенія). Такіе швы можно замѣтить и надъ каждой внутренней мореной, когда на концѣ ледника она обтаиваетъ. При встрѣчѣ двухъ ледяныхъ потоковъ можно замѣтить (напр., въ глубокихъ трещинахъ) иногда, какъ около такого шва, представляющагося въ видѣ полосы голубого льда сильно загрязненнаго, проходятъ по обѣимъ его сторонамъ обыкновенныя полосы (Bänderung), которыя, чѣмъ дальше внизъ отъ мѣста сліянія ледниковъ, тѣмъ располагаются круче. Гессъ приводитъ это, какъ доказательство независимаго расположенія полосчатости каждаго ледника; сильное измѣненіе формы всей ледяной массы вслѣдствіе сліянія нѣсколькихъ ледяныхъ потоковъ не въ состояніи такимъ образомъ уничтожить ложкообразное расположеніе полосчатости отдѣльныхъ потоковъ.

Матеріалъ поверхностныхъ моренъ, какъ видимъ, значительной частью можетъ происходить изъ продуктовъ подледниковаго вывѣтриванія, т. е. изъ нижней морены, какъ это давно уже указывалось Севэ, Брюкнеромъ, Пенкомъ и Циттелемъ. Но такое преобразованіе происходитъ по мнѣнію большинства геологовъ только вслѣдствіе таянія ледника, а отнюдь не перемѣщенія матеріала нижней морены кверху черезъ массу льда.

Нижней мореной слѣдуетъ называть всю совокупность матеріала, перемѣщаемаго ледникомъ при его днѣ. Этотъ матеріалъ доставляется подледниковымъ вывѣтриваніемъ и вывѣтриваніемъ склоновъ фирноваго поля. Естественно, что нельзя представлять себѣ эту морену въ видѣ сплошного покрова обломковъ между льдомъ и его ложемъ. Въ дѣйствительности рядомъ съ незначительными скопленіями щебня и валуновъ должны быть пространства между льдомъ и постелью ледника, совершенно свободныя отъ какихъ либо обломковъ. Этимъ объясняются несогласныя до сихъ поръ указанія различныхъ изслѣдователей относительно нижней морены. Такъ Vallot, который въ теченіе времени съ 1894 г. по 1897 г. многократно проникалъ подъ ледъ Mer de Glace, говоритъ, что видѣлъ только рѣдкіе обломки породъ подъ льдомъ, который движется по скалистому ложу; на основаніи такихъ наблюденій Vallot совершенно отрицаетъ существованіе нижней морены. Наоборотъ, цѣлый рядъ другихъ изслѣдователей, какъ Хюги, Гаастъ, Форель, Симони, Пенкъ, Нансенъ, Сэльсбёри, Чэмберленъ и друг. указываютъ несомнѣнное нахожденіе подъ льдомъ обильнаго обломочнаго матеріала, хотя далеко не въ видѣ сплошного покрова. Всѣ они согласно говорятъ, что между льдомъ и его ложемъ находится слой песка и ила, мѣстами смѣшаннаго съ болѣе крупными обломками. Обломки и щебень переполняютъ также и нижнюю поверхность самого льда; отдѣльные болѣе крупные камни выдаются изъ льда своими ребрами и углами (вытачивающіе камни), которыми они измельчаютъ, бороздятъ и шлифуютъ поверхность ложа и другихъ камней нижней морены.

Нижняя морена лучше всего обнаруживается въ ледникахъ Гренландіи и другихъ арктическихъ странъ. Дригальскій даетъ прекрасныя изображенія нижнихъ слоевъ ледника (фиг. 447), переполненныхъ обло-

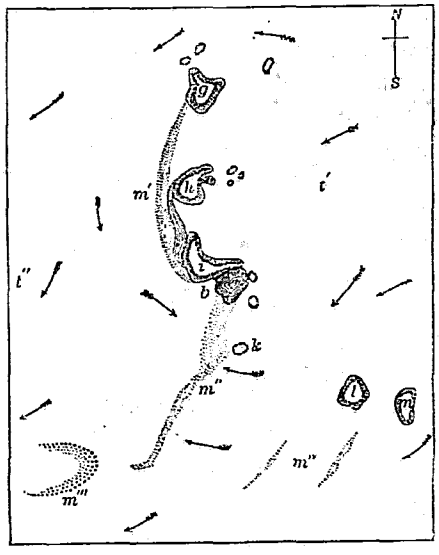
мочнымъ матеріаломъ и почти незамѣтно переходящихъ въ неслоистую основную морену *). Основная морена (Grundmoräne), по его словамъ,

Фиг. 447. — Переходъ нижнихъ слоевъ льда Гренландскаго ледника, переполненныхъ обломочнымъ матеріаломъ (нижняя морена) въ неслоистую основную морену.

представляетъ нагроможденіе (Packung) камней, гравія, песка и ила, въ которомъ слоистость почти совершенно исчезла потому, что заключавшій

*) Grönland-Expedition, I, таб. 27, 28, 16, стр. 104—105.

ихъ ледъ все болѣе стаиваетъ, оставляя только этотъ матеріалъ переполнявшій его нижніе слои. Такъ какъ на внутреннемъ покровѣ Гренландіи въ областяхъ его питанія, также какъ и на фирновыхъ поляхъ Норвегіи почти совершенно отсутствуютъ каменистые склоны, подобные окружающимъ фирны альпійскихъ ледниковъ, то происхожденіе матеріала нижней морены ледниковъ внутренняго покрова скорѣе всего можно объяснить подледниковымъ вывѣтриваніемъ болѣе выдающихся частей основанія, покрытаго сплошнымъ покровомъ льда. Верхніе слои льда внутренняго покрова совершенно лишены какого либо обломочнаго матеріала, и нѣтъ никаго основанія предполагать происхожденіе нижней морены изъ верхнихъ. Между нунатаками и льдомъ всегда обнаруживается болѣе или менѣе широкій ровъ, такъ что обломки со склоновъ нунатакъ не падаютъ непосредственно на поверхность льда, а нагромождаются между льдомъ и склономъ, попадая значительной частью въ ледъ и подъ него. Но самый процессъ, посредствомъ котораго какъ этотъ матеріалъ, такъ и отъ вывѣтриванія на почвѣ ледника располагается окончательно параллельными слоями въ нижнихъ частяхъ ледника, остается пока неяснымъ. Гессъ полагаетъ, что перемѣщеніе этого матеріала первоначально происходитъ въ видѣ небольшихъ внутреннихъ моренъ, расположеніе которыхъ (вертикальное) совершенно измѣняется при постоянныхъ преобразованіяхъ формы нижнихъ частей покрова, приспособляющагося ко всѣмъ неровностямъ своего ложа; въ конечномъ результатѣ можетъ возникнуть и слоистое расположеніе этого матеріала, какое наблюдается только въ наиболѣе нижнихъ частяхъ внутреннаго покрова.



Фиг. 448.—Расположеніе моренъ на ледниковомъ покровѣ Гренландіи.

Во избѣжаніе недоразумѣній слѣдуетъ оговориться, что Grundmoräne, какъ ее описываетъ Дригальскій, не есть нижняя морена (Untermoräne), ибо она неподвижна. Понятію нижней морены въ тѣсномъ смыслѣ соотвѣтствуютъ только слоистыя скопленія обломочнаго матеріала среди нижнихъ слоевъ льда.

Фиг. 448 показываетъ расположеніе моренъ (m^{I}, m^{II}, m^{III}, m^{IV}) около группы нунатакъ (g, h, k, i, l) на ледниковомъ покровѣ около ледника Фредериксгаабъ (по Іенсену). Матеріалъ моренъ происходитъ не отъ скалъ этихъ нунатакъ и носитъ всѣ признаки пребыванія подъ льдомъ. Всѣ эти морены дѣйствительно могутъ быть объяснены только образованіемъ изъ внутреннихъ моренъ и соотвѣтствуютъ срединнымъ моренамъ альпійскихъ ледниковъ; въ особенности характерна морена m^{III}, которая несомнѣнно произошла насчетъ выдающихся частей ложа, совершенно скрытыхъ подъ льдомъ. Гессъ думаетъ, что если дно ложа представляетъ

тысячи такихъ незначительныхъ неровностей, то изъ такихъ внутреннихъ моренъ въ концѣ концовъ образуется горизонтальная нижняя морена; если такъ, то нѣтъ надобности и говорить о внутренней моренѣ, какъ промежуточной стадіи, тѣмъ болѣе, что такое промежуточное состояніе не соотвѣтствуетъ и теоріи.

Нужно замѣтить, что по теоріи Финстервальдера движеніе ледника, какъ теченія (см. дальше въ отдѣлѣ теорій), каждая частица льда отъ фирна до конца ледника описываетъ опредѣленную кривую теченія; сосѣднія частицы слѣдуютъ по сосѣднимъ же линіямъ, и частицы льда, бывшія первоначально на верхнемъ краю фирноваго бассейна, всегда слѣдуютъ около дна его; ни одна линія теченія не можетъ перейдти отъ внутреннихъ частей льда къ его основанію и обратно. Вполнѣ согласно съ такой теоріей обнаруживается и вертикальное расположеніе внутреннихъ моренъ. Но давно уже извѣстны случаи появленія внутреннихъ моренъ, которыя, приблизительно слѣдуя изгибу огивъ, обнаруживаютъ положеніе поперечное къ поверхности льда (Quermoräne по Финстервальдеру). Геймъ и Финстервальдеръ объясняютъ такое расположеніе матеріала слѣдствіемъ сдвиговъ въ массѣ льда по полосчатости (Bänderung); напр., весною верхняя часть льда можетъ быть сдвинута относительно нижней, еще связанной неподвижно съ основаніемъ, и часть матеріала нижней морены можетъ быть при этомъ сдвинута кверху и затѣмъ при обтаяніи обнаружится въ видѣ такой поперечной морены.

Это объясненіе въ такомъ видѣ не приложимо къ нижней моренѣ гренландскаго покрова, постепенно переходящей въ основную морену; также не приложимо и объясненіе Гесса постепеннаго преобразованія вертикальныхъ внутреннихъ моренъ въ слоистое расположеніе матеріала въ нижнихъ частяхъ этихъ ледниковъ.

Здѣсь мы сталкиваемся съ фактами, которые не укладываются въ стройную теорію движенія ледника, только какъ теченія.

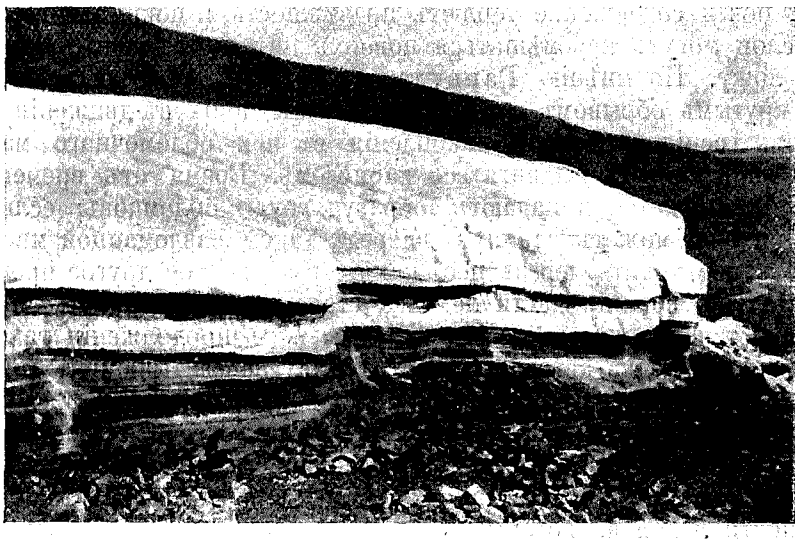
Чэмберленъ *) наблюдалъ на ледникахъ Bryant, Goble и Bowdain въ Гренландіи (фиг. 449) тонкослоистыя части льда, переполненныя тонкимъ и грубымъ щебнемъ и крупными валунами до высоты 50—75 футовъ отъ дна ледника, а иногда даже до 100—150 фут. Никакой сортировки по крупности нѣтъ, большіе валуны распредѣлены по однимъ горизонтамъ съ самымъ тонкимъ иломъ. Тонкіе слои льда, проникнутые иломъ, огибаютъ кривыми поверхностями болѣе крупныя глыбы. Слои проходятъ иногда правильно на значительныхъ разстояніяхъ, иногда быстро выклиниваются, смѣняясь новыми такими же щебнево-ледяными слоями. Эти темные слои богатые щебнемъ, рѣзко ограничиваются отъ болѣе верхнихъ свѣтлыхъ неясно слоистыхъ толщъ чистаго льда. Если припомнимъ, какъ Дригальскій, также Garwood и Gregory (на Шпицбергенѣ) **) описываютъ переходъ такихъ слоевъ льда въ неслоистую основную морену, то нетрудно видѣть, что теряется ясная граница между такой внутренней, нижней и основной моренами ледниковъ внутренняго покрова.

---

*) Chamberlin, Recent glacial studies in Grenland. Bull of the Geol. Soc. of America, 1895, vol. 6, стр. 203—205 и Journ. of Geology, Chicago; 1884, 1895 и 1896 гг.
**) Quart. Journ. of the Geol. Soc. of London, 1898, стр. 197; 1899, стр. 681.

Нансенъ *) объяснялъ включеніе обломочнаго матеріала въ ледъ прохожденіемъ ледника черезъ неровности основанія, надъ которыми происходитъ какъ бы волна льда; обломки, оторванные льдомъ отъ почвы на передней (относительно движенія) сторонѣ такихъ неровностей, располагаются на задней сторонѣ уже на нѣкоторой высотѣ надъ почвой, такъ какъ болѣе нижніе слои льда, огибающіе препятствія, по сторонамъ расплываются подъ вершиной такой волны. Чэмберленъ наоборотъ, разсматриваетъ все движеніе льда какъ сдвиги (thrust-planes) отдѣльныхъ ледяныхъ массъ одна надъ другой, причемъ естественно впаивается и обломочный матеріалъ въ такія массы.

По Дригальскому горизонтальныя движенія льда основаны не только на механическомъ перемѣщеніи разрыхленныхъ ледяныхъ массъ, но также



Фиг. 449. — Характерный видъ оконечности Гренландскихъ ледниковъ. Ледникъ Bryant въ сѣверной Гренландіи. Foliated structure—*разлистованіе, сланцеватость нижнихъ частей льда.*

на измѣненіи состоянія льда. Движущая сила льда находится въ немъ самомъ и при увеличеніи количества обломочнаго матеріала книзу все болѣе уменьшается подвижность этихъ массъ. Подъ вліяніемъ давленія льда основная морена (Grundmoräne) спресовывается и только наиболѣе верхними частями можетъ участвовать въ дальнѣйшемъ движеніи льда. Только эти части (ихъ уже можно называть нижней мореной), пропитывающіяся водой, могутъ испытывать механическія перемѣщенія подобно частицамъ самого льда. Какъ скоро ледъ совершенно исчезнетъ изъ массы нижней морены, она должна прійти въ состояніе покоя. Это разсужденіе Дригальскаго объясняетъ хорошо постепенный переходъ нижней морены въ такъ называемую основную (Grundmor.), т. е. отложеніе матеріала нижней морены и нѣкоторую слоистость этого новаго образованія.

По мнѣнію Дригальскаго, слѣдовательно, основная морена есть

*) Nansen, l. c., Ergänz.-Heft Pet. Mitt., 105, 1893, стр. 95.

отложеніе нижней (и внутренней), а эта нижняя постоянно возобновляетъ свой матеріалъ на счетъ верхнихъ частей болѣе мощной же основной и на счетъ вывѣтриванія открывающихся частей дна ложа. Онъ обходитъ молчаніемъ вопросъ, какимъ же путемъ всетаки попадаетъ обломочный матеріалъ въ части льда не только при днѣ, а даже на высотѣ 50—100 фут. отъ дна, если этотъ матеріалъ не можетъ происходить съ поверхности. Если этотъ матеріалъ попалъ отъ нунатакъ и покрытыхъ льдомъ выдающихся частей ложа, то опять таки—какимъ процессомъ онъ принялъ болѣе или менѣе горизонтальное расположеніе?

Наблюденія Рёсселя *) и Сэльсбёри **) въ Гренландіи, Гарвуда и Грегори ***) на Шпицбергенѣ приводятъ ихъ согласно къ заключенію что движеніе льда зависитъ отъ количества включеннаго въ него матеріала; нижніе слои, обремененные большимъ количествомъ такого матеріала, почти совершенно теряютъ подвижность, и покрывающіе ихъ ледяные слои могутъ перемѣщаться поверхъ нижнихъ слоевъ, какъ по ледяному ложу. По мнѣнію Гарвуда и Грегори, если ледникъ оканчивается крутымъ обрывомъ, то вслѣдствіе замедленія въ движеніи нижней части отъ тренія о ложе и накопленія въ ней обломочнаго матеріала, верхнія части могутъ выдвигаться карнизомъ. Время отъ времени такія массы обламываются и падаютъ, образуя груды обломковъ; если давленіе ледника не можетъ сдвинуть впередъ такой разломанной массы, онъ начинаетъ переходить черезъ нее, какъ черезъ всякое другое препятствіе; слѣдовательно, верхнія части ледника становятся основаніемъ, а нижнія перемѣщаются поверхъ его. При непрерывномъ продолженіи такого процесса ледникъ подвигается впередъ какъ бы перекатываніемъ (overrolling motion), и расположеніе матеріала нижней морены въ видѣ слоевъ становится понятнымъ; для объясненія присутствія развитыхъ нижнихъ моренъ въ значительномъ разстояніи отъ оконечности ледниковъ, необходимо предполагать, что каждая изъ такихъ моренъ когда то была при оконечности ледника, который съ тѣхъ поръ перемѣстился значительно впередъ такимъ перекатывающимся движеніемъ или рядомъ послѣдовательныхъ сдвиговъ, какъ предполагаетъ Чэмберленъ.

Отложенныя морены (Abgelagerte m., m. déposées, deposited m.).

Весь матеріалъ, который такъ или иначе перемѣщается ледникомъ, отлагается, какъ только истощаются средства передвиженія. Въ зависимости отъ положенія такихъ моренъ ихъ можно раздѣлить на:

a) Морены валообразныя (Wallmoränen, m. rempart, dumpet m.) и b) основную или поддонную морену (Grundmor., m. de fond, ground m.).

Если ледникъ находится въ неизмѣнномъ, какъ говорятъ стаціонарномъ, состояніи, перемѣщаемый имъ матеріалъ отлагается только по краямъ ледника, гдѣ убыль превышаетъ питаніе. Тамъ смѣшивается ма-

*) Russell, Journ. of Geol., III, 1895, стр. 823.
**) Solisbury, Solient points concerning the glacial Geology of North Grenland, Journ. of Geol., IV, 1896, стр. 800—801.
***) Quart. Journ. G. S. of London, l. c.

теріалъ моренъ поверхностныхъ, внутреннихъ и нижней, и образуется

Фиг. 450.—Ледникъ Карагомъ (Дигорія). На обѣихъ сторонахъ отчетливыя боковыя и береговыя морены. На лѣвой сторонѣ рисунка гора Скитикомъ, на правой—гора Карагомъ-хохъ, на заднемъ планѣ—Бубисъ-хохъ.

валообразное накопленіе щебня, валуновъ и остроугольныхъ обломковъ, окаймляющее окраину ледника; такое накопленіе называютъ краевой

или конечной мореной (Rand-oder Endmor., m. marginales, border m.).

Въ зависимости отъ ея положенія около оконечности ледника или около боковыхъ краевъ (фиг. 450, также 433), различаютъ передовую морену (Stirnmoränen, m. frontales, terminal m.) *) и береговую (Ufermor., m. riveraines, flank m.).

Если ледникъ сокращается, отложенія мореннаго матеріала принимаютъ иной видъ. Матеріалъ нижней морены распредѣляется однообразнымъ покровомъ впереди отступающаго ледника вслѣдствіе его таянія, частью же онъ отлагается и подъ самымъ льдомъ въ теченіе всей жизни ледника, какъ мы видѣли это раньше; ледникъ оставляетъ въ этомъ случаѣ такъ называемую основную или поддонную морену. Матеріалъ моренъ боковыхъ, срединныхъ и внутреннихъ ясно обозначается поверхъ такого покрова въ видѣ продольныхъ валовъ, которыя и предлагаютъ называть продольными моренами (Längsmor., m. langitudinales, longitudinal m.). Впереди ледника, отступавшаго въ теченіе продолжительнаго времени, можно всегда видѣть такой щебнево-валунный покровъ, окаймляющій оконечность и края ледника и постепенно съуживающійся кверху; ледниковый ручей вьется по такому щебневому ложу, предѣлы котораго, слѣдовательно, и предѣлы наибольшаго прежняго распространенія ледника, легко прослѣдить по относительно болѣе бѣдной растительности такого покрова.

Если ледникъ наступаетъ, то впереди его образуется только незначительное накопленіе матеріала, передвигаемое подъ напоромъ льда, который распространяется поверхъ матеріала, отложеннаго раньше. Этотъ матеріалъ присоединяется къ нижней моренѣ, которая этимъ путемъ можетъ получить приращеніе на счетъ обломковъ преимущественно изъ поверхностныхъ моренъ. Правильное расположеніе матеріала продольныхъ моренъ при этомъ уничтожается; онѣ смѣшиваются съ другими отложеніями и затѣмъ при послѣдующемъ стаціонарномъ состояніи ледника идутъ на образованіе новыхъ конечныхъ моренъ. Если ледникъ на своемъ концѣ значительныхъ размѣровъ, онъ можетъ передвигать передъ собою крупныя безпорядочныя нагроможденія мореннаго матеріала, возрастающія по мѣрѣ наступанія ледника; онъ работаетъ при этомъ подобно плугу. Если ледникъ наступаетъ очень быстро, такихъ нагроможденій можетъ и не быть; онъ тогда слабѣе нарушаетъ первоначальное расположеніе матеріала, поверхъ котораго распространяется. Чѣмъ больше мощность наступающаго ледника при его оконечности, тѣмъ скорѣе онъ увлекаетъ въ своемъ движеніи части раньше оставленной основной морены.

Наступающій ледникъ смѣщаетъ какъ своей свободной оконечностью, такъ въ особенности на своей нижней сторонѣ матеріалъ, расположенный впереди ледника; внизъ по долинѣ до предѣловъ наибольшаго распространенія ледника перемѣщаются какъ раньше оставленныя основная и

*) Въ русской терминологіи было бы удобнѣе для всей группы придерживаться названія только краевыхъ моренъ, а названіе конечная морена сохранить для моренъ впереди конца ледника. Если же называть всю группу безразлично краевыми или конечными моренами, то для послѣдней формы удобнѣе всего было бы названіе передней морены.

конечная морены, такъ и всѣ продукты вывѣтриванія, успѣвшіе со склоновъ присоединиться къ моренному матеріалу.

Основная морена постепенно подвигается къ конечной моренѣ наибольшаго распространенія ледника, и его оконечность оказывается расположенной въ мульдообразномъ пониженіи, ограничиваемомъ снизу конечной мореной, а кверху постепенно переходящемъ въ болѣе наклонное ложе ледника. Это пониженіе, такъ называемое Zungenbecken, представляетъ очень характерную особенность древнихъ ледниковыхъ областей, но для современныхъ ледниковъ, испытывающихъ постоянныя колебанія въ ту и другую сторону, оно обнаруживается, конечно, только въ рѣдкихъ случаяхъ.

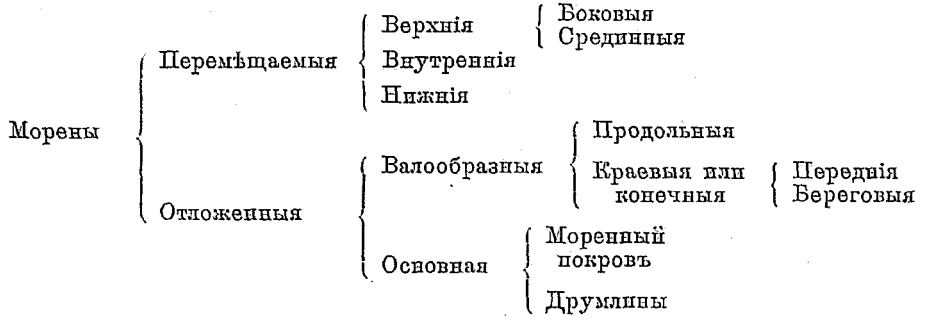
Послѣ отступленія ледника впереди его мы видимъ, слѣдовательно, болѣе или менѣе однообразный моренный покровъ (Grundmoränen-Decke, m. profondes, graund m.), ограничиваемый конечной мореной (фиг. 433). Отчетливо выраженные валы конечныхъ моренъ свидѣтельствуютъ о продолжительномъ стаціонарномъ состояніи ледника. Тѣмъ не менѣе конечная морена никогда не представляетъ вала совершенно равномѣрной высоты, а скорѣе нѣсколько холмовъ, раздѣленныхъ пониженіями, по наиболѣе глубокому изъ которыхъ обыкновенно проходитъ ледниковый ручей. Береговыя морены, составляющія продолженіе конечныхъ, обыкновенно представляютъ болѣе отчетливыя валообразныя нагроможденія. Если въ предѣлахъ площади моренныхъ отложеній ледника замѣчается нѣсколько нагроможденій параллельныхъ конечной моренѣ, то они могутъ быть слѣдствіемъ какъ остановокъ при постепенномъ отступаніи ледника, такъ и наоборотъ напора, прерывавшаго общее отступленіе ледника. Въ томъ и другомъ случаѣ такіе промежуточные моренные валы свидѣтельствуютъ о перерывахъ въ отступаніи ледника, но доказать то или другое происхожденіе ихъ чаще всего нѣтъ никакой возможности.

Моренный покровъ (Grundmoränen-Decke) обнимаетъ ту совокупность матеріала, оставляемаго ледникомъ при его колебаніяхъ, которая не принимаетъ формы валообразныхъ нагроможденій. Въ ледникахъ альпійскаго типа въ образованіи этого покрова въ значительной степени принимаютъ участіе поверхностныя морены. Въ ледникахъ Гренландіи онъ образуется исключительно на счетъ матеріала нижней морены, отлагается не только при отступленіи ледника, но постоянно, какъ слѣдствіе замедленія движенія нижнихъ частей ледника, и этой формѣ моренныхъ накопленій соотвѣтственно ихъ положенію слѣдуетъ давать названіе основной или поддонной морены. Гессъ это названіе переноситъ на то, что согласно съ постановленіемъ международной ледниковой конференціи мы называли нижней; а валообразнымъ моренамъ противопоставляетъ только моренный покровъ.

Для оледенѣнія типа внутренняго покрова послѣдняя форма моренныхъ отложеній несомнѣнно представляетъ только одно изъ проявленій основной морены, которая имѣетъ и другія формы, именно такъ называемые друмлины (Drumlins, drumlins). Подъ этимъ названіемъ принято понимать удлиненные холмы, эллиптическаго горизонтальнаго сѣченія, однообразной высоты и вытянутые по направленію движенія льда. Для отложеній современныхъ ледниковъ эта форма не извѣстна; съ нею и

другими особенными формами отложеній ледниковаго періода мы познакомимся дальше.

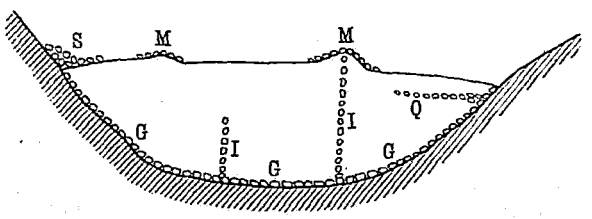
Въ зависимости отъ положенія моренъ ихъ подраздѣленія могутъ быть представлены слѣдующимъ образомъ:



Фиг. 451 представляетъ схематическій разрѣзъ ледника съ расположеніемъ различныхъ перемѣщаемыхъ моренъ.

Совокупность всѣхъ моренныхъ отложеній, оставляемыхъ ледникомъ тамъ, гдѣ перемѣщавшій ихъ ледъ исчезаетъ, обыкновенно называютъ ледниковыми образованіями (Glacialformationen).

Кромѣ такого раздѣленія моренъ при описаніи ихъ необходимо обращать всегда вниманіе на форму слагающаго ихъ матеріала. Онѣ могутъ быть сложены изъ: 1) матеріала угловатаго; 2) округленнаго дѣятельностью льда и 3) обточеннаго дѣятельностью ледниковыхъ водъ.



Фиг. 451.— *G* — нижняя морена, частью переходящая въ основную; *J* — внутреннія, *M* — срединныя морены; *S* — боковая морена; *Q* — поперечная.

Для генетическаго раздѣленія моренъ необходимо различать:

1) Происхожденіе матеріала—со склоновъ или почвы ложа, изъ области питанія или области убыли ледника.

2) Особенныя мѣстныя причины, опредѣляющія положеніе и форму отдѣльныхъ моренъ.

Особенные случаи моренъ. Основная морена подъ Гренландскими ледниками, по словамъ Дригальскаго, имѣетъ мощность не болѣе 1—2 м. по окраинамъ ледниковъ. Такая незначительная мощность основной морены, въ особенности по сравненію съ мощностью 20—30 м. основной морены древняго скандинаво-русскаго оледенѣнія (см. дальше, отдѣлъ о ледниковой эпохѣ), понятна, такъ какъ эти морены относятся къ области еще перемѣщенія, а не окончательнаго отложенія матеріала. Краевыя морены достигаютъ мѣстами высоты 30—40 м., представляя безпорядочныя нагроможденія камней. Матеріалъ моренъ состоитъ изъ крупныхъ и мелкихъ камней болѣе или менѣе окатанныхъ, часто съ ясными слѣдами истиранія и штриховки; грубый матеріалъ замѣтно преобладаетъ надъ тонкимъ гравіемъ и иломъ. Основная морена, какъ мы говорили, по своей

формѣ нисколько не зависитъ отъ движенія льда, наоборотъ краевыя несомнѣнно нагромождены при участіи движенія льда. Одной изъ особенностей многихъ краевыхъ моренъ Гренландіи является, что онѣ поднимаются выше скалъ нунатакъ, около которыхъ онѣ расположены, слѣдовательно онѣ не могутъ быть береговыми моренами, а представляютъ конечныя или передовыя морены внутренняго покрова, который движется не вдоль такихъ нунатакъ, а на нихъ. При расширеніи покрова, ледъ долженъ бы былъ перевалить черезъ такіе нунатаки. Слѣдовательно, такія краевыя морены представляютъ результатъ напора льда на препятствіе и нагроможденія матеріала основной и нижней моренъ въ теченіе продолжительнаго стаціонарнаго состоянія; такія конечныя морены въ отличіе отъ возникающихъ при свободномъ окончаніи ледника, гдѣ не можетъ возникнуть стремленія льда вверхъ по пологому склону препятствія, называютъ Stauung-Moränen (Staumoränen). Такія морены достигаютъ наибольшей высоты, гдѣ край ледника вступаетъ въ съуженіе или при незначительной его мощности приподнимается по очень пологому склону; онѣ сходятъ почти на нѣтъ, гдѣ ледникъ упирается въ крутыя скалы, такъ какъ въ этомъ случаѣ происходитъ полное отклоненіе направленія движенія, затрудняющее отложеніе матеріала.

Такія Stau-Moränen, по словамъ Дригальскаго, иногда представляются настолько плотными, что сами начинаютъ оказывать препятствіе движенію льда, какъ всякое твердое основаніе. Ледъ приподнимается на нихъ и располагается своими нижними слоями параллельно склону морены. Хотя при таяніи такого конца ледника слоистость его нижней морены въ значительной степени изчезаетъ, но иногда на поверхности морены остаются отчетливые слои тонкаго песка и щебня. Такимъ образомъ возникаютъ валообразныя конечныя морены изъ крупнаго обломочнаго матеріала въ серединѣ, а на внутренней сторонѣ, обращенной ко льду, покрытыя болѣе тонкимъ матеріаломъ иногда со слѣдами слоистости.

Извѣстны случаи, когда основаніемъ для ледника служитъ ледъ другого ледника, и тогда нижняя морена перваго переходитъ на поверхность сложнаго ледника. Это извѣстно на Горнерскомъ ледникѣ при устьѣ въ него ледника Гренцъ и въ особенности на ледникѣ Муръ при устьи въ него Girdled-Glacier *). Эти боковые ледники, вслѣдствіе своей незначительной мощности, не спаиваются съ большими въ одно цѣлое, а надвигаются на нихъ вмѣстѣ со своими нижними моренами; морены ледника Girdled образуютъ два отчетливыхъ дугообразныхъ нагроможденія, слѣдовательно, двѣ конечныхъ морены, на поверхности ледника Муръ; вслѣдствіе крайне незначительной краевой скорости послѣдняго форма этихъ моренъ, какъ показали измѣренія Рида, измѣняется очень слабо.

Если бы питаніе ледника Girdled усилилось до полныхъ размѣровъ, допускаемыхъ его долиной, его ледъ и морены вошли бы въ общую систему ледника Муръ. Этотъ примѣръ показываетъ, какъ въ сущности еще мало мы знаемъ о распредѣленіи матеріала нижнихъ моренъ при сліяніи ледниковъ**). Какое положеніе принимаетъ матеріалъ нижней морены бокового ледника, если ложе его менѣе глубоко, чѣмъ ложе главнаго ледника? Если краевыя части нижней морены бокового лед-

*) Reid, Glacier Bay and its Glaciers, l. c., стр. 446.

**) См., напр., Penck, Gletscherstudien im Sonnblickgebiete, Z. d. d. u. ö. Alp.-ver., Bd. 28, 1897.

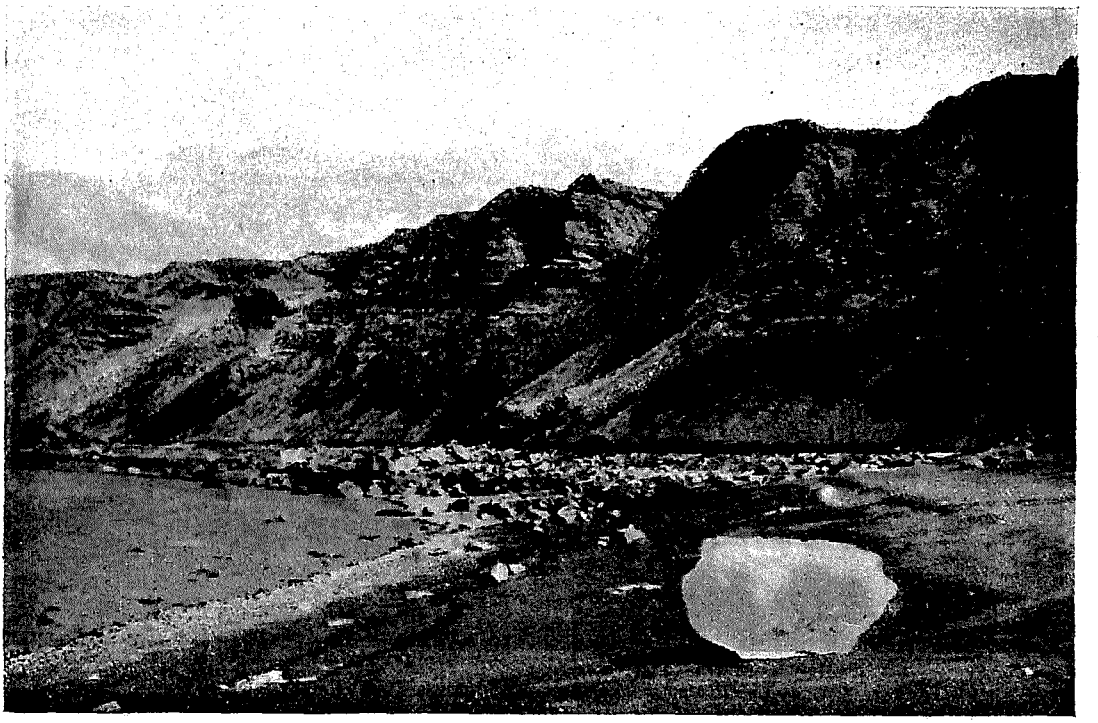
ника превращаются во внутреннія морены, то не могутъ ли среднія части нижней морены расположиться въ видѣ поперечныхъ внутреннихъ моренъ (Quermoränen)? Если система сложнаго ледника состоитъ изъ членовъ различнаго возраста, причемъ главная долина уже выполнена до извѣстнаго горизонта ко времени послѣдовательнаго присоединенія притоковъ, то какое расположеніе могутъ принять морены боковыхъ притоковъ? Не можетъ ли въ послѣднемъ случаѣ возникнуть такое сложное наслоеніе льда съ внутренними моренами, что въ конечномъ результатѣ мы получимъ слоистое расположеніе, аналогичное нижнимъ частямъ внутренняго покрова? На отдѣльныхъ рукавахъ внутренняго покрова, расплывающагося между группами нунатакъ и примыкающихъ позднѣе къ главному полю, дѣйствительно наблюдалось, что нижнія морены притоковъ располагаются на поверхности главнаго потока. Если область питанія расширяется при такомъ развитіи сложной ледниковой системы, очевидно, мы получимъ внутреннія морены. Но должны ли онѣ проявиться въ области стока непремѣнно въ видѣ поверхностныхъ моренъ? Какое отношеніе нижней убыли внутренняго покрова къ верхней убыли?

Теорія Финстервальдера о расположеніи мореннаго матеріала въ сложной ледниковой системѣ принимаетъ эту систему, какъ развивающуюся равномѣрно во всѣхъ частяхъ. Въ дѣйствительности же случай ледника Girdled можетъ быть не исключеніемъ, а обычнымъ явленіемъ, въ зависимости отъ колебаній отдѣльныхъ членовъ развивающейся системы.

Флювіогляціальныя образованія. Кромѣ отложенныхъ моренъ въ видѣ основной и валообразныхъ, впереди ледника и подъ нимъ могутъ отлагаться слои обломочнаго матеріала, перемѣщаемаго ледниковыми водами. Отложеніе ледниковыхъ образованій въ видѣ основной и конечной моренъ собственно и можетъ произойти только тамъ, гдѣ подледниковыя воды недостаточно сильны, чтобы оставляемыя ледниками образованія перемѣстить дальше. Ледниковый ручей выноситъ не только значительное количество ила, но перемѣщаетъ и болѣе грубый матеріалъ, который можетъ быть отложенъ въ предѣлахъ распространенія моренныхъ образованій; слѣдовательно, морены одновременно съ ихъ отложеніемъ испытываютъ уже различнаго рода переработку. Впереди ледниковъ альпійскаго типа возникающія такимъ образомъ алювіальныя отложенія рѣдко принимаютъ какую-либо форму, по которой они отличались бы отъ другихъ алювіальныхъ отложеній. При достаточной крутизнѣ наклона ледниковой долины уже въ разстояніи 5—10 км. отъ ледника теряются даже и такіе слѣды ледниковаго переноса матеріала, какъ штрихи на немъ и его угловатая форма, и отложенія ледниковыхъ ручьевъ ничѣмъ ни отличаются отъ осадковъ обыкновенныхъ горныхъ потоковъ. Такой матеріалъ, перемѣщаемый водами, не относится вообще къ группѣ ледниковыхъ образованій, за исключеніемъ той его части, которая отлагается непосредственно около ледниковыхъ образованій или въ тѣсной съ ними связи и происхожденіе которой изъ моренныхъ образованій можетъ быть доказано. Такого рода образованія называютъ флювіогляціальными. Если наклонъ долины впереди моренныхъ образованій очень пологъ, то матеріалъ, вымываемый ледниковымъ ручьемъ изъ моренныхъ отложеній иногда располагается непосредственно впереди конечной морены въ видѣ конуса отложенія; болѣе развитыя формы эти отложенія обнаруживаютъ теперь только около ледниковъ Исландіи, на ледникѣ Маляспина и въ Glacier bay въ Аляскѣ; эти формы позволяютъ уже судить о происхожденіи флювіогляціальныхъ образованій ледниковаго періода, имѣющихъ обширное развитіе въ областяхъ прежняго ледниковаго покрытія.

По описаніямъ Торелля, Гелланда и Кейльгака, впереди ледниковъ Исландіи тамъ, гдѣ они выходятъ на широкія почти горизонтальныя равнины, ледниковыя воды, часто въ видѣ многочисленныхъ мелкихъ по-

токовъ, отлагаютъ галыки, щебень и песокъ, создавая широкія песчано-галечниковыя совершенно пустынныя площади; поверхность ихъ подвергается постояннымъ измѣненіямъ, вслѣдствіе непостоянства руселъ ледниковыхъ ручьевъ; значительныя массы этихъ отложеній совершенно заполнили, по мнѣнію Гелланда, первоначальные фіорды, и въ настоящее время по этой причинѣ ни одинъ ледникъ не доходитъ до моря. Нѣкоторыя крупныя рѣки Исландіи, собирающія воды нѣсколькихъ ледниковъ, при выходѣ на равнины быстро развѣтвляются на многочисленные рукава, отлагающіе слоистыя массы песка и гальки, съ характерной перекрещивающейся и діагональной слоистостью. Зандры *), какъ называютъ



Фиг. 452.—Слоистые галечники на берегу залива Муръ (Muir Inlet).

въ Исландіи такія песчано-галечниковыя площади, занимаютъ иногда пространства до 500 кв. км. Поверхность ихъ не представляетъ горизонтальной равнины, а испещрена впадинами и грядами съ разницею высотъ до 100 м. Подобныя же зандровыя образованія съ змѣевидно извивающимися по нимъ ледниковыми ручьями находятся и впереди нѣкоторыхъ Гренландскихъ и Норвежскихъ ледниковъ (по Rexstad'y).

Рёссель говоритъ о колоссальныхъ отложеніяхъ обломочнаго матеріала, выносимаго водами изъ большихъ подледниковыхъ туннелей ледника Маляспина, въ видѣ плоскихъ коническихъ накопленій, покрываю-

*) Торелль далъ такимъ отложеніямъ названіе Hvitåbildungen, которое часто до сихъ поръ употребляется въ ледниковой литературѣ, хотя названіе hvitaar обозначаетъ именно ключи съ прозрачной водой, т. е. не ледниковые, которые всегда мутны.

щихъ обширныя пространства. Такія накопленія продолжаютъ наростать, пока ледникъ отступаетъ и пока подледниковый потокъ не измѣнитъ своего направленія. Въ разрѣзахъ ихъ видна перекрещивающаяся слоистость и постепенное измѣненіе матеріала отъ болѣе тонкаго въ верхнихъ частяхъ до крупныхъ камней и угловатыхъ валуновъ внизу.

Если устье туннеля такимъ образомъ постепенно загораживается, начинается отложеніе матеріала и въ самомъ туннелѣ; постепенно его русло повышается, а вода расширяетъ его кровлю; вмѣстѣ съ этимъ продолжаетъ повышаться и коническое отложеніе впереди ледника.

Фиг. 453. — Песчаныя отложенія около залива Гики (Geikie Inlet).

Рёссель указываетъ, что такимъ образомъ возникаютъ и подъ ледникомъ въ теченіе продолжительнаго стаціонарнаго его состоянія значительныя накопленія слоистаго матеріала, въ формѣ узкихъ извилистыхъ грядъ, которыя послѣ совершеннаго отступленія ледника могутъ представиться въ видѣ такъ-называемыхъ озъ областей прежняго широкаго оледенѣнія.

По берегамъ залива Glacier bay около ледниковъ этой области находятся обширныя слоистыя отложенія песка и мелкой гальки, достигающія мощности 200 фут. Wright, Рёссель и Ридъ полагаютъ, что это остатки флювіогляціальныхъ отложеній, совершенно выполнявшихъ долины, занятыя теперь ледниками, и затѣмъ выхваченныхъ при послѣдующемъ наступленіи ледниковъ, такъ что сохранились лишь участки по склонамъ долинъ (фиг. 452 и 453). Можно предполагать также, что эти галечники представляютъ отложенія въ озерахъ, возникшихъ при продолжительномъ болѣе или менѣе стаціонарномъ широкомъ распространеніи ледниковъ. Ниже конечной морены ледника Dirt въ 1892 г. протягивался длинный (около

100 ярдовъ) гребень изъ слоистаго песка и гравія (фиг. 454), отложенный въ одномъ изъ туннелей подъ льдомъ; въ 1890 г. Ридъ не видѣлъ этого гребня, такъ какъ значительная его часть была еще подъ льдомъ.

Кромѣ флювіогляціальныхъ отложеній различаютъ еще *марино-гляціальныя* и *лякустро-гляціальныя*, которыя возникаютъ, если ледникъ оканчивается въ море или прѣсноводное озеро (напр., въ Аргентинскихъ Кордиліерахъ), и моренный матеріалъ перемѣщается къ мѣсту отложенія айсбергами или ледяными глыбами. Матеріалъ сохраняетъ, конечно, свои характерныя внѣшнія признаки, какъ истираніе, изборо-

Фиг. 454.—Оза около оконечности ледника Муръ.

жденность, но распредѣляется значительно шире по дну водоемовъ и вмѣстѣ съ нимъ могутъ отлагаться осадки, свойственные этимъ водамъ.

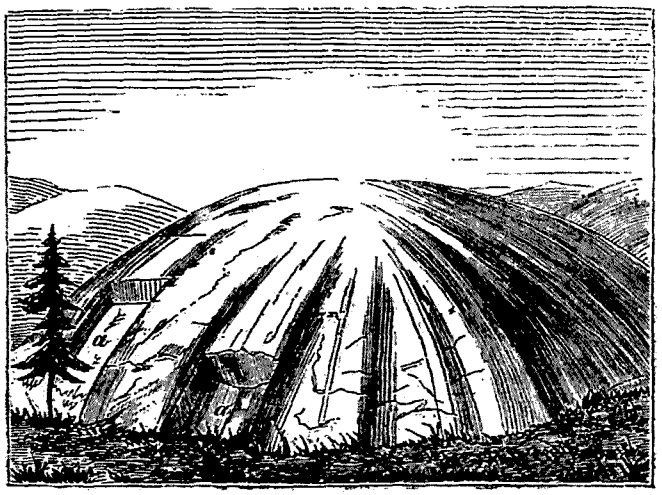
Ледниковое выпахиваніе.

Упомянутыя выше изборожденіе и шлифовка поверхности ледниковаго ложа представляютъ наиболѣе ясные слѣды механическаго вліянія ледника на свое ложе.

Степень изборожденія и шлифовки зависитъ отъ твердости породъ и ихъ залеганія. Въ породахъ неоднородныхъ, грубозернистыхъ, напр., конгломераты и грубые песчаники не получается ни политуры, ни штриховки, а только закругленія и широкія борозды или желоба. Въ большинствѣ случаевъ на различныхъ породахъ замѣчаются штрихи шириною отъ $^1/_2$ до 1 см., рѣже отъ 5 до 10 см., широкіе желоба до $^1/_2$ м. являются уже исключеніемъ. Валуны основной морены, вслѣдствіе пере-

ворачиванія ихъ при движеніи, покрываются штрихами разной интенсивности и въ разныхъ перекрещивающихся направленіяхъ (см. фиг. 443).

Ледниковая штриховка можетъ быть смѣшана съ штриховкою и полировкою, производимою оползнями, сдвигами и вѣтромъ. Отъ первыхъ она отличается тѣмъ, что она никогда не бываетъ однообразна, параллельна и покрываетъ часто полированныя поверхности, чего не бываетъ при штриховкѣ сдвиговъ, обваловъ, лавинъ и пр. Что касается летучаго песка, то его шлифовка и штриховка, главнымъ образомъ, свойственны углубленіямъ, тогда какъ ледниковая — выступамъ. Между эоловыми штрихами остаются ребра, тогда какъ ледниковая происходитъ на гладкой поверхности. Точно также нельзя смѣшать ледниковые борозды или желоба съ каррами, что не требуетъ даже объясненія. Нужно добавить еще, что иногда полировку и штриховку, подобно ледниковой, производятъ случайныя причины: скотъ (напр. верблюды на Казыкуртѣ у г. Чимкента), доставка лѣса изъ горъ волокомъ (напр. въ долинѣ Малки на Кавказѣ) и пр., но такую штриховку легко отличить отъ ледниковой, если даже онѣ тождественны по характеру, по ея мѣстному, случайному распредѣленію.

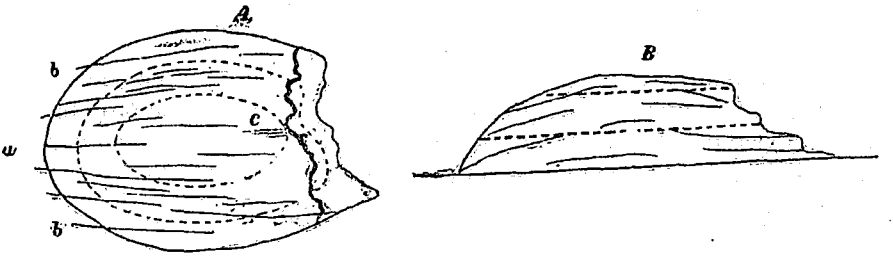


Фиг. 455. — Куполовидная вершина (dôme arrondi) въ долинѣ Джунбулака, притока Оки въ Саянскомъ хребтѣ.

Степень механическаго вліянія зависитъ, какъ было указано, также отъ скорости движенія ледника. Слѣдовательно, сильнѣе всего полируются, бороздятся и даже закругляются скалы, выступающія съ боковъ или по срединѣ ледника со дна его,— напр. на Девдоракскомъ, Майдантальскомъ ледникѣ (Зап. Тянь-шань) (см. фиг. 412 и 422). Такія скалы, если покрываются ледникомъ со всѣхъ сторонъ, закругляются и образуютъ правильные куполообразные холмы (dome arrondi), со штриховкою на всѣхъ бокахъ, но различнаго направленія (фиг. 455); если же ледникъ не покрываетъ вершину ихъ, то наисильнѣйшее изборожденіе и сглаживаніе происходитъ на сторонѣ, обращенной къ верховью ледника или передней сторонѣ (Stosseite), тогда какъ противоположная задняя сторона (Leeseite) остается нетронутою (фиг. 456). Такого рода округлые, съ одной стороны, яйцевидные холмы называютъ бараньими лбами (roches moutonnées), а совокупность ихъ, согласно съ Кропоткинымъ *), можно назвать курчавыми скалами (roches moutonnées, Rundhöcker, icedressed rocks; названіе это дано альпійскими пастухами, которые удачно сравнили ихъ съ курчавою шерстью барана или съ круглыми спинами лежащаго стада овецъ) (фиг. 457). Штрихи и борозды вытянуты согласно съ направленіемъ движенія ледника; слѣдовательно, на оборотъ, по такимъ штрихамъ воз-

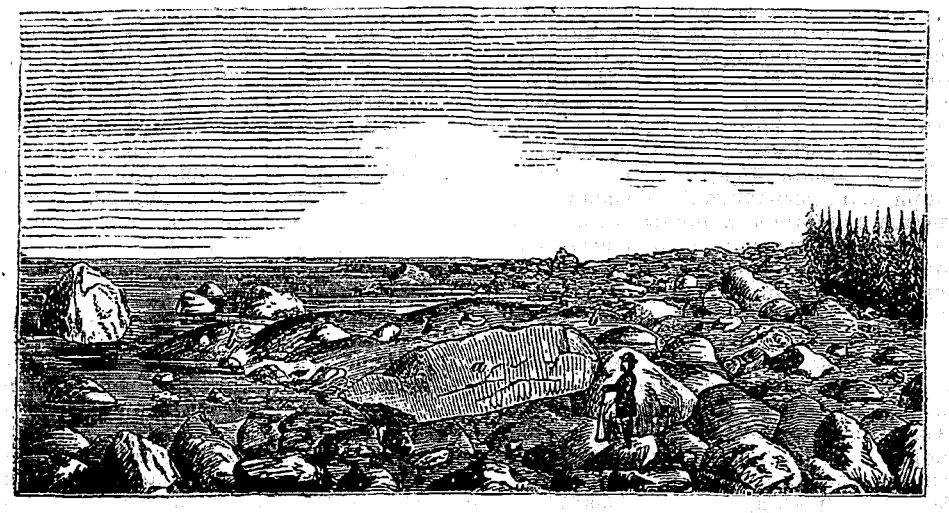
*) Изслѣдованіе о ледн. періодѣ. Зап. Геогр. Общ., VII, 1878, стр. 672.

можно опредѣлить направленіе движенія давно исчезнувшихъ ледниковъ. На неровныхъ склонахъ или днѣ ледника подобныхъ сглаженныхъ скалъ образуется множество, и разумѣется, онѣ проявляются отчетливо только по исчезновеніи ледника. Онѣ придаютъ совершенно особый видъ нижнимъ частямъ склоновъ долины, рѣзко отличающихся



Фиг. 456.—Бараній лобъ съ ледниковыми штрихами (a, b, c), A—планъ, B—профиль. Пунктирныя линіи обозначаютъ горизонтали.

своею сглаженностью отъ острыхъ расчлененныхъ скалистыхъ верхнихъ частей, формы которыхъ обусловлены вывѣтриваніемъ. Такъ какъ направленіе большихъ осей бараньихъ лбовъ опредѣляетъ, наравнѣ со штрихами, направленіе движенія ледника, и такъ какъ форма бугра



Фиг. 457.—Округленныя скалы (*b*) кварцита на западномъ берегу о-ва Большой Тюттерсъ, въ Финскомъ заливѣ около Готланда. *a*—валунъ, выдвинутый льдомъ.

гораздо лучше можетъ сохраниться, нежели тонкіе штрихи и борозды, то, очевидно, по нимъ гораздо лучше можно возстановить направленіе, въ которомъ совершалось сложное движеніе исчезнувшихъ ледниковыхъ массъ.

Кромѣ изборожденія камней и образованія бараньихъ лбовъ другими слѣдами механической работы ледниковъ могутъ служить свѣжее состояніе всѣхъ камней основной морены, явленія давленія и смятія ледникомъ рыхлыхъ моренныхъ образованій.

Словомъ, нѣтъ никакого сомнѣнія, что ледники могутъ оказывать механическое вліяніе на свое ложе, но до сихъ поръ еще мнѣнія расходятся о возможной степени такого выпахиванія. Одни полагаютъ, что даже самые крупные ледники могутъ оказывать только незначительное вліяніе, ограничивающееся истираніемъ, изборожденіемъ и закругленіемъ болѣе выдающихся частей своего ложа. Другіе же, напротивъ, придаютъ выпахиванію слишкомъ широкое значеніе и объясняютъ имъ не только расширеніе и углубленіе ледниковыхъ долинъ, но также происхожденіе озерныхъ котловинъ. Между этими крайними мнѣніями среднее положеніе занимаютъ мнѣнія, по которымъ ледники существенно работаютъ только «reexcavirend», т. е. снова очищаютъ древнія заполненныя обломочнымъ матеріаломъ рѣчныя долины и озерныя впадины.

Изложеніе разнообразныхъ мнѣній, высказанныхъ по этому поводу, можно найти у Пенка *), также въ работахъ италіанскихъ ученыхъ Сакко и Тарамелли **) и въ другихъ работахъ, касающихся исторіи альпійскихъ озеръ, такъ-какъ вопросъ о ледниковомъ выпахиваніи до сихъ поръ связывается съ вопросомъ о происхожденіи многихъ изъ такихъ озеръ. Мортилье первый въ 1852 г. объяснялъ ихъ происхожденіе ледниковымъ выпахиваніемъ въ тѣхъ наносахъ, которые заполняли до-ледниковыя долины. Нѣсколько позже онъ измѣнилъ свой взглядъ и считалъ, что озерныя котловины древнѣе ледниковаго періода и что ледники заполнили ихъ наносомъ, а затѣмъ снова очистили отъ него. Почти въ то же время Рамзай пришелъ къ тому же объясненію на основаніи географическихъ сопоставленій, но выпахиванію онъ придавалъ уже еще большее значеніе, а именно, онъ допускалъ, что озерныя котловины вырыты льдомъ прямо въ твердыхъ породахъ; тѣмъ же процессомъ онъ объяснялъ и происхожденіе фіордовъ. Затѣмъ Тиндаль пошелъ еще дальше въ томъ же направленіи; онъ допускалъ, что ледники своимъ давленіемъ раздробляютъ породы, превращаютъ ихъ въ пыль, которая уносится водой; такимъ путемъ, по его мнѣнію, произошли не только озерныя котловины, но даже всѣ Альпійскія долины. Послѣдующіе изслѣдователи, какъ то: Гики, Норденшельдъ, Гелландъ и Пенкъ поддерживали возрѣнія Рамзая, и особенно горячо Пенкъ. Но съ другой стороны, по почину Балля и Ляйэлля, цѣлый рядъ ученыхъ, какъ то: Мурчисонъ, Дезоръ, Штудеръ, Мойсисовичъ, Рютимейеръ, Фавръ, Омбани, Градъ, Геймъ и др., возстали не только противъ крайняго мнѣнія Тиндаля, но также Рамзая и Мортилье; большая часть ихъ не придаютъ выпахиванію большого значенія и доказываютъ, что ледники не производили озерныя котловины, а только консервировали ихъ. Ляйэлль предполагалъ, что горныя складки нагромождались во время ледниковаго періода, тогда какъ Рютимейеръ и особенно Геймъ доказали, что горообразовательные процессы происходили раньше ледниковаго періода, и что долины и озерныя котловины были уже готовы, заполнились льдомъ и уже послѣ ледниковаго періода превратились въ рѣчныя долины и озера. Всѣ эти разнообразныя мнѣнія, нерѣдко приложимыя для частныхъ случаевъ, не имѣютъ однако универсальнаго значенія; такъ Рихтгофенъ справедливо замѣчаетъ, что гипотеза Мортилье вполнѣ приложима къ происхожденію нѣкоторыхъ озеръ, напр. Верхне-Баварскихъ, какъ это основательно доказалъ Пенкъ; съ другой стороны, взгляды Рютимейера и Гейма также неоспоримы по отношенію къ нѣкоторымъ большимъ Альпійскимъ озерамъ. Гипотеза Рамзая, вѣроятно, справедлива тоже, но только до нѣкоторой степени. Словомъ, здѣсь, какъ и въ другихъ случаяхъ, истина лежитъ среди крайнихъ мнѣній, а однородныя явленія природы зависятъ отъ сложныхъ и разнородныхъ причинъ, между которыми выпахиваніе также имѣетъ свое значеніе, но, съ одной стороны, не такое ничтожное, а съ другой—не такое обширное, какъ высказываютъ различные ученые

*) Penck, Die Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursachen, periodische Wiederkehr und ihre Einfluss auf die Bodengestaltung, 1882, стр. 368—432.

Penck a. Heim, On the District of the Ancient Glaciers of the Isar and of the Linth. Geol. Magazine, Dec. III, vol. III, № 6, 1886.

**) Sacco, Sull'origine delle vallate e dei laghi alpini. Atti R. Acc. d. Sc., Torino, 1885, 20, стр. 639—662.

Taramelli. Storia geologica del Lago di Garda. Atti Acc. Agiati. Rovereto, 1893, XI, стр. 56—59.

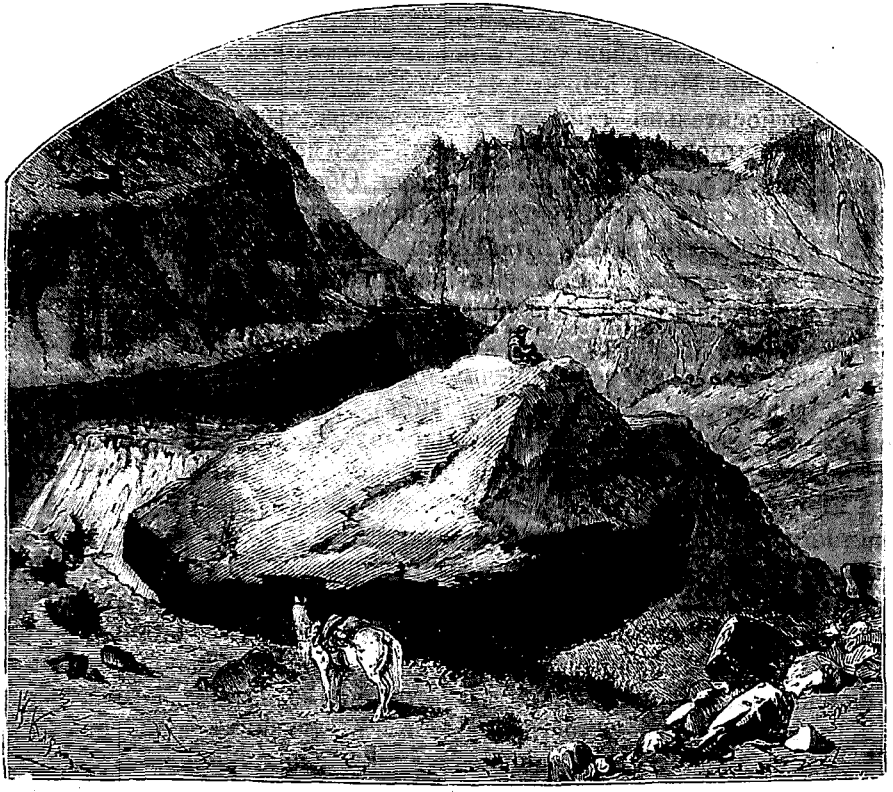
Такое разногласіе объясняется, конечно, невозможностью до сихъ поръ точно опредѣлить дѣйствительную величину ледниковой эрозіи, такъ какъ указанныя нами раньше цифровыя данныя нужно считать во всякомъ случаѣ очень приблизительными; приходится ограничиваться только теоретическими соображеніями, опирающимися какъ на дѣйствительныхъ явленіяхъ подъ ледникомъ, такъ и возможныхъ. Само собою разумѣется, что выпахивающая дѣятельность опредѣляется самыми разнообразными условіями, отъ которыхъ зависитъ то или иное разрыхленіе ледниковаго ложа, напр., характеръ залеганія породъ, трещиноватость ихъ, смѣна породъ различной твердости, первоначальный рельефъ ложа и т. д., а съ другой стороны главнѣйше отъ скорости движенія ледника, какъ это было указано раньше. Имѣя это въ виду, нетрудно примирить противорѣчивыя указанія относительно степени и характера выпахиванія, приводимыя различными авторами. Такъ по словамъ Гейма, ледники Шамуни (Glacier du Tour), Роны, Унтераарскій, Гюфи, Оберзульцбаха, также въ Гренландіи, на Шпицбергенѣ и др., при своемъ надвиганіи по рыхлымъ наносамъ, производили только сдавливаніе ихъ, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ, напр. въ съуженіяхъ долины или передъ какимъ-нибудь препятствіемъ, ледникъ при возрастаніи выпахиваетъ, какъ «гигантскій плугъ», передъ которымъ ничто не можетъ устоять. Въ узкихъ частяхъ долинъ ледникъ двигаетъ передъ собой всю конечную морену; въ 1818 г. Шварцбергскій ледникъ (Заацталь въ кантонѣ Валлисъ), катилъ передъ собой валунъ змѣевика въ 8000 куб. м. Въ расширеніяхъ долинъ, напротивъ, выпахиваніе значительно уменьшается, и ледникъ не сдвигаетъ конечную морену, а переходитъ черезъ нее и только сглаживаетъ гребень ея. При возрастаніи Алеча, передъ ледникомъ двигался лѣсъ, а у Цмутиса разрушались даже вертикальные пласты сланцевъ. При отступаніи Ронскаго ледника, въ почвѣ долины замѣчались въ рыхлыхъ наносахъ большіе прямолинейные борозды или желоба, направленные внизъ по долинѣ; они доходили до скалистаго основанія и нерѣдко въ концѣ имѣли большіе валуны изъ твердыхъ породъ, которыми ледникъ выпахивалъ.

Совершенно то же самое наблюдается въ древнихъ ледниковыхъ отложеніяхъ: т. е. иногда наступавшіе ледники спокойно переходили черезъ рыхлые наносы, не производя выпахиванія и не нарушая ихъ положенія; напротивъ, покрывая ихъ, они, такъ сказать, сохраняли древніе наносы отъ размытія ихъ водою; этимъ объясняется, что самыя древнія ледниковыя отложенія иногда пластуются правильно и совершенно согласно съ верхними не-ледниковыми и покрывающими ихъ новыми ледниковыми. Присутствіе послѣднихъ ясно указываетъ на второй періодъ наступленія ледниковъ, и тѣмъ не менѣе при этомъ всѣ нижележащіе рыхлые наносы нисколько не сдвинулись и вообще не измѣнили своего положенія. Креднеръ, Пенкъ и др. указываютъ много случаевъ правильнаго пластованія ледниковаго песка, галекъ и даже сланцеватаго угля.

Но рядомъ съ этимъ нерѣдко наблюдается обратное явленіе, т. е. наступавшій ледникъ сдвигалъ прежніе наносы, производилъ въ нихъ складчатость, опрокидываніе и пр., нагромождалъ такъ-называемыя мѣстныя морены (Lokalmoränen); Креднеръ, Берендтъ, Ваншаффэ и др., приводятъ цѣлый рядъ примѣровъ подобныхъ дислокацій въ древ-

нихъ наносахъ, произведенныхъ послѣдующимъ наступаніемъ ледниковъ.

Возможность выпахиванія ледникомъ доказывается также тѣмъ, что нѣкоторые мощные ледники послѣ своего сокращенія оставляютъ на склонахъ долины такія широкія борозды выпахиванія, что онѣ представляются въ видѣ узкихъ террасъ, — напр. въ долинѣ Зеравшана, ниже Зеравшанскаго ледника, около д. Діаминоры (фиг. 458), гдѣ такія террасы проявляются на обоихъ склонахъ, но особенно отчетливо на правомъ, сланцевомъ склонѣ, нѣсколько выше древней конечной морены съ громад-



Фиг. 458.—Ледниковыя террасы выпахиванія въ долинѣ Зеравшана.

ными валунами, одинъ изъ которыхъ представленъ на нашемъ рисункѣ.

A. G. Hägbom *) говоритъ, что въ областяхъ прежняго ледниковаго покрытія въ Швеціи повсюду скалы известняка, несмотря на ихъ меньшую твердость, залегаютъ теперь выше, чѣмъ болѣе твердыя силикатовыя породы. Можно было бы думать, что выпахивающая работа льда выражалась здѣсь въ томъ, чтобы очистить ложе отъ продуктовъ вывѣтриванія, вслѣдствіе чего известняковыя скалы, какъ слабѣе вывѣтривающіяся, какъ бы остались препарированными. Въ дѣйствительности же въ моренныхъ отложеніяхъ повсюду находится свѣжій невывѣтрѣлый матеріалъ; слѣдовательно, ледъ долженъ былъ работать надъ свѣжими поверхностями

*) См. E. Geinitz, Das Quartär Nordeuropas. Lethaea geognostica, III Th., Das Caenozoïcum, 1903, стр. 74—75.

горныхъ породъ, и эта работа больше выражалась въ вырываніи отдѣльныхъ частей породъ (выпахиваніи), чѣмъ въ ихъ шлифованіи и истираніи. Слѣдовательно, опредѣляющимъ условіемъ здѣсь была трещиноватость породъ и вмѣстѣ съ тѣмъ ихъ твердость. Скалы и выдающіяся части ложа, сопротивляющіяся движенію льда, должны были закругляться вслѣдствіе его отламывающей работы, притомъ тѣмъ скорѣе, чѣмъ породы мягче; но въ такой же степени, какъ подвигалась эта работа, ледъ терялъ поверхности приложенія своей вырывающей работы, моделлируя округленные бугры. Эта моделлировка скорѣе закончилась на мягкихъ известнякахъ, чѣмъ твердыхъ силикатовыхъ породахъ, которыя могли подвергаться выпахиванію глубже въ то время, когда известняки своей формой уже предохранялись отъ дальнѣйшаго воздѣйствія работы льда.

Въ пользу мнѣнія объ относительно слабомъ ледниковомъ выпахиваніи Черульфъ указывалъ нахожденіе перекрещивающейся штриховатости различнаго времени, какъ это часто встрѣчается на изборожденныхъ скалахъ въ областяхъ прежняго распространенія оледенѣнія,—ледъ, повидимому, не имѣлъ даже силы сгладить и уничтожить штрихи и борозды, оставшіеся свидѣтелями перваго направленія его движенія. Съ другой стороны защитники ледниковаго выпахиванія, полагая, что при сильной истирающей работѣ льда болѣе древніе штрихи не могли бы сохраниться, считали штрихи различнаго направленія одновременными, но возникшими отъ неправильностей въ движеніи ледника. Ваншаффэ *) правильно указалъ что пересѣченіе разновременныхъ штриховъ отнюдь не противорѣчитъ выпахивающей силѣ ледниковъ. На твердыхъ породахъ работа льда должна выражаться прежде всего въ удаленіи продуктовъ ихъ разрушенія; шлифованіе и изборожденіе свидѣтельствуютъ о наступленіи извѣстнаго состоянія равновѣсія между сопротивленіемъ породъ движенію льда и его выпахивающей силой. Эта форма воздѣйствія льда на его твердое основаніе можетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока на этомъ основаніи не будетъ отложена основная морена, которая и сохраняетъ эти слѣды работы льда, предохраняя въ то же время породы основанія и отъ дальнѣйшаго вывѣтриванія. Если послѣ всего этого наступаютъ новыя условія движенія ледника и въ иномъ направленіи, первыя усилія льда идутъ на удаленіе покрова старой основной морены, и возможно, что новое состояніе равновѣсія наступитъ снова на старыхъ поверхностяхъ, покрывающихся штрихами иного направленія.

Считая главнымъ факторомъ ледниковаго выпахиванія подледниковое вывѣтриваніе, какъ это мы говорили раньше, необходимо признать, что опредѣляющимъ условіемъ процесса является постоянное колебаніе давленія подъ ледникомъ, такъ какъ безъ такого колебанія не можетъ быть и механическаго разрушенія породъ основанія ледника. Слѣдовательно, степень выпахиванія зависитъ во многомъ отъ первоначальнаго рельефа ложа; на равномѣрно наклонномъ и гладкомъ основаніи давленіе подъ ледникомъ остается болѣе постояннымъ и можно думать, что ледникъ при такихъ условіяхъ не можетъ самъ выработать полыхъ формъ

*) Wahnschaffe, Die Ursachen der Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes, 1901, стр. 93.

рельефа. Напротивъ, если ложе ледника представляетъ уже скульптурныя формы, хотя бы слабо выраженныя, отъ предварительнаго размыванія, онъ въ состояніи превратить сборные бассейны обыкновенныхъ долинъ въ формы каръ (ботнеръ), рѣчныя долины въ фіорды и въ болѣе или менѣе равномѣрно наклонныхъ долинахъ выработать озерныя впадины *).

Гюнтеръ **) приводитъ слѣдующія положенія по этому вопросу.

I. Ледниковое выпахиваніе отличается отъ эрозіи, т. е. размыванія проточными водами, прежде всего тѣмъ, что оно можетъ обнаружиться только въ области до извѣстной степени предрасположенныхъ формъ (такъ называемые selective Erosion, по выраженію Салёмона), а размывающая работа проточныхъ водъ не связана никакими ограниченіями.

II. Ледниковое выпахиваніе можетъ идти въ глубину тѣмъ больше, чѣмъ скорѣе вслѣдствіе трещиноватости породъ болѣе глубокіе ихъ горизонты могутъ подвергаться механическому подледниковому вывѣриванію и разрывающей силѣ воды, замерзающей въ трещинахъ.

III. Механическая работа льда вообще выражается въ истираніи и шлифованіи основанія, какъ это ясно свидѣтельствуется бороздами, штрихами, изборожденными скалами и валунами, округленными скалами и т. п. Только при условіяхъ, указанныхъ въ п. II, она становится раздробляющей (splitternde), такъ какъ съ удаленіемъ въ нижнюю морену разрыхленныхъ частей основанія проявляется до извѣстной степени дѣйствительно выпахивающая работа пластическаго льда.

IV. Выработкой малыхъ вогнутыхъ формъ, какъ кары, ботнеръ, цирки, ледниковое выпахиваніе въ конечномъ результатѣ можетъ привести къ значительной убыли горныхъ массъ; относительно возможности разработки продольныхъ долинъ и озерныхъ бассейновъ, могутъ быть еще большія сомнѣнія (въ особенности на счетъ самого процесса углубленія озерныхъ котловинъ).

V. Если наступающій ледникъ достигаетъ областей вывѣтрѣлыхъ, раздробленныхъ горныхъ породъ, переходящихъ въ основную морену, то вліяніе ледника на такое основаніе можетъ быть болѣе значительнымъ.

Опираясь на весьма исчерпывающія вопросъ работы Рихтера, можно прибавить еще:

VI. Механическая работа ледниковъ въ совокупности съ атмосфернымъ вывѣриваніемъ выражается болѣе въ расширеніи занятыхъ ими впадинъ, чѣмъ въ ихъ углубленіи, какъ это доказывается формой каръ и корытообразныхъ долинъ (Thaltrog, U-образныя долины).

Рихтеръ доказываетъ, что корытообразныя долины современныхъ снѣговыхъ областей представляютъ слѣдствіе работы современныхъ ледниковъ; ледникъ подрываетъ склоны долины, такъ какъ скорость его движенія значительнѣе на глубинѣ, чѣмъ по краю поверхности; это ведетъ къ постоянному увеличенію крутизны склоновъ, но верхній край корытообразнаго углубленія (верхній край U) всегда долженъ быть выше поверхности ледника и тѣмъ выше, чѣмъ рѣзче выработана эта форма;

*) W. Salomon, Können Gletscher in anstehendem Fels Kare, Seebecken und Thäler erodiren? N. Jahrb. f. Min., Geol. und Pal. 1900, Bd. II, стр. 117—138.

**) S. Günther, Der gegenwärtige Standpunkt der Lehre von der Glacialerosion. Verh. de 13 Deutsch. Geogr.-Tages zu Breslau, 1901, стр. 188—204.

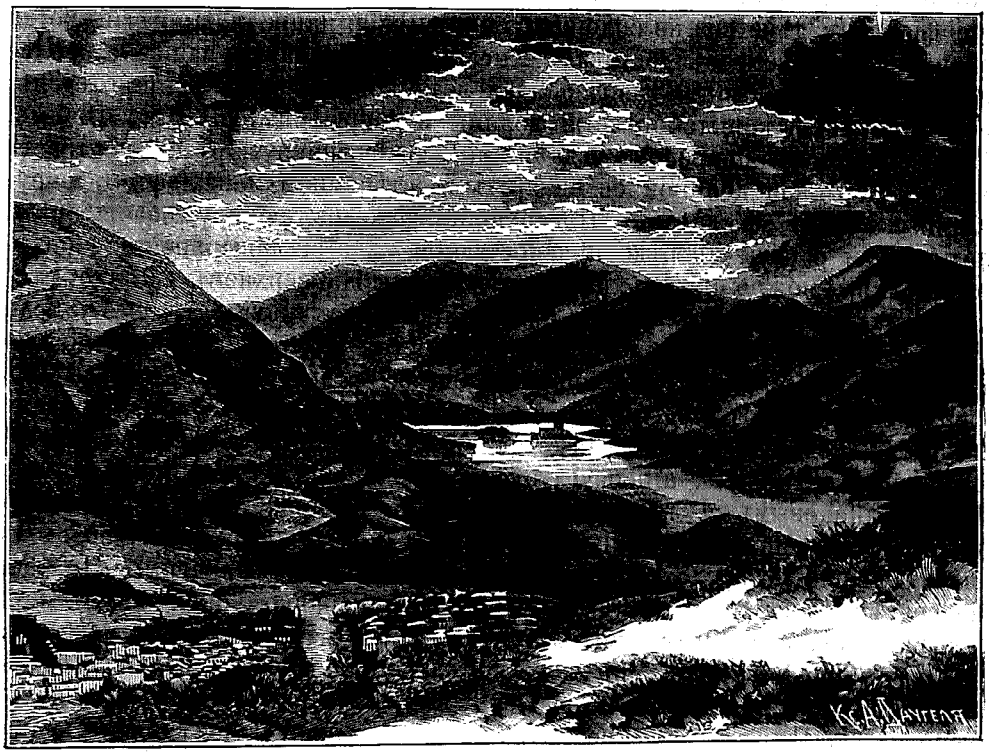
такъ какъ чѣмъ сильнѣе ледникъ подрываетъ, тѣмъ больше должно быть обрушеніе склоновъ и тѣмъ дальше раздвигаются склоны и тѣмъ они круче. Развивая эти представленія, Рихтеръ приписываетъ *) образованіе фіордовъ дѣйствію не сплошнаго оледенѣнія, напр. въ Норвегіи, когда скандинавскій покровъ достигалъ Англіи и средней Германіи, а болѣе слабыхъ, хотя и быстро двигавшихся ледниковъ времени конца оледенѣнія. Альпійскія корытообразныя долины и фіорды явленія аналогичныя. Подъ сплошнымъ покровомъ льда не могъ бы возникнуть рѣзкій контрастъ между фіордовой долиной съ ея крутыми стѣнами и ландшафтомъ округленныхъ скалъ «фіельдовъ». Поверхность фіельдовъ обнаруживаетъ слѣды ледниковой работы съ рѣдкой ясностью, и въ этой поверхности фіордовыя долины, можно сказать, переуглублены. На верхнемъ краѣ корытообразныхъ фіордовъ (на плечѣ ихъ, Schulter, какъ называетъ этотъ край Зюссъ) крутые склоны непосредственно сталкиваются съ поверхностью фіельдовъ, изборожденной и ошлифованной; слѣдовательно, нельзя обѣ формы приписывать одной причинѣ. Корытообразныя части фіордовъ возникли, когда въ нихъ сосредоточились отдѣльные ледники съ пониженной поверхностью, а переуглубленіе фіордовъ Рихтеръ приписываетъ междуледниковымъ и подледниковымъ, или вообще времени сильнаго отступленія, мощнымъ водянымъ потокамъ, когда поверхность фіельдовъ была совершенно предохранена отъ эрозіи фирновымъ покровомъ. Правда, не совсѣмъ ясно при этомъ происхожденіе неравномѣрной продольной профили (см. стр. 590); приходится допускать неравномѣрныя поднятія.

Пенкъ и Брюкнеръ въ своей новѣйшей работѣ **) придаютъ ледниковому выпахиванію снова нѣсколько большее значеніе, чѣмъ это изложено здѣсь. Пенкъ объясняетъ ледниковымъ выпахиваніемъ переуглубленіе (Uebertiefung) главныхъ рѣчныхъ долинъ внутреннихъ Альпъ сравнительно съ долинами ихъ боковыхъ притоковъ и неравномѣрность продольной профили (глубокія озера) большинства долинъ; Брюкнеръ считаетъ, напр., Цюрихское, Фирвальштедское и Цугское озера (ср. стр. 479 и 503) за ванны или слѣдствіе переуглубленія долинъ ледниковымъ выпахиваніемъ. Наконецъ, Гессъ приписываетъ ледникамъ силу, достаточную для разработки самихъ долинъ (см. стр. 753 и дальше, Ледниковая эпоха). По мнѣнію Пенка между механической дѣятельностью ледниковъ и рѣкъ различіе только количественное; формы рѣчного русла, какъ—ямы, пороги, уступы при устьѣ, повторяются и въ формахъ ледниковаго русла, но въ болѣе грандіозномъ масштабѣ, соотвѣтственно гораздо большей мощности (глубинѣ) потоковъ льда сравнительно съ потоками проточной воды.

Къ слѣдствіямъ флювіогляціальной механической работы нужно отнести также образованіе исполиновыхъ котловъ дѣйствіемъ воды, падающей въ ледниковыя мельницы, при участьи отдѣльныхъ камней, высверливающихъ эти вертикальные колодцы. Иногда въ областяхъ прежняго оледенѣнія наблюдались наклонные котлы, и по старому мнѣнію

*) Geomorph. Beobachtungen aus Norwegen, Sitz.-ber. d. Ak. d. W. Wien. 1896.
**) Penck u. Brückner, Die Alpen im Eiszeitalter, 1901—1903, еще не закончена. Penck, Die Übertiefung der Alpen-Thäler. Verh. d. VII intern. Geogr.-Kongr., 1901, II, стр. 232.

Sexe образованіе ихъ приписываютъ даже самому льду. Старые котлы всегда заполнены матеріаломъ основной морены; камни въ нижней части



Фиг. 459. — Ледниковый ландшафтъ на Шотландской возвышенности. Нижнія части склоновъ представляютъ курчавыя скалы; озеро расположено въ котловинѣ выпахиванія.

котловъ всегда очень правильно округлены, и на стѣнкахъ котловъ иногда можно видѣть слѣды спиральнаго движенія.

Совокупность всѣхъ формъ рельефа, создаваемыхъ ледниками, какъ округленныя скалы, расширенныя углубленія, часто занятыя озерами, и моренныя отложенія, создаетъ типичный ледниковый ландшафтъ (фиг. 459).

Колебаніе ледниковъ.

Географическое распространеніе ледниковъ весьма неравномѣрно и зависитъ, какъ мы уже знаемъ, отъ орографическихъ и, главнымъ образомъ, отъ климатическихъ условій; тѣ и другія, но въ особенности климатическія, подвержены нѣкоторымъ измѣненіямъ, а слѣдовательно и ледники одной и той же области не могутъ сохранять долгое время одинаковое положеніе, а будутъ испытывать колебанія въ ту или другую сторону, т. е. въ одни періоды времени они будутъ возрастать, увеличиваться, а нижніе концы опускаться или наступать, въ другіе же убывать, уменьшаться, а нижніе концы ихъ подниматься или отступать.

Всѣ ледники находятся въ состояніи подвижного равновѣсія, которое

зависитъ отъ питанія, т. е. отъ накопленія снѣга въ снѣжникахъ, и отъ убыли, т. е. отъ энергіи таянія. Если увеличивается питаніе, то увеличивается масса ледника и возрастаетъ скорость движенія его,—слѣдовательно ледникъ возрастаетъ и нижній конецъ его наступаетъ (Vorstoss). Наоборотъ, при перевѣсѣ убыли надъ питаніемъ, ледникъ уменьшается, движеніе замедляется и нижній конецъ его отступаетъ (Schwinden). При равновѣсіи питанія и убыли нижній конецъ ледника сохраняетъ постоянное положеніе и обусловливаетъ накопленіе конечныхъ моренъ, которыя возрастаютъ тѣмъ больше, чѣмъ продолжительнѣе неизмѣнное положеніе ледника. Небольшія колебанія въ величинѣ ледниковъ наблюдаются уже въ разное время одного года: лѣтомъ онъ убываетъ, осенью достигаетъ minimum'а, зимой увеличивается и весной достигаетъ maximum'а; хотя прямыхъ наблюденій въ этомъ направленіи немного, но тѣмъ не менѣе и они показываютъ, что размѣры годовыхъ колебаній ничтожны; такъ толщина у нижняго конца колеблется на 3 — 5 м., а длина до 10 м. Гораздо важнѣе и удивительнѣе болѣе крупныя колебанія, которыя совершаются въ различные, болѣе или менѣе продолжительные періоды времени отъ 5 до 30 и болѣе лѣтъ. Иногда совершенно безъ видимой причины ледники данной области начинаютъ возрастать, нижній конецъ ихъ опускается на 15—20 м. и даже до 70 м. и болѣе ежегодно; при этомъ старыя конечныя морены, постройки и проч., все, что лежитъ на пути, сдвигается или уничтожается; ничто не можетъ задержать ледяного потока. По прошествіи нѣсколькихъ лѣтъ ростъ ледниковъ останавливается, и они также безъ видимой причины начинаютъ отступать, иногда такъ быстро, что кажутся близкими къ исчезновенію. Иногда въ періодъ наступанія ледникъ на нѣкоторое время останавливается или даже начнетъ отступать, но затѣмъ снова продолжаетъ наступаніе; то же бываетъ и въ періоды отступанія. Тотъ и другой процессъ наблюдался по нѣскольку разъ на однихъ и тѣхъ же ледникахъ, — напр. на Гриндельвальдскомъ.

Годовыя колебанія. Наблюденія въ этомъ отношеніи отъ первыхъ Форбса (1842—1845 г.г.) на Mer de glace до новѣйшихъ на Ронскомъ ледникѣ, Mer de glace (Vallot), нижнемъ Гриндельвальдскомъ (Бальтцера), также Гамберга, въ Скандинавіи, Стенструпа и Дригальскаго въ Гренландіи и другихъ позволяютъ сказать, что движеніе ледника въ теченіе года не остается равномѣрнымъ. Скорость движенія съ Апрѣля по Августъ вообще значительнѣе, чѣмъ въ остальное время; для величины превышенія получены цифры весьма различныя, и можно только сказать, что колебанія значительнѣе на концѣ ледника, чѣмъ выше.

Наблюденія надъ температурой льда показали, что какъ лѣтомъ, такъ и зимой температура внутри ледника остается близкой къ точкѣ таянія; слѣдовательно, колебанія температуры отъ лѣта къ зимѣ не могутъ отражаться на внутреннихъ частяхъ ледника и его движеніи, которое связывали съ проникновеніемъ воды таянія въ массу льда (Форбсъ). Остается единственно возможная причина—уменьшеніе убыли ледника зимою, какъ это было впервые объяснено Форелемъ. Лѣтняя убыль ледника возмѣщается постоянно массами, понижающимися подъ вліяніемъ давленія сверху; слѣдовательно постоянно происходитъ возстановленіе уменьшен-

наго поперечнаго сѣченія ледника. Чѣмъ больше это сѣченіе, тѣмъ больше и скорость движенія; поэтому необходимо предполагать, что къ тому времени, когда конецъ ледника начинаетъ послѣ зимы обнаруживать наступленіе, начинается возрастаніе скорости, достигающее максимума ко времени начала сильнаго лѣтняго таянія; къ этому времени и длина языка достигаетъ своего максимума. Напротивъ ко времени, когда начинается зимнее накопленіе снѣга и прекращается убыль, скорость соотвѣтственно малымъ сѣченіямъ имѣетъ наименьшую величину.

Поэтому понятно, что колебанія въ скорости движенія больше всего у конца ледника; здѣсь убыль наиболѣе значительна, также какъ и измѣненія поперечнаго сѣченія.

Это же объясняетъ: что тонкіе ледниковые языки обнаруживаютъ болѣе значительныя годовыя колебанія, чѣмъ мощные ледники; что годовыя колебанія значительнѣе на ледникахъ, низко опускающихся въ долины, чѣмъ на расположенныхъ высоко.

Такія малыя періодическія колебанія совершаются въ предѣлахъ иныхъ періодическихъ крупныхъ колебаній.

Крупныя періодическія колебанія. Толчкомъ къ оживленію всѣхъ изслѣдованій ледниковъ, а въ особенности къ точнымъ ихъ измѣреніямъ, послужило сильное отступаніе альпійскихъ ледниковъ, начавшееся уже въ пятидесятыхъ годахъ прошлаго столѣтія и достигшее особенной напряженности въ теченіе пятилѣтія 1870—1875 г.г. Сначало казалось совершенно непонятнымъ, почему ледники обнаруживаютъ колебанія въ зависимости не отъ состоянія погоды въ теченіе отдѣльныхъ лѣтъ, а отъ періодовъ значительно болѣе продолжительныхъ, и въ степени гораздо большей, чѣмъ можно было бы ожидать отъ колебаній погоды въ отдѣльные годы. Вскорѣ убѣдились, что нельзя связывать колебанія ледника съ случайными измѣненіями температуры, т. е. убыли; за холодными годами, когда убыль уменьшается, ледники не перестаютъ наступать и обратно. По мнѣнію Воейкова *) убыль имѣетъ только второстепенное значеніе, т. е. она можетъ нѣсколько уменьшить или увеличить отступаніе или наступаніе.

Форель первый показалъ, что главная причина колебанія ледниковъ заключается въ измѣненіи накопленія снѣга на снѣжникахъ. Хотя долговременныхъ наблюденій надъ количествомъ осадковъ на снѣжникахъ немного, тѣмъ не менѣе на высотѣ, близкой къ нимъ, напр., на С.-Бернардѣ, извѣстно, что количество выпадающаго снѣга измѣняется въ большихъ размѣрахъ, а именно, напр., за 1841—1860 года годовая толщина снѣга, среднимъ числомъ, была=10 м., а за 1861—1876 г. только 4,82 м. Если снѣгъ выпадаетъ болѣе обыкновеннаго, то онъ своимъ давленіемъ долженъ нѣсколько ускорять движеніе ледника, питающагося даннымъ снѣжникомъ. Но вслѣдствіе малыхъ размѣровъ ледниковъ сравнительно со снѣжниками, и особенно вслѣдствіе медленнаго движенія ледниковаго льда, избытокъ снѣга только черезъ значительный періодъ времени достигаетъ ледника и особенно его конца, гдѣ онъ выразится въ наступаніи. Если средняя скорость движенія ледниковъ 100 м., то даже въ

*) Зап. Геогр. Общ., т. XII, стр. 11.

небольшихъ ледникахъ, въ $1^1/_2$ километра длиной, результатъ увеличенія количества снѣга на снѣжникѣ передается до нижняго конца лишь черезъ 15 лѣтъ, при длинѣ ледника въ 6 кил.—черезъ 60 лѣтъ, а при длинѣ въ 21 кил.—только черезъ 210 лѣтъ и т. д.

Такимъ образомъ, избытокъ снѣга даннаго года на снѣжникѣ отразится на ледникѣ не въ данный годъ, а черезъ нѣсколько лѣтъ. Если нѣсколько лѣтъ сряду выпадаетъ снѣга больше средняго количества, то въ послѣдующіе за ними года ледникъ будетъ наступать, хотя бы они были малоснѣжными и съ высокой температурой. Обратно, если въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ снѣга выпало менѣе средняго, то высота снѣга на снѣжникахъ будетъ менѣе средней, и ледникъ будетъ отступать, скорость движенія его уменьшится, хотя бы и не всѣ годы были малоснѣжные.

Колебанія ледниковъ происходятъ отъ сочетанія двухъ причинъ: заполненія области питанія и убыли (абляція); первая причина наступаетъ задолго до проявленія колебанія, вторая дѣйствуетъ быстро.

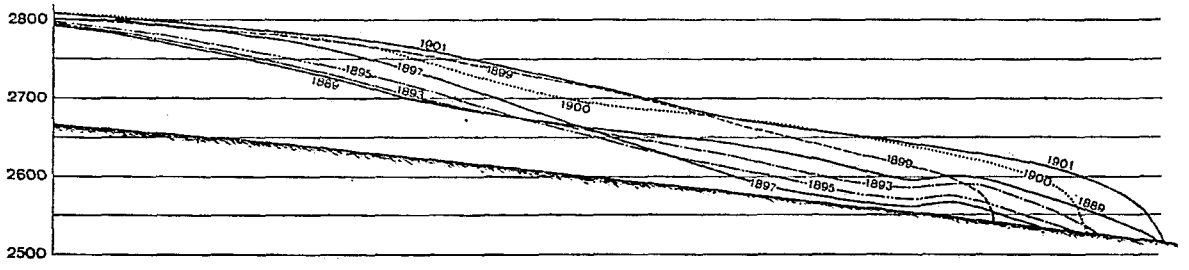
Форель предполагалъ, что если изъ фирноваго поля выступаетъ масса болѣе значительнаго поперечнаго сѣченія, то она будетъ двигаться и съ большею скоростью; поэтому на протяженіи того же пути она потеряетъ отъ убыли менѣе и достигнетъ конца ледника при болѣе значительномъ поперечномъ сѣченіи; слѣдовательно, уже малое увеличеніе профили можетъ вызвать относительно значительное наступленіе ледника. Рихтеръ еще въ 1883 г. внесъ въ это представленіе поправку: болѣе быстрое движеніе въ нижнихъ частяхъ ледника можетъ обнаружиться лишь послѣ того, какъ давленіе верхнихъ массъ при выходѣ изъ фирноваго поля сдѣлается настолько сильнымъ, что оно преодолѣетъ инерцію нижнихъ медленнѣе двигающихся массъ; произойдетъ смятіе верхнихъ и нижнихъ массъ, какъ слѣдствіе этого нижнія пріобрѣтаютъ большее поперечное сѣченіе и стремленіе къ ускоренному движенію. Эта способность къ движенію возрастаетъ быстрѣе, чѣмъ движется самъ ледъ. Такой вспученный ледникъ течетъ быстрѣе, чѣмъ тонкій ледникъ, и доставляетъ въ область таянія больше льда, чѣмъ его можетъ уничтожить абляція; ледникъ удлиняется, наступаетъ, до тѣхъ поръ, пока не истощится фирновое поле или ледникъ не достигнетъ длины, при которой абляція въ состояніи уже поглотить притокъ льда. Когда въ фирновомъ полѣ прибыль льда становится меньше, чѣмъ это соотвѣтствуетъ повышенной способности къ движенію, то происходитъ уменьшеніе верхняго сѣченія языка и вмѣстѣ съ этимъ пониженіе скорости движенія. Вслѣдствіе этого и нижнія сѣченія получаютъ льда меньше, понижаются, и скорость въ нихъ уменьшается; абляція получаетъ перевѣсъ и влечетъ дальнѣйшее пониженіе поперечныхъ сѣченій; ледникъ начинаетъ сокращаться, отступать.

По мнѣнію Рихтера истеченіе льда изъ фирновой области должно происходить до нѣкоторой степени порывами въ зависимости отъ повышенія давленія при достаточномъ накопленіи матеріала въ фирнѣ.

Финстервальдеръ въ теченіе цѣлаго ряда лѣтъ съ 1885 г. наблюдалъ на Глидерфернерскомъ ледникѣ ускореніе движенія и вспученіе поверхности верхней части ледника; въ то же время на концѣ ледникъ обнаруживалъ отступленіе. Наконецъ, въ 1897 и 1898 гг. оказалось, что вспученіе подвигается впередъ быстрѣе, чѣмъ движется самъ ледъ въ соотвѣтствую-

щихъ свѣченіяхъ. Слѣдовательно, передняя части вспученія состоятъ не изъ быстрѣе двигающагося льда, а изъ стараго, раньше двигавшагося медленно, а теперь подталкиваемаго впередъ. Подобное же явленіе съ 1889 г. по 1902 г. было доказано Блюмкэ и Финстервальдеромъ на ледникѣ Вернагтъ. Вспученіе на поверхности ледника двигалось быстрѣе, чѣмъ шло приращеніе массы ледника изъ фирновой области.

Работы на ледникѣ Вернагтъ состояли въ точномъ опредѣленіи положенія отдѣльныхъ камней ряда, заложеннаго на высотѣ 2800 м., и въ послѣдующей установкѣ новыхъ камней по той же профили. Сначала измѣренія и нивеллировка вдоль ледника производились черезъ два года, а затѣмъ ежегодно; они давали скорость льда въ одной и той же профили и соотвѣтствующія измѣненія поверхности ледника. Вмѣстѣ съ этимъ производились многократные фотограмметрическіе снимки языка и нижней части фирна. Максимальное стояніе ледника наступило въ 1902 г., три года послѣ того, какъ скорость на профили камней достигла своего максимума. Способъ, какимъ вспученіе поверхности ледника подвигалось впередъ, поясняется слѣдующей профилью по Финстервальдеру (фиг. 460). Въ 1895 г. вспученіе было на 350 м. ниже линіи камней; въ 1898 г. оно достигло оконечности ледника,



Фиг. 460.—Измѣненія продольной профили ледника Вернагтъ съ 1889 г. по 1901 г.

расположенной тогда на 1070 м. ниже по леднику; слѣдовательно, оно подвигалось со средней скоростью 240 м. въ годъ, а максимальная скорость по линіи профиля была только 177 м. Ледъ на оконечности ледника вспучивался и двигался быстрѣе вслѣдствіе давленія сверху еще задолго до того, когда значительныя массы льда изъ фирновой области достигли оконечности ледника.

Эти наблюденія подтверждаютъ мнѣніе Рихтера о самомъ ходѣ наступанія ледника и измѣненіяхъ въ его массѣ, сопровождающихъ переходъ изъ состоянія отступанія къ состоянію наступанія. Точныя измѣренія Финстервальдера на Вернагтфернерскомъ *) ледникѣ показываютъ также, что каждому наступанію ледника предшествуетъ извѣстное накопленіе матеріала въ фирновомъ полѣ.

Форелю **) и Рихтеру ***) принадлежатъ первыя сопоставленія всѣхъ свѣдѣній о колебаніяхъ ледниковъ въ Альпахъ и починъ въ дѣлѣ систематическаго сбора такихъ данныхъ не только для Альпъ, но и для другихъ ледниковыхъ областей ****). Лучше другихъ извѣстны, конечно, аль-

*) Замѣтимъ кстати, что словомъ „Ferner“ въ Тиролѣ называютъ „ледникъ“, точно также какъ въ Каринтіи словомъ „Kees“.

**) Rapports sur les variations périodiques des glaciers. Echo des Alpes XVII—XVIII, 1881—1882 и Jahrb. des Schweiz. Alpen Clubs (Annuaire du S. A. C.), Bern 1883—1902 и впредь.

***) Geschichte der Schwankungen des Alpengletscher. Zeitschr. d. d. u. ö. A.-Ver., 1891.

****) Первымъ предсѣдателемъ международной ледниковой комиссіи былъ Форель. Отчеты ея печатаются съ 1895 г. въ Arch. des Sciences physiques et naturelles. Genève. Вторымъ предсѣдателемъ былъ Рихтеръ, третьимъ—Финстервальдеръ, въ настоящее время съ 22 августа 1903 г.—Ридъ, представитель Америки въ комиссіи.

пійскіе ледники, общія колебанія которыхъ для XIX ст. указаны въ слѣдующей таблицѣ:

Общее наступаніе съ 1811 по 1818.
Максимумъ 1-й четверти XIX ст. съ 1818—1825.
Отступаніе или остановка съ 1818 по 1830 и 1840.
Минимумъ развитія.
Наступаніе или остановка съ 1830 по 1850, 1860, 1870.
Максимумъ середины столѣтія 1850—1870.
Большое и общее отступаніе съ 1850 и 1870.
Минимумъ.
Небольшое наступаніе съ 1875 по 1893.
Максимумъ для нѣкоторыхъ ледниковъ 1893.
Небольшое отступаніе съ 1895.

Изъ этой таблицы видно, что хотя періоды колебанія для различныхъ ледниковъ неравномѣрны, но что въ первую половину XIX ст. преобладало наступаніе, перемежавшееся съ небольшимъ отступаніемъ, а во вторую половину наоборотъ преобладало отступаніе, смѣнявшееся небольшимъ наступаніемъ. Аналогичныя колебанія за этотъ же періодъ времени испытывали наши ледники Тянь-шаня и особенно Кавказа, гдѣ въ послѣднія 20—30 лѣтъ наблюдается общее отступаніе съ небольшими исключеніями *). Наибольшіе обвалы Девдоракскаго ледника въ 1817 и 1832 г. соотвѣтствуютъ періоду общаго наступанія первой половины XIX ст.

Сопоставляя все, что извѣстно намъ о колебаніи ледниковъ, Форель приходитъ къ слѣдующимъ заключеніямъ:

1. Колебанія ледниковъ индивидуальны; каждый ледникъ имѣетъ свои собственные періоды и размѣры колебаній; въ этомъ отношеніи различаются не только ледники отдѣльныхъ областей, но даже ледники одной и той же горной группы или долины и, наконецъ, два сосѣднихъ ледника; поэтому для изученія этого явленія невозможно ограничиваться какою-либо одною системою ледниковъ и тѣмъ менѣе отдѣльными ледниками.

2) Несмотря на индивидуальность колебаній всетаки наблюдается общность этого явленія, распространяющаяся на обширныя области.

3) Наступаніе болѣе индивидуально, чѣмъ отступаніе, но выражается опредѣленнѣе. Максимумъ возрастанія опредѣлить легче, чѣмъ минимумъ. Отступаніе происходитъ быстрѣе, чѣмъ наступаніе.

4) Продолжительность періодовъ не превосходитъ десятковъ лѣтъ. Въ теченіе одного столѣтія нѣкоторые ледники имѣли три максимума наступанія, другіе — два, а третьи — только одинъ; слѣдовательно, средняя продолжительность періода колебанія, отъ одного минимума до другого, болѣе 30 лѣтъ и менѣе 50. Вообще же продолжительность періодовъ колеблется отъ 20 до 60 лѣтъ.

Рихтеръ на основаніи свѣдѣній о колебаніяхъ ледниковъ съ 1592 г. вывелъ среднюю продолжительность періодовъ около 35 лѣтъ, т. е. согласную съ продолжительностью періодовъ климатическихъ измѣненій по

*) И. Мушкетовъ, Періодическія колебанія ледниковъ. Сборн. Инст. инж. Пут. Сообщ., т. L, 1899.

Брюкнеру. Средняя ариѳметическая по даннымъ Фореля для продолжительности періодовъ—38 лѣтъ, т. е. также согласная съ Брюкнеровскими циклами смѣны ряда теплыхъ годовъ холодными годами. Такимъ образомъ періоды ледниковыхъ и климатическихъ колебаній хотя не могутъ совпадать по времени, ибо первые слѣдуютъ за вторыми, но имѣютъ приблизительно одинаковую продолжительность.

Вліяніе орографическихъ условій на колебанія ледниковъ. Измѣненія продолжительности періодовъ для ледниковъ въ отдѣльныхъ случаяхъ должны зависѣть отъ различія орографическихъ условій, такъ какъ колебанія климатическихъ факторовъ въ смежныхъ областяхъ въ теченіе болѣе или менѣе продолжительнаго времени не могутъ быть настолько значительными, чтобы вызвать большія различія въ режимѣ ледниковъ.

Насколько накопленіе матеріала въ фирновомъ полѣ, предшествующее наступанію и вызывающее толчокъ, зависитъ отъ орографическихъ условій, показываютъ, напр., измѣренія Финстервальдера на ледникѣ Вернагтъ. Этотъ ледникъ со времени послѣдняго наступанія около 1848 г. уменьшился въ объемѣ на 239000000 куб. м.; значитъ, столько же онъ долженъ получить, чтобы при новомъ наступаніи (начало въ 1898 г.) снова заполнить свое ложе. Площадь его фирнового поля составляетъ всего 1200 гект., и въ теченіе немногихъ лѣтъ эта громадная убыль не можетъ быть пополнена. Необходимое количество матеріала скопилось бы въ теченіе 20 лѣтъ, если бы истеченіе изъ фирнового поля на это время совершенно прекратилось. Для ледника Вернагтъ извѣстно, что періоды его наступанія совершались черезъ два и даже три Брюкнеровскіе періода; слѣдовательно, до начала наступанія въ фирновомъ бассейнѣ происходитъ скопленіе матеріала за очень большое число лѣтъ.

Вліяніе орографическихъ условій зависитъ какъ отъ горизонтальнаго, такъ и вертикальнаго расчлененія ледника. Очевидно, что чѣмъ больше ледникъ и чѣмъ фирновый бассейнъ шире сравнительно съ ледниковымъ языкомъ, тѣмъ выходъ льда болѣе стѣсненъ и тѣмъ неблагопріятнѣе условія для непрерывности истеченія льда. Гессъ дѣлаетъ попытку выразить вліяніе орографическихъ условій въ зависимости отъ площади горизонтальной проекціи поверхности ледника, угла наклона фирна и длины языка. Выводы его повторяютъ частью уже указанныя Рихтеромъ положенія:

1) Наступаніе ледника тѣмъ болѣе запаздываетъ противъ климатическихъ факторовъ, чѣмъ значительнѣе должно быть предварительное накопленіе матеріала. Слѣдовательно, для болѣе или менѣе точнаго изученія измѣненій климата пригодны наблюденія только надъ ледниками, представляющими возможно малыя измѣненія формы и поперечнаго сѣченія отъ фирна къ цунгу.

2) Напряженность климатическихъ измѣненій въ Альпахъ не была повсюду одинаковой; она была значительнѣе въ западныхъ Альпахъ, чѣмъ въ восточныхъ, такъ какъ средняя продолжительность періодовъ наступанія въ послѣднихъ была меньше, чѣмъ въ западныхъ Альпахъ.

Первое положеніе отчасти объясняетъ давно уже отмѣченное Рихтеромъ явленіе, что послѣднее наступаніе ледниковъ въ восточныхъ Альпахъ

(1892—93 г.г.) запоздало сравнительно съ началомъ этого же періода въ западныхъ Альпахъ (1875 — 1892 гг.) и тѣмъ больше, чѣмъ дальше на востокъ *).

Чисто историческое значеніе имѣетъ работа проф. Фрица **) (1879 г.) о тѣсной связи періодовъ колебанія ледниковъ съ періодами появленія maximum'a солнечныхъ пятенъ. Собравъ и провѣривъ извѣстныя тогда данныя о колебаніяхъ ледниковъ различныхъ странъ и сопоставивъ періоды ихъ съ періодами появленія maximum'a солнечныхъ пятенъ, г. Фрицъ нашелъ, что періоды (около 54 лѣтъ) эти *близко совпадаютъ между собою*. Такого соотношенія нельзя отрицать, если только подтвердится выводъ Кёппена (см. стр. 60) о вліяніи солнечныхъ пятенъ на измѣненіе температуры и осадковъ. Если солнечныя пятна понижаютъ среднюю температуру и увеличиваютъ осадки, то, очевидно, они должны способствовать наступанію ледниковъ.

Колебанія ледниковъ въ различныхъ ледниковыхъ областяхъ. Изъ другихъ ледниковыхъ областей матеріалъ за болѣе продолжительное время имѣется *только для сѣвера и собранъ недавно* Рабо ***). Интересно, что гренландскій внутренній покровъ обнаруживаетъ наступаніе съ начала XIX ст.; болѣе точныя свѣдѣнія имѣются для Исландіи и Норвегіи, показывающія періоды наступанія и отступанія ледниковъ близко совпадающими съ установленными періодами для Альпъ; такъ въ теченіе послѣднихъ 30 лѣтъ повсюду обнаруживается отступаніе, но въ степени меньшей, чѣмъ для Альпъ ****).

На Новой Землѣ по изслѣдованіямъ Чернышева въ 1895 г. ледники находятся въ періодѣ возрастанія, и въ настоящее время ледники замѣтно понижаются.

Однако всѣ имѣющіяся данныя указываютъ, что въ настоящее время большинство ледниковъ другихъ странъ, подобно Альпійскимъ, замѣтно отступаютъ, напр. въ Пиренеяхъ, на Кавказѣ, въ Тянь-шанѣ, Каракорумѣ и Сѣв. Америкѣ *****). У насъ на Кавказѣ и особенно въ Тянь-шанѣ отступаніе, повидимому, идетъ чрезвычайно быстро; такъ Азау или Баксанскій ледникъ за послѣднія десятилѣтія отступилъ почти на версту, тоже Адиль, Бизинги, Ирикъ, Терскольъ, Девдоракскій и др.

По опубликованнымъ до сихъ поръ данныхъ новѣйшихъ наблюденій г.г. Буша, Щукина, Россикова и Погенполя ******) до 1898 г. всѣ ледники Кавказа обнаруживали замѣтное отступаніе. Единственнымъ исключеніемъ былъ ледникъ Адильскій (въ верховьяхъ Адиль-су), прогрессировавшій до 1898 г. вслѣдствіе благопріятныхъ орографическихъ условій. Средняя величина отступанія ледниковъ сѣвернаго склона Кавказа 22 метра, а для южнаго склона—25 м.

Въ Тянь-шанѣ рѣшительно всѣ ледники, по наблюденіямъ съ 1874 г. по 1880 г., а также 1886—1887 г., замѣтно отступали. Хотя точно опредѣлить степень отступанія нельзя было, по недостатку сколько-нибудь продолжительныхъ изслѣдованій однихъ и тѣхъ же ледниковъ, тѣмъ не менѣе можно было думать, что отступаніе шло непрерывно и довольно быстро; это видно изъ того, что, во-первыхъ, у большинства ледниковъ нѣтъ конечныхъ моренныхъ валовъ, а, во-вторыхъ, свѣжія, конечныя морены отстоятъ иногда весьма далеко отъ нижняго конца ледника,—напр. у различныхъ ледниковъ Кой-су на разстояніи отъ 1 до 10 вер., у Алайскихъ еще болѣе. Въ Таласкомъ Алатау по послѣднимъ изслѣдованіямъ Федченко ледники носятъ слѣды сокращенія, а нѣкоторые (Чотанскіе ледники) за время съ 1897 г. по 1902 г. обнаруживаютъ слабое наступаніе. Сильное отступаніе ледниковъ констатировали Дмитріевъ въ Джунгарскомъ Алатау и Боро-хоро, Липскій въ 1896—1899 г.г. въ хр. Петра Великаго, а Сапожниковъ—на Алтаѣ Такимъ образомъ, на-

---

*) Дальнѣйшія наблюденія надъ колебаніями ледниковъ продолжаютъ печататься въ Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève, подъ названіемъ: Les variations périodiques des glaciers. Спеціально для Альпъ, какъ указано, въ Annuaire du S. A. C.

**) Fritz, Die periodischen Längenänderung der Gletscher. Pet. Mitt., 1878, № 10.

***) Ch. Rabot, Les variations de longueur des glaciers dans les régions arctiques et boréales. Arch. des Sc. ph. et natur., Genève, 1897. Его же: Revue de glacialogie. Ann. du Club Alp. Français, 1901, XXVIII.

****) Rekstad, J., Ueber den Jostedalsgletscher. Geolog. Centralblatt, 1904, № 9, стр. 406—408.

*****) Isr. Russel, Glaciers of North America, 1901, стр. 146—159; краткія свѣдѣнія о колебаніяхъ ледниковъ отъ времени ихъ открытія. Reid, The variations of Glaciers; Journ. of Geology, 1896 и послѣдующіе годы; болѣе подробныя свѣдѣнія.

******) И. Мушкетовъ, Отчеты о состояніи ледниковъ въ Россіи. Изв Геогр. Общ., съ 1895 г. по 1899 г.

стоящій періодъ отступанія Кавказскихъ и Тянь-шаньскихъ ледниковъ соотвѣтствуетъ такому же періоду (второй половины XIX ст.) отступанія Альпійскихъ ледниковъ.

Изъ такихъ случайныхъ матеріаловъ, болѣе систематично собираемыхъ только съ 1894 г., трудно вывести какія-либо общія заключенія, и вопросъ о синхронизмѣ колебаній въ различныхъ областяхъ требуетъ еще новыхъ наблюденій.

Также остаются открытыми и вопросы: происходитъ ли въ настоящее время непрерывное уменьшеніе ледниковъ, несмотря на временные періоды наступанія ихъ, или наоборотъ современное оледенѣніе возрастаетъ? На основаніи имѣющихся свѣдѣній для среднихъ вѣковъ нельзя сказать ничего опредѣленнаго, и можно дѣлать только необоснованныя догадки о вѣковыхъ климатическихъ колебаніяхъ (Рабо).

Ледниковыя катастрофы. Наступаніе ледниковъ вызываетъ иногда катастрофы, бѣдственныя нерѣдко по своимъ послѣдствіямъ и особенностью которыхъ, по сравненію, напр., съ селевыми, составляетъ ихъ повторяемость или, по крайней мѣрѣ, возможность ихъ періодическаго повторенія. Къ такимъ катастрофамъ относятся ледниковыя лавины и прорывы озеръ, образующихся отъ подпруды ледниковымъ языкомъ.

Къ наиболѣе печальнымъ по своимъ послѣдствіямъ ледниковымъ лавинамъ относятся лавины въ долину Церматта ледника Bies (или Randa), неоднократно разрушавшія селеніе Randa, расположенное на коническомъ выносѣ противъ ледника *). Селеніе каждый разъ страдало отъ удара воздухомъ (Souffle) при обвалѣ нижняго конца ледника, достигавшаго при сильномъ наступаніи крутого уступа ложа; вслѣдствіе сильнаго напора верхнихъ частей ледника обломки его не могутъ удерживаться ниже этого уступа и падаютъ лавиной въ долину.

Болѣе грозныя катастрофы представляютъ обвалы висячаго ледника Альтельсъ въ 1782 г. и въ особенности 11 сентября 1895 г. **), когда конецъ ледника далъ трещину полукругомъ въ 500 м. діаметромъ, и вся нижняя часть его шириною до 150—200 м. сдвинулась по ложу съ уклономъ около 30° и въ одну минуту прошла путь въ 3 километра. По мнѣнію Гейма и Фореля причиной катастрофы является сильное повышеніе температуры воздуха въ теченіе лѣта трехъ предшествовавшихъ годовъ, вызвавшее поднятіе геоизотермы 0° и отдѣленіе части ледника отъ основанія. Паскье объясняетъ медленнымъ возрастаніемъ ледника и увеличеніемъ вѣса его нижней части; но такъ какъ всѣ ледники этой мѣстности находились въ это время въ періодѣ отступанія, это возрастаніе нижняго конца ледника нельзя считать слѣдствіемъ увеличенія всей его массы, а только увеличенія пластичности льда отъ повышенія средней температуры льда. Если дѣйствительно удлиненіе ледника не выравнивалось соотвѣтствующимъ питаніемъ сверху, то въ поперечномъ сѣченіи ледника могло обнаружиться недостаточное сопротивленіе и какъ слѣдствіе этого поперечный разрывъ.

Иной типъ ледниковыхъ лавинъ представляютъ историческія катастрофы ледника Gétroz въ Val de Bagnes и Девдоракскаго на Кавказѣ. Ледникъ Gétroz при возрастаніи давалъ въ долинѣ р. Драncъ возрожденный ледникъ, превращавшій верхнюю часть долины въ озеро. Первая попытка извѣстнаго инженера Venetz (Вэнэцъ) спуска воды изъ озера посред-

*) Agassiz, Étude sur les glaciers, 1840, стр. 158—162.

**) L. du Pasquier, L'avalanche de l'Altels. Bull. de la Soc. d. sc. natur. de Neuchatel, 1896.

ствомъ штольни въ 1818 г. вызвала только страшное наводненіе, стоившее милліоны франковъ; наводненія повторялись и въ послѣдующіе годы. Въ 1822 г. и 1824 г. подъ руководствомъ того же Вэнэцъ были приняты мѣры къ искусственному разрушенію ледяной плотины посредствомъ размыва ея дѣйствіемъ болѣе теплыхъ ключевыхъ водъ сосѣдней горы и одновременнаго спуска воды изъ озера. Такимъ путемъ удалось разрушить всю ледяную плотину, а для предотвращенія ея образованія Вэнэцъ въ этомъ мѣстѣ посредствомъ плотинъ расширилъ водную поверхность р. Дрансъ, такъ что подпора рѣки падающимъ льдомъ не могло быть уже вызвано, а постояннымъ теченіемъ размываетъ нарастающій ледъ. Съ 1826 г. это сооруженіе до сихъ поръ предохраняетъ долину отъ наводненій.

О Девдоракскомъ ледникѣ имѣются довольно точныя свѣдѣнія, такъ какъ у насъ это единственный ледникъ, надъ которымъ производились наблюденія, вызванныя его опасностью для Военно-Грузинской дороги. Вслѣдствіе малой длины (4 вер.) и значительнаго паденія Девдоракскаго ледника (900 фут. на версту, или около 19°), (Абихъ сначала причислялъ его къ ледникамъ второго порядка) (фиг. 412) колебанія его довольно быстрыя; такъ, въ 1864 г. онъ опустился на 40 м. противъ 1863 г. въ 1865 г. на 124 м., причемъ ширина его съ 233 м. увеличилась до 346 м., а суточная скорость—съ 0,20 м. до 0,94 м. Послѣ 1867 г. онъ началъ отступать до 1885 г., затѣмъ значительно возрасталъ съ 1885 г. по 1886 г., а съ 1886 г. сталъ постепенно убывать до 1892 г. *), когда снова проявилось наступаніе. Періоды наибольшаго наступанія ледника сопровождаются громадными «завалами» въ долину Терека и на Военно-Грузинскую дорогу, а именно: въ 1776—1778—1785—1808—1817—1832 г.г., когда оторвавшаяся масса льда съ камнями составляла 1600000 куб. саж. и слетѣла по ущелью р. Амилишки со скоростью $2^1/_2$ вер. въ минуту и завалила долину Терека. Послѣ 1832 г. періоды наступанія хотя повторялись, но уже значительно ослабѣли и не достигали такой степени, какъ прежде, напр. въ 1842 г. и въ 1855 г., а потому и завалы, къ счастью, не повторяются.

Причина этихъ заваловъ, какъ правильно объяснили г.г. Статковскій **), Фавръ ***) и др., заключается въ орографическихъ особенностяхъ крутого ущелья (паденіе 0,132) Амилишки (см. фиг. 461), верхнюю часть котораго занимаетъ Девдоракскій ледникъ. Ниже конца ледника ущелье Амилишки значительно съуживается скалистымъ мысомъ, выступающимъ съ лѣвой стороны. Ледникъ въ періодъ наступанія, дойдя до мыса, задерживается имъ и образуетъ ледяную плотину, которая останавливаетъ Амилишку; вода, постепенно скопляясь позади плотины, достигаетъ большого напора, прорываетъ ледяную плотину и производитъ завалъ, состоящій изъ моренныхъ камней и огромныхъ ледяныхъ глыбъ.

---

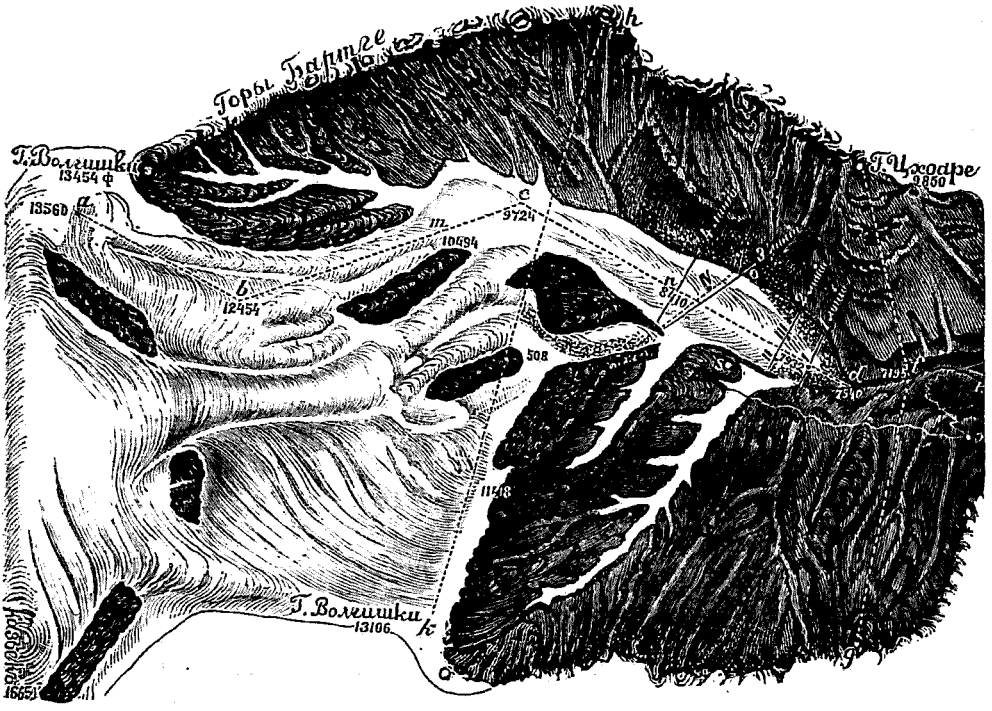
*) И. Мушкетовъ, Замѣтки о колебаніяхъ Девдоракскаго ледника. Изв. Геогр. Общ., т. XXXI, № 1, 1895, стр. 72—73 (протоколы), т. XXVIII, 1892, стр. 303—306 (протоколы) и 1882 г.

**) Сборникъ свѣдѣній о завалахъ, упавшихъ съ горы Казбекъ съ 1776 г. по 1878 г. на Военно-Грузинскую дорогу. Тифлисъ, 1884. Статьи Статковскаго, Хатисяна и оффиціальные отчеты.

***) E. Favre, Recherches géologiques dans la partie centrale de la chaine du Caucase, 1875, стр. 65.

Мы уже указывали (стр. 439—440) на связь заваловъ съ явленіями муръ; замѣтимъ еще разъ, что оба явленія вызываются всетаки причинами разнаго порядка.

Измѣренія по отдѣльнымъ профилямъ на Девдоракскомъ ледникѣ съ 1885 г. по 1893 г. (исполненныя инженерами путей сообщенія) обнаруживаютъ и здѣсь значительное выпучиваніе середины ледника и лѣваго края въ періодъ возрастанія. Въ 1892 г. (максимумъ отступанія) середина опустилась почти на 20 саж. сравнительно съ положеніемъ по-



Фиг. 461. — Планъ Девдоракскаго ледника (Казбекъ) (линіи *a b c d*, *kh* и др.—линіи нивеллировокъ). (Масштабъ.—400 саж. въ дюймѣ.)

верхности въ 1886 г.; въ 1893 г. середина возвысилась почти на 4 саж. выше уровня 1892 г. Здѣсь можно предполагать такое же явленіе вспученія, какое изслѣдовано Финстервальдеромъ на Вернагтфернерскомъ ледникѣ.

Свѣдѣній о другихъ обвалахъ ледниковъ на Кавказѣ немного, хотя это явленіе повторяется тамъ часто. Такъ лѣтомъ 1902 г. произошло нѣсколько такихъ катастрофъ. 17 іюня обвалился Санибанскій ледникъ и запрудилъ совершенно рѣку Геналъ-донъ (близъ Владикавказа). Движеніе льда обнаружилось уже 16 іюня, когда въ урочищѣ Кармадонъ былъ слышенъ грохотъ со стороны ледника и скатывались камни, а 17 іюня вечеромъ произошелъ обвалъ части ледника; подъ лавиной погибло до ста человѣкъ, пользовавшихся леченіемъ на горячихъ источникахъ Кармадона. 19 іюня въ полдень упалъ второй обвалъ съ ледника Колка въ той же мѣстности, съ сѣвернаго склона хребта Гимарай-хохъ. По мнѣнію Погенполя причиной этой выдающейся катастрофы слѣдуетъ

считать землетрясеніе, такъ какъ ни условія ледникова режима, ни наклонъ ледниковъ не позволяютъ объяснить этихъ обваловъ.

Наиболѣе типичными катастрофами отъ прорыва ледниковыхъ озеръ можно считать случаи, возникающіе отъ запруды именно ледниковыхъ водъ (Stauseen), напр. Гинтерейсфернерскаго и Гохіохскаго ледниковъ при увеличеніи длины ледника Вернагтъ. Оригинальный случай представляетъ печальная катастрофа въ Сенъ-Жерве въ Савойѣ (12 іюля 1892 г.), когда произошелъ прорывъ огромнаго количества воды, скопившагося въ пещерахъ на концѣ ледника Tête-rousse; эти пещеры можно предполагать въ видѣ огромныхъ ледниковыхъ мельницъ, откуда выходъ воды былъ затрудненъ какой-либо случайной причиной.

Такъ какъ въ 1894 г. снова было замѣчено скопленіе воды, грозившее новой опасностью долинѣ Сенъ-Жерве, то въ 1898 г. были предприняты работы для предупрежденія катастрофы. Въ 1899 и 1900 г.г. былъ проведенъ частью во льду, частью въ скалахъ туннель, которымъ хотѣли достигнуть до скопленія воды во льдѣ. Развѣтвленіями туннеля и буровыми скважинами убѣдились, что скопленія воды 1894 г. болѣе не существуетъ. Туннель служилъ для отвода воды отъ таянія ледника. Въ августѣ 1901 г. было замѣчено, что ниже мѣста старыхъ пещеръ возникла новая трещина, шириною до 4 м. и длиною до 50 м. На нѣкоторой глубинѣ (около 3 м. отъ поверхности ледника) трещина была совершенно закрыта, а ниже образовалось скопленіе воды глубиною до 40 м., слѣдовательно скопленіе массы воды не менѣе 8000 куб. м. Такъ какъ дно этой трещины было на 60 м. ниже, чѣмъ устье туннеля, то въ 1901 г. былъ заложенъ новый туннель для достиженія дна этой заполненной водою трещины. Работы приходилось вести на высотѣ 3180 м., и рабочій періодъ продолжается здѣсь всего два мѣсяца въ году; только къ 28 іюлю 1904 г. была достигнута трещина (длина туннеля—203 м.), и начался спускъ воды; всего въ 4 часа было спущено 18000 куб. м. воды. Оказалось, что трещина на глубинѣ значительно шире, чѣмъ на поверхности ледника. Скопленіе воды отъ таянія льда съ поверхности ледника происходитъ здѣсь вслѣдствіе совершеннаго закупориванія выходовъ воды зимнимъ снѣгомъ и постоянной низкой температуры при днѣ ледника. Такъ какъ можно ожидать и впредь повторенія тѣхъ же условій для скопленія воды, то вѣроятно, что, въ будущемъ придется повторить тѣ же работы.

Катастрофы отъ запруды водъ ледникомъ при его наступаніи повторяются, напр., въ Норвегіи: 6 авг. 1900 г. и 22 авг. 1903 г. на ледникѣ Тунсбергдаль *).

Теоріи движенія ледниковъ.

Движеніе такого твердаго тѣла, какимъ является ледъ въ каждомъ его кускѣ, не могло не обратить на себя пытливости человѣческаго ума. Геймъ называетъ 47 изслѣдователей до 1882 г., пытавшихся отвѣтить на вопросъ о причинахъ такого движенія; съ тѣхъ поръ число ученыхъ, занимавшихся этимъ вопросомъ, увеличивается ежегодно. Чѣмъ ограниченнѣе было знаніе физическихъ свойствъ льда и дѣйствительныхъ условій его движенія, тѣмъ проще были, говоритъ Геесъ, научныя основанія которыя прилагались для разрѣшенія этого вопроса, и тѣмъ свободнѣе можно было спекулировать.

Всѣ теоріи, или правильнѣе гипотезы, предлагавшіяся для объясненія движенія льда, можно раздѣлить на двѣ группы. Однѣ принимаютъ за основную причину внутреннія силы въ самой массѣ льда, отводя силѣ тяжести только подчиненную ролъ; это теорія I) самостоятельнаго

*) Rekstad, J., Stauung beim Tunsbergdalsgletscher in Sogn., Geolog. Centralblat, 1904, стр. 366.

движенія; сила тяжести принимается ими во вниманіе лишь какъ причина, опредѣляющая путь движенія, именно книзу, вслѣдствіе наклонности ложа. Другія теоріи основной причиной считаютъ силу тяжести, и ихъ можно назвать II) теоріями тяжести (Gravitationshypothesen по Гейму и Гюнтеру).

I. Теоріи самостоятельнаго движенія.

a) Теорія расширенія отъ замерзанія воды, проникающей въ массу ледника. Это самая древняя теорія, предложенная еще съ 1705 года Шейхцеромъ, который полагалъ, что сила, заставляющая ледники двигаться внизъ по долинѣ, заключается въ водѣ, замерзающей и расширяющейся въ капилярныхъ трещинахъ и разсѣлинахъ льда. Впослѣдствіи швейцарскій натуралистъ Шарпантье развилъ эту теорію съ большими подробностями, и потому долгое время она извѣстна была подъ именемъ теоріи Шарпантье; сначала она пользовалась довѣріемъ, и даже Агассицъ держался ея, пока ближе не ознакомился съ ледниками. Хотя самый фактъ проникапія воды въ ледникъ и расширеніе ея при замерзаніи не подлежитъ сомнѣнію, но придавать ему такое исключительное значеніе едва ли возможно уже потому, что для этого необходимо допустить большія колебанія температуры внутри ледника, чего на самомъ дѣлѣ нѣтъ, такъ какъ внутренняя температура ледника постоянно около 0°. Она не объясняетъ также характера движенія ледниковъ, структуры льда, и потому въ настоящее время оставлена.

b) Теорію возрастанія ледниковаго зерна впервые высказалъ Хюги въ 1843 г.; она усматриваетъ причину движенія въ постепенномъ возрастаніи ледниковаго зерна, т. е. перекристаллизованіи воды и льда въ ледниковыя зерна (см. выше, стр. 710). Цѣлый рядъ ученыхъ (Эли де-Бомонъ 1842 г., Ладамъ 1842 г., Николи 1843 г., Бертень 1866 г., Градъ 1867 г. и др.) разработывали и видоизмѣняли ее, но самое полное развитіе ея представилъ Форель (1882 г.) *). Онъ не отрицаетъ вліянія силы тяжести, смерзанія, пластичности, но главную причину движенія приписываетъ возрастанію зерна; въ противоположность механическимъ теоріямъ (тяжести), Форель называетъ свою теорію термическою. Форель дѣлитъ ледникъ на три части:

1) Фирновая область представляетъ дѣтство ледника; она отличается избыткомъ снѣга; вся вода въ ней превращается въ ледъ: температура въ глубинѣ ниже 0°; нижняя граница этой области совпадаетъ съ фирновою линіею.

2) Вторая часть представляетъ вполнѣ развившійся ледникъ (Glacier adolescent). Лѣтняя теплота вліяетъ сильнѣе зимняго снѣга; вся инфильтрирующаяся вода поглощается ледникомъ, температура котораго въ глубинѣ ниже нуля. Этой части свойственно наиболѣе быстрое движеніе. Она продолжается до начала ледниковыхъ поддонныхъ ручьевъ гдѣ температура въ концѣ лѣта 0°.

3) Третья часть—состарѣвшійся ледникъ (Glacier sénile) отли-

*) Forel, Le grain du glacier, Arch. d. Sc. phys. et natur. de Genève, 1882, VII.

чается избыткомъ лѣтней теплоты, которая доставляетъ инфильтраціонной воды больше, чѣмъ можетъ поглощать ледникъ, и потому часть ея идетъ на образованіе подледниковыхъ ручьевъ. Температура у дна ледника 0°.

Въ каждой части ледника возрастаніе зерна, по Форелю, зависитъ отъ двухъ условій: а) отъ степени охлажденія ледника зимой и б) отъ количества пропитыванія его водою лѣтомъ. Эти условія, съ приближеніемъ къ нижнему концу ледника, становятся болѣе благопріятными, а потому объемъ зерна долженъ увеличиваться къ концу ледника, т. е. съ его древностью, что до нѣкоторой степени подтверждается наблюденіемъ (см. выше стр. 712); слѣдовательно, наоборотъ величина зерна есть мѣра древности ледниковаго льда. При равновѣсіи упомянутыхъ условій въ средней части ледника зерно возрастаетъ энергично и быстрота движенія наибольшая.

Черезъ два года въ 1884 г. самъ Форель представилъ и наиболѣе вѣское возраженіе противъ своей теоріи; точными наблюденіями онъ показалъ, что инфильтраціонная вода не проникаетъ глубже 2—5 м., слѣдовательно болѣе глубокія части ледника не могутъ этимъ путемъ получить матеріалъ для возрастанія зерна. Правда, внутри ледника согласно взглядамъ, развиваемымъ напр. Дригальскимъ, нѣтъ недостатка въ водѣ отъ таянія льда, также какъ и достаточно низкой для ея замерзанія температуры, но противъ этой теоріи говоритъ больше всего соображеніе, что если въ массѣ льда и происходятъ явленія перекристаллизаціи, то онѣ связаны съ уменьшеніемъ объема, а не съ увеличеніемъ, что предполагается теоріей Фореля. Наконецъ, какъ мы видѣли уже, возразстаніе зерна вѣроятнѣе объясняется на счетъ сосѣднихъ зеренъ или при посредствѣ измѣненія состоянія, или только молекулярными процессами. Мысль Фореля о различіи термическихъ условій льда въ области питанія (температура ниже 0°) и въ области убыли (температура около 0°) повторяется и въ новѣйшихъ теоретическихъ представленіяхъ, напр., Чэмберлена и заслуживаетъ полнаго вниманія. Форель, въ то время профессоръ физіологіи въ Лозанской академіи, приступилъ къ изслѣдованіямъ ледниковъ въ семидесятыхъ годахъ прошлаго столѣтія и съ тѣхъ поръ болѣе, чѣмъ кто либо другой, обогатилъ науку о ледникахъ плодотворными идеями и быстро двинулъ впередъ, благодаря удачной организаціи систематическихъ наблюденій.

с) Теорія послѣдовательнаго расширенія и сжатія отъ перемѣнъ температуры. Мозели (Moseley, 1869 г.) наблюдалъ, что металлическая пластинка, положенная на наклонной плоскости и подвергаемая нагрѣванію и охлажденію, медленно перемѣщается книзу, велѣдствіе неодинаковаго сжатія верхней и нижней стороны. По мнѣнію Гейма противъ этой кабинетной теоріи достаточно говорятъ всѣ факты, давно уже извѣстные, о постоянствѣ температуры внутри массы ледника.

II. Теоріи тяжести.

Въ этой группѣ можно различить два направленія; по одному движеніе льда происходитъ безъ измѣненія состоянія частицъ льда, а по другому оно связано съ непрерывными физическими измѣненіями его

частицъ. Къ первому относятся мнѣнія о движеніи льда, какъ сколженіи всей его массой, и мнѣнія, приписывающія льду при температурѣ близкой къ 0° извѣстную пластичность, т. е. способность къ перемѣщеніямъ частицъ безъ разрыва сплошности между ними.

Ко второму относятся взгляды, по которымъ движенія льда вызывается или частичнымъ разжиженіемъ подъ вліяніемъ давленія, или частичнымъ раздробленіемъ и послѣдующимъ смерзаніемъ; къ этой же группѣ теорій можно относить въ сущности и теорію движенія путемъ возростанія зерна (Фореля).

а) Теорія скольженія впервые была предложена Альтманомъ (1751 г.) и Грунеромъ (1760 г.), ясно формулирована Соссюромъ въ 1799 г. и подробнѣе развита извѣстнымъ Гопкинсомъ (1843 г.). По смыслу этой теоріи, ледникъ представляетъ совершенно сплошное, твердое тѣло, движущееся по наклонному ложу долины или вообще склона и повинующееся въ этомъ движеніи только простымъ законамъ тяжести. Скольженіе ледника внизъ по склону значительно облегчается водою, всегда протекающею между льдомъ и ложемъ. Такое воззрѣніе, очевидно, исключаетъ всѣ вышеописанныя измѣненія и различія въ движеніи разныхъ частей ледниковъ, т. е. у краевъ, въ срединѣ, внизу, вверху, въ съуженіяхъ и расширеніяхъ; точно также не объясняетъ расположенія трещинъ и пластинчатой структуры. Словомъ, теорія скольженія въ такомъ ея крайнемъ развитіи не можетъ быть принята для объясненія причины движенія льда.

Тѣмъ не менѣе и Соссюръ нигдѣ не настаивалъ, что скольженіе есть единственная причина движенія; ему не чужды были представленія и о подвижности отдѣльныхъ частей ледника. Теперь мы увѣрены въ томъ, что движенія ледника частью есть теченіе, частью скольженіе; Геймъ говоритъ, что скольженіе тѣмъ существеннѣе, чѣмъ круче наклонъ ледника, чѣмъ мощнѣе ледникъ и чѣмъ ниже его положеніе, когда вліяніе температуры уменьшаетъ треніе ледника о его ложе. Скольженіе, какъ одно изъ слѣдствій силы тяжести, представляетъ одну изъ формъ движенія льда, опредѣляемую его физическими свойствами.

Теоріи пластичности.

Мы уже достаточно видѣли, что всетаки движеніе льда главнымъ образомъ есть родъ теченія; хотя механическая теорія Финстервальдера теченія ледника относится только къ идеальному состоянію, отъ котораго почти на каждомъ ледникѣ можно найдти отклоненія, тѣмъ не менѣе всякая гипотеза о ближайшихъ причинахъ движенія должна считаться съ основными положеніями о теченіи. Въ дѣйствительности движеніе ледника сложнѣе, и едва ли можно ожидать единой теоріи, которая объяняла бы всѣ роды этого движенія. Сила тяжести, какъ основная причина всякаго движенія, можетъ въ зависимости отъ физическихъ свойствъ льда повести къ различнымъ слѣдствіямъ. Оставляя внѣ разсмотрѣнія силу тяжести, намъ остается различить главную и побочныя ближайшія причины движенія, но всегда согласныя съ формами его проявленія и физическими свойствами льда. Однимъ изъ такихъ свойствъ, которое

давно уже обратило на себя вниманіе гляціалистовъ, есть пластичность льда; когда ближе было изучено движеніе ледниковъ, естественно, что всѣ усилія теоретическаго разсмотрѣнія были направлены на физическое объясненія пластичности льда.

Пластическія или вязкія массы могутъ двигаться уже исключительно подъ вліяніемъ силы тяжести, и первая мысль объ этомъ, принадлежащая швейцарскому изслѣдователю Бордье, высказана была еще въ 1773 г., но она оставалась безъ всякаго развитія, пока не возродилась въ другомъ изслѣдователѣ, епископѣ Рандю, обладавшемъ замѣчательною наблюдательностью. Онъ еще въ 1841 г. сравнивалъ ледникъ съ рѣкою и указывалъ, что «есть много фактовъ, заставляющихъ думать, что ледниковый ледь обладаетъ извѣстнаго рода растяжимостью, дающею ему возможность приноравливаться своею формою къ ложу: утоняться, разбухать и сокращаться на подобіе тѣста». Однако, несмотря на это, онъ ограничился только сравненіемъ ледника съ тѣстообразными или полужидкими тѣлами и не сдѣлалъ никакой попытки опредѣлить то физическое свойство льда, въ силу котораго ледникъ двигается какъ рѣка, и не произвелъ даже точныхъ измѣреній движенія.

Послѣ Бордье и Рандю, первый Форбсъ (1844 г.) рѣшительно заявилъ, что ледникъ не кажущееся, но дѣйствительно полужидкое тѣло.

а) Теорія Форбса движенія льда, вслѣдствіе способности перемѣщенія его частицъ безъ разрыва сплошности (viscous theory).

Форбсъ, указывая на аналогію движенія ледниковъ и рѣкъ, разсматривалъ самое движеніе, какъ слѣдствіе внутреннихъ давленій, возникающихъ вслѣдствіе вѣса самой массы и передаваемыхъ путемъ гидростатическаго давленія какъ во всякомъ тѣлѣ, части котораго могутъ перемѣщаться одна относительно другой. Пластическое движеніе ледниковъ объясняется тѣмъ, что ледъ, въ большихъ массахъ и при температурахъ близкихъ къ нулю, предполагается имѣющимъ свойства вязкихъ или полужидкихъ тѣлъ, частицы которыхъ подъ вліяніемъ собственной массы могутъ приходить въ такія относительныя движенія.

«Такъ движутся вязкія жидкости, таково же нерѣдко бываетъ и движеніе тѣлъ, обладающихъ обычными свойствами твердаго тѣла (даже хрупкаго, какъ смола, лакъ, варъ и т. д.), если только достаточная сила дѣйствуетъ на него достаточно долгое время; причемъ вліяніе этой силы главнымъ образомъ состоитъ въ томъ, что давленіе, недостаточное для мгновеннаго отдѣленія частицъ, заставитъ ихъ, рано или поздно, скользить незамѣтно одна по другой и вступать въ новыя сцѣпленія, такъ чтобы измѣненіе формы произошло безъ разрывовъ, которые обращали бы тѣло въ кучу обломковъ». Форбсъ считаетъ ледникъ такою рѣкою, у которой жидкостное начало весьма мало, а начало сцѣпленія или вязкости велико.

По мнѣнію Форбса ледникъ движется, какъ рѣка, потому что ледъ долженъ быть вязкимъ, но какимъ образомъ ледъ пріобрѣтаетъ это свойство онъ объяснить не могъ. Онъ старался доказать, что частичные процессы при измѣненіяхъ формы льда, несмотря на его твердость и хрупкость, одинаковы съ процессами, совершающимися въ вязкихъ тѣлахъ; но въ то время фактическій матеріалъ по изслѣдованію пластичности не только вообще твердыхъ тѣлъ, но и самого льда, еще не суще-

ствовалъ. Гораздо позднѣе только сдѣлалось яснымъ, что различіе въ способности тѣлъ къ перемѣщенію ихъ частицъ безъ разрыва сплошности зависитъ отъ большого или меньшаго сопротивленія ихъ такому движенію. Ковкія тѣла, какъ металлы, требуютъ значительнаго усилія для воспроизведенія такого движенія; пластическія тѣла, какъ воскъ или глина, гораздо меньшаго; вязкія тѣла, какъ твердая смола, могутъ прійдти въ медленное движеніе подъ вліяніемъ своего вѣса; наконецъ, тѣла жидкія не оказываютъ почти никакого сопротивленія относительному перемѣщенію своихъ частицъ. Во всѣхъ этихъ случаяхъ, при достаточномъ давленіи, тѣла измѣняютъ свою форму безъ разрыва сплошности, какъ говорятъ, текутъ.

Форбсъ уже обратилъ вниманіе, что пластичность льда во многомъ зависитъ отъ поглащенной имъ температуры передъ наступленіемъ таянія. Это явленіе аналогично тому, что мы замѣчаемъ при нагрѣваніи всякаго кристалическаго тѣла. Температура такого тѣла повышается при нагрѣваніи только до наступленія температуры плавленія; при дальнѣйшемъ натрѣваніи, несмотря на значительный притокъ тепла (теплота плавленія или скрытая теплота), повышенія температуры не происходитъ до тѣхъ поръ, пока вся масса вещества не будетъ приведена въ жидкое состояніе. Скрытая теплота расходуется на разрыхленіе молекулярнаго сложенія, слѣдовательно на внутреннюю работу. Уже до наступленія плавленія тѣло значительно размягчается; оно дѣлается способнымъ къ измѣненію формы безъ разрыва, т. е. становится пластическимъ. Тѣла аморфныя, напр., стекло, сургучъ, не имѣютъ точки плавленія; переходъ изъ твердаго состоянія въ жидкое происходитъ постепенно при непрерывномъ притокѣ тепла. Опыты Біанкони и Пфаффа показали съ очевидностью пластическое преобразованіе льда безъ разрыва сплошности при температурѣ близкой къ точкѣ плавленія. Напр., ледяной столбикъ толщиною 1,3 см. и длиною 51 см., свободно положенный на концы, давалъ прогибъ при температурѣ—12° до—35° въ 24 часа около 2 мм., а при температурѣ—1° до 0° въ то же время около 9 мм. (Пфаффъ). Желѣзная пластинка съ квадратнымъ прорѣзомъ при температурѣ воздуха около 0° постепенно погружается въ ледъ, который выдавливается черезъ отверстіе въ видѣ четырехугольной призмы, которая затѣмъ загибается; а ледъ, окружающій пластинку, поднимается выше ея краевъ (Біанкони). Какъ эти, такъ и многочисленные другіе опыты, показываютъ, что ничтожное, но равномѣрное и постоянное усиліе вызываетъ деформацію льда, возрастающую съ теченіемъ времени.

Словомъ по этой теоріи, движеніе всей массы ледника есть прямое слѣдствіе относительнаго перемѣщенія его частицъ, подобно тому какъ это происходитъ при движеніи жидкихъ тѣлъ.

Прежде, чѣмъ эта теорія подверглась значительной разработкѣ и опытной провѣркѣ, вниманіе изслѣдователей было отвлечено другими двумя теоріями *).

---

*) Превосходное изложеніе теоріи Форбса и другихъ, съ чрезвычайно цѣнными критическими замѣчаніями, можно найдти у Кропоткина, Изслѣдованія о ледниковомъ періодѣ, 1876. Зап. Геогр. Общ., т. VII. Авторъ пользовался многочисленными оригинальными трудами, составлявшими библіографическую рѣдкость уже въ то время.

в) Теорія разжиженія Томсона (melting, Verflüssigung). Джемсъ Томсонъ (J. Thomson, 1849) положилъ въ основаніе своей теоріи открытое имъ свойство льда превращаться въ воду подъ вліяніемъ давленія при температурѣ ниже 0°. Въ извѣстныхъ частяхъ ледника давленіе подъ вліяніемъ его вѣса должно быть значительнымъ и направлено внизъ по долинѣ. Подъ вліяніемъ этого давленія частицы льда переплавляются, возникающая вода выдавливается въ смежныя части ледника, его поры и волосныя трещины. Такъ какъ температура возникающей воды ниже 0°, вода должна немедленно замерзать, какъ только попадетъ въ новыя условія давленія. Давленіе въ первомъ мѣстѣ его приложенія уменьшается, какъ только часть воды плавленія будетъ удалена; части льда, расположенныя выше, скользятъ внизъ, но при этомъ снова давленіе повышается до предѣла частичнаго разжиженія и т. д.; непрерывное повтореніе этого процесса отъ одной частицы льда къ другой даетъ всей массѣ льда способность измѣнять свою форму и приспособляться къ очертаніямъ ложе.

Эта теорія въ противоположность теоріямъ расширенія представляетъ по всей справедливости теорію внутренняго сжатія; она хорошо объясняетъ увеличеніе скорости движенія въ мѣстахъ увеличенія мощности ледника, можетъ дать объясненіе возрастанію зеренъ по линіямъ максимальнаго давленія и ихъ сдавленности по направленію перпендикулярному къ давленію, непрерывности подледниковыхъ водъ арктическихъ ледниковъ и нѣкотораго уменьшенія скорости движенія ледниковъ зимою. Разжиженіе льда дѣлаетъ его пластическимъ при давленіи; при вытягиваніи разжиженія не происходитъ, и ледъ относится къ этому усилію, какъ тѣло хрупкое. Безспорно, что частичное разжиженіе льда подъ давленіемъ и послѣдующее замерзаніе воды плавленія составляетъ одно изъ основныхъ свойствъ льда и можетъ быть однимъ изъ крупныхъ факторовъ его движенія. Частичное внутреннее разжиженіе и смерзаніе въ настоящее время снова выдвигаются, какъ главный факторъ движенія, въ новѣйшей теоріи Дригальскаго и многими американскими изслѣдователями.

Теорія разжиженія предполагаетъ, значитъ, непрерывное разрыхленіе структуры льда и непрерывное же измѣненіе физическаго состоянія частицъ льда. Раздробленіе льда въ тѣсномъ смыслѣ она отрицаетъ; разрыхленіе, потеря сплошности массы, предполагается безъ разрыва и разлома; измѣненіе состоянія предполагается отъ молекулы къ молекулѣ. Процессъ перераспредѣленія молекулъ схематически представляется такъ: плавленіе, измѣненіе положенія, смерзаніе; слѣдствіемъ этого является частичное движеніе и движеніе всей массы.

Рядомъ съ этой теоріей, полной глубокаго научнаго смысла, слѣдуетъ ради исторической полноты упомянуть и о

с) Теоріи разжиженія Кролля (1869 г.), который предполагалъ весь ледникъ въ состояніи молекулярнаго движенія книзу вслѣдствіе передачи отъ молекулы къ молекулѣ теплоты, воспринятой поверхностью ледника непосредственно отъ солнца. Частицы поверхности разжижаются и передаютъ воду къ частицамъ непосредственно ниже; замерзая здѣсь, частицы воды, освобождаютъ теплоту, идущую на переплавленіе новыхъ

частицъ льда и т. д. Теперь мы знаемъ, что вся солнечная теплота расходуется на переплавленіе верхнихъ слоевъ льда, и солнечная энергія, воспринятая водами таянія, расходуется лишь частью на массу ледника.

d) Теорія режеляціи Тиндаля. Свойство смерзанія или режеляціи было открыто въ 1850 г. Фарадэемъ, который показалъ, что два влажныхъ (при 0°) куска льда при легкомъ сдавливаніи и даже соприкосновеніи смерзаются. Это явленіе ежедневно нами наблюдается при скатываніи мокраго снѣга, напр., при дѣтской игрѣ въ снѣжки; жители сѣвера, напр., эскимосы, съ незапамятныхъ временъ пользуются этимъ свойствомъ снѣга и льда для починки снѣгомъ поврежденій въ своихъ землянкахъ. Научное же объясненіе этого явленія до сихъ поръ вызываетъ сомнѣнія. Томсонъ и Гельмгольцъ объясняютъ частичнымъ разжиженіемъ при повышеніи давленія и послѣдующимъ замерзаніемъ при уменьшеніи давленія смерзаніе кусковъ льда, подвергнутыхъ давленію. Такъ какъ смерзаніе можетъ происходить и безъ давленія, то явленіе можно объяснить также дѣйствіемъ частичныхъ силъ сцѣпленія. Смерзаніе происходитъ уже при соприкосновеніи кусковъ льда, лишь бы окружающая температура не была ниже 0° и куски не были совершенно сухими. Смерзаніе аналогично спаиванію металловъ, которое также происходитъ при температурахъ около точки плавленія.

Извѣстные опыты Тиндаля, который получалъ самыя разнообразныя фигуры изъ льда, сжимая куски его въ деревянныхъ формахъ, послужили ему основаніемъ для утвержденія, что здѣсь ледъ воспринимаетъ различныя внѣшнія формы не вслѣдствіе свойства вязкости, а вслѣдствіе этой способности къ режеляціи отдѣльныхъ кусковъ льда, на которые ледъ первоначально раздробляется при давленіи; раздробленіе, сопровождаемое характернымъ хрустѣніемъ, происходило здѣсь безъ всякаго сомнѣнія. Тиндаль называетъ это свойство льда къ формовкѣ пластичностью, но вызываемой раздробленіемъ и режеляціей; и это свойство отнюдь не вязкость, т. е. свойство подаваться подъ давленіемъ и вытягиваться подобно расплавленному стеклу. Если бы въ опытѣ Тиндаля вмѣсто того, чтобы отдѣльные куски льда сразу положить въ изогнутую форму, пропускать ихъ послѣдовательно черезъ безконечное множество формъ различной кривизны, очевидно ледъ не далъ бы внезапныхъ видимыхъ разломовъ, но подвергся бы непрерывно безконечно-малымъ разломамъ и смерзаніямъ. Ледъ перемѣщался бы по такимъ формамъ подобно вязкому тѣлу. Это, по мнѣнію Тиндаля, и происходитъ въ ледникахъ, хотя самое вещество льда не вязкое (motion of glaciers is viscoid but the body is not viscous); процессъ перераспредѣленія молекулъ, вызывающаго видимое движеніе льда, схематически представляется такъ: раздробленіе, измѣненіе положенія, смерзаніе. Только первымъ актомъ въ этой схемѣ теорія Тиндаля отличается отъ теоріи Томсона.

Слабость теоріи режеляціи въ приложеніи ея къ ледникамъ заключается въ произвольности положенія, что если быстрое измѣненіе формы льда совершается путемъ раздробленія въ опытахъ, то такимъ же путемъ совершается и медленное измѣненіе формы въ ледникахъ.

Раздробленіе и смерзаніе дѣйствительно играютъ немаловажную роль въ жизни ледника; они могутъ имѣть существенное значеніе въ поверх-

ностномъ слоѣ льда, также при смерзаніи кучи обломковъ снова въ одну сплошную массу. Относительно же всей массы льда Тиндаль не могъ доказать, чтобы ледниковый ледъ долженъ былъ находиться въ состояніи раздробленія или что онъ находится въ такомъ состояніи.

Позднѣе, Гельмгольцъ, Треска и Геймъ повторили рядъ опытовъ съ продавливаніемъ льда черезъ отверстіе въ цилиндрической формѣ; Геймъ бралъ для опытовъ плотный рѣчной ледъ. При этомъ замѣчалось, что верхняя поверхность выдавливаемаго цилиндра становится выпуклою, и скорость движенія частицъ льда въ серединѣ больше, нежели у краевъ, гдѣ происходятъ трещины, т. е. полная аналогія явленій, происходящихъ въ ледникѣ при переходѣ изъ суженія въ расширеніе долины; но вмѣстѣ съ тѣмъ замѣчается, что прозрачный ледъ, не имѣвшій даже слѣдовъ зернистой структуры, послѣ продавливанія дѣлается бѣловатымъ, мутнымъ и съ ясно зернистою структурою; слѣдовательно въ данномъ случаѣ, подъ вліяніемъ давленія, происходитъ преобразованіе структуры льда, который изъ шестовато-кристаллическаго переходитъ въ ясно-зернистый.

Варіація подобныхъ опытовъ съ старымъ ледниковымъ льдомъ приводитъ Гейма къ тому заключенію, что зернистая структура ледниковаго льда увеличивается отъ преобразованія, не исчезаетъ отъ режеляціи и обусловливаетъ собою пластичность всего ледника и его теченіе. Геймъ высказываетъ мысль, что если бы ледникъ представлялъ совершенно равномѣрно плотную массу, то преобразованія, слишкомъ сильныя, чтобы могли произойти безъ разрыва сплошности, должны были бы вызвать путемъ внутренняго раздробленія зернистую структуру. Частичныя движенія внутри текущей ледниковой массы поддерживаютъ, по мнѣнію Гейма согласно съ Гельмгольцемъ, такое раздѣленіе между зернами вслѣдствіе нѣкоторой, хотя и очень слабой, податливости (Ausweichen) льда давленію; несовершенное, но всегда дѣйствующее и снова нарушаемое, смерзаніе между зернами, въ сочетаніи съ ихъ неправильной формой, поддерживаетъ связность между ледниковыми зернами.

Въ такомъ видѣ теорія Тиндаля выражается въ томъ, что границы между зернами представляютъ поверхности разрыва, а движеніе ледника возможно потому, что онъ состоитъ изъ маленькихъ индивидуумовъ, способныхъ къ незначительному относительному смѣщенію.

Современные взгляды на причину движенія ледниковъ.

Геймъ, которому наука обязана многими разъясненіями относительно механизма процессовъ давленія, совершающихся въ земной корѣ, суммировалъ слѣдующимъ образомъ все, что намъ было извѣстно до 1885 г. о причинахъ движенія ледниковъ.

Движеніе ледниковъ и тѣ преобразованія, которыя при этомъ наблюдаются во внѣшней формѣ и въ структурѣ ледниковаго льда, имѣютъ много общихъ чертъ съ процессами дислокаціи и ихъ слѣдствіями въ различныхъ породахъ большихъ складчатыхъ горныхъ кряжей. Извѣстно, что въ горныхъ породахъ, особенно въ центральныхъ частяхъ кряжей, механическое преобразованіе происходитъ отчасти безъ разрыва сплошности, а отчасти съ разрывомъ и послѣдующимъ сцѣпленіемъ трещинъ

минеральными выдѣленіями. Между тѣмъ и другимъ абсолютной границы собственно не существуетъ, все зависитъ отъ условій, т. е. отъ силы давленія, отъ быстроты и пр., такъ что преобразованія съ разрывомъ сплошности и безъ разрыва могутъ происходить рядомъ. Совершенно то же самое наблюдается при преобразованіи льда, только развѣ съ тою разницею, что преобразованіе безъ разрыва здѣсь легко доказать экспериментально при обыкновенныхъ условіяхъ, а преобразованіе съ разрывомъ легко возстановляется быстрымъ смерзаніемъ; поэтому ледникъ можетъ течь, какъ потокъ, уже на поверхности, тогда какъ горныя породы—только при громадныхъ давленіяхъ сверху, т. е. если находятся на значительной глубинѣ.

Конечной причиной движенія ледниковъ является сила тяжести, которая вызываетъ:

a) Частичное внутреннее разжиженіе отъ давленія;

b) пластичность льда безъ разрыва сплошности при температурѣ близкой къ точкѣ таянія;

c) разрывы и незначительныя смѣщенія, непрерывно смѣняющіеся частичной режеляціей, во всей массѣ льда, и слѣдующіе поверхностямъ соприкосновенія отдѣльныхъ зеренъ;

d) скольженіе по основанію ледника.

Теорія пластичности льда. Трудно и теперь отвѣтить, который изъ этихъ факторовъ является главнымъ и остается ли онъ такимъ во всѣхъ случаяхъ. Центръ тяжести до сихъ поръ заключается въ физической природѣ пластичности льда. Этотъ вопросъ связанъ съ успѣхами молекулярной физики и еще далекъ отъ своего окончательнаго рѣшенія.

Свойства пластичности и хрупкости льда объясняются опредѣленіемъ понятія о вязкости тѣлъ, какъ это установлено Максвеллемъ *):

«Если тѣло обнаруживаетъ постоянное измѣненіе формы (остаточная деформація **), какъ только давленіе достигло извѣстнаго предѣла, его называютъ мягкимъ или пластическимъ. Давленіе въ тотъ моментъ, когда начинается остаточная деформація тѣла, называютъ предѣломъ упругости.

Давленіе, при которомъ тѣло раздробляется или совершенно размягчается, опредѣляетъ его прочность.

Если раздробленіе тѣла наступаетъ прежде, чѣмъ обнаружится измѣненіе формы, т. е. достигнутъ предѣлъ упругости,—тѣло называютъ хрупкимъ.

Если постоянное давленіе вызываетъ деформацію тѣла, возрастающую съ теченіемъ времени, то говорятъ, что вещество вязко.

Если эта возрастающая деформація начинается при извѣстной только величинѣ давленія, то говорятъ, что вещество прочно, какъ бы ни было оно мягко. Если напротивъ уже минимальнаго давленія достаточно, лишь бы оно было продолжительнымъ, чтобы вызвать возростающую деформацію тѣла, то вещество называютъ вязкой жидкостью, какъ бы твердо оно ни было».

---

*) Maxwell, J. C., Theorie der Wärme, 1877, стр. 287.

**) Остаточная деформація—навсегда остающійся слѣдъ произведеннаго воздѣйствія; упругая деформація исчезаетъ вмѣстѣ съ причиной ее вызвавшей.

Напр., сальная свѣча гораздо мягче, чѣмъ сургучъ, но кусокъ второго, положенный горизонтально на подпорки, черезъ нѣсколько недѣль при обыкновенной температурѣ изогнется вслѣдствіе своего вѣса, а сальная свѣча при тѣхъ же условіяхъ останется совершенно прямой. Слѣдовательно, сальная свѣча представляетъ мягкое, но прочное тѣло, а хрупкій сургучъ—вязкую жидкость.

Къ этой категоріи вязкихъ жидкостей относятъ ледъ и другія тѣла, какъ стекло, нѣкоторые металлы, которые различаются только степенью ихъ вязкости. Отъ вязкости, опредѣляемой такимъ образомъ, слѣдуетъ отличать тягучесть, т. е. свойство тѣлъ подвергаться значительнымъ остаточнымъ деформаціямъ подъ вліяніемъ кратковременно дѣйствующаго усилія. Тѣло хрупкое, какъ ледъ, не можетъ быть тягучимъ, такъ какъ кратковременное усиліе вызываетъ или временную деформацію, или раздробленіе; но повышеніе температуры можетъ вызвать тягучесть и въ хрупкомъ тѣлѣ, напр., въ стеклѣ и въ сургучѣ.

Вязкія жидкости, какъ тягучія такъ и не тягучія, подъ вліяніемъ слабыхъ силъ, дѣйствующихъ продолжительно, или подъ вліяніемъ очень сильныхъ давленій, дѣйствующихъ на большую часть поверхности тѣла, обнаруживаютъ такъ называемую текучесть, т. е. непрерывное измѣненіе формы тѣла. Ледники постоянно обнаруживаютъ это свойство для льда, а опыты Треска и друг. доказали, что самые твердые металлы, напр., желѣзо, подъ вліяніемъ огромнаго давленія текутъ, какъ вязкая жидкость.

Опыты Шпринга показали, что подъ вліяніемъ давленія, которое онъ доводилъ до 20000 атмосферъ, металлическіе опилки превращаются въ однородную массу, во многихъ случаяхъ кристаллическаго сложенія. Шпрингъ изслѣдовалъ всего 83 тѣла, причемъ обнаружилось, что давленіе вызываетъ не только сращиваніе отдѣльныхъ частей, но и измѣненія структуры, сопряженныя съ измѣненіемъ плотности вещества, образованіе сплавовъ и наконецъ химическія реакціи.

Всѣ эти физическія свойства тѣлъ, какъ вязкость и текучесть, становятся понятными съ точки зрѣнія молекулярной физики. Три физическія состоянія тѣла—твердое, жидкое и газообразное—различаются напряженностью силъ, съ которыми дѣйствуютъ другъ на друга матеріальныя точки, т. е. сцѣпленіемъ между частицами. Сцѣпленіе между частицами газовъ очень мало; въ жидкостяхъ проявленіе этихъ силъ значительно больше, но сцѣпленіе въ нихъ ничтожно въ сравненіи съ тяжестью ихъ, т. е. внѣшнимъ притяженіемъ. Если внутреннее сцѣпленіе больше внѣшняго притяженія, то жидкое состояніе превращается въ твердое, при которомъ тѣло по наклонной плоскости можетъ передвигаться только скольженіемъ, а не теченіемъ. Полагаютъ, что частицы каждаго тѣла находятся въ состояніи весьма быстраго движенія; въ газообразныхъ тѣлахъ частицы движутся почти независимо другъ отъ друга, свободно; въ жидкостяхъ частицы настолько сближены, что столкновенія между ними происходятъ гораздо чаще, чѣмъ въ газахъ, и при постоянныхъ условіяхъ объема необходимо предполагать между частицами жидкости опредѣленное среднее разстояніе (сфера частичныхъ дѣйствій); сфера частичныхъ дѣйствій между частицами твердаго тѣла имѣетъ радіусъ еще меньше, чѣмъ для жидкихъ

тѣлъ. Деформація тѣла первоначально, до наступленія остаточной, происходитъ на счетъ увеличенія или уменьшенія между-частичныхъ разстояній (растяженіе и сжиманіе); съ наступленіемъ остаточной деформаціи начинается перераспредѣленіе частицъ, ихъ смѣщеніе. Деформація всякаго тѣла препятствуетъ сцѣпленіе и внутреннее треніе. При деформаціи тѣлъ различныя части ихъ смѣщаются съ неодинаковыми скоростями, а во всякой средѣ, различныя части которой движутся съ неодинаковыми скоростями, развивается внутреннее треніе между отдѣльными молекулами, какъ сопротивленіе такому относительному смѣщенію. Внутреннее треніе доказано для газовъ и для жидкостей, допускается теперь и для твердыхъ тѣлъ, для которыхъ оно должно быть очень велико. Это внутреннее треніе и выражаетъ собою степень пластичности (вязкости) тѣлъ; чѣмъ оно больше, тѣмъ труднѣе происходитъ внутреннее перерасположеніе частицъ; жидкости съ очень большимъ внутреннимъ треніемъ и составляютъ переходъ къ твердымъ тѣламъ *).

Такъ какъ молекулярныя силы сцѣпленія въ твердомъ тѣлѣ дѣйствуютъ только на безконечно малыхъ разстояніяхъ, то сложенныя части раздробленнаго твердаго тѣла не соединяются вновь въ одно цѣлое, такъ какъ неровности поверхности препятствуютъ полному сближенію частицъ. Такое сближеніе возможно, когда одно изъ тѣлъ приведено въ жидкое состояніе (спайка, склеиваніе), или при сдавливаніи ихъ. Опыты Шпринга и можно разсматривать, какъ доказательство проявленія молекулярныхъ силъ между частицами твердыхъ тѣлъ.

Ледникъ представляетъ кристаллическую породу чистѣйшаго и простѣйшаго типа, состоящую изъ одного минеральнаго вида, вещество котораго въ твердомъ состояніи встрѣчается только въ видѣ кристалловъ. Теорія молекулярнаго измѣненія подъ вліяніемъ давленія, какъ причины пластичности льда, необходимо должна имѣть въ виду это кристаллическое состояніе льда, т. е. вполнѣ опредѣленную его структуру. Мы уже видѣли, что возрастаніе ледниковаго зерна согласно Хагенбаху и Эмдену можно объяснить и молекулярнымъ преобразованіемъ отдѣльныхъ кристалловъ, безъ какого либо промежуточнаго измѣненія состоянія, только подъ вліяніемъ соприкосновенія и тѣмъ скорѣе, чѣмъ значительнѣе давленіе.

Опыты Мюггэ, Мк. Коннеля и Кидда **) показали, что ледяные

*) Въ настоящее время многіе физики опредѣляютъ различіе между твердымъ и жидкимъ состояніемъ однако не величиною внутренняго тренія, а величиной предѣла упругости; тѣла, имѣющія этотъ предѣлъ равнымъ 0, слѣдовательно, при малѣйшемъ внѣшнемъ усиліи дающія только остаточную деформацію (смѣщеніе частицъ), называютъ жидкостями. Lehmann, Molekularphysik; также его же Flüssige Kristalle, 1904, стр. 86—90. Въ зависимости отъ величины внутренняго тренія различаютъ совершенныя жидкости и вязкія жидкости (leichtflüssige und zähe Flüssigkeiten); подобно твердымъ тѣламъ жидкости могутъ быть изотропными и анизотропными (см. дальше). Интересующихся этими вопросами отсылаемъ къ послѣдней изъ упомянутыхъ работъ Леманна, въ которой сгруппированы опредѣленія всѣхъ относящихся сюда понятій.

**) Mügge, Ueber die Plastizität der Eiskristalle. N. Jahrb. für Min., Geol. u. Pal., 1895, II. Weitere Versuche über die Translationsfähigkeit des Eises, N. J. f. M. G. u. P., 1900, II.

Mc. Connel a. Kidd, On the plasticity of glacier and other ice. Proc. of the Royal Society, 1888, 44.

Mc. Connel, On the plasticity of ice, Pr. of the Royal Soc., 1890—1891, т. 48, стр. 259 и т. 49, стр. 323.

кристаллы состоятъ изъ пластинокъ, которыя могутъ испытывать смѣщенія (Translation), вызывающія изогнутіе кристалловъ; это явленіе названо трансляціей (по Мюггэ) въ отличіе отъ дѣйствительнаго скольженія при сдвигахъ, скалываніи. Подъ вліяніемъ давленія можетъ происходить остаточная деформація и отдѣльныхъ кристалловъ льда, которые обнаруживаютъ слѣдовательно свойство пластичности. Значитъ, это свойство отнюдь не зависитъ отъ зернистой структуры, какъ это полагали раньше, и можно утверждать, что «если бы ледникъ представлялъ собою только единый кристаллъ льда при температурѣ близкой къ точкѣ его плавленія, онъ также бы двигался, какъ и зернистый ледникъ» *). Не доказываетъ ли сама зернистость постояннаго раздробленія льда и не противорѣчитъ ли это предположенію о пластической деформаціи? Мы видѣли, что совершенно прозрачный кусокъ льда, если его подвергнуть давленію, обнаруживаетъ зернистость, вслѣдствіе появленія волосныхъ трещинъ. Эмденъ думаетъ, что здѣсь зернистость обнаруживается, вслѣдствіе измѣненія давленія, а не приложенія его; дѣйствительно, въ ледникахъ ледъ нигдѣ не обнаруживаетъ зернистости, не смотря на очень высокое давленіе, пока ледъ не подвергнется дѣйствію тепла. Движеніе ледника такъ медленно, что измѣненія давленія происходятъ хотя постоянно, но чрезвычайно медленно, и ледъ можетъ приспособляться къ новымъ условіямъ, вслѣдствіе пластичности (трансляціи) зеренъ, прежде чѣмъ давленіе превзойдетъ предѣлъ упругости и появятся волосныя трещины.

Хагенбахъ и Гессъ полагаютъ, что по гранямъ зеренъ, неправильно оріентированныхъ, не можетъ происходить скольженія при весьма медленной деформаціи; Гессъ указываетъ, что численная величина коэффиціента внутренняго тренія для зернистаго льда такая же, какъ и для отдѣльнаго кристалла льда. При нѣкоторой оріентировкѣ, какъ было сказано раньше, такое скольженіе однако вполнѣ допустимо.

Наконецъ, противъ внутренняго разжиженія льда, какъ возможной причины его пластичности, говорятъ опыты Мк. Коннеля и Гесса, что трансляція льда происходитъ также при температурахъ значительно ниже 0° и при давленіяхъ, исключающихъ необходимость разжиженія; также невозможно допускать разжиженіе въ отдѣльныхъ точкахъ соприкосновенія реберъ и угловъ кристалловъ, такъ какъ они соприкасаются цѣлыми поверхностями; слѣдовательно, вѣроятнѣе «сухая» пластичность льда.

Всѣ наблюденія и опыты надъ льдомъ показываютъ, что внутреннее треніе его относительно невелико и понижается съ приближеніемъ къ точкѣ плавленія. Таммановъ опытами надъ скоростью истеченія льда при постоянной температурѣ и возрастающемъ давленіи и при постоянномъ давленіи и приближеніи температуры къ 0° показалъ, что внутреннее треніе льда при этихъ условіяхъ быстро уменьшается, и это составляетъ одну изъ физическихъ особенностей льда, которая дѣлаетъ его «какъ бы созданнымъ для теченія» **); ледъ размягчается и, оставаясь кристаллическимъ тѣломъ, течетъ, какъ воскъ.

Словомъ, пластичность льда, опредѣляющая его теченіе, есть слѣд-

*) Emden, Ueber das Gletscherkorn. 1890.
**) Tammann, Kristallisieren und Schmelzen, 1903, стр. 175.

ствіе дѣйствія молекулярныхъ силъ, и не зависитъ ни отъ зернистой структуры, ни отъ температурныхъ условій ледника, хотя оба эти фактора значительно благопріятствуютъ ея проявленію.

Хотя до сихъ поръ и нѣтъ еще опредѣленныхъ объясненій дѣйствія молекулярныхъ силъ въ твердыхъ тѣлахъ, тѣмъ не менѣе вполнѣ возможно уже объяснить пластичность льда, не прибѣгая къ помощи его режеляціи и разжиженія по теоріямъ Тиндаля и Томсона. Такое объясненіе пластичности льда, повторяемъ, вовсе не исключаетъ возможности и этихъ процессовъ, какъ побочныхъ причинъ движенія ледниковъ и различныхъ явленій на нихъ, каковы, напр., соединеніе въ связную массу обломковъ ледника ниже ледопадовъ, закрытіе трещинъ, сліяніе отдѣльныхъ ледниковъ въ одинъ, даже возникновеніе особенностей структуры, какъ полосчатость, возрастаніе зерна и т. д.

Мы уже указывали, что тѣла аморфныя не имѣютъ точки плавленія; для нихъ нѣтъ границы между твердымъ и жидкимъ состояніемъ; это дѣйствительно жидкости, внутреннее треніе которыхъ при обыкновенной температурѣ очень велико и постепенно уменьшается при ея повышеніи. Пластичность кристаллическихъ веществъ вообще, не только одного льда, старались объяснить частичнымъ переплавленіемъ во время деформаціи. Слѣдовательно, часть тепла, притекающаго къ деформируемому льду, представляетъ теплоту плавленія, а другая часть передается водѣ плавленія. Отсюда естественно, что ледъ, въ которомъ задерживается вся вода плавленія, требуетъ для своего переплавленія при равномъ давленіи болѣе высокой температуры, чѣмъ ледъ сухой, изъ котораго вода плавленія немедленно удаляется; или иначе, ледъ сухой требуетъ для своего переплавленія меньшаго давленія, чѣмъ ледъ, пропитанный водой (Le Chatelier, Poynting, Оствальдъ) (см. стр. 716).

Если мы будемъ подвергать деформаціи ледъ при условіи свободнаго выдѣленія возможной воды плавленія, то скорость истеченія льда, зависящая отъ давленія и температуры, должна возрастать скачками, такъ какъ предполагается, что постоянно часть льда плавится и въ этотъ моментъ необходимое давленіе должно повышаться. Таммань, изслѣдовавъ скорости истеченія льда, нашелъ, что кривая возрастанія скорости истеченія никакихъ скачковъ не обнаруживаетъ. Онъ изслѣдовалъ и другія кристаллическія тѣла, и пришелъ къ заключенію, что деформація ихъ происходитъ не вслѣдствіе предварительнаго плавленія, и что пластичность (обратная внутреннему тренію) присуща и кристаллическимъ тѣламъ *). Вещества, которыя совершенно не обнаруживаютъ пластичности при обыкновенныхъ температурахъ, должны дѣлаться такими около ихъ точки (или кривой) плавленія. Для металловъ оказалось, что при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ повышеніе температуры на 10° почти удваиваетъ скорость истеченія.

Какъ извѣстно, Таммань, опираясь на изслѣдованія всѣхъ свойствъ аморфныхъ и кристаллическихъ тѣлъ, отрицаетъ твердое и жидкое состояніе вещества, а признаетъ только аморфное и кристаллическое. Первое можетъ быть и жидкимъ, и твердымъ, но истинно твердымъ тѣломъ можетъ быть только кристаллическое **); поэтому правильнѣе считать два главныхъ аггрегатныхъ состоянія: изотропное и анизотропное; къ первому относятся газообразныя, жидкія и аморфныя состоянія; ко второму — кристаллическое состояніе. Изотропныя состоянія представляютъ болѣе подвижныя, активныя, чѣмъ анизотропныя. Кристаллизація и есть явленіе перехода вещества изъ состоянія активнаго въ иную фазу, которую можно называть твердымъ состояніемъ, если не считать аморфныя тѣла за твердыя.

Изотропное состояніе выражается постепеннымъ, непрерывнымъ переходомъ вещества изъ одной фазы въ другую, напр., отъ аморфной въ жидкую и газообразную при нагрѣваніи или при измѣненіи давленія; никакихъ скачковъ при этомъ не наблюдается, вязкость аморфнаго тѣла постепенно измѣняется въ жидкое состояніе и обратно. Выше такъ называемой критической температуры при достаточно сильномъ давленіи исчезаетъ различіе между газомъ и жидкостью; вещество газообразно и въ то же время трудно сжимаемо подобно жидкости. Всѣ свойства такого вещества измѣняются непрерывно, подобно измѣненію самихъ объемовъ, и переходъ изъ

*) Tammann, l. c., стр. 162—181.

**) Леманнъ съ этими положеніями Оствальда и Таммана не соглашается, защищая существованіе и жидкихъ кристалловъ.

одной фазы въ другую можетъ быть воспроизведенъ безъ всякихъ скачковъ. Совсѣмъ иное происходитъ при кристаллизаціи.

Состояніе кристаллическое зависитъ отъ вполнѣ опредѣленнаго расположенія молекулъ, и въ моментъ перехода вещества въ такое состояніе, при непрерывномъ измѣненіи давленія и температуры, происходитъ внезапное измѣненіе объемовъ; если значительное количество какого-нибудь вещества находится въ переохлажденномъ состояніи, совершенно заполняя собою закрытое пространство, то моментъ кристаллизаціи, вслѣдствіе измѣненія объема, вызываетъ внезапное повышеніе давленія, ведущее къ ударамъ и даже взрыву.

Различная группировка молекулъ одного и того же вещества опредѣляетъ полиморфныя формы кристалловъ, являющіяся слѣдовательно различными анизотропными состояніями вещества. Съ точки зрѣнія кинетической молекулярной гипотезы въ изотропномъ состояніи молекулы совершаютъ свои движенія по всѣмъ направленіямъ безразлично; въ анизотропныхъ состояніяхъ движенія совершаются около опредѣленныхъ точекъ, расположенныхъ по такъ называемымъ пространственнымъ рѣшеткамъ. Согласно законамъ симметріи такая группировка молекулъ не можетъ быть безконечно разнообразной, а лишь въ строго опредѣленномъ количествѣ. Слѣдовательно, не можетъ быть непрерывнаго перехода отъ одной группировки къ другой, т. е. отъ одного полиморфнаго состоянія вещества къ другому, а тѣмъ болѣе и отъ какой-нибудь правильной группировки молекулъ къ безформенной (изотропной); возможныя промежуточныя состоянія не могли бы отличаться какой бы то ни было устойчивостью. Нѣкоторое нарушеніе внутренней симметріи, свойственной данному кристаллическому тѣлу, всетаки возможно подъ вліяніемъ давленія на счетъ увеличенія или уменьшенія междучастичныхъ разстояній или радіусовъ сферы частичныхъ силъ; но эти измѣненія относятся къ явленіямъ упругой деформаціи тѣлъ.

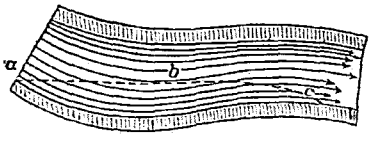
Опираясь на эти соображенія, подтверждаемыя многочисленными опытами, Таммань приходитъ къ остроумной гипотезѣ о причинѣ тектоническихъ явленій въ земномъ шарѣ, представляющемъ химически неоднородное охлаждающееся тѣло. Если даже допустить, что кристаллизація въ земномъ шарѣ закончилась совершенно, то измѣненія аггрегатнаго состоянія не могутъ прекратиться, такъ какъ многія вещества при дальнѣйшемъ охлажденіи подлежатъ полиморфнымъ преобразованіямъ. При этомъ можно представить себѣ два рода явленій. Если число кристаллизаціонныхъ центровъ *) новой формы среди старой велико, то преобразованіе, сопровождаемое каждый разъ внезапнымъ частичнымъ измѣненіемъ объема, произойдетъ медленно, для различныхъ центровъ послѣдовательно въ зависимости отъ постепенной убыли температуры; на поверхности земной коры можетъ обнаружиться медленное вѣковое колебаніе. Напротивъ, если кристаллизаціонныхъ центровъ нѣтъ вовсе, если происходитъ извѣстное массовое переохлажденіе вещества, то внезапно наступаетъ быстрое молекулярное преобразованіе, которое можетъ обнаружиться на поверхности ударомъ землетрясенія.

Вопросъ о сущности пластической деформаціи далеко всетаки не можетъ считаться рѣшеннымъ. Такъ, въ одномъ изъ своихъ новѣйшихъ изслѣдованій Шпрингъ приходитъ къ заключенію, что истинно твердое состояніе въ смыслѣ Таммана, т. е. кристаллическое, не совмѣстимо съ значительными измѣненіями формы. Если на такое тѣло дѣйствуетъ внѣшняя механическая сила и если послѣдняя превосходитъ сопротивленіе, оказываемое сцѣпленіемъ и внутреннимъ треніемъ, то вызванная деформація въ свою очередь вызываетъ измѣненіе молекулярной структуры этого тѣла; деформируемое вещество начинаетъ переходить въ состояніе большей подвижности, именно аморфное. Это подтверждается наблюденіями Шпринга и Кальбаума, что послѣ деформаціи металлы, напр., мѣдь, свинецъ, цинкъ, золото, серебро и друг., имѣютъ меньшій удѣльный вѣсъ, чѣмъ до измѣненія ихъ формы, для нѣкоторыхъ до 2%. Такъ какъ эти металлы при переходѣ въ состояніе плавленія (аморфное) расширяются, т. е. плотность ихъ уменьшается, то можно думать, что деформація стремится перевести ихъ изъ аггрегатнаго состоянія неподвижнаго въ подвижное, которое и сохраняется послѣ прекращенія давленія. Высокое давленіе повидимому вызываетъ здѣсь дѣйствительное плавленіе. Конечно, только по одному удѣльному вѣсу трудно еще судить о дѣйствительномъ измѣненіи аггрегатнаго состоянія.

Теорія Финстервальдера. Гипотеза пластичности льда наиболѣе полное выраженіе и послѣдовательное развитіе имѣетъ въ такъ называе-

*) Каждый растущій или измѣняющійся кристаллъ вызываетъ теченія въ растворѣ или массѣ, его окружающей, вслѣдствіе уменьшенія пересыщенія раствора вокругъ него. Такое поле не пересыщеннаго раствора называютъ кристаллизаціоннымъ полемъ (Krystallisationshof).

мой геометрической теоріи движенія ледниковъ проф. Финстервальдера. Первыя попытки выразить движеніе ледника математически, т. е. привести законы этого движенія къ простому выраженію, анализъ котораго позволялъ бы какъ легкое обозрѣніе всѣхъ извѣстныхъ уже изъ наблюденій особенностей этого движенія, такъ и объясненіе ихъ взаимоотношеній, принадлежатъ швейцарцу Odin (1888) и итальянскому метеорологу de Marchi (1897). Одэнъ приложилъ общія уравненія движенія къ случаю льда, двигающагося по наклонному ложу и испытывающаго внѣшнее и внутреннее треніе. De Marchi воспользовался тѣми же уравненіями, но для приложенія ихъ принялъ также рядъ упрощающихъ предположеній, не вполнѣ согласныхъ съ дѣйствительными явленіями. Финстервальдеръ *) дѣлаетъ допущеніе, что движеніе ледника — непрерывное и стаціонарное. Непрерывнымъ движеніе называютъ, если въ пространственно смежныхъ точкахъ скорости и направленія движенія измѣняются не скачками, а постепенно; стаціонарнымъ или постояннымъ,—если скорость движенія въ каждой точкѣ не зависитъ отъ времени, а всегда остается одинаковой. Непрерывность, предполагаетъ, что частицы, смежныя другъ другу, во все время движенія остаются въ такомъ же отношеніи; слѣдовательно, частицы, начавшія движеніе около дна или боковъ ложа, остаются до самого конца около дна или около боковъ. Путь, совершаемый каждой частицей, называютъ линіей теченія (Stromlinie), и сосѣднія точки описываютъ до самаго конца смежныя линіи теченія; форма и положеніе отдѣльныхъ линій теченія не зависятъ отъ времени: линія отъ стѣнъ, ограничивающихъ текущую массу, не можетъ перейти внутрь ея и обратно. Въ каждой части потока, ограниченной какъ стѣнами трубы ясными линіями теченія, черезъ каждое сѣченіе въ одну единицу времени протекаетъ одинаковое количество вещества.



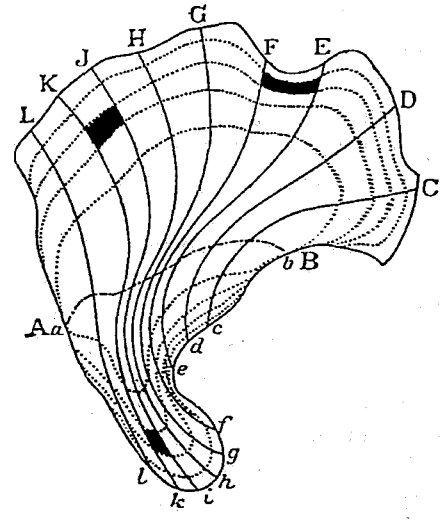
Фиг. 462.

Если теперь представимъ себѣ, что часть такой непрерывно и стаціонарно текущей массы ограничена стѣнами трубы и произвольной поверхностью, то на послѣдней должна быть кривая, въ которой линіи теченія касаются ея; эта кривая отдѣляетъ область вступающихъ въ такую систему линій теченія (*ab*) отъ выходящихъ изъ нея (*bc*) (фиг. 462); сколько вещества вступило по одну сторону, столько же должно выйдти по другую.

На ледникѣ такими ограничивающими стѣнами являются дно и бока ложа, а этой произвольной поверхностью—поверхность ледника; въ области фирна вещество вступаетъ въ систему теченія въ видѣ снѣга, а въ области цунга выходитъ въ видѣ воды; границей этихъ двухъ областей служитъ фирновая линія. Мы уже говорили, какъ Финстервальдеръ понимаетъ распредѣленіе снѣга въ фирнѣ и его движеніе черезъ фирновую линію (см. стр. 756); изъ этого разсмотрѣнія ясно, что между точками фирновой области и области убыли должно существовать постоянное, не зависящее

*) Finsterwalder, S., Der Vernagtferner etc., Wissensch. Erg.-Hefte z. Z. d. d. u. ö. Alp.-ver., 1897. Подробное изложеніе теоріи приведено у Гесса, Die Gletscher, 1904, стр. 324—347. и краткое, но не совсѣмъ правильное, у Гюнтера, Handb. d. Geophysik, 1899, II, стр. 742—744.

отъ времени, отношеніе. Каждой точкѣ первой можетъ соотвѣтствовать только одна точка въ области убыли, и обѣ точки соединяются линіей теченія. Если на фирновой линіи *Aa—Bb* (фиг. 463) положить камень, то этотъ камень при движеніи ледника совершитъ на его поверхности путь, который называютъ линіей движенія; она отнюдь не совпадаетъ съ какой-либо линіей теченія, такъ какъ ни одна изъ послѣднихъ не можетъ на всемъ своемъ протяженіи оставаться на поверхности. Отъ всѣхъ точекъ фирновой линіи можно провести линіи движенія, которыми область убыли раздѣлится на произвольное число продольныхъ полосъ (фиг. 463); мы можемъ представить себѣ эти линіи построенными такимъ образомъ, что на каждой полосѣ въ единицу времени стаиваетъ одинаковое количество льда. Если проведемъ въ точки такихъ линій движенія линіи теченія и продолжимъ ихъ назадъ въ область фирна до пересѣченія ихъ съ его поверхностью, то наше произвольное раздѣленіе области убыли мы перенесемъ и на область фирна, и весь ледникъ будетъ раздѣленъ плоскостями, которыя проходятъ черезъ каждую линію движенія и образованы линіями теченія. Мы дѣлимъ, такимъ образомъ, ледникъ на продольныя части, вещество которыхъ не можетъ переходить изъ одной въ другую; вмѣстѣ съ этимъ мы дѣлимъ и фирновую область на продольныя части, на которыя выпадаетъ одинаковое количество снѣга въ единицу времени. Раздѣлимъ поперечными кривыми полосы области убыли на площади равнаго же количества таянія льда; эти площади въ зависимости отъ увеличенія абляціи книзу, становятся все меньше въ этомъ направленіи. Проведя изъ каждой точки такихъ площадей линіи теченія, можно построить соотвѣтствующія поперечныя дѣленія въ области фирна. Фиг. 463 представляетъ по Финстервальдеру такое построеніе въ проекціи на планѣ. Большія буквы въ фирновой области соотвѣтствуютъ малымъ въ области убыли. Два соотвѣтствующихъ участка въ области фирна и области языка опредѣляются тѣмъ, что убыль второго покрывается приходомъ перваго *).



Фиг. 463.

Назовемъ dF площадь перваго (одного изъ дѣленій полученной сѣтки въ области фирна), df—площадь второго; черезъ A и a—соотвѣтствующіе приходъ и убыль. Линіи теченія изъ dF падаютъ подъ угломъ Φ и со скоростью V относительно поверхности фирна, и выходятъ подъ угломъ φ и со скоростью v въ соотвѣтствующемъ дѣленіи области убыли. Отно-

*) Такое же построеніе было сдѣлано одновременно съ Финстервальдеромъ и Ридомъ: Reid, The Mechanics of glaciers. Journ. of Geology, 1896, vol. IV, стр. 912—928.

шеніе между этими величинами выражается уравненіемъ:

$$dF.A = df.a = dF.V.\sin\Phi = df.v.\sin\varphi.$$

Эти выраженія можно представить иначе:

$$A:a = df:dF; \quad \sin\Phi = \frac{A}{V}; \quad \sin\varphi = \frac{a}{v}.$$

Изъ этихъ выраженій слѣдуетъ: гдѣ уменьшается скорость и возрастаетъ абляція, долженъ увеличиваться уклонъ поверхности при стаціонарномъ состояніи ледника; если абляція или, наоборотъ, накопленіе превосходятъ скорости, поверхность ледника не можетъ оставаться въ стаціонарномъ состояніи.

Эти положенія объясняютъ крутой уклонъ поверхности ледника на его концѣ, крутыя выпуклости на бокахъ ледника. Непосредственное опредѣленіе угла выхода линій теченія на поверхность ледника, по полосчатости, позволило опредѣлить величину абляціи на Гинтерейсфернерскомъ ледникѣ.

Теорія Финстервальдера позволяетъ учесть вліяніе абляціи на двигающійся ледникъ; убыль и движеніе опредѣляютъ форму ледника, и оба эти фактора понятны только при совмѣстномъ ихъ обсужденіи. Представленіе о линіяхъ теченія выясняетъ чисто геометрически появленіе поверхностей слоистости фирна на концѣ ледника (огивы) и ложкообразное расположеніе полосчатости. Теорія удовлетворительно объясняетъ уменьшеніе скорости движенія къ нижнему концу ледника, какъ слѣдствіе усиленія поверхностной абляціи и слѣдовательно уменьшенія массы льда. Если бы скорость къ концу возрастала, то ледникъ долженъ былъ бы имѣть нижній конецъ выпуклый около оси и стрѣльчатую форму. Нетрудно по теоріи предвидѣть и необходимость выхода линій движенія изъ ледника къ его краямъ; дѣйствительно, скорость движенія у краевъ меньше, слѣдовательно части льда, двигающіяся медленнѣе, теряютъ болѣе на томъ же протяженіи ихъ пути, и для поддержанія стаціонарнаго итога необходимо допустить поперечное теченіе (стр. 725) отъ середины ледника къ краямъ. Мы уже видѣли (стр. 756), какъ по этой теоріи стройно объясняется образованіе различныхъ моренъ.

Блюмкэ и Гессъ дѣлаютъ попытку приложить къ теченію ледника формулу гидравлики Эйтельвейна (см. выше стр. 390, формула Чези) и опредѣляютъ коэффиціентъ c, зависящій отъ тренія о ложе. Они приходятъ къ выводу, что при очень большихъ сѣченіяхъ, слѣдовательно для очень глубокихъ и широкихъ ледниковъ, наклонъ ложа можетъ быть весьма незначительнымъ.

Всѣ измѣненія въ формѣ ледника и его теченіи, вслѣдствіе дѣйствительнаго не стаціонарнаго его характера, именно годовыя и многолѣтнія колебанія объясняются теоріей болѣе или менѣе согласно съ наблюденіями. Теорія объясняетъ только иначе, чѣмъ по Рихтеру (см. выше стр. 785), явленія наступанія ледника и образованія вспученія; именно по этой теоріи необходимо предполагать: истеченіе изъ области питанія остается уменьшеннымъ, пока не наступитъ достаточнаго накопленія да-

вленія; приращеніе этого давленія, зависящаго отъ величины выходнаго сѣченія, должно передаваться почти мгновенно черезъ всю массу льда, какъ въ идеальной жидкости.

По мнѣнію Гесса *) опыты надъ внутреннимъ треніемъ льда показываютъ:

1) При дѣйствіи малыхъ силъ внутреннее треніе льда возрастаетъ вмѣстѣ съ продолжительностью дѣйствія.

2) Большія усилія, которыя почти достигаютъ предѣла упругости льда, уменьшаютъ внутреннее треніе, и подвижность молекулъ возрастаетъ со временемъ до максимальнаго предѣла, при которомъ наступаетъ разломъ.

Если будемъ выдавливать ледъ изъ цилиндра большаго діаметра черезъ боковую узкую трубку, то малыми усиліями истеченія льда достигнуть нельзя. Давленіе должно повыситься до извѣстнаго предѣла, чтобы наступила значительная деформація льда, требуемая условіями поперечныхъ сѣченій; деформаціонное давленіе тѣмъ больше, чѣмъ значительнѣе требуется деформація; оно пропорціонально измѣненію поперечнаго сѣченія; причемъ разъ истеченіе уже наступило, то достаточно уже небольшихъ усилій, чтобы поддерживать достаточную скорость истеченія. Иначе говоря, истеченіе со временемъ становится все быстрѣе даже при неизмѣнномъ давленіи, и увеличивается пропорціонально квадрату времени. Движеніе истекающаго льда происходитъ непрерывно, и измѣненіе скорости происходитъ въ томъ же смыслѣ (увеличивается или уменьшается) одновременно во всѣхъ сѣченіяхъ. Эти опыты какъ бы подтверждаютъ явленіе, указанное уже давно Фреемъ **), что наступленіе ледника совершается иногда необыкновенно стремительно, подобно изверженію. Измѣренія на Вернагтфернерѣ показали также, что при наступленіи ледника происходитъ измѣненіе скорости движенія отъ 17 м. до 250 м. безъ соотвѣтствующаго измѣненія на этомъ мѣстѣ поперечнаго сѣченія ледника.

Слѣдовательно, по этой теоріи увеличеніе языка, вспученіе его, является слѣдствіемъ истеченія льда при его накопленіи въ фирнѣ, и въ то время, когда вспученіе имѣетъ максимальную скорость, въ верхней части ледника происходитъ уже уменьшеніе давленія и скорости. Когда это уменьшенное давленіе не можетъ больше поддерживать значительную скорость передняго вспученія, наступаетъ быстрое уменьшеніе скорости, затѣмъ болѣе медленное, достигаетъ минимума, который затѣмъ снова смѣняется новымъ наступаніемъ.

Опорожненіе фирновой мульды происходитъ относительно быстро, а въ теченіе значительнаго числа лѣтъ, необходимыхъ для ея новаго заполненія, абляція медленно двигающагося цунга подготовляетъ начальныя положенія новаго его наступанія.

По Рихтеру начало наступанія характеризуется недочетомъ скорости по сравненію со способностью льда къ движенію, а по этой теоріи наоборотъ—непрерывнымъ возрастаніемъ скорости до степени почти выдавливанія, скольженія; при этомъ скорость возрастаетъ сильнѣе у дна,

*) Hess, Plasticität und innere Reibung des Eises. Annalen d. Physik., 1902, Bd. 8, стр. 405.

**) M. v. Frey, Ueber die Ursachen der Gletscherschwankungen. Zeitschr. d. d. u. öster. Alpenver., 1883, стр. 244.

чѣмъ на поверхности, и форма выдавливаемаго льда приближается къ формѣ капли, отдѣляющейся отъ непрерывной струи жидкости. По Рихтеру въ передней части ледника происходитъ смятіе льда (вспученіе), а по этой теоріи—выдавливаніе его (вспученіе). Предположеніе о несминаемости (Unzusammendrückbarkeit) слоевъ льда (прохожденіе линій теченія) и постепенномъ измѣненіи слоистости въ ложкообразную полосчатость является, слѣдовательно, однимъ изъ основаній всей теоріи, наравнѣ съ предположеніемъ о непрерывности движенія.

Теорія Финстервальдера безспорно представляетъ крупный шагъ впередъ въ познаніи особенностей движенія ледниковъ, но универсальной и объясняющей все разнообразіе этого движенія ее, считать, конечно, нельзя.

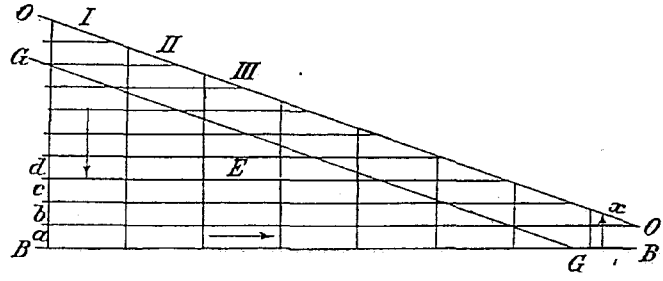
Теорія разжиженія Дригальскаго. Въ отдѣлѣ о слоистости и полосчатости мы уже познакомились съ сущностью теоріи Дригальскаго о внутреннемъ частичномъ разжиженіи и смерзаніи льда надъ вліяніемъ давленія въ его массѣ. Мы уже знаемъ, что подъ вліяніемъ давленія повсюду въ ледникѣ температура его около точки таянія. Нетрудно высчитать, какое количество воды должно быть въ ледникѣ на любой глубинѣ; такъ на дм^3 льда, если принять во вниманіе только вертикальное давленіе, воды будетъ на глубинѣ 224 м.—0,50 грамма, а на глубинѣ 448 м.—1 граммъ, и т. д. *). Эти количества воды находятся въ тепловомъ равновѣсіи съ количествами льда, которыми при замерзаніи воды увеличивается 1 дм^3 льда. Уменьшеніе температуры при постоянномъ давленіи или уменьшеніе давленія при постоянной температурѣ должны вызывать частичное или совершенное замерзаніе этой воды; повышеніе температуры или давленія при другомъ постоянномъ условіи должны вызывать дальнѣйшее разжиженіе льда. Все это количество воды можетъ распредѣляться только между поверхностями соприкосновенія зеренъ льда, какъ поверхностями наиболѣе слабаго молекулярнаго сцѣпленія вслѣдствіе неправильной кристаллической оріентировки зеренъ. Вся масса льда можетъ быть, слѣдовательно, представлена состоящей одновременно изъ твердыхъ и и жидкихъ молекулъ; послѣдніе облегчаютъ относительное смѣщеніе твердыхъ и способствуютъ подвижности всей массы льда. Пока условія давленія остаются безъ измѣненія, остаются постоянными и отношенія между твердыми и жидкими составными частями этой массы. При всякомъ перераспредѣленіи твердыхъ молекулъ должны возникнуть колебанія давленія, а вмѣстѣ съ этимъ увеличеніе или уменьшеніе количества жидкихъ молекулъ на счетъ твердыхъ.

Особенностью гипотезы Дригальскаго является, что это перераспредѣленіе частицъ въ массѣ льда онъ относитъ не на счетъ пластичности самихъ частицъ, а на счетъ распредѣленія давленія отъ одного вертикальнаго сѣченія къ другому (см. стр. 741 и фиг. 464). По гипотезѣ пластичности самого льда явленія разжиженія и смерзанія являются слѣдствіемъ движенія, вызываемаго давленіемъ массъ въ головной части ледника (области питанія), а по Дригальскому эти явленія сами вызываютъ измѣненіе вертикальнаго давленія въ горизонтальное; безъ этого свойства льда можно

*) Hess, l. c., стр. 320.

было бы предполагать, что массы льда оставались бы неподвижными, подобно массамъ другихъ горныхъ породъ. По гипотезѣ пластичности, напротивъ, и всякая горная порода, лучше сказать всякое вещество, при соотвѣтствующихъ условіяхъ давленія должна бы обнаружить теченіе, подобное ледниковому; еще Кропоткинъ приводилъ на основаніи опытовъ Трескà, что масса свинца при достиженіи предѣла давленія въ 130 атмосферъ должна бы истекать подобно леднику.

Въ дальнѣйшемъ развитіи для объясненія особенностей движенія ледниковаго покрова гипотеза Дригальскаго представляетъ также нѣкоторыя отличія. Въ ледниковомъ покровѣ Дригальскій различаетъ движенія вертикальное и горизонтальное; первичное, конечно, первое. Въ вертикальномъ движеніи можно различить два противоположныхъ направленія: въ краевой области движеніе кверху, а внѣ ея повсюду внизъ. Первое свойственно тонкимъ частямъ покрова, второе—мощнымъ (фиг. 464). Въ области питанія можно замѣтить стремленіе къ пониженію поверхности, въ области убыли—къ вздутію поверхности, которое противодѣйствуетъ процес-



Фиг. 464. — Схема распредѣленія давленій въ массѣ льда, по Дригальскому.
Горизонтальныя линіи соотвѣтствуютъ слоистости, вертикальныя—полосчатости.

самъ убыли, дѣйствующимъ сверху. Въ областяхъ пониженія поверхности очевидно происходитъ уменьшеніе массы, въ областяхъ вздутія—ея увеличеніе; происходитъ перемѣщеніе массы отъ первыхъ ко вторымъ. Дригальскій объясняетъ это перемѣщеніе процессами разжиженія, посредствомъ которыхъ матеріалъ отъ болѣе мощныхъ массъ передается болѣе тонкимъ, пока въ конечномъ результатѣ не установится одинаковой мощности различныхъ частей покрова, или такъ называемаго гляціостатическаго (glaciostatischen) состоянія; гораздо менѣе, думаетъ Дригальскій, дѣло идетъ при этомъ о возстановленіи одинаковаго уровня поверхностей, къ чему стремится гидростатическое давленіе въ водѣ. Ледниковый покровъ движется отъ болѣе мощныхъ массъ къ болѣе тонкимъ, слѣдовательно, отъ внутреннихъ областей къ окраинамъ; онъ можетъ двигаться и вверхъ по склону, если здѣсь мощность льда меньше.

Мы уже видѣли (стр. 741), что горизонтальное движеніе льда Дригальскій объясняетъ частью механическимъ его перемѣщеніемъ отъ вертикальныхъ сѣченій бо́льшихъ къ меньшимъ, частью непрерывной передачей измѣненія состоянія частицъ. Такъ какъ способность къ движенію частицъ льда зависитъ только отъ давленія, то скорость такого движенія въ каждой горизонтальной плоскости уменьшается отъ мощныхъ сѣченій къ болѣе тонкимъ, а въ каждомъ вертикальномъ сѣченіи отъ дна

къ поверхности. Такъ какъ несмотря на разрыхленіе сложенія, всетаки не происходитъ полнаго раздѣленія частицъ льда, то собственное движеніе каждой глубокой точки передается точкамъ, выше лежащимъ. Слѣдствіемъ этого будетъ, что поверхность въ конечномъ результатѣ имѣетъ скорость наибольшую, несмотря на то, что самостоятельное движеніе точекъ поверхности наименьшее. Это разсужденіе слѣдуетъ понимать такъ. Назовемъ скорость, съ которой движется каждая точка, относительной или дифференціальной скоростью; она пропорціональна способности къ движенію каждой точки. Кромѣ этой относительной скорости каждая точка пріобрѣтаетъ еще скорость, которую ей передаетъ нижележащая. Если относительныя скорости обозначимъ снизу v_1, $v_2 \ldots v_n$, причемъ $v_1 > v_2 > \ldots > v_n$, то абсолютныя или дѣйствительныя скорости каждой точки снизу будутъ: v_1, $(v_1 + v_2)$, $\ldots$, $(v_1 + v_2 + \ldots + v_n)$. Дѣйствительныя скорости возрастаютъ отъ низа къ верху, но приращеніе скорости постепенно уменьшается до нуля на самой поверхности, и верхнія точки перемѣщаются пассивно на нижнихъ. Если прослѣдить перемѣщеніе при такихъ условіяхъ первоначально вертикальной линіи, то въ нѣкоторый моментъ отъ начала движенія она приметъ положеніе не наклонной прямой, а кривой, выпуклой въ сторону движенія, подобно линіи скоростей въ продольномъ сѣченіи рѣки (см. фиг. 248, стр. 388). Скорость движенія всей массы льда зависитъ, слѣдовательно, отъ его мощности.

Въ ледниковыхъ языкахъ, спускающихся въ море, конецъ ихъ какъ бы облегчается давленіемъ воды; слѣдовательно, такое облегченіе должно вести къ тому, что и уменьшеніе мощности льда, т. е. къ горизонтальному перемѣщенію въ сторону погруженія льда въ море. Если въ фіордѣ даже происходитъ еще наростаніе льда, т. е. фіордъ не выходитъ еще изъ области питанія, такое движеніе должно обнаруживаться. Словомъ, теченіе льда всегда происходитъ въ сторону уменьшенія нагрузки.

Вся эта схема движенія ледниковаго покрова развивается въ предположеніи горизонтальности его основанія. Наклонъ основанія увеличиваетъ, конечно, движеніе; если при наклонномъ основаніи мощность льда остается постоянной, движеніе въ сторону наклона можетъ быть обусловлено только вертикальными движеніями, такъ какъ наклонъ въ этомъ случаѣ не можетъ быть опредѣляющимъ условіемъ направленія движенія. Наконецъ, по окраинамъ наклонъ ложа даже не можетъ остановить движенія, опредѣляемаго разницей мощности льда.

Другой особенностью гипотезы Дригальскаго является, слѣдовательно, мысль о пассивномъ перемѣщеніи верхнихъ частей ледника на нижнихъ. Отсюда объясненіе образованія трещинъ на поверхности ледника при движеніи нижнихъ частей безъ разрыва и—вертикальнаго распредѣленія скоростей движенія въ массѣ льда.

Нужно замѣтить, что окончательныя механическія приложенія первоначальныхъ чисто физическихъ соображеній о процессахъ разжиженія и смерзанія вытекаютъ одни изъ другихъ далеко не ясно. Если сосредоточить вниманіе на этихъ механическихъ явленіяхъ, то совершенно логически можно придти къ выводамъ о причинѣ первоначальнаго движенія совершенно инымъ. Это, повидимому, и случилось съ другимъ изслѣдователемъ—Крамеромъ.

Теорія Крамера. Крамеръ *) исходитъ изъ представленія о пассивномъ движеніи верхнихъ частей ледника на нижнихъ, но принимаетъ во вниманіе дѣйствительную слоистость фирна и вытекающія изъ этого слѣдствія.

Движеніе ледника есть суммированіе относительныхъ перемѣщеній его частицъ, но не отдѣльныхъ молекулъ, а ихъ группъ. Сохраненіе полосчатости льда есть доказательство, что перемѣщаются комплексы частицъ; поверхности наслоенія фирна и плоскости соприкосновенія полосчатости являются мѣстами разрыхленія льда и нарушенія связи между комплексами частицъ. Тонкая пыль, осѣдающая на поверхности каждаго слоя снѣга въ фирновой области, раздѣляетъ кристаллы льда двухъ смежныхъ слоевъ и препятствуетъ росту кристалловъ (зеренъ) льда изъ одного слоя въ другой. Въ фирновой области движеніе обусловливается скольженіемъ слоевъ другъ по другу, причемъ авторъ не настаиваетъ на совершенномъ разрывѣ связи по плоскостямъ наслоенія, а только на разрыхленіи сложенія, причемъ ссылается на трансляцію льда въ кристаллахъ. Слѣдовательно, онъ понимаетъ скольженіе въ смыслѣ пластичности льда, но предполагаетъ сосредоточеніе перемѣщенія по плоскостямъ, опредѣляемымъ образованіемъ льда. Способность къ движенію слоевъ опредѣляется степенью разрыхленія сложенія, слѣдовательно, давленія или мощности покрывающихъ массъ; значитъ, движеніе происходитъ въ механическомъ смыслѣ по Дригальскому. По мѣрѣ движенія льда изъ фирна къ цунгу, вслѣдствіе складчатости и вытягиванія слои преобразовываются въ полосчатость. Движеніе выражается въ относительномъ перемѣщеніи полосъ. Далѣе авторъ настаиваетъ, что въ относительномъ смѣщеніи слоевъ и пластинъ перемѣщеніе воды плавленія и трансляція льда играютъ только подчиненную роль, способствуя подвижности льда. Движеніе льда опредѣляется преимущественно его слоистостью и зернистымъ строеніемъ.

Исходя изъ совершенно правильныхъ наблюденій о слоистости и полосчатости, о дѣйствительномъ характерѣ движенія льда, авторъ перепутываетъ всѣ теоретическія представленія о причинахъ движенія. Если относительное движеніе слоевъ вызывается способностью льда къ трансляціи, то послѣдняя — главная причина; если это второстепенная причина, какъ онъ настаиваетъ, то смѣщеніе слоевъ есть родъ сдвига, то, что англійскіе авторы называютъ shearing; но Крамеръ отказывается видѣть дѣйствительные сдвиги, смѣщенія между слоями. Гессъ понимаетъ Крамера въ томъ смыслѣ, что причина движенія лежитъ въ сосредоточеніи пластичности льда по плоскостямъ наслоенія, какъ и слѣдовало бы говорить самому автору, и возражаетъ на это, что по опытамъ внутреннее треніе для слоистаго льда совершенно такое же, какъ и чистаго льда. Если разжиженіе и смерзаніе льда есть второстепенное явленіе, то нельзя принимать разсужденія Дригальскаго о распредѣленіи скоростей; если главная причина движенія льда его пластичность, то верхніе слои не перемѣщаются пассивно на нижнихъ, а текутъ самостоятельно, какъ это развиваетъ Финстервальдеръ, исходя изъ представленія о пластичности. Насколько сложно явленіе движенія ледниковъ, показываетъ эта путаница идей даже у такого опытнаго наблюдателя, какъ Крамеръ.

Мнѣнія Чэмберлена и другихъ американскихъ и англійскихъ гляціалистовъ. Гораздо опредѣленнѣе и яснѣе выражаютъ свое мнѣніе о движеніи льда ученые, изучавшіе преимущественно полярные ледники.

Чэмберленъ **) выставляетъ главнымъ положеніемъ, что движеніе льда заключается въ томъ, чтобы доставить матеріалъ изъ области питанія для пополненія его убыли въ области таянія. Основная причина движенія должна, слѣдовательно, обнаруживаться въ массахъ льда, средняя температура котораго ниже точки таянія. Въ области убыли ледниковъ температура вообще на точкѣ таянія, вслѣдствіе инфильтраціи воды, давленія и тренія; слѣдовательно, къ основной причинѣ движенія здѣсь присоединяются и второстепенныя, вызываемыя повышеніемъ температуры, пропитываніемъ льда водой, появленіемъ плоскостей соприкосновенія мокраго льда вверху и сухого внизу. Эти второстепенныя причины и обу-

*) H. Cramer, Eis- und Gletscherstudien, N. Jahrb. f. G., M. u. P., Beilage B., XVIII, 1, 1903.

**) Chamberlin, A contribution to the theory of glacial motion. The Decen. Publ., Chicago, 1904.

словливаютъ быстрое движеніе льда въ области убыли, въ особенности лѣтомъ, и появленіе въ немъ сдвиговъ (shearing), составляющихъ одну изъ особенностей арктическихъ ледниковъ.

Въ области питанія температура льда самая низкая и структура зернистая слабо связанная. При такихъ условіяхъ движеніе проявляется вѣроятнѣе между зернами, а не въ самихъ зернахъ (слѣдовательно не трансляція ихъ); фактъ существованія зернистой структуры и дальше, въ области убыли, подтверждаетъ такой взглядъ, такъ какъ трансляція зеренъ безконечнымъ перемѣщеніемъ однихъ пластинокъ около другихъ должна была бы разрушить зернистость.

Слѣдовательно, дѣйствительное скольженіе можетъ проявляться только въ нижнихъ частяхъ концовъ ледниковъ, гдѣ развиваются плоскости сдвиговъ (thrusts) и зерна льда достигаютъ наибольшей величины и наиболѣе плотно соединены между собою. Первичная причина движенія развивается въ условіяхъ относительно низкой температуры и въ относительно сухомъ льдѣ зернистаго сложенія.

Эти соображенія приводятъ къ выводу, что движеніе возбуждается незначительными перемѣщеніями зеренъ другъ около друга. Пока зерна имѣютъ округлыя очертанія, какъ во всякомъ фирнѣ, относительное перемѣщеніе ихъ (вращательное и скользящее) можетъ происходить легко по мѣрѣ увеличенія нагрузки отъ верхняго снѣга. По мѣрѣ того, какъ возрастаетъ сцѣпленіе между зернами, эти движенія встрѣчаютъ все бо̀льшее сопротивленіе. Но степень такого вращательнаго движенія, необходимая отдѣльнымъ зернамъ, чрезвычайно мала и она удовлетворяется разжиженіемъ и смерзаніемъ подъ вліяніемъ колебаній давленія въ массѣ льда. Для развитія скорости движенія въ три фута въ день на концѣ ледника, длиною въ шесть миль, необходимо принять среднее перемѣщеніе средняго зерна относительно окружающихъ его приблизительно въ 0,0001 его діаметра, или на одинъ діаметръ въ 10000 дней; иными словами, каждое зерно мѣняетъ свое положеніе относительно окружающихъ зеренъ на величину своего діаметра въ 30 лѣтъ. Такое ничтожное относительное движеніе едва ли можетъ быть невѣроятнымъ, не смотря на связь, которая существуетъ между зернами. Это движеніе вполнѣ объяснимо явленіями мгновеннаго разжиженія ничтожныхъ частей массы въ точкахъ наибольшаго давленія, передачи возникающей влажности къ сосѣднимъ точкамъ и новаго смерзанія. Точки наибольшаго давленія будутъ именно на линіи, передающей возбуждающее движеніе послѣдовательно къ точкамъ наибольшаго сопротивленія, и такимъ образомъ возникаетъ непрерывное движеніе. Теченіе (flowage) льда происходитъ при полномъ сохраненіи его твердости и кристаллическаго строенія.

Незначительность относительнаго движенія зеренъ вызываетъ въ каждой части ледника напряженія въ частяхъ выше, слѣдовательно условія для возникновенія плоскостей сдвига. Каждая частица воды въ рѣкѣ подчиняется только гидростатическому давленію, теоретически одинаковому по всѣмъ направленіямъ, но не испытываетъ никакого скалывающаго (сдвигающаго) усилія отъ массъ выше лежащихъ; развитіе такихъ боковыхъ усилій вслѣдствіе внутренняго тренія отличаетъ движеніе льда отъ движенія жидкостей. Въ нижнихъ частяхъ ледниковъ, гдѣ эти усилія

наибольшія и связность ледниковаго льда наибольшая, сдвиги происходятъ въ самой массѣ льда; они вызываютъ разлистованіе (foliation) льда и увлеченіе посторонняго матеріала между скользящими слоями (фиг. 449 на стр. 763 и фиг. 465). Въ предѣлахъ этой зоны вѣроятно, что кристаллическія плоскости льда служатъ частью плоскостями скольженія. Трансляція (изогнутіе) кристалловъ, какъ видно изъ опытовъ Мюггэ и друг., можетъ повести къ смѣщеніямъ въ зависимости отъ оріентировки пластинокъ относительно давленія. Въ нижнихъ частяхъ полярныхъ ледниковъ Дригальскій отмѣчаетъ оріентировку кристал-

Фиг. 465. — Оконечность ледника отъ незначительнаго покрова на полуостровѣ Red Cliff (залива Inglefield Gulf въ сѣверной Гренландіи). Поверхности напластованія представляютъ плоскости сдвиговъ, но выпячиваніе отдѣльныхъ слоевъ зависитъ отъ неравномѣрнаго обтачиванія слоевъ, заключающихъ обломки горныхъ породъ.

ловъ длинной осью перпендикулярно къ «слоистости», т. е. пластинками, составляющими кристаллъ, по направленію бокового давленія, слѣдовательно въ условіяхъ наиболѣе благопріятныхъ для проявленія уже не только изогнутія кристалла, но настоящаго смѣщенія его частей. Скольженіе въ нижнихъ частяхъ ледника обнаруживается преимущественно въ случаяхъ, когда ледъ ниже плоскости скольженія защищенъ отъ воздѣйствія скалывающихъ усилій, напр., обиліемъ обломочнаго матеріала, который замедляетъ и движеніе этихъ частей льда.

Замерзаніе инфильтраціонной воды на верхнемъ горизонтѣ пояса льда съ болѣе постоянной температурой можетъ способствовать проявленію скольженія. Верхнія части льда въ области убыли болѣе насыщены водой, чѣмъ нижнія части, и скорость ихъ должна быть значительнѣе.

Изъ соображеній, что внутри массы ледника постоянно поддерживается температура около точки таянія и что годовыя колебанія температуры воздуха оказываютъ вліяніе только на поверхностный слой льда, можно сдѣлать весьма существенное заключеніе въ пользу термическихъ причинъ способности ледника къ движенію. Дѣйствительно, если движеніе зависитъ отъ внутреннихъ процессовъ переплавленія льда, то скорость движенія на поверхности должна оставаться постоянной въ теченіе всего года при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ. Этому выводу противорѣчатъ тѣ старыя наблюденія надъ измѣненіями скорости движенія зимою и лѣтомъ, какія были приведены нами выше (стр. 723); но эти измѣренія подвержены большому сомнѣнію, а новѣйшія измѣренія Vallot *) показали, что зимняя скорость въ серединѣ ледника на Mer de Glace относится къ лѣтней какъ 100 : 118, а не какъ 100:185, какъ думалъ Тиндаль. Наблюденія Гамберга на ледникѣ Мика въ Швеціи, Vaux въ горахъ Selkirk (Британская Колумбія) и друг. довольно согласно показываютъ, что лѣтняя скорость превышаетъ зимнюю очень немного (8% и болѣе; ср. стр. 783—784). Къ сожалѣнію прямыхъ наблюденій надъ зимней скоростью нѣтъ, и для опредѣленія ея обыкновенно принимаютъ, что она настолько же ниже средней за годъ, насколько лѣтняя выше средней. Конечно, и это заключеніе еще не можетъ объяснить сущности пластичности льда.

Отъ температуры льда и его относительной сухости зависитъ степень его эродирующей работы. Въ сухомъ и твердомъ льдѣ камни нижней морены удерживаются съ большей прочностью, чѣмъ въ мягкомъ и влажномъ льдѣ; въ первомъ случаѣ они являются вытачивающими камнями; во второмъ сравнительно легко могутъ перевертываться, не оставляя никакого почти впечатлѣнія на породахъ ложа ледника. Сухой ледникъ— твердый ледникъ; сухой ледникъ необходимо холодный и обратно. Ледникъ суше зимой, чѣмъ лѣтомъ, и эти колебанія захватывать всю толщу льда, если она недостаточной мощности, слѣдовательно скорѣе всего на концахъ ледника. Указанная особенность движенія ледника, частью подъ давленіемъ массъ сзади, объясняетъ возможность движенія вверхъ по склону, даже при условіи наклона поверхности назадъ, какъ это часто наблюдается на значительныхъ пространствахъ полярныхъ ледниковъ.

Строго кристаллическій характеръ вещества ледника дѣлаетъ по мнѣнію Чэмберлена, несовмѣстимымъ представленіе о немъ, какъ о вязкой жидкости. Такое категорическое утвержданіе возвращаетъ отчасти къ взглядамъ Тиндаля и, конечно, не можетъ быть принято, но замѣчанія Чэмберлена съ большимъ остроуміемъ поддерживаютъ теорію разжиженія и объясняютъ механизмъ движенія проще, чѣмъ это дѣлаетъ Дригальскій. Послѣдній, считая разжиженіе льда основной причиной возбужденія движенія, необходимо приходитъ къ представленію о большей скорости движенія нижнихъ слоевъ, и категорически поддерживаетъ это, указывая, что часто наблюдается выдавливаніе нижнихъ слоевъ изъ-подъ верхнихъ **). Это явленіе скорѣе уже одного порядка съ ложкообразнымъ строеніемъ массы двигающагося льда и можетъ быть разсматриваемо за доказательство пластичности льда (ср. стр. 811). Чэмберленъ отводитъ разжиженію значеніе главнаго элемента, способствующаго относительному перемѣщенію частицъ льда, но отнюдь не причины, вызывающей это перемѣщеніе, и въ этомъ различіе его взглядовъ отъ теоріи Дригальскаго.

Мы уже имѣли случай указывать, что мнѣнія проф. Гарвуда и Грегори существенно не отличаются отъ взглядовъ Чэмберлена. Ука-

*) Vallot, Ann. de l'observ. météor., phys. et glaciaire du Mont-Blanc, T. IV, 1900.
**) Pet. Mitt., 1898, № IX, замѣчаніе въ рефератѣ статьи Чэмберлена, Glacial Studies in Greenland, 1897.

жемъ, что эти изслѣдователи съ наибольшей опредѣленностью высказываютъ *), что механическіе процессы при движеніи ледниковаго покрова выражаются въ: 1) въ простомъ теченіи, подобномъ теченію альпійскихъ ледниковъ, но здѣсь проявляющемся преимущественно въ верхней части льда, свободной отъ посторонняго матеріала, 2) въ непрерывной деформаціи, ведущей къ раздробленію, разломамъ льда и возникновенію плоскостей сдвига (shearing-or thrust-planes); эти явленія имѣютъ причиной давленіе массъ, сзади лежащихъ, на массы, расположенныя впереди; 3) въ перекатываніи (overrolling movement), вслѣдствіе болѣе быстраго движенія верхнихъ частей поверхъ нижнихъ.

Очевидно, что слово деформація примѣняется авторами не въ томъ смыслѣ, какъ это мы старались провести, т. е. измѣненія расположенія частицъ тѣла до наступленія разрыва, раздавливанія и т. д., а прямо въ обратномъ. Понятіе деформаціи нужно отнести къ первому роду механическихъ процессовъ, а второй и третій представляютъ явленія перемѣщенія, сопряженныя съ разрывомъ сплошности.

Мнѣніе Рихтера. Представленія Дригальскаго и Чэмберлена находятъ свое выраженіе въ слѣдующихъ взглядахъ Рихтера **), формулированныхъ имъ однако раньше, чѣмъ это было сдѣлано Чэмберленомъ. Давленіе вѣса льда вызываетъ разжиженіе его ничтожныхъ частицъ, напр., на плоскостяхъ соприкосновенія зеренъ, и эта вода плавленія служитъ какъ бы «смазкой» между крѣпко соединенными между собой частицами льда, которыя получаютъ вслѣдствіе этого способность къ перемѣщенію подъ вліяніемъ силы тяжести. Ледникъ, расположенный на наклонной плоскости, можетъ перемѣщаться внизъ по уклону; внутренній покровъ будетъ растекаться и по совершенно горизонтальной поверхности, такъ какъ ледъ будетъ выдавливаться въ ту сторону, гдѣ движенію его меньше всего препятствія. Совершенно тонкая масса льда, напр., остатокъ отъ покрова, уменьшеннаго таяніемъ (абляціей), не имѣетъ этой способности къ движенію, такъ какъ онъ слишкомъ тонокъ, чтобы вызвать въ нижнихъ частяхъ давленіе, необходимое для возникновенія «смазки». Слѣдовательно, способность къ движенію (Bewegungsfähigkeit) возрастаетъ съ мощностью льда, слѣдовательно, съ вышиной поперечнаго сѣченія; но она возрастаетъ также и съ площадью сѣченія, потому что съ величиною площади увеличивается и количество частицъ льда, не задерживаемыхъ въ своемъ движеніи треніемъ о дно и бока ложа. Если соовѣтственно повышенной способности къ движенію имѣются и благопріятныя условія возможности стока (Abflussmöglichkeit), то можетъ наступить весьма быстрое перемѣщеніе частицъ, слѣдовательно значительная скорость движенія.

Скорость движенія альпійскихъ ледниковъ, мощность которыхъ часто не менѣе 200 м., слишкомъ незначительна сравнительно со скоростью ледниковъ отъ внутренняго покрова, имѣющихъ мощность около 500—600 м.; причина этого пониженная возможность къ стоку. Гренландскіе ледники,

*) Quart. J. Geol. Soc., 1898, стр. 203, 220.
**) Richter, Geomorphologische Untersuchungen in den Hochalpen. P. Mitt. Erg.-H., 132, 1900, стр. 30.

вслѣдствіе отламыванія переднихъ частей, получаютъ возможность двигаться поперечными сѣченіями шириною во много километровъ и вышиною до 600 и болѣе метровъ; еще грандіознѣе совершается этотъ процессъ по окраинѣ антарктическаго внутренняго покрова. Всякій ледникъ, оканчивающійся выше уровня моря, какъ бы велика не была его мощность около фирновой линіи, всегда имѣетъ передъ собою части цунга, непрерывно вслѣдствіе таянія уменьшающейся толщины. Соотвѣтственно этому уменьшается къ переднему концу и способность ледника къ движенію, а значитъ и скорость движенія. Это медленно двигающееся тѣло, а подъ конецъ и совершенно неспособное къ самостоятельному движенію, мертвое (toie, dead) тѣло, оказываетъ сопротивленіе движенію массъ, расположенныхъ сзади, которыя вслѣдствіе этого имѣютъ скорость движенія гораздо меньшую, чѣмъ соотвѣтствующая ихъ способности къ движенію и также наклону ложа. Слѣдовательно, съ величиною поперечнаго сѣченія возрастаетъ только способность къ движенію, но не сама скорость движенія.

Части ледника, обладающія повышенной способностью движенія, могутъ или смѣщаться поверхъ переднихъ мертвыхъ частей, какъ это и наблюдается на наступающихъ ледникахъ, или же онѣ оказываютъ только давленіе на переднія части, какъ это обнаруживается всегда на стаціонарныхъ ледникахъ. Это давленіе можетъ имѣть исходъ только въ одну сторону и вызываетъ вспученіе льда, которое перемѣщается скорѣе, чѣмъ движется самъ ледъ; происходитъ не только увеличеніе поперечнаго сѣченія отъ того, что до даннаго мѣста достигаетъ уже ледъ съ такимъ сѣченіемъ, но также отъ того, что подъ давленіемъ верхнихъ частей нижнія сдвигаются и поднимаются.

Изъ разсмотрѣнія различныхъ теорій движенія льда видно, что разногласіе между взглядами различныхъ ученыхъ въ настоящее время существуетъ больше относительно преобладающей роли того или другого фактора движенія, именно пластичности льда и его разжиженія. Заслуживаетъ вниманія, что на сторону перваго становятся тѣ изъ ученыхъ, которые занимались изученіемъ преимущественно альпійскихъ ледниковъ (Финстервальдеръ, Гессъ, Эмденъ, Ридъ), а на сторону второго— изслѣдователи полярныхъ внутреннихъ покрововъ (Дригальскій, Чэмберленъ, Гарвудъ, Грегори, Сэльсбёри). Механизмъ движенія льда, очевидно, сложнѣе, чѣмъ это выясняется даже наиболѣе точными измѣреніями отдѣльныхъ формъ ледниковъ. Для насъ ясно, что приложеніе законовъ теченія, гидродинамики, къ безбрежнымъ внутреннимъ покровамъ не можетъ быть проведено съ такой послѣдовательностью, какъ къ индивидуализированнымъ ледникамъ. Стройная теорія непрерывнаго и стаціонарнаго теченія нарушается въ приложеніи къ внутреннимъ покровамъ такими факторами, какъ сложность ихъ послѣдовательнаго развитія, сложность рельефа ихъ ложа, сложность термическихъ условій ихъ массы и т. д., причемъ значеніе этихъ факторовъ не можетъ быть пока еще учтено и слѣдовательно выражено математически. Необходимы еще наблюденія какъ въ природѣ, такъ и въ механической лабораторіи.

Пять лѣтъ тому назадъ Рихтеръ *) намѣтилъ рядъ очередныхъ вопросовъ при дальнѣйшемъ изслѣдованіи ледниковъ. Наиболѣе существенными онъ считалъ:

1) Опредѣленіе отношеній между прохожденіемъ явленія наступанія ледника и скоростями движенія льда.

2) Пересмотръ физико-термическихъ вопросовъ.

3) Точное установленіе смысла и сущности терминологіи: какъ слоистость, полосчатость, огивы, морены и т. д.

По послѣднему вопросу болѣе или менѣе уже достигнуто соглашеніе; по второму мы дошли уже до достаточно точнаго опредѣленія условій пластичности и измѣненія аггрегатнаго состоянія льда. Наименьшей разработкѣ подвергся первый вопросъ, а съ нимъ связано именно то, для осуществленія чего Рихтеръ приглашалъ объединить силы и средства всѣхъ заинтересованныхъ ученыхъ и корпорацій; необходимы повторительныя и непрерывныя измѣренія на ледникахъ, уже изученныхъ научно, а не трудныя измѣренія новыхъ ледниковъ. Если Рихтеръ былъ правъ по отношенію къ Альпамъ, гдѣ имѣется значительное число точно измѣренныхъ ледниковъ, то нельзя съ этимъ согласиться ни по отношенію къ другимъ ледниковымъ областямъ альпійскаго характера, напр. Кавказа, ни въ особенности къ полярнымъ странамъ, какъ это и показали работы шведско-русской экспедиціи на Шпицбергенѣ. Точныя измѣренія всѣхъ элементовъ и съемки полярныхъ ледниковъ и мало изслѣдованныхъ ледниковъ другихъ альпійскихъ странъ необходимы не только для разрѣшенія многихъ спорныхъ вопросовъ ледниковой геологіи и ледниковой физики (Glacialphysik), но и какъ матеріалъ для будущихъ сравнительныхъ работъ. Насколько важными для изученія ледниковъ, Gletscherkunde — какъ говорятъ теперь, могутъ быть и отдѣльныя наблюденія, показываютъ, напр., такіе факты, какъ потеря ледникомъ Муръ въ Аляскѣ въ 1899 г. вслѣдствіе землетрясенія $2^1/_2$ км. его оконечности, спускавшейся въ море, или, напр., существованіе среди гренландскихъ ледниковъ такихъ, которые вслѣдствіе таянія сокращаются въ фирновомъ полѣ и сохраняются въ цунгѣ, защищенномъ обильнымъ мореннымъ матеріаломъ.

Задачами всякаго систематическаго изученія ледника должны быть три главнѣйшіе фактора существованія ледника: преобладаніе осадковъ надъ таяніемъ въ области питанія, усиленіе процессовъ таянія въ области языка и движеніе льда.

Главнѣйшими задачами всякаго случайнаго изслѣдованія ледника могутъ быть: форма ледника, структура льда, явленія переноса, отложенія и выпахиванія и признаки прежняго оледенѣнія страны.

*) Richter, Neue Ergebnisse und Probleme der Gletscherforschung, 1899.

ГЛАВА VIII

(продолженіе).

Ледниковая эпоха.

Подъ именемъ ледниковой эпохи или періода (Eiszeit, Glacial period or Ice Age, époque glaciaire) понимаютъ одинъ изъ замѣчательнѣйшихъ эпизодовъ въ геологической исторіи земли *). Первыя представленія объ этомъ времени возникли благодаря изученію современныхъ ледниковъ Альпъ, гдѣ послѣ первыхъ уже изслѣдованій убѣдились, что ледники нѣкогда занимали гораздо бо̀льшее пространство. Тамъ впервые познакомились съ камнями, широко распространенными по обоимъ склонамъ Альпъ и отнесенными силою прежнихъ ледниковъ далеко отъ мѣстъ ихъ первоначальнаго нахожденія, и названными поэтому заносными или эрратическими валунами. Вскорѣ убѣдились, что и значительная часть сѣверной Европы, именно сѣверная Германія и сѣверо-западная Россія, усѣяны такими же заносными камнями, родина которыхъ несомнѣнно была на сѣверѣ, въ Швеціи, или, какъ теперь мы говоримъ, въ Финноскандіи. Подобное же распространеніе эрратическихъ валуновъ было обнаружено въ Канадѣ и смежныхъ частяхъ Соед. Штатовъ. Постепенно возникла мысль о прежнемъ значительно большемъ оледенѣніи Альпъ и развитіи ледниковъ въ Скандинавіи и на сѣверѣ Америки. Обширныя пространства, на которыхъ разсѣяны эрратическіе валуны; море, отдѣляющее области ихъ распространенія отъ ихъ родины, затрудняли тѣмъ не менѣе относить ихъ распространеніе на счетъ непосредственной работы ледниковъ. Ляйелль предложилъ теорію дрифта, или переноса ихъ плавающими льдами, по такъ называемому дилювіальному морю въ эпоху мощнаго развитія ледниковъ. Болѣе точное изученіе слѣдовъ и отложеній, оставляемыхъ современными ледниками, сначала въ Скандинавіи, а затѣмъ и сравненіе древнихъ ледниковыхъ образованій съ геологическими

*) Литература о ледниковомъ періодѣ обширнѣе, чѣмъ по любому изъ другихъ отдѣловъ геологіи. Для общаго ознакомленія съ вопросами геологіи этого періода лучшими сочиненіями въ настоящее время являются два не вполнѣ законченныя:

Geinitz, E., Das Quartär Nordeuropas, составляющее III Theil Lethaea geognostica, 1903—1904.

Penck u. Brückner. Die Alpen im Eiszeitalter, 1901—1904

и F. Wahnschaffe, Die Ursachen der Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes, 1901.

Чрезвычайно полезный списокъ литературы, частью русской, интересующіеся могутъ найти въ статьѣ П. А. Тутковскаго, Конечныя морены, валунныя полосы и озы въ южномъ Полѣсьѣ, Зап. Кіев. Общ. Ест., XVII, 1901.

Классическимъ сочиненіемъ является J. Geikie, The Great Ice Age, 1895.

отложеніями на сѣверо-германской низменности, послужили основаніемъ ледниковой теоріи распространенія эрратическихъ валуновъ и связанныхъ съ ними отложеній. Послѣдующее одновременно съ этимъ знакомство съ внутреннимъ ледниковымъ покровомъ Гренландіи окончательно укрѣпило ледниковую теорію и развило наши представленія о времени ледниковой эпохи.

Общій характеръ ледниковой эпохи. Постепенное охлажденіе климата къ концу третичнаго періода (см. т. I, стр. 294) закончилось эпохой, въ особенности отразившейся на сѣверныхъ широтахъ Стараго и Новаго Свѣта. Нѣкоторыя изъ сѣверныхъ частей Европы и Америки поднимались надъ уровнемъ моря въ то время, именно въ эпоху наибольшаго оледенѣнія, значительно выше, чѣмъ теперь. Дѣйствительно, изслѣдованія дна Атлантическаго океана около береговъ Скандинавіи и Британскихъ острововъ показали распространеніе на глубинахъ отъ 100 до 300 м. раковинъ прибрежныхъ моллюсковъ, откуда сдѣлали заключеніе, что въ то время, когда жили эти моллюски, общій уровень дна моря былъ на 100—300 м. выше, чѣмъ теперь. Еще поразительнѣе указанія, полученныя по распространенію на днѣ сѣверной части Атлантическаго океана раковинъ изъ такъ называемой Іолдіевой глины; эти моллюски живутъ теперь въ полярныхъ водахъ на глубинахъ отъ 5 до 15 саженей, а многочисленныя раковины ихъ были добыты съ глубинъ 500 до 1333 саженей. Нельзя объяснить присутствіе ихъ на этихъ глубинахъ переносомъ ни айсбергами; ни береговыми льдами, и приходится вмѣстѣ съ Нансеномъ, Брёггеромъ *) и друг. признать, что эти раковины указываютъ на развитіе болѣе или менѣе арктическаго климата при поднятіи суши или дна моря на высоты почти до 2600 м. выше, чѣмъ теперь. Къ такому же заключенію мы должны придти, если припомнимъ единственно возможный способъ образованія глубокихъ фіордовъ, какъ материковыхъ долинъ (стр. 590—591).

Съ наступленіемъ общаго охлажденія климата, въ связи конечно и съ другими условіями, весь сѣверъ Европы былъ погребенъ подъ льдомъ, который, заполнивъ бассейны Балтійскаго и Нѣмецкаго морей, далеко распространился къ югу, приблизительно до мѣстоположенія Лондона, Кракова и Кіева. Но и внѣ предѣловъ этого ледниковаго покрова климатъ былъ настолько арктическимъ, что снѣговыя поля и ледники распространялись, напр., въ самомъ сердцѣ Франціи, по сравнительно низкимъ холмамъ M.ts du Beaujolais къ сѣверу отъ Ліона. Альпы были покрыты обширными снѣговыми полями, дававшими громадные ледники во всѣ стороны; ледники спускались въ равнины, совершенно скрывая подъ собою на своемъ пути небольшія цѣпи горъ. Также покрыты были Пиренеи, дававшіе многочисленные ледники къ югу. Значительно меньшая степень оледенѣнія была на Кавказѣ и дальше къ востоку по горнымъ системамъ Азіи. Въ С. Америкѣ Канада и восточные Штаты Союза до 40° с. ш. были покрыты ледянымъ покровомъ, превосходившимъ своими размѣрами и сѣверно-европейскій.

---

*) Brögger, Om de Senglaciale og Postglaciale Nivåforandringer i Kristianifeltet, Norg. Geol. Undersög., 1900—1901, № 31.

Пространства, покрытыя льдомъ, были очищены отъ всѣхъ поверхностныхъ почвенныхъ образованій до коренныхъ породъ, вычищенныхъ и выглаженныхъ; безъ всякой съ ними связи, несогласно на нихъ, были отложены различныя ледниковыя образованія. Въ различныхъ областяхъ можно замѣтить значительныя мѣстныя отличія въ природѣ и послѣдовательности различныхъ отложеній ледниковой эпохи. Чрезвычайно трудно во многихъ случаяхъ опредѣлить для извѣстныхъ частей серіи ледниковыхъ образованій ихъ синхроничность или наоборотъ принадлежность къ различнымъ по времени отложеніямъ. Тѣмъ не менѣе были установлены слѣдующія руководящія положенія. Первая или главная эпоха оледенѣнія соотвѣтствуетъ высшему развитію всѣхъ условій этого времени, когда постепенное распространеніе арктическаго климата, подобнаго современному сѣверной Гренландіи, достигло до широтъ Уэльса, юго-западной Ирландіи, 50° с. ш. въ средней Европѣ и Россіи и до 40° с. ш. на востокѣ С. Америки.

За этой эпохой перваго оледенѣнія послѣдовало время, когда климатъ сдѣлался значительно мягче, хотя съ возможными временными колебаніями въ сторону холоднаго арктическаго; это—междуледниковая эпоха, за которой наступила вторая холодная эпоха, отмѣченная новымъ возрастаніемъ снѣговыхъ полей и ледниковъ; это время — второго оледенѣнія.

Нѣкоторые ученые, напр., Торелль, Гольстъ и Гейнитцъ *), признаютъ только единую ледниковую эпоху, а другіе (Пенкъ, Брюкнеръ) считаютъ четыре, а Джемсъ Гики даже шесть различныхъ ледниковыхъ эпохъ, перемежавшихся междуледниковыми; истина, какъ думаетъ напр. Арчибальдъ Гики, вѣроятно между этими крайними мнѣніями **). По его мнѣнію и большинства нѣмецкихъ геологовъ несомнѣнно доказана по крайней мѣрѣ одна междуледниковая эпоха, слѣдовательно два наступанія ледниковаго покрова на среднія широты. Эта междуледниковая эпоха была настолько продолжительной, что южные типы животныхъ и растеній распространились къ сѣверу и снова захватили ихъ прежнія мѣста обитанія. Окончательно затѣмъ, безъ сомнѣнія очень постепенно, послѣ неоднократныхъ эпизодическихъ наступаній и отступаній ледниковаго покрова,—ледъ отступилъ къ сѣверу, а вмѣстѣ съ нимъ и арктическія флора и фауна, населявшія равнины Европы и востока С. Америки. Арктическая растительность горъ, сохранившаяся разсѣянными колоніями на сравнительно низкихъ горизонтахъ, представляетъ такіе остатки сѣверной флоры, покрывавшей Европу отъ Испаніи до Норвегіи.

Новѣйшія изслѣдованія, превосходно сведенныя Гейнитцемъ для болѣе южной области оледенѣнія, а Гольстомъ для сѣверной (Скандинавіи), скорѣе подтверждаютъ тѣмъ не менѣе заключеніе, что весь четвертичный періодъ представляетъ единую серію отложеній, прерываемую только колебаніями, т. е. что въ дѣйствительности была только одна ледниковая эпоха, а отложенія, которыя часто относятъ къ продолжи-

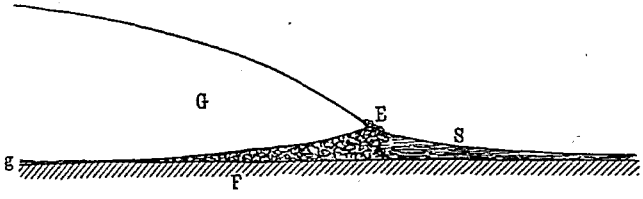
*) N. O. Holst, Hat es in Schweden mehr als eine Eiszeit gegeben? 1899. E. Geinitz, Die Einheitlichkeit der quartären Eiszeit. N. J. f. M. G. u. P., Beil.-B. XVI, 1, 1903.

**) Arch. Geikie, Text Book of Geology, II, 1903, стр. 1303.

тельной теплой междуледниковой эпохѣ, свидѣтельствуютъ только о значительныхъ колебаніяхъ окраины ледниковаго покрова, а отнюдь не о времени совершеннаго отступленія льда. Вопросъ находится въ настоящее время въ періодѣ разработки, и чтобы сознательно примкнуть къ тому или другому взгляду, необходимо прежде всего ознакомиться съ отложеніями ледниковой эпохи и ихъ происхожденіемъ, сначала для Альпъ, а затѣмъ для сѣверно-европейской области оледенѣнія.

Ледниковыя отложенія Альпъ.

Комплексы и серіи ледниковыхъ отложеній. Совокупность ледниковыхъ и флювіогляціальныхъ отложеній ледника Пенкъ предложилъ называть комплексомъ *). Каждый комплексъ при стаціонарномъ состояніи ледника ограничивается областью таянія ледника и опредѣляется его формой. На ледникахъ современныхъ комплексъ состоитъ изъ конеч-



Фиг. 466. — *G* — конецъ ледника въ конечной котловинѣ; *E*—конечная морена; *S*—зандровое отложеніе; *g*—основная морена; *F*—ложе ледника изъ коренныхъ породъ.

ной морены и примыкающихъ къ ней щебнево-галечниковыхъ флювіогляціальныхъ отложеній (зандры). Тамъ, гдѣ ледникъ уже исчезъ, мы видимъ и тѣ образованія, которыя отлагались подъ ледникомъ; конечная морена окаймляетъ болѣе пониженное котловинообразное пространство—Zungenbecken (конечная котловина). Пенкъ въ особенности оттѣняетъ, что эта котловина опредѣляется не только тѣмъ, что она окружена валомъ конечной морены, но также потому, что почва древняго ледника нѣсколько приподнималась къ краямъ ледника. Фиг. 466 показываетъ взаимное расположеніе и форму такого правильнаго комплекса. Эта правильность нарушается, какъ мы видѣли, при наступаніи или отступаніи ледника. При наступаніи ледникъ отлагаетъ моренный матеріалъ поверхъ флювіогляціальныхъ образованій, при отступаніи—наоборотъ флювіогляціальныя поверхъ мореннаго. По тому или иному характеру залеганія, слѣдовательно, можно до извѣстной степени судить о прежнемъ отступаніи или наступаніи ледника.

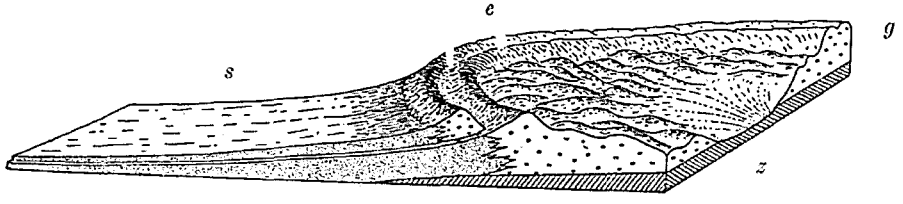
Совокупность нѣсколькихъ такихъ комплексовъ образуетъ серію ледниковыхъ образованій; древнія ледниковыя образованія обыкновенно и проявляются такими серіями, свидѣтельствующими о цѣломъ рядѣ колебаній ледника. Повсюду являются отчетливо развитыми конечныя котло-

*) Penck, Brückner et du Pasquier, Le système glaciaire des Alpes. Guide publié à l'occasion du Cong. Geol. intern., 6 sess. à Zurich, 1894.
Penck u. Brückner, Die Alpen im Eiszeitalter, 1901, стр. 15—16.

вины (Zungenbecken, dépression centrale), часто въ видѣ довольно глубокихъ ваннъ, окаймленныхъ концентрическими валами конечныхъ моренъ (фиг. 467) и занятыхъ озерами. Если онѣ открыты, дно ихъ занято или галечниковыми отложеніями, или болотами. Котловины ограничиваются обыкновенно мореннымъ покровомъ, изъ котораго выдаются породы основанія въ видѣ округленныхъ холмовъ. Если моренный покровъ развитъ сильнѣе, онъ проявляется тогда въ видѣ характерныхъ формъ—друмлиновъ. Ближе къ серединѣ котловины друмлины вытянуты перпендикулярно къ конечнымъ моренамъ, по бокамъ—подъ острымъ угломъ.

Конечныя морены образуютъ иногда цѣлый поясъ (Moränengürtel) тѣсно или болѣе или менѣе широко расположенныхъ валообразныхъ нагроможденій; въ послѣднемъ случаѣ съ отдѣльными между ними котловинами. Сочетаніе такихъ формъ было названо Дезоромъ мореннымъ ландшафтомъ, иногда принимающимъ характерный видъ мореннаго амфитеатра, напр. озера Гарда или около Иврэ (Ivrea).

Моренный поясъ обыкновенно сопровождается значительными количествами флювіогляціальныхъ галечниковыхъ отложеній. Они примыкаютъ



Фиг. 467.— Схема серіи ледниковыхъ отложеній. *e*—поясъ конечныхъ моренъ; *g*—моренный покровъ и друмлины; *s*—переходный конусъ и зандры; *z*—конечная котловина.

къ послѣдней конечной моренѣ или постепенно переходятъ въ нее, причемъ нерѣдко можно видѣть взаимное вклиниваніе мореннаго и галечниковаго матеріала. Послѣдній обыкновенно заключаетъ какъ крупные валуны, такъ и части мореннаго матеріала, и склонъ его значительно круче, чѣмъ для обыкновенныхъ рѣчныхъ отложеній, до 10% и больше. Дю-Паскье называетъ эти переходныя отложенія между широкими и болѣе плоскими галечниковыми полями впереди и моренными валами сзади—переходнымъ конусомъ (Uebergangskegel, cone de transition). Широкія пространства, покрытыя флювіогляціальнымъ галечникомъ (зандры), въ Альпахъ жители называютъ полями (Felder).

По петрографическому характеру альпійскія ледниковыя отложенія состоятъ, слѣдовательно, существенно изъ неслоистой валунной глины (Block- und Geschiebelehm) и слоистыхъ галечника, гравія, хряща и песка (Schotter, Kies, Grand, Sand).

Валунная глина представляетъ мергелистую глинистую массу съ неправильно распредѣленными въ ней небольшими и крупными валунами разнообразнѣйшихъ представителей альпійскихъ горныхъ породъ; валуны большею частью угловатой формы или съ слабо округленными ребрами, съ поверхностями часто отшлифованными и покрытыми штрихами. По всѣмъ признакамъ валунная глина представляетъ основную или поддонную морену ледниковъ. Галечники и пески являются представителями

флювіогляціальныхъ отложеній; въ особенности они развиты по сѣверному подножію Альпъ; вслѣдствіе позднѣйшей цементаціи они переходятъ въ конгломераты, такъ называемые дилювіальные нагельфлю. Гораздо рѣже среди ледниковыхъ отложеній въ Альпахъ появляются глины безъ валуновъ, лёссъ, мергель и болотныя образованія.

Стратиграфическія отношенія. По числу распространенныхъ отложеній валунной глины и залегающихъ между ними галечниковыхъ отложеній принимаютъ (Пенкъ, Брюкнеръ и другіе) четыре фазы или повторенія условій ихъ образованія, слѣдовательно четыре оледенѣнія для альпійскихъ предгорій. Однимъ изъ существенныхъ признаковъ для различенія отложеній разныхъ оледенѣній служатъ часто слѣды сильнаго вывѣтриванія *) и эрозіи поверхности болѣе нижнихъ отложеній, покрытыхъ другими болѣе новыми; другими признаками служатъ междуледниковые слои, содержащіе животные и растительные остатки умѣреннаго климата, иногда даже залежи торфа и сланцеватаго угля.

Слѣдами перваго оледенѣнія Пенкъ считаетъ отложенія наиболѣе высокихъ террасъ, такъ называемый Deckenschotter (Günz-Vergletscherung). Вслѣдствіе своего болѣе древняго возраста эта терраса сильно размыта и представляетъ только отдѣльные участки разобщенные глубокими долинами. Болѣе новыя отложенія Deckenschotter Пенкъ называетъ Mindel-Vergletscherung. Менѣе расчлененныя высокія террасы (Hochterrassen) соотвѣтствуютъ третьему оледенѣнію — Riss-Vergletscherung; наконецъ, послѣднему (Würm-Vergletscherung) соотвѣтствуютъ наиболѣе низкія и непрерывныя террасы, примыкающія къ внутреннему поясу моренныхъ амфитеатровъ. Террасы Рисской эпохи соотвѣтствуютъ внѣшнему поясу моренъ, наиболѣе развитому.

Подъ оледенѣніемъ (Eiszeit, Glacialzeit) Пенкъ понимаетъ время низкаго положенія снѣговой линіи, но въ теченіе котораго значительно удлиненные ледниковые языки испытывали неоднократныя незначительныя колебанія. Междуледниковой эпохой онъ называетъ время значительной продолжительности съ высокимъ положеніемъ снѣговой линіи. Между эпохами ледниковыми и междуледниковыми каждый разъ можно отмѣтить продолжительное переходное время наступанія и отступанія ледниковъ; это времена до (prae-) и послѣ (post-) ледниковыя для каждой эпохи.

Въ особенности подробно Пенкъ и Брюкнеръ развиваютъ такое представленіе для послѣледниковаго времени Вюрмской эпохи (Post-Würmzeit): постепенное улучшеніе климата этого переходнаго времени прерывалось нѣсколькими наступаніями ледниковъ или паузами въ ихъ отступаніи; эти паузы Пенкъ называетъ стадіями, которыя разграничиваютъ болѣе продолжительные промежутки времени переходной эпохи. Такихъ стадій съ опредѣленной высотой снѣговой линіи для всѣхъ Альпъ Пенкъ и Брюкнеръ различаютъ три: Bühl-, Gschnitz- и Daunstadium.

На основаніи изученія современной флоры явнобрачныхъ растеній сѣвера Европы Шульцъ отличаетъ въ эпоху послѣледниковую два періода

*) На южномъ склонѣ Альпъ вывѣтриваніе ледниковыхъ отложеній, покрытыхъ другими ледниковыми же, выражается иногда корой вывѣтриванія до 6 м. мощностью; такія части, отличающіяся своимъ краснобурымъ цвѣтомъ, называютъ тамъ Ferretto.

«холодныхъ» и два «теплыхъ»; холодные соотвѣтствуютъ Гшнитцкой и Даунской стадіямъ Пенка. Шульцъ сопоставляетъ первый холодный періодъ, послѣдовавшій за первымъ теплымъ, съ временемъ наибольшаго распространенія литориноваго моря Балтійскаго бассейна; первому теплому предшествовало время Ancylus *) на сѣверѣ и стадія Бюльская въ Альпахъ **).

Другіе слѣды прежняго распространенія ледниковъ въ Альпахъ.

Кромѣ отложеній, оставляемыхъ ледниками, слѣдами ихъ прежняго развитія служатъ, какъ упомянуто, въ особенности въ Сѣверной Швейцаріи, — эрратическіе валуны, ледниковые шрамы и борозды, округленныя скалы и иногда исполиновые котлы, расположенные далеко отъ области распространенія современныхъ ледниковъ.

Въ центральныхъ частяхъ Альпъ ошлифованныя, изборожденныя и округленныя скалы мѣстами сохранились съ такой отчетливостью, что по нимъ нетрудно возстановить верхнюю границу обработки породъ льдомъ. Зазубренныя формы склоновъ выше такой границы (Schliffgrenze) представляютъ рѣзкій контрактъ съ формами склоновъ ниже ея; послѣднія формы отличаются своею округленностью даже на водораздѣльныхъ гребняхъ между долинами. Пенкъ предложилъ для такихъ формъ ниже верхней границы распространенія ледниковыхъ шрамовъ названіе Rundling, соотвѣтствующее прежнему roches moutonnées.

Кары. Особой ландшафтной формой, какъ слѣдствіе прежняго оледенѣнія, служатъ упомянутыя уже раньше (см. стр. 666) кары, т. е. нишеобразныя углубленія на склонахъ горъ выше собственно границы изборожденныхъ и шлифованныхъ скалъ. Плоское дно каръ, крутые склоны надъ ними и относительное расположеніе изборожденныхъ валуновъ и щебня служатъ доказательствами образованія ихъ эродирующей работой льда. Рихтеръ приписываетъ ихъ образованіе главнѣйше вывѣриванію склоновъ, не защищенныхъ массою льда, покрывавшаго ихъ дно; Гелландъ напротивъ считаетъ главнымъ факторомъ непосредственное выпахиваніе льдомъ именно дна ихъ. По мнѣнію Рихтера кары быстрѣе расширялись, чѣмъ углублялись ***). Очень часто на почвѣ каровъ находятся теперь озера, расположенныя или въ углубленіи или возникшія вслѣдствіе подпруды небольшими конечными моренами (котловинныя или плотинныя). Гдѣ нѣтъ каръ, тамъ нѣтъ и высокихъ озеръ (Hochseen).

По мнѣнію Рихтера, если мы встрѣчаемъ въ горахъ только активные кары, т. е. занятые ледниками или фирномъ, то нижняя граница каръ опредѣляетъ и положеніе снѣговой линіи.

Слѣдовательно, нижняя граница неактивныхъ каръ можетъ служить для опредѣленія положенія прежней снѣговой линіи.

---

*) См. т. I, стр. 717.

**) Schulz, Das Schicksal der Alpenvergletscherung nach dem Höhenpunkte der letzten Eiszeit. Centralblatt f. M., G. u. P., 1904, стр. 226. Также рефератъ нѣсколькихъ работъ въ N. Jahrb., 1904, II, стр. 436—440.

***) E. Richter, Geomorphologische Untersuchungen in den Hochalpen. Pet. Mitt., Erg.-heft, № 132, 1900.

Часто кары, повидимому, располагаются другъ надъ другомъ рядами, связанными между собою горными ключами; это—лѣстницы каръ (Kahrtreppe по Пенку). По мнѣнію Рихтера такое расположеніе представляетъ слѣдъ древней доледниковой гидрографической сѣти, и настоящими карами являются только верхніе, подъ самымъ гребнемъ, такъ какъ въ бороздѣ ниже кары былъ ледникъ и эта форма не могла возникнуть; поэтому Рихтеръ называетъ такое расположеніе glaciales Stufenthal, т. е. ледниковыми уступами долины.

Корытообразныя долины (Thaltrog) и переуглубленіе долинъ (Uebertiefung). Къ сказанному уже раньше о корытообразной формѣ (стр. 750) прибавимъ, что Рихтеръ приписываетъ образованіе такихъ долинъ въ Альпахъ внѣ ледниковыхъ областей не ледникамъ времени оледенѣнія, а послѣ его, но всетаки болѣе значительнымъ, чѣмъ современные. Рихтеръ именно указываетъ, что верхній край (плечо) корытообразныхъ долинъ часто лежитъ значительно ниже другихъ слѣдовъ, опредѣляющихъ верхнюю границу оледенѣнія.

Иначе думаютъ Пенкъ и Брюкнеръ, которые доказываютъ связь корытообразныхъ боковыхъ долинъ съ такъ называемымъ переуглубленіемъ (Uebertiefung) главныхъ рѣчныхъ долинъ Альпъ *). Незначительныя боковыя долины, вмѣщающія небольшіе ледники, имѣютъ обыкновенно дно расположеннымъ замѣтно выше, чѣмъ дно главныхъ долинъ, въ которыя онѣ оканчиваются; боковые притоки ниспадаютъ въ главную долину рядомъ уступовъ или оканчиваются ущельемъ современнаго происхожденія. Главныя долины были заняты мощными ледяными массами, которыя вырабатывали ложе гораздо сильнѣе, переуглубляя его, чѣмъ незначительные ледники боковыхъ долинъ.

Пенкъ доказываетъ продолженіе краевъ (плечъ) корытообразной долины въ главную. Переуглубленіе по такому представленію есть слѣдъ наибольшей выпахивающей силы въ осевой части мощной ледниковой системы; части долины выше плечъ корытообразнаго переуглубленія до верхней границы слѣдовъ оледѣненія представляютъ, слѣдовательно, остатки доледниковаго расчлененія. Главныя долины были заполнены, слѣдовательно, ледниками, мощность которыхъ нерѣдко достигала до 1000—1400 м. По такому представленію переуглубленная долина есть только слѣдъ срединнаго выпахиванія мощнаго ледника, а по Рихтеру—если переуглубленная долина въ нижней части склоновъ имѣетъ корытообразную форму, то она образована дѣйствіемъ ледника незначительной мощности.

Гессъ **) же доказываетъ, что часто склоны такихъ переуглубленныхъ долинъ носятъ слѣды обыкновенно четырехъ послѣдовательныхъ корытообразныхъ формъ U, сочетаніе которыхъ создаетъ иную форфу V. Слѣдовательно, эта форма возникла дѣйствіемъ выпахиванія не одного колоссальнаго (до 1400 м.) ледника (Пенкъ) или переуглубленія дѣйствіемъ ледника болѣе поздняго (Рихтеръ), а выпахиваніемъ четырмя послѣдовательными ледниками мощностью отъ 300 до 500 м. Эту послѣдователь-

*) Penck, Die Uebertiefung der Alpentäler. Verh. des VII intern. Geogr-Kongr. Berlin, II, 1981, стр. 232—248.

**) H. Hess, Der Taltrog. Pet. Mitt., 1903, № IV.

ность Гессъ сопоставляетъ съ четырмя оледенѣніями Альпъ по Пенку. По представленію Гесса выпахивающая сила ледниковъ почти также велика, какъ и размывающая сила воды; доледниковая долина ограничивается только частями выше верхней границы изборожденныхъ скалъ. Часть долины, называемая Рихтеромъ корытообразной (Trog), представляетъ при такомъ толкованіи наиболѣе позднее образованіе, часто хорошо сохраненное, но еще чаще и наиболѣе видоизмѣненное послѣдующимъ размываніемъ въ особенности въ широкихъ долинахъ. Корытообразныя формы вообще сохранены тѣмъ хуже, чѣмъ онѣ древнѣе.

Наиболѣе осторожнымъ толкованіемъ является все-таки Рихтера. Оно наиболѣе согласно и съ общей картиной оледенѣнія Альпъ *).

Киліанъ **) совершенно отрицаетъ вліяніе ледниковаго выпахиванія на переуглубленіе; верхняя часть долинъ, занятая ледниками болѣе продолжительное время, была предохранена отъ эрозія водою въ то время, когда главныя долины подвергались усиленному размыванію (флювіогляціальный процессъ) въ теченіе фазъ сокращенія ледниковъ. Послѣдующее сокращеніе льдовъ въ высокихъ частяхъ долинъ наступило слишкомъ поздно, чтобы новый циклъ эрозіи, захватившій главныя долины, могъ распространиться и на боковыя. Высшее положеніе уступовъ, которыми боковыя долины ниспадаютъ въ главную, можетъ быть разсматриваемо скорѣе, какъ слѣдъ наибольшаго отступанія ледниковъ, а послѣдовательность такихъ уступовъ можетъ соотвѣтствовать различнымъ междуледниковымъ фазамъ. Такое объясненіе все-таки ближе къ взглядамъ Рихтера, который переуглубленіе фіордовъ также приписываетъ дѣйствію междуледниковыхъ водъ (стр. 781).

Альпы въ эпоху оледенѣнія. Каждый ледяной потокъ при сліяніи съ другимъ попадалъ въ долину сѣченія болѣе значительнаго, чѣмъ его собственнаго ложа; каждый отдѣльный потокъ съуживался, но выигрывалъ въ мощности. Чѣмъ больше сливалось потоковъ, тѣмъ значительнѣе должна была подниматься поверхность льда. Одновременно съ этимъ необходимо предполагать, какъ бы подпруду верхнихъ массъ льда, и слѣдовательно поверхность льда въ верхнихъ развѣтвленіяхъ долины могла быть значительно выше, чѣмъ въ зависимости только отъ питанія изъ соотвѣтствующаго фирна. Возникало извѣстное состояніе равновѣсія между верхними частями ледниковой системы и уровнемъ равномѣрно понижающейся книзу ледяной массы, заполнявшей главную долину. Этотъ уровень льда былъ почти независимъ отъ неровностей ложа, однообразно распространяясь черезъ глубокія и мелкія части первичнаго рельефа, подобно уровню воды въ многоводной рѣкѣ. Эта независимость уровня льда отъ характера ложа прекрасно обнаруживается по верхней границѣ изборожденныхъ скалъ. Способность къ движенію такихъ мощныхъ ледяныхъ потоковъ времени ледниковой эпохи была весьма значительной, если принять во вниманіе ихъ мощность (по слѣдамъ верхней

*) Ampferer, O., Studien über die Inntalterrassen, Jahrb. d. K. K. Geol. Reichsanst., 1904, H. 1. Доказывается зависимость образованія террасъ отъ выпахивающей дѣятельности ледниковъ.

**) W. Kilian, Note sur le „Surcreusement“ (Uebertiefung) des vallées alpines. Bull. de la Soc. géol. de France, XXVIII, 1901, стр. 1003—1005.

границы изборожденія) до 1400—1500 м. при ширинѣ до 10 км. (напр., ледника Инна около Инсбрука въ восточныхъ Альпахъ). Возможность стока (Abflussmöglichkeit) напротивъ была сравнительно незначительной, такъ какъ паденіе ложа было слабымъ и масса льда стѣснялась въ своемъ движеніи окружающими горными массивами. Но, какъ только ледъ достигалъ выхода долины въ низкія предгорія, онъ долженъ былъ разливаться по нимъ, быстро уменьшаясь въ толщинѣ, подобно современному леднику Маляспина. Естественно, что и скорость движенія была наибольшей въ главныхъ долинахъ около такихъ выходныхъ отверстій изъ горъ, постепенно уменьшаясь кверху въ боковыхъ долинахъ въ зависимости отъ уменьшенія возможности стока.

Очевидно, что существованіе продольныхъ долинъ было весьма благопріятнымъ для оледенѣнія независимо даже отъ мѣстныхъ климатическихъ условій. Изученіе слѣдовъ прежняго оледенѣнія показываетъ, по мнѣнію Рихтера, что высокіе гребни, выдававшіеся надъ такими ледяными рѣками во внутренней части Альпъ, были покрыты льдомъ сравнительно немного больше, чѣмъ въ настоящее время. Напротивъ, поверхность ледяныхъ рѣкъ поднималась необыкновенно высоко, и мощность ихъ была несоразмѣрно велика сравнительно съ областью ихъ питанія. Въ общемъ всѣ внутреннія Альпы и даже предгорія Швейцаріи до Юры представляли, вслѣдствіе такого поднятія поверхности льда, не область стока, а область еще питанія.

Развитіе въ Альпахъ обширныхъ слабо расчлененныхъ массивовъ, также конфигурація высочайшихъ вершинъ, свидѣтельствуютъ для области центральныхъ Альпъ о чрезвычайно продолжительномъ періодѣ слабой эрозіи водою; отсюда необходимо сдѣлать выводъ, что высочайшія части Альпъ были скрыты подъ льдомъ еще задолго до эпохи оледенѣнія и также во время междуледниковыхъ. Современная конфигурація Альпъ въ частяхъ ихъ, поднимающихся выше снѣговой линіи времени оледенѣнія, возникла въ ледниковую эпоху. Дѣйствительно формы высокихъ горъ *) въ Альпахъ развиты лишь тамъ, гдѣ встрѣчаются кары, моделирующія склоны подъ гребнями. Цѣлые хребты на сотни километровъ обнаруживаютъ острыя формы высокихъ горъ и кары, хотя теперь они не имѣютъ больше ледниковъ. Безъ великаго оледенѣнія эти горы должны были бы имѣть формы среднихъ горъ (Mittelgebirgsformen). Даже на покрытыхъ ледниками горахъ формы ихъ обнаруживаютъ вліяніе бо́льшаго оледенѣнія.

Снѣговая линія въ Альпійской системѣ во время оледенѣнія въ различныхъ частяхъ проходила на разныхъ высотахъ; значительно ниже въ западныхъ Альпахъ и въ Тосканскихъ Аппенинахъ, чѣмъ въ восточныхъ Альпахъ (на высотѣ 1600—1800 м.). Въ общемъ она была ниже современной почти на 1200 м. По высотѣ снѣговой линіи для различныхъ эпохъ оледенѣнія Пенкъ вычисляетъ пониженіе средней годовой темпе-

*) Ландшафтъ высокихъ горъ (Hochgebirgsformen) характеризуется крутизной склоновъ, ихъ вогнутыми формами и острыми гребнями. Ландшафтъ среднихъ горъ (Mittelgebirgsformen) отличается выпуклыми формами болѣе пологихъ склоновъ, отсутствіемъ острыхъ гребней, замѣняющихся широкими водораздѣлами, и развитіемъ растительности, доходящей до водораздѣловъ. Penck, Morphologie der Erdoberfläche, II, 147.

ратуры, принимая и для ледниковой эпохи пониженіе на 0,59° С. температуры съ поднятіемъ на 100 м. Въ среднемъ эпоха Гюнцъ была холоднѣе на 1,8°, а Вюрмское время на 6,5°, чѣмъ современная эпоха, если принять температуру на снѣговой линіи такой же, какъ теперь. Если принять температуру на снѣговой линіи въ Вюрмское время нѣсколько выше, то средняя годовая этого времени на 3°—4° С. ниже, чѣмъ современная.

На основаніи изученія ледниковыхъ отложеній въ предгоріяхъ Альпъ Пенкъ приходитъ къ выводу, что съ начала ледниковой эпохи Альпы не испытали никакого ни поднятія, ни опусканія относительно своего подножія (ср. стр. 503). Это обнаруживается по залеганію галечниковыхъ отложеній, не испытавшихъ никакихъ нарушеній залеганія; базисъ эрозіи подножія Альпъ не испыталъ никакого измѣненія со времени начала ледниковой эпохи *).

Сѣверно-европейская (скандинаво-русская) область оледенѣнія.

Отложенія времени постъ-пліоцена, такъ называемый дилювій, почти непрерывнымъ покровомъ, мощности до 50 метровъ, распространяются по всей сѣверо-германской низменности, сѣверо-западной и значительной части средней Россіи, совершенно скрывая болѣе древнія образованія. Кромѣ собственно ледниковыхъ отложеній, т. е. моренныхъ и флювіогляціальныхъ, постъ-пліоценъ представляется отложеніями рѣчными, озерными, морскими, эоловыми и продуктами органическихъ и химическихъ процессовъ; совокупность этихъ послѣднихъ отложеній называютъ экстрагляціальными. Одни изъ нихъ, какъ діатомовая земля, болотныя образованія, торфъ, известковый туфъ, озерный мѣлъ, — не играютъ существенной роли, по крайней мѣрѣ всюду, и всегда легко отличимы; тоже можно сказать про лёссъ и дюнныя песчаныя образованія. Гораздо труднѣе отличима отъ ледниковыхъ отложеній группа рѣчныхъ, озерныхъ и морскихъ образованій постъ-пліоцена. Эта группа представляется различными глинистыми и песчаными образованіями: мергелистая глина, полосатая глина (Bänderthon), щебень, лёссъ, лёссовидныя глины. Какъ въ Альпахъ, такъ и здѣсь собственно ледниковыя образованія отличаются необыкновенной рѣдкостью нахожденія въ нихъ органическихъ остатковъ, которые находятся преимущественно въ другихъ группахъ постъ-пліоценовыхъ отложеній. Всѣ такія содержащія окаменѣлости отложенія и служатъ обыкновенно для выдѣленія междуледниковыхъ эпохъ.

Ледниковыя отложенія.

Моренныя. Ледниковыя отложенія представляютъ продукты исключительно механическаго разрушенія горныхъ породъ, какъ это свидѣтельствуютъ заключающіеся въ нихъ обломки свѣжихъ невывѣтрѣлыхъ горныхъ породъ и богатство ихъ карбонатами и безводными силикатами.

*) Для практики въ ледниковой геологіи Альпійскихъ странъ очень полезно чтеніе съ картами статьи Пенка и Рихтера, Glazialexkursion in die Ostalpen, Nr. XII Führer für die Exkursionen in Österreich, IX intern. Geologen-Kongress, 1903.

Полную противоположность имъ представляютъ, напр., образованія со слѣдами субъаэральнаго вывѣтриванія.

Главнымъ членомъ этой группы образованій является такъ называемая валунная глина или суглинокъ, валунный мергель (Geschiebemergel, Geschiebelehm, Blocklehm, Diluvialmergel, argile morainique, till or boulderclay, въ Швеціи—Krosstenslera и Jökellera, въ Даніи—Rollstenslera). Она очень похожа на валунную глину альпійскихъ отложеній и представляетъ въ свѣжемъ состояніи голубовато-сѣрую, а при вывѣтриваніи желтоватую или буровато-красную неслоистую известковистую глину, всегда съ большимъ или меньшимъ количествомъ валуновъ и галекъ. Во влажномъ состояніи она вязкая, въ сухомъ—твердая. При вывѣтриваніи измѣняется не только цвѣтъ, но также уменьшается и количество карбонатныхъ солей. Валуны и гальки — слабо, но ясно округленные, иногда обточенные и со слѣдами штриховки, принадлежатъ разнообразнѣйшимъ изверженнымъ и осадочнымъ породамъ Скандинавіи и Финляндіи или рѣже мѣстныхъ мѣсторожденій. Валуны покрыты штрихами часто не только на одной сторонѣ, но на двухъ и больше; часто сточены и изборождены даже края ихъ, а штрихи нерѣдко на одной и той же сторонѣ пересѣкаются по нѣсколькимъ направленіямъ. Валуны достигаютъ часто огромныхъ размѣровъ, какъ напр., извѣстный камень, служащій пьедесталомъ статуи Петра Великаго въ Петербургѣ. Хотя они распредѣлены въ глинѣ безъ всякой правильности, но иногда въ нижнихъ горизонтахъ крупные валуны находятся особенно обильно. Взаимное отношеніе камней и тонкаго глинистаго матеріала очень непостоянно, также какъ и величина камней въ одной и той же толщѣ.

При отсутствіи слоистости валунная глина иногда обнаруживаетъ тонко-полосчатую отдѣльность, вѣроятно какъ слѣдствіе давленія льда, какъ это мы видѣли въ основной моренѣ ледниковаго покрова Гренландіи. Подъ вліяніемъ позднѣйшей трещиноватости возникаетъ иногда полиэдрическая отдѣльность.

Особенностью моренной глины иногда служитъ появленіе параллельныхъ залежей обильныхъ валунами, такъ называемыхъ булыжныхъ мостовыхъ (Steinpflaster); иногда между такими залежами цвѣтъ и другія качества валунной глины бываютъ нѣсколько иными, такъ что можно, пожалуй, говорить о послѣдовательности ея частей. По мнѣнію Ваншаффэ это зависитъ отъ того, что валунная глина, какъ основная морена прежняго оледенѣнія, перемѣщалась отдѣльными частями, и такія зоны свидѣтельствуютъ о послѣдовательности перемѣщенія и отложенія.

Часто среди толщи моренной глины заключаются небольшіе или болѣе крупные выклинивающіеся прослои, или линзы, слоистаго песка, галечника или даже глины. Это можно объяснить мѣстнымъ отложеніемъ на основной моренѣ флювіогляціальныхъ образованій; если они становятся болѣе мощными, толща валунной глины раздѣляется на нѣсколько отдѣльныхъ залежей. Наконецъ, иногда вслѣдствіе появленія такихъ прослоевъ моренная глина принимаетъ видъ слоистой; валунная глина и слоистыя глины, отложенныя водой, переходятъ другъ въ друга. Онѣ переходятъ другъ въ друга нерѣдко и въ горизонтальномъ направленіи; также замѣчаются такіе переходы и между валунной глиной и песчаногалечниковыми слоями.

Вывѣтриваніе настолько измѣняетъ видъ и качества моренной глины, что нерѣдко вывѣтренныя части легко принять за совершенно различное образованіе. Съ поверхности валунный мергель при вывѣтриваніи переходитъ въ глину неизвестковистую, а затѣмъ и песокъ; такая декальцификація, конечно, не всегда происходитъ до конца, въ особенности если первоначальная масса была сильно известковиста; превращеніе въ суглинокъ, а затѣмъ и въ глинистый песокъ происходитъ путемъ механической промывки водою, уносящей наиболѣе тонкія глинистыя частицы.

При сильномъ дѣйствіи атмосферной воды валунная глина превращается въ валунный песокъ (Geschiebesand, Decksand); если исчезаетъ, наконецъ, и песокъ, остается только скопленіе камней (Steinsohle). Какъ разновидность моренныхъ отложеній, возникаетъ иногда нагроможденіе камней (Blockpackung), если при самомъ отложеніи морены происходила промывка матеріала, какъ это часто можно видѣть на конечныхъ моренахъ.

Если между мореннымъ матеріаломъ и породами основанія замѣчается зависимость, и моренное отложеніе состоитъ преимущественно изъ обломковъ подлежащихъ коренныхъ породъ, отложеніе называютъ мѣстной фаціей или локальной мореной (Localmoräne, bottenmoräne).

Флювіогляціальныя и другія отложенія изъ воды. Различныя по способу отложенія, петрографически эти породы образуютъ однообразную группу типичныхъ осадочныхъ породъ — глинъ и песковъ. Вода уже подъ льдомъ начинаетъ переработку матеріала основной морены, а ледниковыя воды перемѣщаютъ продукты этой переработки все дальше отъ края ледниковаго покрова. Чѣмъ дальше на югъ отъ Скандинавскаго центра оледенѣнія, тѣмъ больше матеріала вода и ледъ извлекали изъ мѣстныхъ коренныхъ породъ; можно замѣтить, что сѣверо-германскіе ледниковые пески замѣтно болѣе кварцеваты, чѣмъ шведскіе. Зависимость отъ характера мѣстныхъ горныхъ породъ можетъ отчасти служить отличіемъ рѣчныхъ песковъ отъ флювіогляціальныхъ.

Пески различно классифицируютъ по крупности зерна (отъ галечника до тонкаго песка) или по составу, напр., шпатовый песокъ (Spatsand) сѣверо-германской низменности отъ высокаго содержанія зеренъ полевыхъ шпатовъ, глинистый, слюдистый, магнитно-желѣзняковый и т. д. Въ свѣжемъ состояніи дилювіальные пески всегда болѣе или менѣе известковисты, чѣмъ замѣтно отличаются отъ болѣе древнихъ, напр., третичныхъ; также они отличаются и своимъ обычно желтоватымъ цвѣтомъ. Съ поверхности происходитъ всегда декальцификація и одновременно окисленіе солей желѣза, отъ чего пески принимаютъ бурую окраску; выщелаченные карбонаты и желѣзо часто снова отлагаются въ болѣе глубокихъ горизонтахъ, по стѣнкамъ трещинъ или въ видѣ инкрустацій растительныхъ корешковъ, или въ видѣ различныхъ конкрецій; иногда возникаютъ при этомъ даже твердые песчаники желѣзистые или известковистые. Постъ-пліоценовые пески, вслѣдствіе легкости удаленія изъ нихъ питательныхъ веществъ, представляютъ почвы мало плодородныя сравнительно съ глинами; въ средней и сѣверо-западной Россіи пространства песчаныхъ отложеній рѣзко отличаются отъ моренныхъ своимъ однообразнымъ сосновымъ покровомъ, такъ называемыя «боровыя» мѣста.

Ясная слоистость, часто перекрещивающаяся, быстрое выклиниваніе, несогласное залеганіе и діагональная слоеватость являются постоянными признаками диловіальныхъ песковъ, какъ слѣдствіе быстрой смѣны скорости движенія воды; также неоднородными они являются и по крупности зерна, нерѣдко, напр., въ средней Россіи съ постояннымъ присутствіемъ валуновъ; только наиболѣе тонкіе пески сохраняютъ свои качества на болѣе значительныхъ пространствахъ.

Среди песковъ нерѣдко появляются изолированныя части галечниковъ или рѣзко ограниченныя же части песка; эти участки объясняютъ перемѣщеніемъ галечника и песка плавучими льдинами.

Глины представляютъ другой продуктъ переработки моренныхъ отложеній и отличаются гораздо болѣе однообразными качествами, чѣмъ пески. Обыкновенно онѣ не содержатъ вовсе валуновъ и галекъ, въ свѣжемъ состояніи известковисты, сѣраго, голубовато-сѣраго или желтаго цвѣтовъ. Какъ наиболѣе тонкій продуктъ отмывки, онѣ могли отлагаться только въ совершенно спокойной водѣ (Deckthon); отсюда ихъ тонкая слоистость (Bänderthon) и частая перемежаемость съ тончайшими песчанистыми прослоями; это могло зависѣть отъ періодически болѣе сильной скорости движенія воды, слѣдовательно даже отъ временъ года. Глины часто характеризуются обильными мергелистыми конкреціями, напр., извѣстные иматрскіе камни ниже Иматры или marlekor Норвегіи въ арктической глинѣ (Eismeerthon или Іолдіевая глина, hvarfiglera).

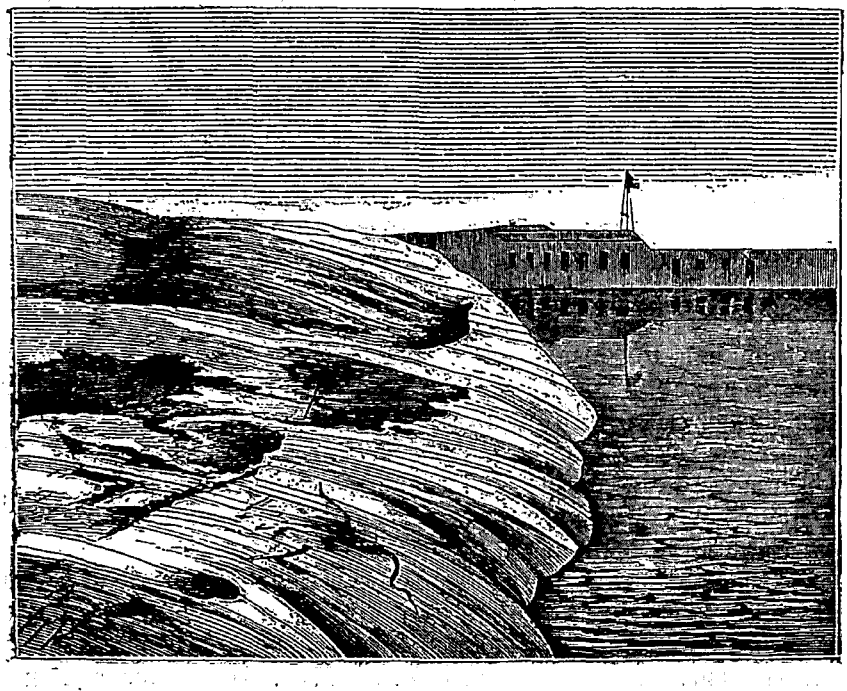
Доказательства ледниковаго происхожденія валунной глины и части слоистыхъ образованій сѣверно-европейской области.

Такими доказательствами могутъ служить: 1) различные слѣды вліянія оледенѣнія на подпочву пространствъ, покрытыхъ разсматриваемыми отложеніями; 2) качества самихъ отложеній; 3) формы рельефа, опредѣляемыя этими отложеніями.

Вліяніе оледенѣнія на подпочву. Наиболѣе ясными признаками служатъ ледниковое изборожденіе, шлифовка и образованіе округленныхъ холмовъ на выступахъ коренныхъ породъ, по которымъ двигался ледъ (фиг. 468 и друг. стр. 774—775). Эти признаки наблюдаются, конечно, не повсюду, а преимущественно въ областяхъ усиленнаго ледниковаго выпахиванія; вслѣдствіе послѣдующаго вывѣтриванія, не всюду были и благопріятныя условія для сохраненія этихъ слѣдовъ работы ледниковъ. Повсемѣстное распространеніе эти явленія имѣютъ въ Скандинавіи, Финляндіи, на Кольскомъ полуостровѣ, въ Кареліи; рѣже они встрѣчаются въ Прибалтійскомъ краѣ, Даніи и Англіи и только спорадически на сѣверо-германской низменности, достигая тѣмъ не менѣе Саксоніи и Силезіи.

Направленіе бороздъ не остается параллельнымъ; часто одна система пересѣкаетъ другую. Можно предполагать, что различныя направленія зависѣли отъ неодинаковыхъ направленій движенія льда одного и того же оледенѣнія; въ особенности это возможно по окраинамъ ледниковаго покрова, гдѣ ледъ стремится къ лучеобразному распространенію. Въ другихъ случаяхъ дѣйствительно борозды могутъ относиться къ оледенѣніямъ различнаго времени и различнаго направленія движенія. Борозды наиболѣе южныя несомнѣнно свидѣтельствуютъ о работѣ льда въ періодъ его наибольшаго распространенія, напр., въ Саксоніи и Силезіи.

Въ Скандинавіи по направленіямъ бороздъ, покрывающихъ одну сторону (Stoss-Seite) округленныхъ холмовъ и скалъ, можно съ точностью установить, что ледники, вызвавшіе это изборожденіе, расходились радіально отъ многихъ центровъ внутри страны; такими центрами служили «фіельды». По мѣрѣ возрастанія ледяныхъ массъ, отдѣльные центры должны были слиться въ одинъ внутренній ледниковый покровъ; движеніе льда слѣдовало все-таки въ зависимости отъ рельефа, опредѣлявшаго отдѣльные колоссальные ледяные потоки (Eisströme). Эта зависимость отъ рельефа по мѣрѣ усиленія покрова обнаруживалась только на нижнихъ



Фиг. 468. — Гнейсовый бугоръ съ ледниковыми бороздами на о-вѣ Скансландѣ близъ Свеаборга.

толщахъ льда, а верхнія должны были двигаться совершенно независимо отъ рельефа основанія въ разныя стороны въ зависимости только отъ давленія и возможности стока. При сокращеніи льда, движеніе его необходимо опредѣлялось рельефомъ, и въ особенности въ извѣстные моменты такое опредѣляющее значеніе должно было имѣть Балтійское море. Въ началѣ и въ концѣ каждаго такого наступленія ледниковаго покрова Балтійское море служило направляющимъ русломъ для одного изъ такихъ колоссальныхъ потоковъ, именно Балтійскаго (Baltische Eisstrom), имѣвшаго однообразное сѣверо-западное направленіе, какъ это видно по бороздамъ въ южной Швеціи, на Борнгольмѣ и Зеландѣ.

На основаніи анализа бороздъ многіе ученые (Торрель, де Гееръ) различаютъ для Скандинавіи три различныхъ по времени потока льда. Древнѣйшій (ältere baltische Eisstrom): направленіе бороздъ S 25°—30° O. Сопротивленіемъ южнаго берега Балтійскаго моря южная оконечность отклонялась къ W и даже NW. Покровъ максимальнаго оледенѣнія (grosse Vereisung): направленіе льда радіально отъ Скан-

динавіи къ SW, S и SO; ледъ перешелъ черезъ Ботническій заливъ. Новый балтійскій потокъ (jüngere baltische Eisstrom); его направленіе и распространеніе опредѣляется конечными моренами, характеромъ валуновъ и бороздами. Дальше мы увидимъ, что нѣтъ никакихъ основаній считать такіе потоки за самостоятельныя оледенѣнія; это скорѣе лишь фазы одного непрерывнаго движенія льда и его колебаній.

Въ Финляндіи между Ботническимъ и Финскимъ заливами, на островахъ Аляндъ, въ Эстляндіи, Лифляндіи и Курляндіи съ островами Даго и Эзель борозды имѣютъ постоянное SSO и S направленія, указывая на сѣверную Скандинавію, какъ центръ распространенія ледниковаго покрова. Но вмѣстѣ съ этой системой бороздъ и здѣсь обнаруживается, напр., на островѣ Готландѣ система SSW. Такимъ образомъ SSO система можетъ относиться къ радіальнымъ направленіямъ движенія льда въ эпоху наибольшаго оледенѣнія, а SSW система къ балтійскому потоку во время распаденія единаго покрова на отдѣльные потоки.

Направленіе бороздъ въ сѣверо-германской низменности (фиг. 471) отличается значительно большей неправильностью; рядомъ съ системой средняго направленія NNW—SSO часто появляется болѣе новая направленія O—W; эта послѣдняя система представляетъ, по мнѣнію Ваншаффэ, только мѣстныя отклоненія общаго радіальнаго направленія движенія льда, часто въ зависимости отъ сопротивленія выступающихъ горныхъ породъ движенію уже тонкой здѣсь окраины покрова.

Основная морена. Такъ какъ ледниковый покровъ скандинаво-русской области имѣлъ характеръ внутренняго покрова, то главнымъ матеріаломъ для отложенныхъ моренъ служили нижнія морены и частью внутреннія. Въ предѣлахъ сѣверо-германской низменности и Россіи ледниковый покровъ долженъ былъ совершенно скрывать всѣ незначительныя неровности подпочвы, и едва ли могли существовать гдѣ либо среди этого покрова нунатаки, способствующія образованію краевыхъ моренъ.

Петрографическій характеръ валунной глины, остающійся замѣчательно однообразнымъ по всей области ея широкаго распространенія отъ южной Швеціи до подножія Рудныхъ горъ въ Саксоніи и отъ Англіи до береговъ Днѣпра и средней Россіи, заставляетъ признать ее за основную морену.

Хотя структура и общій петрографическій характеръ валунной глины повсюду остаются постоянными, но природа валуновъ, заключенныхъ въ глинѣ, измѣняется въ зависимости отъ геологическаго состава областей, изъ которыхъ шли отдѣльные потоки льда, или тѣхъ пространствъ, которыя ледъ пересѣкалъ на своемъ пути. Такъ на юго-восточныхъ берегахъ Англіи среди валуновъ преобладаютъ нефелиновый сіенитъ (Zirkonsyenit) и ортоклазовый (Rhomben) порфиръ окрестностей Христіаніи; въ Германіи преобладаютъ породы средней Швеціи, также Борнгольма и Готланда, часто съ замѣтнымъ обогащеніемъ валунами балтійскихъ мѣловыхъ породъ.

Валуны характерныхъ горныхъ породъ, имѣющихъ опредѣленное распространеніе коренными выходами, называютъ руководящими валунами. По такимъ валунамъ въ моренномъ покровѣ также считали возможнымъ дѣлать заключеніе о различіи самихъ моренныхъ покрововъ. Такъ въ Германіи въ нижней моренной глинѣ (второе оледенѣніе) иногда преобладаютъ породы Швеціи, а въ верхней моренной глинѣ обычны обломки породъ Прибалтійскаго края; откуда можно сдѣлать заключеніе, что ледъ въ эпоху третьяго (послѣдняго) оледенѣнія имѣлъ частью направленіе съ востока. Но вообще такое различіе въ характерѣ валуновъ различныхъ

моренъ не подтверждается. Гораздо существеннѣе указанія на направленіе движенія. Тщательныя изслѣдованія въ этомъ отношеніи приводятъ Ваншаффэ къ такому заключенію. Главная масса эрратическихъ валуновъ сѣв. Германіи распространена ледянымъ потокомъ, двигавшимся съ сѣвера по Ботническому заливу и получавшимъ боковые притоки съ NW изъ Ангерманлянда и Іемтлянда (средняя Швеція). Потокъ пересѣкалъ Аляндскіе острова (при входѣ въ Ботническій заливъ) и распространялся, слѣдуя наибольшему расширенію Балтики, радіально по направленію къ югу. Потокъ получалъ притоки изъ Далярна и южной Швеціи; часть его, достигавшая западной части сѣверной Германіи, слѣдовала вдоль береговъ Швеціи черезъ островъ Ölandъ и южную оконечность Швеціи (Сканія). Часть потока, достигавшая Помераніи, направлялась отъ Алянда на SSW черезъ Кальмарзундъ, острова Ölandъ, Готландъ и Борнгольмъ. Кёнигсберга потокъ достигалъ по направленію съ N на S. Въ предѣлахъ сѣверо-германской низменности ледниковый покровъ распространялся радіально, но часто въ зависимости отъ древняго рельефа.

Въ средней и южной Россіи преобладаютъ валуны раппакиви и другихъ финляндскихъ изверженныхъ породъ и кристаллическихъ сланцевъ, также силурійскихъ известняковъ Финляндіи и Эстляндіи; въ Новгородской губерніи и дальше на NO часто появляются валуны Олонецкихъ песчаниковъ и кварцитовъ. Распредѣленіе валуновъ Финно-Скандинавскихъ породъ ясно и наглядно показываетъ перемѣщеніе ихъ по радіальнымъ направленіямъ къ SW въ Англіи, къ SSW въ Саксоніи и къ SO около Кіева и въ средней Россіи.

Постепенное отложеніе основной морены происходило на счетъ нижней морены ледниковаго покрова; верхнія части основной морены могли снова увлекаться льдомъ и такимъ образомъ постепенно могла перемѣщаться вся толща основной морены. Къ доказательствамъ такого перемѣщенія по частямъ, а отнюдь не всей толщей сразу, приведеннымъ выше (см. стр. 762), можно прибавить еще наблюденія Гики, Пенка и Джильберта такъ называемыхъ изборожденныхъ мостовыхъ (striated pavement, bowlder-pavement, geschrammte Pflaster). Это явленіе состоитъ въ томъ, что на опредѣленномъ горизонтѣ среди валунной глины попоявляется слой валуновъ, которые кромѣ штриховки, самостоятельной для каждаго валуна, обнаруживаютъ еще однообразное параллельное изборожденіе, согласное часто съ штриховкой на выдающихся поверхностяхъ коренныхъ породъ. Эта послѣдующая изборожденность показываетъ, что горизонтъ валуновъ служилъ почвой двигающагося льда и затѣмъ впослѣдствіи былъ перекрытъ верхней толщей валунной глины. Слѣдовательно, ея нижнія части были уже неподвижными въ то время, когда верхнія перемѣщались и отлагались.

Мѣстныя фаціи валунной глины и нарушенія залеганія ея рыхлаго основанія. Ледниковый покровъ при своемъ движеніи могъ захватывать въ свою нижнюю морену матеріалъ изъ подлежащихъ горныхъ породъ; слѣдовательно, оставляемая имъ основная морена могла получать новый матеріалъ мѣстнаго происхожденія. Наиболѣе благопріятными для образованія такихъ мѣстныхъ фацій (Localmoräne) естественно были мѣста перехода льда черезъ повышенныя пространства его ложа. Оставивъ свою основную морену передъ препятствіемъ, ледъ при переходѣ черезъ него долженъ былъ усиленно выпахивать, вырывать куски коренныхъ породъ, которыя и примѣшивались въ замѣтномъ количествѣ къ медленно перемѣщаемой черезъ препятствіе остальной массѣ основной морены. Такъ при переходѣ льда черезъ балтійскіе мѣловые выступы въ

сѣверной Германіи, основная морена обогащается валунами мѣловаго мергеля и кремней; при переходѣ черезъ выступы породъ мертваго краснаго лежня въ Германіи основная морена принимаетъ замѣтную красную окраску.

Въ Эстляндіи и Лифляндіи разрушеніе выступающихъ силурійскихъ известняковъ влекло за собой образованіе отложеній изъ остроугольныхъ обломковъ этихъ породъ, образованіе такъ называемыхъ, «рихкъ» (Richk) и «плинкъ» (Plink), которые кверху, вслѣдствіе послѣдующаго отложенія частей прежней основной морены изъ болѣе сѣверныхъ породъ, постепенно переходятъ въ обыкновенную валунную глину съ изборожденными валунами. Въ Псковской, Новгородской и Тверской губерніяхъ поводомъ къ образованію мѣстныхъ фацій служили девонскіе известняки и въ особенности каменноугольные дальше къ юго-востоку, а нерѣдко и болѣе мягкія девонскія глины.

При переходѣ льда черезъ препятствія изъ рыхлыхъ или слабыхъ породъ, напр., мѣлъ, бурый уголь, глины и пески олигоцена въ сѣверной Германіи, давленіе льда вызывало различнаго рода нарушенія залеганія: смятія, складчатость, перебросы и разрывъ. Такого рода явленія очень распространены на сѣверо-германской низменности, въ Южной Швеціи и Финляндіи, въ Польшѣ. Такія нарушенія залеганія нерѣдко отражаются даже на формахъ поверхности, захватывая значительныя толщи рыхлыхъ образованій. Въ особенности эти явленія часты, когда ледъ переходилъ черезъ ледниковыя же отложенія; въ этихъ случаяхъ возникали такъ называемыя пересѣченія или выступы (Durchragungen) нижнихъ дилювіальныхъ образованій черезъ толщи верхнихъ, часто обусловливая несогласное залеганіе между членами одной и той же свиты ледниковыхъ отложеній (фиг. 469).

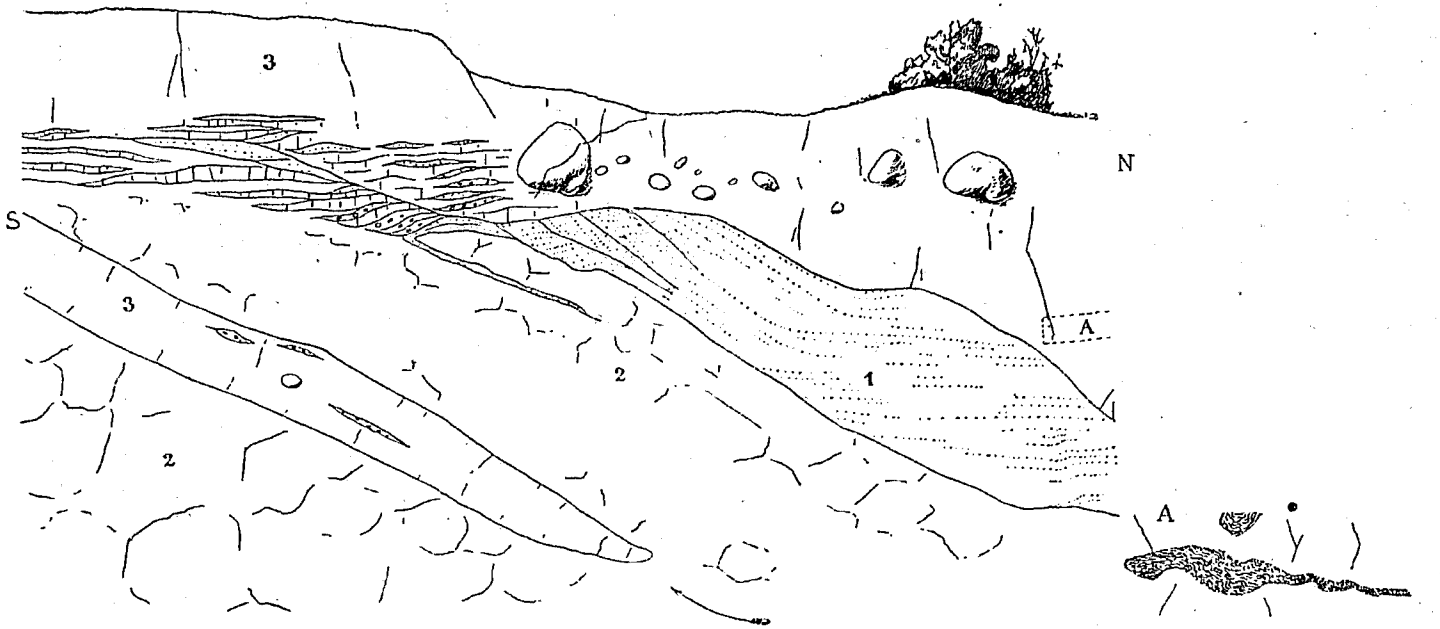
Сдвиги иногда значительныхъ массъ нижнихъ ледниковыхъ отложеній надъ верхними вѣроятно могутъ быть объяснены присутствіемъ подъ надвигающимися льдами вѣчной мерзлоты, когда слои рыхлыхъ породъ перестаютъ поддаваться смятію и складчатости *).

Формы рельефа, опредѣляемыя ледниковыми отложеніями. Такими формами являются: моренный ландшафтъ, моренныя равнины, друмлины, конечныя морены, озы и гребни, выступы (Durchragungen), зандровыя пространства, озерныя области.

Комплексы ледниковыхъ отложеній сѣвернаго оледенѣнія не даютъ такихъ опредѣленныхъ формъ, какъ въ Альпахъ; здѣсь также нѣкоторыя формы рельфа свойственны опредѣленному типу отложеній, но зависимость сочетанія этихъ формъ отъ тѣхъ или другихъ колебаній ледниковаго покрова познается гораздо труднѣе, чѣмъ въ Альпахъ. Способъ образованія нѣкоторыхъ формъ остается до сихъ поръ гадательнымъ, и тѣмъ труднѣе по этимъ формамъ судить о колебаніяхъ ледниковаго покрова.

Моренный ландшафтъ и моренная равнина. Эти два типа формъ поверхности представляютъ наиболѣе распространенныя формы на значительныхъ пространствахъ развитія ледниковыхъ отложеній. Оба типа

*) Frech, Über glaciale Druck-und Faltungserscheinungen im Oder-Gebiet Z. d. Gesell. f. Erdk. zu Berlin, 1901, XXXVI, № 5.



Фиг. 469. — Явленіе ледниковаго давленія къ сѣверу отъ Требница въ Силезіи, по Фреху.

Третичный песокъ (1), нормальный лежачій бокъ третичной глины (2), находится въ сдвинутомъ положеніи и частью внѣдренъ тонкими обрывками по границѣ третичной глины и валунной глины (3). Валунная глина въ свою очередь вдавлена полосами и гнѣздами въ третичную. *A* — небольшія включенія флювіогляціальной глины (Bänderthon), распространенной къ сѣверу отъ этого обнаженія. Стрѣлкой показано направленіе вдавленія ледниковой глины въ третичную.

свойственны распространенію валунной глины какъ въ ея чистѣйшемъ видѣ, такъ и въ видѣ ея модификацій.

Подъ именемъ моренаго ландшафта (Moränenlandschaft) понимаютъ сильно холмистыя пространства съ многочисленными замкнутыми котло-

Фиг. 470. — Моренный ландшафтъ у дер. Тишково. Валдайская моренная гряда.

винами и часто съ ясно выраженнымъ грядовымъ характеромъ (фиг. 470).

Въ Швеціи, какъ показалъ Гольстъ, отложенія, опредѣляющія эту форму, происходятъ какъ на счетъ нижней, такъ и поверхностныхъ моренъ, причемъ послѣднія принимаютъ значительное участіе. Верхнія морены отличаются гораздо большей рыхлостью отъ спресованныхъ основныхъ, отсутствіемъ изборожденныхъ валуновъ

и болѣе сильной степенью окисленія матеріала. Поэтому, по мнѣнію Гольста и Гейнитца правильнѣе оставить за разсматриваемой формой болѣе общее названіе мореннаго ландшафта, какъ это давно уже и установилось въ русской терминологіи *), чѣмъ названіе Grundmoränenlandschaft, какъ часто говорятъ. Если принимать классификацію моренъ, какъ это изложено нами, согласно съ постановленіемъ международной конференціи, то вполнѣ правильно и это послѣднее названіе, такъ какъ образованіе основной морены отнюдь не исключаетъ участія и матеріала поверхностныхъ моренъ.

Моренными равнинами (Moränenebene, Moränenplateau) называютъ обширныя равнинныя, слабо расчлененныя или слабо холмистыя пространства.

Расчлененіе моренныхъ равнинъ, напр., окрестностей Берлина, вызывается только системой узкихъ и неглубокихъ руселъ (Rinnen), частью дренирующихъ еще эти пространства, частью же сухихъ или занятыхъ торфяниками и озерными котловинами (Pfuhle или Sölle). У насъ наиболѣе широкое развитіе этотъ типъ имѣетъ, напр., въ верховьяхъ Днѣпра **) и на отдѣльныхъ пространствахъ въ верховьяхъ Волги. Этотъ типъ выражаетъ собою существенно вліяніе ледниковаго покрова на сглаживаніе и нивелированіе ледниковыми отложеніями первоначальныхъ неровностей мѣстности.

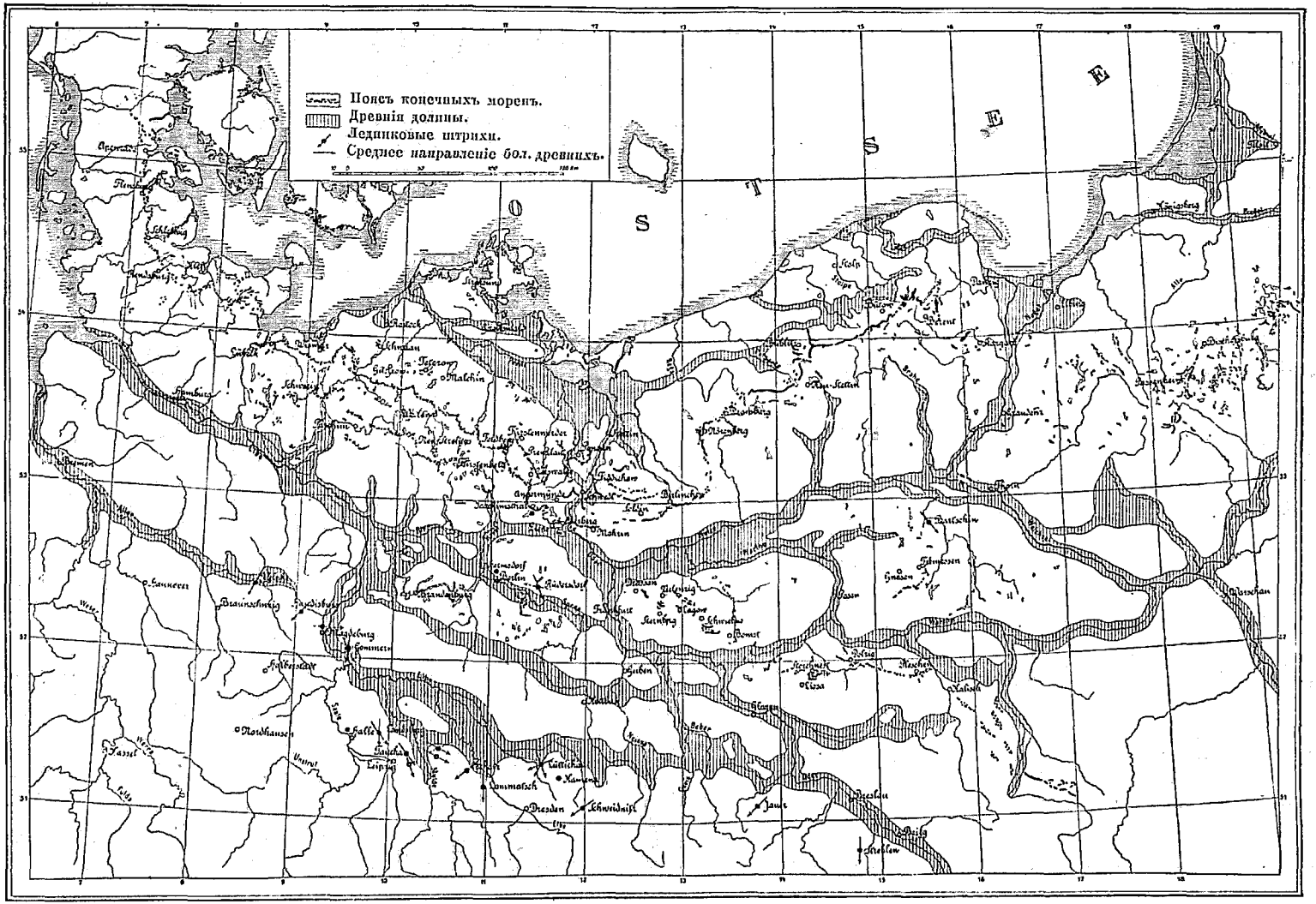
Совсѣмъ иной характеръ представляютъ сильно расчлененныя пространства мореннаго ландшафта, гдѣ на самыхъ незначительныхъ разстояніяхъ обнаруживается рѣзкая смѣна высотъ. Между безчисленными, неправильно расположенными валообразными и холмистыми поднятіями разсѣяны многочисленныя впадины, вызывающія чрезвычайно прихотливое расчлененіе поверхности. Такія впадины заняты или болѣе или менѣе значительными неправильныхъ очертаній озерами и болотами (Grundmoränensee, Rinnenseen и друг., см. дальше), или округленными торфянистыми или болотистыми озерами (Pfuhle, Sölle). Типичныя пространства этого ландшафта, напр., восточной и западной Пруссіи, въ Мекленбургѣ, Саксоніи или въ бассейнахъ Волги и З. Двины, на подробныхъ картахъ производятъ впечатлѣніе какъ бы изрѣшетенныхъ; въ нашихъ районахъ нѣтъ только такого количества озеръ среди грядъ мореннаго ландшафта, какъ въ сѣверной Германіи.

Въ Германіи область типичнаго мореннаго ландшафта сосредоточена вдоль такъ называемаго пояса балтійскихъ высотъ (baltischer Höhenrücken), протягивающагося почти на 1000 км. въ видѣ дугообразной полосы, открытой къ сѣверу, отъ Шлезвига черезъ Гольштейнъ, Мекленбургъ, Укермаркъ, Неймаркъ, Гинтерпоммернъ до Вислы и дальше къ NO (фиг. 471). Въ средней Россіи такія полосы мореннаго ландшафта образуютъ такъ называемую Алаунскую возвышенность ***), которая распадается на рядъ концентрическихъ сѣверо-восточнаго направленія грядъ мореннаго ландшафта. Западную изъ этихъ грядъ, наиболѣе рѣзко выраженную, Никитинъ предлагаетъ называть Валдайской моренной грядой; къ юго-востоку отъ нея такую же крупную роль въ рельефѣ средней Россіи имѣетъ моренная гряда Смоленско-Московская, которая можетъ

*) См., напр., С. Н. Никитинъ, Бассейнъ Волги, Тр. эксп. для изсл. источн. гл. рѣкъ Евр. Россіи, 1899, стр. 150 и слѣд.

**) С. Н. Никитинъ, Бассейнъ Днѣпра, Тр. экспед. и т. д., 1896, стр. 95 и сл.

***) Никитинъ, Бассейнъ Волги. l. c. стр. 157—158 и сл.



Фиг. 471. — Конечныя морены, древнія рѣчныя долины и распространеніе ледниковыхъ штриховъ на сѣверо-германской низменности, по Ваншаффэ.

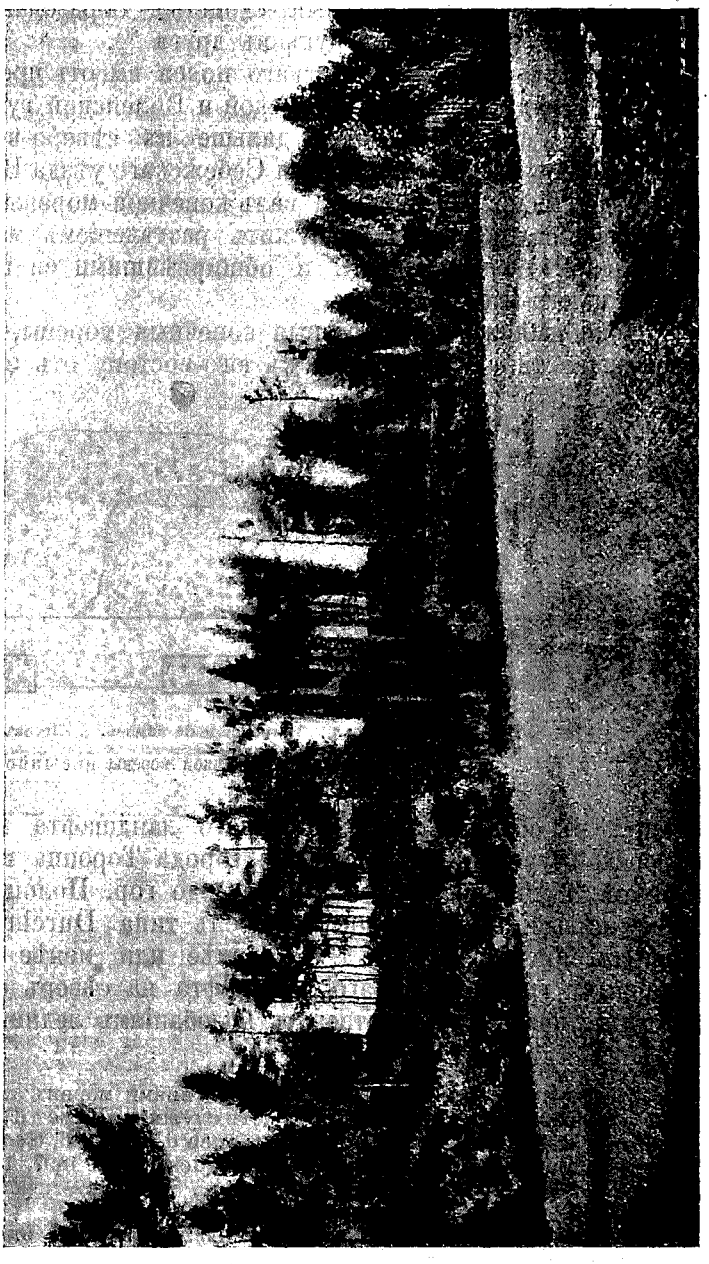
быть прослѣжена отъ Минской губ. черезъ Оршу, Вязьму, Гжатскъ, Переяславль, Ярославль, Данилово и Грязовецъ до Вологодской губ. Между этими двумя предѣльными грядами можно замѣтить цѣлый рядъ второстепенныхъ, напр., Осташковская и Вышневолоцкая. Валдайская гряда въ предѣлахъ Псковской губерніи, повидимому, развѣтвляется, посылая отпрыски къ SO; такими отпрысками являются, напр., второстепенныя полосы мореннаго ландшафта Витебско-Невельская, около гор. Великихъ Лукъ и другія. Эти второстепенныя развѣтвленія замѣтно отклоняются къ направленію NNW—SSO, а дальше на югѣ снова принимаютъ болѣе или менѣе NO—SW направленіе. Между отдѣльными грядами мореннаго ландшафта располагаются полосы озернаго ландшафта и моренныя равнины.

Гряды мореннаго ландшафта характеризуются болѣе плодородной суглинистой почвой, развитіемъ лиственныхъ и еловыхъ лѣсовъ, дающихъ плодородныя лядины; онѣ представляютъ и области наиболѣе плотнаго населенія; напротивъ моренныя равнины, въ которыя нерѣдко постепенно переходятъ полосы мореннаго ландшафта, частью являются заболоченными или покрытыми сплошными болотистыми лѣсами. Озерный ландшафтъ, напр., вдоль юго-восточнаго склона Валдайской моренной гряды озера верховій Волги и З. Двины, также озерный ландшафтъ около гор. Невеля и друг., подчиненъ развитію преимущественно флювіогляціальныхъ слоистыхъ песковъ и ихъ модификацій въ видѣ дюнныхъ и такъ называемыхъ «боровыхъ» песковъ. Характерный дюнный ландшафтъ и превосходные сосновые лѣса (боры) составляютъ обычные спутники обширныхъ озерныхъ полосъ.

Ландшафтъ конечныхъ моренъ. Какъ въ сѣверной Германіи, въ области балтійскаго пояса высотъ, такъ и въ области грядъ мореннаго ландшафта Средней Россіи можно замѣтить отдѣльныя валообразныя или хребтовидныя правильно изогнутыя полосы (фиг. 472), часто представляющія только нагроможденія валуновъ. Такія полосы давно уже были признаны за конечныя морены; въ наиболѣе типичныхъ случаяхъ (напр., Шлезвигъ-голштинскій, Мекленбургскій и Укермаркскій поясы конечныхъ моренъ) онѣ представляютъ послѣдовательныя ряды дугообразно выпуклыхъ въ сторону движенія льда валунныхъ нагроможденій, сопровождаемыхъ на внѣшней сторонѣ плоскими песчаными пространствами (зандровыми полями, Haidelandschaft, т. е. пустынный нѣкоторыхъ авторовъ), а на внутренней расчлененными группами мореннаго холмистаго ландшафта. Въ такомъ видѣ ледниковыя отложенія представляютъ и здѣсь довольно ясную серію, какъ слѣдствіе болѣе или менѣе стаціонарнаго состоянія окраины ледниковаго покрова во время его медленнаго общаго отступанія.

Поясъ сѣверо-германскихъ конечныхъ моренъ слѣдуетъ довольно правильно (см. фиг. 471) очертаніямъ Балтійскаго моря; прослѣженъ почти непрерывный сѣверный поясъ главныхъ конечныхъ моренъ, впереди котораго находятся остатки болѣе южнаго, а еще далѣе къ югу второй поясъ главныхъ моренъ; конечныя морены не связаны непремѣнно съ наибольшими высотами; онѣ протягиваются безразлично какъ по высотамъ, такъ и черезъ глубокія долины.

Далеко не всегда конечныя морены представляютъ валообразныя нагроможденія; чаще онѣ являются въ видѣ отдѣльныхъ холмовъ (Kuppen), тѣмъ не менѣе яснаго грядоваго расположенія. Такіе холмы, сложенные изъ нагроможденія валуновъ (Endmoränenkuppen), мѣстами смѣняются болѣе плоскими пространствами, сплошь усѣянными валунами только на поверхности; это такъ называемыя полосы и поля валуновъ (Geschiebestreifen, Beschüttungs — или Bestreuungsgebiete) конечно-мореннаго характера. Такія поля валуновъ легко смѣшать съ подобными же скопленіями камней (Steinsohle) отъ послѣдующей промывки основной морены; только по топографическимъ признакамъ, именно связи съ грядовыми холмами конечной морены, можно отличить первыя отъ вторыхъ.



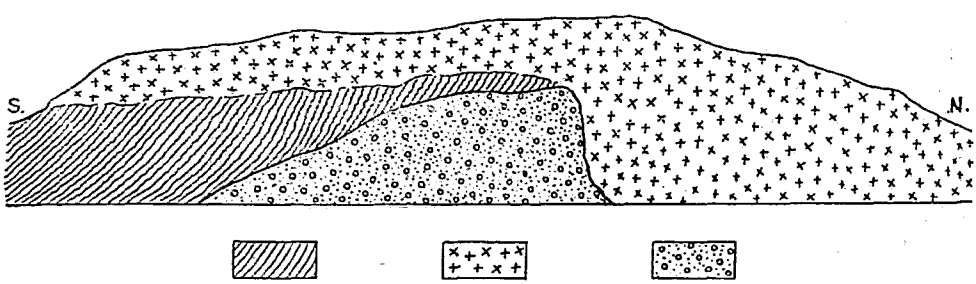
Фиг. 472. — Конечная морена около дер. Носкино въ Валдайскомъ уѣздѣ (близъ ст. Едрово Московско-Виндавской жел. дор.); высота до 12—14 саж. (по Глинкѣ).

Нагроможденіе валуновъ (Blockpackung) отнюдь не составляетъ необходимаго признака конечныхъ моренъ; рядомъ съ такими наблюдаются и валообразныя или холмистыя морены типа Durchragungen, т. е. сложенныя изъ смятыхъ, приподнятыхъ въ одну сторону частей нижнихъ ледниковыхъ отложеній, выступающихъ черезъ верхнія валунныя отложенія; это такъ называемыя морены напора (Stauoräne, по Шредеру). Если въ моренахъ перваго типа, такъ

называемыхъ насыпныхъ (Aufschüttungsmoräne), преобладаютъ нагроможденія крупныхъ валуновъ, съ подчиненными имъ количествами песка и мелкой гальки, перемежающіяся иногда валунной глиной и слоистыми отложеніями (фиг. 473), то въ моренахъ втораго типа иногда даже преобладаютъ флювіогляціальныя слоистыя образованія (фиг. 474). Тѣ и другія часто переходятъ другъ въ друга *).

Конечныя морены балтійскаго пояса высотъ прослѣжены теперь **) и въ предѣлахъ Россіи въ Ковенской и Виленской губерніяхъ (въ бассейнѣ р. Виліи) (фиг. 475). Еще дальше къ сѣверо-востоку въ верховьяхъ р. Великой и въ восточной части Себежскаго уѣзда Витебской губерніи ***) извѣстенъ ясно выраженный валъ конечной морены, которая, прихотливо изгибаясь и прерываясь, служитъ раздѣленіемъ между западной частью Алаунской возвышенности и обширнѣйшими ея пространствами на востокѣ и юго-востокѣ.

Подобныя же валообразныя конечныя морены, преимущественно насыпаннаго типа, извѣстны и къ юго-востоку отъ этой конечной морены,



Валунная глина. Нагроможденіе камней. Песокъ и хрящъ.

Фиг. 473. — Разрѣзъ конечной морены насыпного типа.

напр., въ области грядъ мореннаго ландшафта въ Торопецкомъ уѣздѣ Тверской губерніи ****). Около города Торопца и въ излучинѣ, описываемой З. Двиной отъ ея вершины до гор. Полоцка, находится повидимому цѣлый рядъ конечныхъ моренъ типа Durchragung, вытянутыхъ въ направленіи NW—SO, т. е. болѣе или менѣе поперекъ простиранія главныхъ грядъ мореннаго ландшафта на сѣверъ отсюда. Эти конечныя морены могутъ соотвѣтствовать колебаніямъ ледниковаго покрова, отсту-

*) Для ознакомленія съ различными типами моренъ сѣверо-германской низменности полезнымъ руководствомъ можетъ служить: Berendt, Keilhack, Schröder u. Wahnschaffe, Führer für die Excursionen d. Deutsch. Geol. Gesellsch. in d. nordeutsche Flachland, Jahrb. d. k. pr. geol. Landesanst. f. 1897, 1898, стр. 1—84.

**) A. Missuna, Ueber die Endmoränen von Weissrussland und Litthauen. Z. d. d. geol. Gesellsch., 1902, B. 54.

А. Миссуна, Матеріалы къ изученію ледниковыхъ отложеній Бѣлоруссіи и Литовскаго края. Мат. къ позн. геол. стр. Рос. Имп., Москва, 1902.

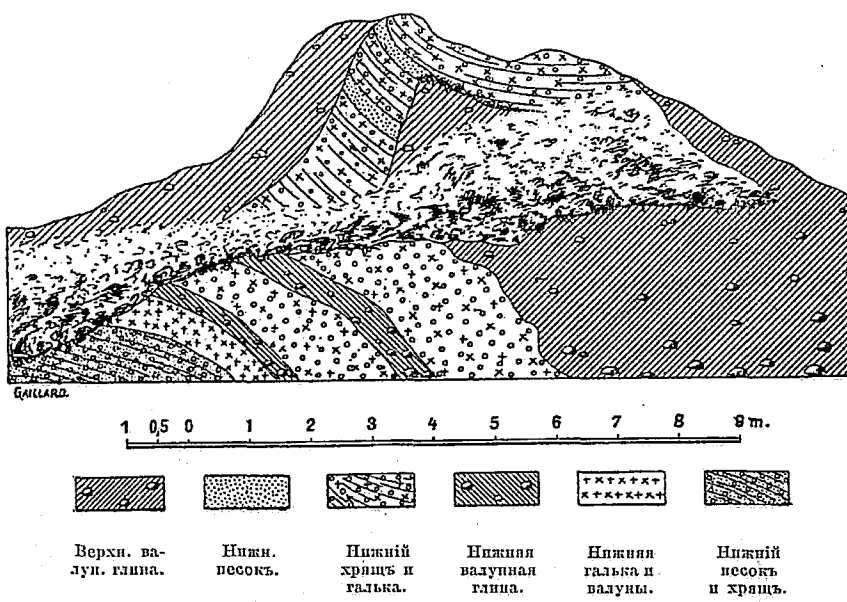
А. Миссуна, Къ геологіи Гродненской и Минской губ. Мат. для геол. Россіи. 1904, XXI, стр. 385.

***) С. Н. Никитинъ, Геол. набл. по стр. лин. Моск.-Винд. ж. д. Изв. Геол. Ком., 1898, № 7.

****) К. Глинка. Набл. въ обл. послѣтрет. отложеній сѣверо-зап. Россіи. Ежегодникъ по Геологіи, 1901, IV.

павшаго вдоль юго-восточной окраины Валдайской моренной гряды къ NO, пока болѣе быстрое сокращеніе массъ льда не проявилось окончательнымъ отступаніемъ въ направленіи къ NW (по Богдановичу).

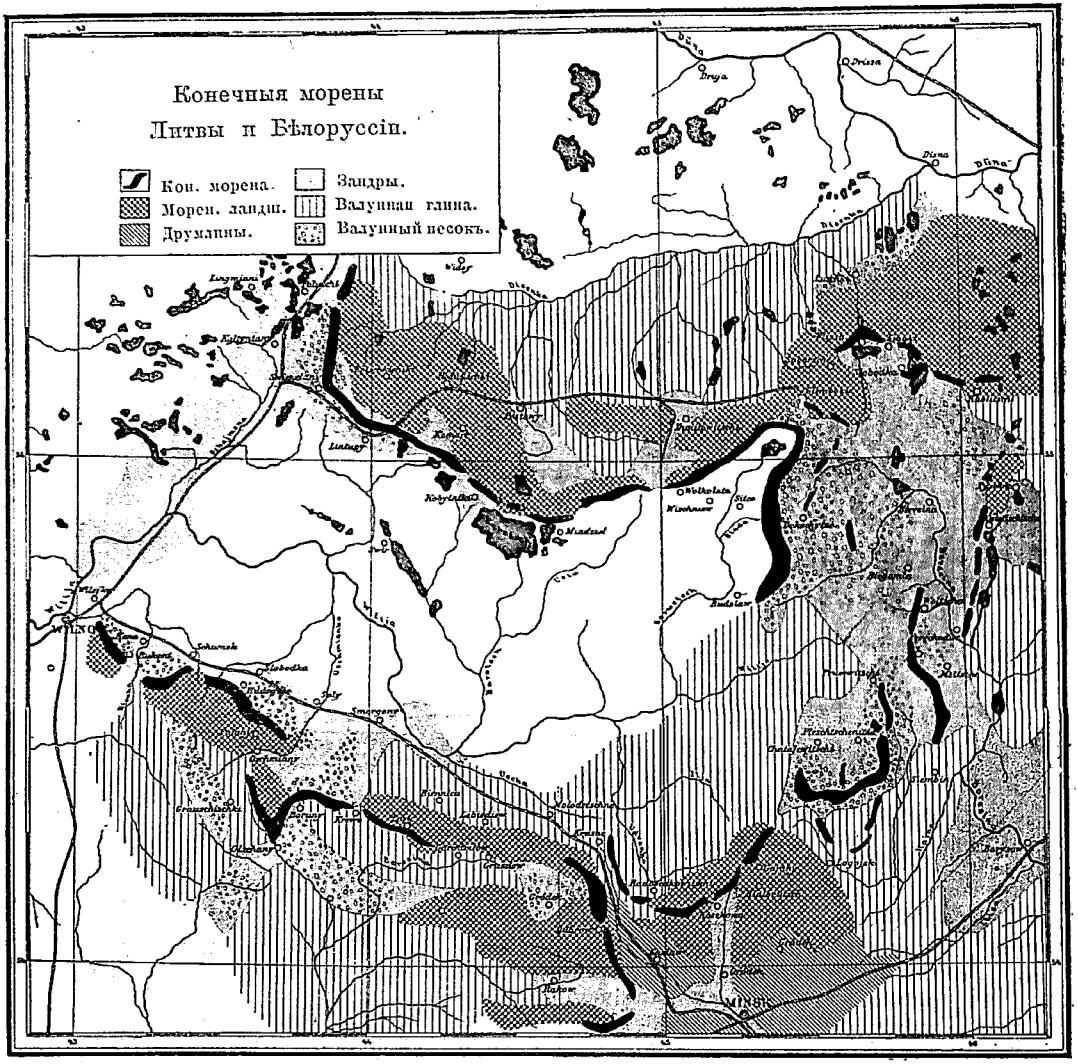
Приводя рисунокъ фиг. 475, какъ типичный для сложнаго развитія серій ледниковыхъ отложеній, мы не можемъ согласиться тѣмъ не менѣе съ объясненіями автора какъ происхожденія этихъ конечныхъ моренъ, такъ и стратиграфическихъ отношеній этихъ ледниковыхъ отложеній. Авторъ полагаетъ, что конечныя морены, окаймляющія долину р. Вилін, отложены ледникомъ, имѣвшимъ стаціонарное положеніе въ долинѣ этой рѣки, при общемъ отступленіи ледниковаго покрова къ NW. Изъ описанія автора видно, что морены имѣютъ характеръ какъ насыпныхъ, такъ и напорныхъ (Stau, Durchragung). Въ одной изъ своихъ послѣднихъ замѣтокъ нашъ безвременно скончавшійся геологъ А. О. Михальскій (Изв. Геол. Ком., XXIII, 1904, № 1, стр. 65—66, отчетъ Комитета) выразилъ основательное сомнѣніе, чтобы при отступаніи ледниковаго покрова долинообразныя вдавленности рельефа служили всегда направляющими для льда; онъ думалъ, что эти вдавленности должны были прежде всего освобождаться отъ ледянаго покрова; „весьма возможно, говоритъ онъ, что



Фиг. 474. — Разрѣзъ конечной морены типа Durchraging или моренъ напора.

участки ледника, сохранившіеся при этомъ на плоскогоріяхъ, сползали періодически въ долины и обусловливали въ долинныхъ разрѣзахъ то двукратное появленіе моренной глины", признаки котораго часто наблюдались имъ въ разрѣзахъ вдоль строющейся линіи Полоцкъ-Сѣдлецкъ. Михальскій оттѣняетъ усиленіе мореннаго ландшафта вдоль береговъ долинъ, соотвѣтствующихъ, повидимому, вдавленностямъ доледниковаго рельефа. Приведенный рисунокъ г-жи Миссуны съ такимъ же правомъ, по нашему мнѣнію, можетъ быть объясненъ согласно этимъ мѣткимъ замѣчаніямъ Михальскаго. Эти же замѣчанія показываютъ, съ какой осторожностью геологъ долженъ дѣлать заключенія на основаніи видимаго повторенія моренныхъ толщъ о повторяемости ледниковыхъ эпохъ. Далѣе намъ кажется, что г-жа Миссуна слишкомъ расширяетъ понятіе конечной морены, недостаточно оттѣняя эту форму и опредѣляемый ею ландшафтъ отъ грядъ мореннаго ландшафта. Въ этомъ отношеніи взгляды талантливаго автора примыкаютъ къ толкованіямъ американскихъ геологовъ. Дѣйствительно, нельзя не отмѣтить вообще неустойчивости признаковъ формъ того и другого ландшафта; по нашему личному мнѣнію обѣ формы можно различать лишь на значительныхъ пространствахъ и при возможности оцѣнки доледниковаго рельефа, а при изученіи отдѣльныхъ пространствъ смѣшать ихъ крайне легко. Наиболѣе надежнымъ признакомъ конечныхъ моренъ слѣдуетъ считать ихъ

валообразное распространеніе или ясно грядовое расположеніе отдѣльныхъ холмовъ какъ среди объемлющаго ихъ холмистаго пространства (которое въ такомъ случаѣ и называютъ мореннымъ ландшафтомъ), такъ и независимо отъ него. Здѣсь мы имѣемъ въ виду мѣстность около Невеля, гдѣ г-жа Миссуна говоритъ только о ландшафтѣ конечныхъ моренъ, а по нашимъ личнымъ наблюденіямъ, согласнымъ съ данными Никитина, здѣсь въ NNW направленіи вытянута широкая полоса типичнаго мореннаго ландшафта, окаймляющаго значительное пониженіе въ верхо-



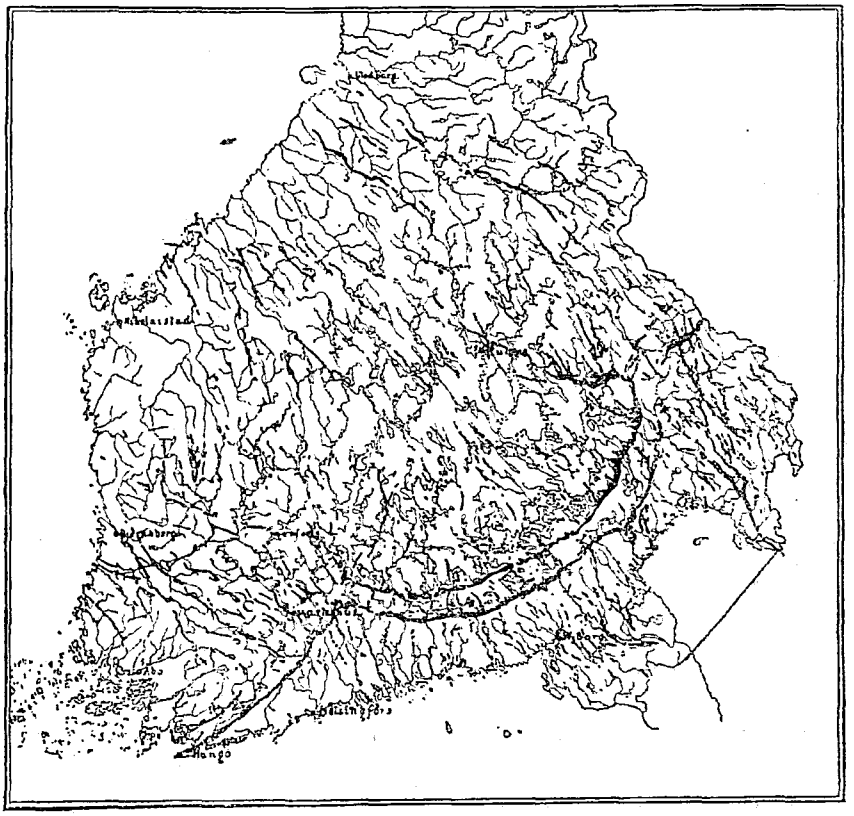
Фиг. 475. — Карта конечныхъ моренъ восточной Литвы и Бѣлоруссіи, по Миссуна.

вьяхъ р.р. Куньи и Ловати (Изв. Геол. Ком., XXIII, 1904). Вполнѣ соглашаясь съ присутствіемъ здѣсь подчиненныхъ конечныхъ моренъ, мы хотѣли бы оттѣнить только зависимость основного мореннаго ландшафта отъ условій наступанія ледниковаго покрова (вліяніе доледниковаго рельефа), а развитіе конечныхъ моренъ отъ условій отступанія, которыя могли выражаться и въ иномъ направленіи, чѣмъ наступаніе.

Въ Прибалтійскомъ краѣ, въ такъ называемой «Курляндской Швейцаріи», между рѣками Мемель и Дюна протягивается полоса мореннаго

ландшафта *) съ ясными конечными моренами на внѣшней восточной сторонѣ, сопровождаемыми зандровыми полями (моренный поясъ Тукумъ-Тальсенъ).

Но нигдѣ такъ отчетливо не выражены конечныя морены, какъ въ Финляндіи **). Здѣсь наиболѣе замѣчательной является моренная полоса Сальпаусселька, состоящая изъ двухъ дугообразныхъ частей (фиг. 476); одна протягивается отъ юго-западной оконечности Финляндіи около Гангэ



Фиг. 476. — Конечныя морены и озы Финляндіи, по Седергольму.

на Лахтисъ, а другая отсюда, окаймляя бассейнъ Сайменскихъ озеръ, протягивается дальше къ NO черезъ Вильманстрандъ, Иматру, Парикаля и уходитъ въ Карелію, загибаясь къ NNO, немного не доходя до Сердоболя. Въ разстояніи 20—30 км. къ сѣверу вторая часть этой дугообразной гряды сопровождается другой параллельной ей конечной мореной: почти отъ Тавастгуса черезъ Сайминское озеро на Нишлотъ и Іоенсу до Кай-

*) E. v. Toll, Geol. Forsch. im Geb. d. Kurl. Aa. Sitz.-ber. Naturf. Ges. Dorpat, XII. Также, Геолог. изсл. въ области системы р. Курляндск. Аа. Изв. Геол. Ком., 1897, XVI, № 5 и Предв. отчетъ объ изсл. въ обл. 13 листа лѣтомъ 1895. Изв. Геол. Ком., 1896, XV. № 5.

**) J. J. Sederholm. Les dépôts quaternaires en Finlande, Bull. de la Comm. Géol. de Finlande, № 10, 1899.

терэ. На протяженіи почти отъ станціи Симола до Лахтисъ и отсюда черезъ Рахимяки до Гангэ желѣзнодорожное полотно проложено по Сальпаусселька.

Другая замѣчательная конечная морена Финляндіи, такъ называемая Hämeenkangas, протягивается въ сѣверо-западномъ направленіи около Таммерсфорса. Вмѣстѣ съ многочисленными озами (см. дальше) конечныя морены Финляндіи имѣютъ крупное экономическое значеніе, повсюду играя роль естественныхъ превосходныхъ дорогъ. Конечныя морены Финляндіи всегда простираются перпендикулярно къ направленію изборожденности скалъ, чѣмъ отличаются отъ озовъ, всегда параллельныхъ шрамамъ.

Моренныя отложенія Финляндіи преимущественно представляются мореннымъ щебнемъ, такъ называемымъ krosstensgrus, т. е. раздробленнымъ щебнемъ. Вѣковые продукты вывѣтриванія, покрывавшіе породы Финляндіи, были удалены льдомъ и послужили матеріаломъ для валунной глины Россіи и частью Германіи; послѣ этого подъ льдомъ продолжалось медленное образованіе путемъ механическаго подледниковаго вывѣтриванія новаго матеріала, который, подвергаясь давленію, раздроблялся и далъ этотъ моренный щебень, оставшійся на мѣстѣ послѣ исчезновенія ледниковаго покрова. Если въ массѣ этого щебня заключается достаточное количество тонкаго ила, отложеніе не отличается отъ обычной валунной глины; очень плотныя разности глинистаго щебня называютъ piinmo. Преобладаніе на поверхости песчанистыхъ разностей мореннаго щебня обусловливаетъ трудность земледѣльческой культуры значительнѣйшихъ пространствъ Финляндіи.

Моренный щебень залегаетъ непосредственно на поверхности коренныхъ породъ, представляя наиболѣе древній членъ четвертичныхъ отложеній Финляндіи. Онъ преобладаетъ повсюду или даже единственно распространенъ въ высокихъ частяхъ страны, покрываясь только въ прибрежной полосѣ глинами морского происхожденія. Внутри страны, на сѣверѣ ея (Савалаксъ) и востокѣ (Карелія) отложенія мореннаго щебня расположены длинными высокими (до 10—15 м. и рѣже 30—40 м.) холмами, параллельными другъ другу и раздѣленными узкими болотистыми долинами. Вся страна въ направленіи NW—SO кажется изборожденной гигантскимъ плугомъ; въ особенности отчетливо этотъ друмлиновый (см. дальше) типъ мореннаго ландшафта проявляется, напр., на восточной границѣ Финляндіи около русской Карелiи.

Моренный щебень, промытый водой, состоящій изъ болѣе или менѣе округленныхъ галекъ, представляетъ наиболѣе распространенный типъ флювіогляціальныхъ отложеній Финляндіи, такъ называемый rullstensgrus.

Стратиграфическія отношенія ледниковыхъ отложеній сѣверной области оледенѣнія.

Въ Германіи принято раздѣлять постъ-пліоценовыя отложенія на верхній и нижній дилювій. Это раздѣленіе основано на присутствіи двухъ толщъ моренной глины, и къ нижнему дилювію относятъ всѣ тѣ слои, которые залегаютъ подъ верхней моренной глиной или ея модификаціями (Decksand, Geschiebesand). Несмотря на такое дѣленіе, вся совокупность

ледниковыхъ и экстрагляціальныхъ отложеній давно уже считалась (Ваншаффэ, Кейльгакъ) за единую серію, продуктъ одного непрерывнаго оледенѣнія, а раздѣленія признавались лишь имѣющими мѣстное значеніе, какъ слѣдствіе колебаній ледниковаго покрова.

Впослѣдствіи подъ вліяніемъ изслѣдованій въ Англіи и Альпахъ признали необходимымъ выдѣлить междуледниковую эпоху, сначала одну, а затѣмъ и двѣ. Такія подраздѣленія основываются на понятіи о междуледниковыхъ отложеніяхъ. Первоначально за междуледниковыя признавали только такіе содержащіе окаменѣлости слои, которые залегаютъ на мѣстѣ между двумя моренными толщами, а флора и фауна ихъ требуетъ для своего объясненія болѣе мягкаго климата. Теперь же, когда убѣдились, что флювіогляціальныя отложенія равнозначущи мореннымъ отложеніямъ, считаютъ, что содержащее окаменѣлости отложеніе относится къ междуледниковому времени, если оно въ висячемъ и лежачемъ бокахъ имѣетъ ледниковыя отложенія, безразлично будетъ ли это—валунная глина, образованія конечной морены и флювіогляціальныя, — лишь бы флора и фауна свидѣтельствовали о болѣе мягкомъ климатѣ и висячій бокъ не былъ отложенъ позднѣе какими-нибудь вторичными процессами (оползни, смываніе). Основываясь на такихъ изслѣдованіяхъ, сѣверо-германскій дилювій подраздѣляютъ обыкновенно слѣдующимъ образомъ снизу:

1. Доледниковое время (präglacialzeit). Морскіе и континентальные слои.

2. Первое оледенѣніе. Нижняя валунная глина и соотвѣтствующія флювіогляціальныя отложенія; ихъ модификаціи.

3. Древнее междуледниковое время. Палюдиновые слои, торфъ, прѣсноводные известняки. Іолдіевая и циприновая глины морского происхожденія.

4. Второе оледенѣніе. Вторая валунная глина и ея замѣстители. Это наиболѣе распространенная и наиболѣе мощная валунная глина, какъ остатокъ главнаго времени оледенѣнія, распространявшагося до крайнихъ южныхъ широтъ. По Гики это саксонская эпоха (Saxonian).

5. Второе междуледниковое время. Слои содержащіе окаменѣлости.

6. Третье, послѣднее оледенѣніе. Верхняя валунная глина, ея замѣстители (мекленбургская эпоха по Гики). Конечныя морены, отступленіе льда и время Dryas и Yoldia.

Вопросъ сводится къ тому, какъ понимать междуледниковое время. Одни, какъ Гелландъ, Дж. Гики, Пенкъ, полагаютъ, что это были эпохи значительной продолжительности, когда ледъ совершенно отступалъ къ сѣверу, послѣ которыхъ наступало каждый разъ новое самостоятельное оледенѣніе съ стадіями начала, наибольшаго развитія и конца. Къ этому мнѣнію, съ нѣкоторыми только ограниченіями, примыкаютъ до сихъ поръ взгляды большинства геологовъ Швеціи, Германіи, С. Америки и Россіи, напр., Де-Геера, Берендта, Ваншаффэ, Кейльгака, Upham, Чэмберлена и друг. Только въ послѣднее время Гольстъ, Вольдрихъ и Гейнитцъ, а въ Россіи давно уже Никитинъ, Чернышевъ, принимаютъ междуледниковое время только за болѣе продолжительныя фазы колебанія единаго оледенѣнія, свидѣтельствующія объ осцилляторномъ его состояніи.

Всестороняя критика основаній приведеннаго дѣленія, исполненная недавно Гейнитцемъ, показала, что это дѣленіе не имѣетъ особенно глубокаго стратиграфическаго значенія и опирается скорѣе на произвольномъ толкованіи явленій, сопровождающихъ перемѣщеніе основной морены, часто простого включенія слоистыхъ образованій среди валунной глины. Эпоха доледниковая многихъ южныхъ странъ соотвѣтствуетъ по времени ледниковой сѣверныхъ, также междуледниковое время юга синхронично ледниковому на сѣверѣ. Выраженія ледниковый, междуледниковый и экстраледниковый опредѣляютъ для сѣвера Европы не хронологическія дѣленія, а только мѣстныя фаціи.

Валунная глина перваго оледенѣнія наблюдалась до сихъ поръ только на значительной глубинѣ (напр. Рюдерсдорфъ около Берлина) и можетъ быть объяснена проникновеніемъ ледниковаго отпрыска въ древнюю долину или пониженіе, причемъ ледникъ испытывалъ неоднократныя колебанія, повременамъ совершенно освобождая долину, куда немедленно и проникали обратно животныя формы умѣреннаго типа. Здѣсь, по выраженію Гейнитца, происходила какъ бы борьба между наступающимъ льдомъ и мѣстными образованіями. Не менѣе трудно рѣшить часто, имѣемъ ли мы дѣло съ валунной глиной главной фазы оледенѣнія или послѣдней. Къ валунной глинѣ послѣдняго оледенѣнія обыкновенно и относятъ верхнюю, если наблюдаются два горизонта мореннаго покрова; чаще всего этотъ покровъ значительно слабѣе нижняго; граница его отнюдь не совпадаетъ съ линіей конечныхъ моренъ, а распространяется гораздо дальше къ западу.

Вся сумма фактовъ подтверждаетъ лишь слѣдующее.

Въ началѣ слабаго еще оледенѣнія Скандинавіи потокъ льда (древній Балтійскій потокъ, ältere baltische Eisstrom), достигшій южныхъ и юго-восточныхъ береговъ Балтійскаго моря, не былъ въ состояніи перейти черезъ высоты, окаймлявшія берега моря; постепенно, безъ всякаго перерыва во времени, по мѣрѣ возростанія степени оледенѣнія, ледъ распространялся черезъ такія препятствія, достигъ своего максимальнаго развитія и затѣмъ медленно отступалъ назадъ. Опредѣляются, слѣдовательно, три стадіи: первое оледенѣніе слабое, достигавшее только Балтійскаго побережья; второе—кульминаціонное положеніе льда и третье—снова слабое, ограничивавшееся только побережьями Балтійскаго моря. Для такихъ стадій различнаго распространенія можно, конечно, сохранить названія «оледенѣній» (Eiszeiten), но ненадо думать, что промежуточныя стадіи были междуледниковыми эпохами съ климатомъ, подобнымъ современному, и ледниками, сократившимися до положенія, подобнаго современнымъ же. Несомнѣнно, что колебанія климатическія и уровня моря (суши), которыя, быть можетъ, вызывали различныя стадіи ледниковаго времени *), распространялись широко внѣ предѣловъ оледенѣнія, какъ это свидѣтельствуетъ, напр., исторія Арало-Каспійскаго бассейна и сѣвера Россіи.

Конечныя морены свидѣтельствуютъ о продолжительномъ стаціонарномъ состояніи покрова во время его непрерывнаго отступанія; ихъ нельзя разсматривать за внѣшнія границы отдѣльныхъ оледенѣній.

Такъ называемыя междуледниковыя отложенія прѣсноводнаго характера сосредоточиваются исключительно впереди окраины ледниковаго

*) Поднятіе Скандинавіи, разломы на площади Германіи, слѣдовательно дислокація, и вліяніе давленія льда (по Гольсту)—могутъ быть существенными факторами колебаній суши.

покрова, часто въ впадинахъ первичнаго рельефа; морскія отложенія этого типа распредѣляются по заливамъ прежняго моря или его рукавамъ. Если эти отложенія перекрыты ледниковыми, то, конечно, въ этомъ нужно видѣть слѣдствіе наступанія льда или усиленія дѣятельности подледниковыхъ водъ (перекрытіе флювіогляціальными отложеніями); но отсюда еще не слѣдуетъ, чтобы во время образованія такихъ междуледниковыхъ отложеній вся страна освободилась отъ льда подъ вліяніемъ теплаго климата.

На рубежѣ третичнаго и четвертичнаго періодовъ можно предполагать общее охлажденіе климата земли, но собственно для сѣвера Германіи остатки животныхъ и растеній свидѣтельствуютъ, что климатъ тамъ въ началѣ ледниковой эпохи мало отличался отъ современнаго, скорѣе былъ даже теплѣе. Дилювіальная фауна млекопитающихъ имѣетъ смѣшанный характеръ изъ сѣверныхъ (гренландскій олень и мускусный быкъ) и болѣе южныхъ (лошадь, обыкновенный олень) формъ; животныя находили пищу на мѣстѣ, слѣдовательно климатическія условія далеко не были арктическими. Естественно, что колоссальныя массы льда, спускавшіяся съ высотъ Финноскандіи, должны были вызвать болѣе рѣзкія климатическія измѣненія въ окружающихъ странахъ и значительное пониженіе температуры на сѣверѣ Европы; но это пониженіе было уже слѣдствіемъ, а не причиной ледниковой эпохи; точно также и сокращеніе ледниковаго покрова должно было вызывать увеличивающееся согрѣваніе пространствъ, освобождаемыхъ отъ льда. Развитіе ледниковаго покрова съ его колоссальными отпрысками и рядъ колебаній суши не могли не отразиться на распредѣленіи морскихъ теченій, которыя въ свою очередь не могли не отразиться на климатическихъ колебаніяхъ. Арктическія формы, животныя и растительныя, четвертичнаго времени для сѣвера Европы являются чуждыми пришельцами, которые снова уходятъ, какъ только этому благопріятствуютъ внѣшнія условія. Въ области бореальной трансгрессіи сѣверо-востока Россіи наоборотъ формы умѣреннаго климата являются такими пришельцами, доставленными Гольфстремомъ. Присутствіе въ какихъ-либо отложеніяхъ такихъ мигрирующихъ формъ не можетъ служить доказательствомъ ни въ пользу арктическаго, ни въ пользу мягкаго климата; появленіе такихъ формъ можетъ зависѣть отъ мѣстныхъ географическихъ условій (повышеніе солености, измѣненіе теченій и т. п.).

Гейнитцъ полагаетъ, что ледниковая эпоха сама собою, безъ вмѣшательства внѣшнихъ причинъ, достигла своего конца. Если поднятіе Скандинавіи и вѣроятно связанное съ этимъ отклоненіе Гольфстрема могли вызвать мощное накопленіе льда, то первымъ же слѣдствіемъ давленія этихъ массъ льда могло быть пониженіе суши и возобновленіе теплыхъ теченій, а какъ слѣдствіе этого и начало общей убыли ледниковаго покрова. По мѣрѣ убыли льда измѣнялись неравномѣрно и условія колебанія суши, продолжавшіяся такъ до времени послѣледниковаго (см. т. I, стр. 718 и дальше—причины ледн. эпохи).

Опираясь на эти соображенія о единствѣ ледниковой эпохи, Гейнитцъ даетъ слѣдующую таблицу исторіи развитія ледниковой эпохи.

1. Постпліоценовое поднятіе Скандинавской столовой страны. Материковое соединеніе въ нѣсколькихъ мѣстахъ между Германіей и Скандинавіей, частью даже южной Англіей. Возрастаніе ледниковъ, наступаніе ихъ и сліяніе въ одинъ внутренній ледниковый покровъ; развитіе древняго балтійскаго и норвежскаго потоковъ льда.

Доледниковое время (präglacial).

2. Отламываніе ледяныхъ массъ въ Атлантическомъ океанѣ и Балтійскомъ морѣ, развитіе пака, частью плавающихъ ледяныхъ массъ? Частью трансгрессія моря на берегахъ Нѣмецкаго моря, морскія бухты въ долинахъ Эльбы и Вислы. Климатическія условія по берегамъ Нѣмецкаго моря и южнымъ Балтійскаго умѣренныя, мѣстами арктическія; холодныя теченія и плавающій ледъ вызываютъ переселеніе арктической морской фауны къ югу. На континентѣ растительность частью арктическаго характера, но моллюски современнаго характера; мамонтъ въ южной Швеціи и Даніи.

Въ тоже время на югѣ доледниковые галечники, мягкій климатъ (Melanopsis, Litoglyphus), образованіе туфовъ, торфа; человѣкъ.

Первая фаза оледенѣнія (первое оледенѣніе и первое междуледниковое время).

3. Главная масса льда распространяется черезъ Балтійское море, достигаетъ сѣверной Германіи или сплошнымъ покровомъ, или отдѣльными потоками, въ особенности по бухтамъ доледниковыхъ долинъ; колебанія такихъ отпрысковъ, соединеніе ихъ. Въ средней и западной Германіи (сѣверной)—одинъ „балтійскій потокъ". Направленіе бороздъ вслѣдствіе мѣстныхъ причинъ весьма непостоянное.

Образованіе доледниковыхъ или древне-ледниковыхъ, содержащихъ окаменѣлости, слоевъ продолжается. Мѣстами происходитъ вклиниваніе ледяныхъ массъ въ морскіе слои; мѣстами происходитъ полное нарушеніе такихъ слоевъ.

Колебанія ледниковъ вызываютъ многократныя чередованія моренныхъ и флювіогляціальныхъ отложеній. Въ болѣе значительныхъ бассейнахъ отлагаются слои арктическихъ глинъ.

Подледниковыя воды отлагаютъ значительныя массы песковъ, заполняя всѣ пониженія; частью происходитъ образованіе различныхъ экстрагляціальныхъ прѣсноводныхъ отложеній. Флора и фауна преобладаетъ еще умѣренныхъ типовъ, но съ примѣсью пришельцевъ съ сѣвера. Рѣки отлагаютъ палюдиновые и вальватовые слои мѣстами на валунной глинѣ, чаще на флювіогляціальномъ галечникѣ.

Фаза наибольшаго оледенѣнія (второе оледенѣніе).

4. Наступленіе льда достигло кульминаціоннаго положенія (Голландія, Саксонія, Силезія, средняя Россія). Таяніе льдовъ и осадки служатъ причиной значительнаго увеличенія водъ (крупная эрозіонная и отлагающая работа горныхъ рѣкъ, развитіе озерныхъ бассейновъ, арало-каспійская трансгрессія *).

Флора и фауна смѣшаннаго характера; пещерные человѣкъ и животныя.

Фаза медленнаго отступанія льда (такъ наз. вторая междуледниковая эпоха).

5a. Въ послѣдующій очень продолжительный промежутокъ времени окраина льда, испытывающаго неизмѣнное давленіе съ сѣвера, постепенно отступаетъ назадъ; образованіе конечныхъ моренъ; постепенно отступаетъ къ сѣверу арктическая флора и фауна. Климатъ нѣсколько мягче современнаго. Мамонтъ мигрируетъ къ сѣверу, заходя и на ледъ; къ сѣверу распространяется и человѣкъ.

5b. Въ мѣстахъ, освободившихся отъ льда, развиваются зандровыя поля, глинистыя отложенія; въ озерныхъ бассейнахъ и рѣчныхъ долинахъ, положеніе которыхъ сохранилось до сихъ поръ, образованіе торфяниковъ. На югѣ начинается образованіе лёсса **).

5c. Случайныя наступанія льда или расширеніе флювіогляціальныхъ отложеній; зандры, торфяники покрываются моренными отложеніями или модификаціями ихъ (Geschiebesand); мѣстныя нарушенія залеганія.

Вторая балтійская фаза оледенѣнія (болѣе новый балтійскій потокъ льда, или третье оледенѣніе).

6. Дальнѣйшее отступленіе края льда. Образованіе конечныхъ моренъ балтійскаго пояса высотъ; ряды ихъ свидѣтельствуютъ о продолжительныхъ стаціонарныхъ состояніяхъ.

Вдоль окраины льда продолжаются явленія нарушенія залеганія, образованіе

---

*) Сравн. схему развитія бассейновъ Чернаго и Каспійскаго моря по Соколову, стр. 520.

**) Сравн. схему на стр. 520.

мѣстныхъ моренъ, развитіе мореннаго ландшафта, друмлиновъ, озъ и т. д.; отложеніе флювіогляціальныхъ образованій.

Морскія и солоноватыя отложенія въ балтійской области, которыя при мѣстныхъ колебаніяхъ льда покрываются позднѣе еще разъ диловіемъ. На югѣ образованіе лёсса, степная фауна.

Поздне—или послѣледниковое время.

7a. Послѣдняя стадія оледенѣнія—ледъ сократился до Скандинавіи; въ Балтійское море продолжаютъ отламываться только отдѣльные айсберги, объусловливая отложеніе мариногляціальныхъ осадковъ и различнаго рода нарушенія залеганія. Морскія отложенія въ Балтійскомъ морѣ могутъ отсутствовать.

7b. Колебанія уровня моря (вслѣдствіе, быть можетъ, уменьшенія нагрузки при сокращеніи ледянаго покрова): позднеледниковое Іолдіевое море съ открытымъ сообщеніемъ на востокъ; затѣмъ Анциловое озеро (при соединеніи Скандинавіи съ Германіей) и снова пониженіе—Литориновое море и соединеніе съ Нѣмецкимъ моремъ. Дальнѣйшее сокращеніе ледниковъ въ Скандинавіи.

Аллювій и современная фаза Скандинавскаго оледенѣнія.

8a. Колебанія уровня прекращаются въ сѣверной части Балтійскаго моря; современное опусканіе въ Нѣмецкомъ морѣ.

8b. Измѣненіе климата и образованіе торфяниковъ; окончательное современное распредѣленіе суши, воды и льда. Обнаруживается вліяніе на животный міръ человѣка, въ свою очередь подчиняющагося вліянію болѣе культурнаго человѣка южныхъ странъ.

Вопросъ о значеніи междуледниковыхъ эпохъ сводится къ объясненію характера фауны и флоры въ слояхъ, заключающихъ такіе остатки, и способа отложенія такихъ слоевъ.

Защитники единства ледниковой эпохи указываютъ не безъ основанія, что въ настоящее время флора и фауна распространяется до самой окраины льда, напр., ледника Малыгина, и при колебаніяхъ этого ледника моренныя отложенія могутъ покрыть образованія, заключающія органическіе остатки. Труднѣе отвѣтить на вопросъ объ измѣненіяхъ фауны и флоры въ теченіе ледниковой эпохи и въ особенности о сопоставленіи другъ съ другомъ такихъ отложеній, содержащихъ окаменѣлости.

Если исключить вопросъ о значеніи междуледниковыхъ эпохъ, то съ приведенной схемой Гейнитца вполнѣ согласуются данныя о стратиграфическихъ отношеніяхъ ледниковыхъ отложеній Россіи и Финляндіи. На пространствѣ всей средней Россіи мы имѣемъ одну моренную глину, которая съ подстилающими и покрывающими ее образованіями представляетъ продукты единаго оледенѣнія *). Моренный покровъ средней Россіи можетъ быть сопоставленъ только съ мореннымъ покровомъ фазы наибольшаго оледенѣнія (второго по обычному дѣленію до сихъ поръ). Для цѣлей картографическихъ принято отмѣчать моренную глину знакомъ Q_1^b. а ея модификаціи и осадокъ конца оледенѣнія, когда воды въ особенности уносили тонкій глинистый матеріалъ, оставляя неслоистые (или слабо слоистые) валунные пески, знакомъ Q_1^c (такъ называемые верхневалунные пески); наконецъ, такъ называемый нижневалунный песокъ (Q_1^a) — слоистый сортированный песокъ и галечникъ съ валунами представляетъ флювіогляціальный осадокъ той же фазы оледенѣнія. Эти три члена ледниковыхъ отложеній нужно понимать, слѣдовательно, какъ фаціи единой группы отложеній. Повсюду почти къ нимъ присоединяются и отложенія экстрагляціальныя (часто доледниковыя)—озерныя, рѣчныя, торфъ.

Само собою разумѣется, что во время отступанія льда, могли происходить на востокъ отъ его окраины отложенія, содержащія остатки флоры и фауны болѣе умѣреннаго климата, чѣмъ для времени полнаго развитія льда Такія отложенія часто **)

---

*) С. Никитинъ, Послѣтретичныя отложенія Германіи и ихъ отношеніе къ соотвѣтственнымъ образованіямъ Россіи. Изв. Геол. Ком., 1886, № 3—4.

S. Nikitin (et T. Tschernychoff), Sur la constitution des dépôts quaternaires en Russie. Cong. intern. d'Archéologie, T. I, 1892.

**) Криштафовичъ, главнѣйшіе результаты изученія послѣтретичн. обр. Цент. Россіи. Тр. СПБ. Общ. Естеств., т. XXII, вып. 2.

Послѣтрет. образованія въ окрестн. Н. Александріи, Зап. Н. Алек. Инст. С. Хоз. и Лѣс., т. IX. 1896. и рядъ другихъ статей. Авторъ является убѣжденнымъ сторонникомъ нѣсколькихъ оледенѣній и приводитъ много очень интересныхъ и поучительныхъ разрѣзовъ.

принимаютъ за междуледниковыя, хотя доказательствъ двухъ оледенѣній здѣсь нѣтъ, а наибольшее, если временныя колебанія окраины льда.

Среднерусскій типъ ледниковыхъ отложеній продолжается и къ западу въ предѣлы Минской, Виленской и Гродненской губерній, но чѣмъ дальше на западъ, тѣмъ опредѣленнѣе развивается типъ Литовско-Польскій; этотъ типъ ледниковыхъ отложеній характеризуется присутствіемъ верхней моренной глины (третьяго или послѣдняго оледенѣнія, какъ принимаютъ обыкновенно). Несомнѣнно, что тамъ мы встрѣчаемся съ верхнимъ дилювіемъ Германіи и конечными моренами послѣдней фазы оледенѣнія. Восточный предѣлъ этихъ конечныхъ моренъ указывается Никитинымъ въ Псковской губерніи, а Миссуна проводитъ эту границу дальше на западѣ именно въ области Витебско-Невельскаго мореннаго ландшафта (см. стр. 846). Тутковскій *) указываетъ развитіе въ южномъ Полѣсьѣ (въ сѣв. уѣздахъ Волынской, Кіевской и смежныхъ частяхъ Гродненской и Минской губ.) конечныхъ моренъ перваго оледенѣнія (саксонской фазы, т. е. второго Германіи). Въ области средней Россіи верхній дилювій представленъ прѣсноводными образованіями съ остатками мамонта и носорога.

Съ юга среднерусская область окаймляется по границѣ распространенія эрратическихъ валуновъ, напр. по среднему теченію Днѣпра, областями развитія рядомъ съ валунной глиной мощныхъ прѣсноводныхъ отложеній и лёсса, который къ югу вытѣсняетъ всѣ другія отложенія; лёссъ подстилается прѣсноводными озерными и рѣчными отложеніями **).

Для Финляндіи, Колы, Олонецкаго и Архангельскаго края Рамзай и Седергольмъ принимаютъ двѣ фазы оледенѣнія, оставившія изборожденность неодинаковаго направленія и мѣстами двѣ моренныя толщи. Главная масса ледниковыхъ отложеній Финляндіи относится по Седергольму къ той эпохѣ, когда край льда простирался отъ Архангельска до предѣловъ Польши; онъ называетъ эту эпоху вторымъ оледенѣніемъ, и считаетъ Сальпаусселька за конечную морену стаціонарнаго состоянія при отступаніи льда этой эпохи. Нѣтъ никакихъ основаній, слѣдовательно, не предполагать и значительно большаго распространенія льда въ эту эпоху, т. е. не сравнивать моренный покровъ Финляндіи съ такимъ же покровомъ средней Россіи.

Рамзай ***) для Кольскаго полуострова принимаетъ эпоху наибольшаго оледенѣнія одновременной съ максимальнымъ развитіемъ мореннаго покрова на востокъ и югъ (саксонская эпоха Гики). Вторая соотвѣтствуетъ послѣднему значительному оледенѣнію Скандинавіи и Балтійскаго края (т. е. третьему оледенѣнію или мекленбургской эпохѣ Гики); это оледенѣніе распространялось и на такъ называемую область малыхъ озеръ Россіи (т. е. на Валдайскую моренную гряду, см. т. I, фиг. 705 на стр. 720). Сальпаусселька и ея продолженіе показываютъ стаціонарное состояніе въ концѣ этого оледенѣнія. Отложенія сѣверной (бореальной) трансгрессіи Рамзай относитъ къ междуледниковой эпохѣ, указывая залеганіе ихъ на нижней моренной толщѣ. По Чернышеву осадки, покрывающіе трансгрессирующіе слои, не относятся къ мореннымъ, и время трансгрессіи онъ синхронизируетъ послѣледниковому. Наблюденія Амалицкаго снова подтверждаютъ однако мнѣніе Рамзая.

Воллосовичъ ****) также доказываетъ въ нижнемъ теченіи С. Двины и по р. Пинегѣ двѣ морены, соотвѣтствующія двумъ большимъ оледенѣніямъ; междуледниковыя отложенія представляютъ морскія образованія (трансгрессіи), песчано-глинистыя и арктическія глины (съ Yoldia arctica, Cardium edule и друг.).

Для Финляндіи и крайняго сѣвера Россіи, если подтвердятся данныя Воллосовича о двухъ трансгрессіяхъ въ теченіе ледниковой эпохи, раздѣленныхъ поднятіемъ суши, фазы оледенѣнія дѣйствительно пріобрѣтаютъ характеръ болѣе самостоятельныхъ оледенѣній или, по крайней мѣрѣ, междуледниковое время пріобрѣтаетъ характеръ уже цѣлой эпохи, а не только фазы колебанія ледниковаго покрова.

Наконецъ, де-Гееръ, принимая также два оледенѣнія для Финноскандіи, къ послѣднему относитъ Сальпаусселька, но границу этого оледенѣнія проводитъ иначе чѣмъ Рамзай, именно отъ балтійскаго пояса высотъ черезъ Прибалтійскій край на Сальпаусселька, слѣдовательно значительно западнѣе. Де-Гееръ считаетъ конечныя морены сѣверной Германіи и Финляндіи за одновременныя и представляю-

---

*) Тутковскій, Конечныя морены, валунныя полосы и озы южнаго Полѣсья. Зап. Кіев. Общ. Ест., XXVII, вып. 1, 1901.

**) Тутковскій, Къ вопросу о способѣ образов. лёсса. Землевѣдѣніе, 1899.
Н. Армашевскій, О происхожденіи лёсса. Тр. Геол. Ком., т. XV, в. 1, 1903.

***) W. Ramsay, Ueber die geol. Entwickelung der Halbinsel Kola in der Quartärzeit. Fennia, 16, 1. 1898.

****) К. Воллосовичъ, Замѣтка о постпліоценѣ въ нижнемъ теченіи С. Двины. Мат. для геол. Россіи, XX, 1900.

щія предѣлъ распространенія послѣдняго (третьяго для всей сѣверной области) оледенѣнія.

Нужно замѣтить, что для Скандинавіи де-Гееръ и другіе различаютъ двѣ моренныхъ толщи часто на основаніи петрографическаго различія между верхней и нижней. Гольстъ указываетъ, что такое различіе можетъ зависѣть отъ образованія моренной толщи, при стаиваніи ледника на мѣстѣ, на счетъ нижней морены и также внутренней и даже верхнихъ ледниковаго покрова. Также мало доказательнымъ является и различіе валуновъ въ моренныхъ покровахъ „нижнемъ“ и „верхнемъ“; несомнѣнно, что валуны нижней относятся къ породамъ мѣстнымъ, а валуны верхней въ силу самаго процесса накопленія основной морены—къ породамъ болѣе отдаленныхъ мѣстонахожденій.

Наиболѣе дробное подраздѣленіе ледниковыхъ отложеній сѣверной области оледѣненія было предложено для Англіи и Ирландіи. Скандинавскій ледниковый покровъ достигалъ только до южной окраины страны, приблизительно къ востоку отъ Лондона; вся остальная часть Англіи, включая Шотландію и Ирландію, представляла самостоятельную область оледенѣнія; какъ показываютъ ледниковыя борозды, ледъ распространялся отъ этого покрова радіально, оставивъ слѣды механической обработки и отложенія на высотахъ до 1000 м., заполнивъ проливъ между Англіей и Ирландіей и достигая дальше до Гебридскихъ и Оркнейскихъ острововъ. Въ общемъ ледниковыя отложенія Великобританіи весьма похожи на ледниковыя образованія Скандинавіи и континента; они состоятъ изъ валунной глины (boulder clay, till) и слоистыхъ песковъ и галечника. Особенный интересъ представляютъ слои такъ называемыхъ forest beds, залегающіе непосредственно на пліоценовомъ крагѣ; это образованія прѣсноводныя и въ эстуаріяхъ съ фауной и флорой теплаго климата. Крагъ заключаетъ остатки моллюсковъ сѣвернаго типа, а выше слоевъ forest beds снова слѣдуютъ отложенія съ арктической флорой и фауной. Гики относитъ forest beds къ ледниковымъ, приравнивая ихъ по времени отложеніямъ Саксоніанъ, т. е. второго оледенѣнія; остальныя отложенія онъ дѣлитъ на послѣдовательный рядъ ледниковыхъ и междуледниковыхъ, опираясь преимущественно на различіе между моренами *).

Сложность стратиграфическихъ отношеній различныхъ ледниковыхъ отложеній понятна, если припомнить, что какъ наступаніе, такъ и сокращеніе ледниковаго покрова неизбѣжно сопровождались колебаніями, которыя могли распространяться на значительныя пространства около края льда. Сложность комплекса ледниковыхъ образованій при каждомъ временномъ увеличеніи или уменьшеніи его, зависимость ихъ взаимнаго положенія отъ топографіи мѣстности — все это факторы, которые обыкновенно возстановить теперь трудно, но которые заставляютъ съ тѣмъ большей осторожностью относится къ синхронизаціи отдѣльныхъ фазъ жизни ледниковаго покрова на различныхъ удаленныхъ другъ отъ друга его концахъ.

Остается коснуться еще вопроса о переходѣ льда черезъ моря, окружавшія Финноскандію. Какъ показалъ Дригальскій изслѣдованіемъ айсберговъ отъ ледяныхъ потоковъ Гренландіи, ледъ распространяется непосредственно по дну моря до тѣхъ поръ, пока глубина моря не сдѣлается въ четыре или пять разъ больше высоты края льда надъ уровнемъ воды. Ледъ мощностью въ 400—500 м. начинаетъ давать айсберги только при глубинѣ моря около 400—500 м. По даннымъ Стенструпа отношеніе между частями айсберга подъ водою и надъ водою можетъ достигать даже 8 : 1, но это относится только къ трещиноватой массѣ льда, а не однородной, какою является ледъ внутреннихъ покрововъ. Слѣдовательно, для возможности перехода льда черезъ мелководное Балтійское море (наибольшая глубина котораго около 200 м.) нѣтъ надоб-

*) James Geikie, Glacial Succession in Europe. Journ. of Geology, Chicago, 1895, III и Trans. Roy. Soc. Edinb, 1893, 37. Также The great ice Age. 1895.

ности предполагать даже особенной мощности льда, спускавшагося съ высотъ Финноскандіи. Что касается Нѣмецкаго моря, то по мнѣнію, напр. Сэльсбёри *), оно было заполнено скорѣе плотными массами пака, который соединялъ Скандинавскій покровъ съ самостоятельнымъ покровомъ Великобританіи. Это мнѣніе опирается на предположеніе Гики, что Великобританія была даже понижена въ эпоху великаго оледенѣнія. Антарктическія изслѣдованія показываютъ возможность распространенія огромныхъ массъ сплошного льда отъ внутренняго покрова по поверхности моря даже весьма значительной глубины. Явленія дрифта, т. е. вліянія плавающаго льда, безспорно имѣли мѣсто при распространеніи ледниковаго покрова и могутъ многое объяснить въ характерѣ морскихъ отложеній постпліоцена **).

Синхронизація оледенѣній Альпъ съ фазами скандинаво-русскаго оледенѣнія остается открытой, какъ показываетъ и самая терминологія Пенка, предлагающаго мѣстныя названія для отдѣльныхъ оледенѣній. По мнѣнію Гейнитца, отрицающаго вліяніе общихъ (космическихъ или физическихъ) причинъ ледниковой эпохи, время главнаго оледенѣнія Альпъ должно было наступить въ теченіе или послѣ главной фазы (саксонской) сѣверной Германіи, когда естественнымъ послѣдствіемъ распространенія массъ льда на сѣверѣ было повышеніе осадковъ въ горныхъ системахъ Европы. Такъ какъ значительнѣйшая часть осадковъ выпадала все-таки въ видѣ дождя, то въ связи съ оледенѣніемъ сѣвера является сильная эрозія и отложеніе аллювіальныхъ осадковъ рѣками того времени. Несомнѣнно, что всѣ климатическія колебанія должны были отражаться гораздо быстрѣе и рѣзче на наступаніи или отступаніи Альпійскихъ ледниковъ, чѣмъ отпрысковъ скандинаво-русскаго ледниковаго покрова; слѣдовательно, точная параллелизація нѣсколькихъ оледенѣній Альпъ съ фазами сѣвернаго оледенѣнія едва ли вообще возможна.

Происхожденіе различныхъ формъ поверхности, опредѣляемыхъ ледниковыми отложеніями.

Моренный ландшафтъ и моренная равнина. Можно считать прочно установленнымъ, что отложеніе матеріала, перемѣщаемаго ледникомъ въ видѣ нижней морены, происходитъ въ теченіе всего покрытія льдомъ какого-нибудь пространства отъ начала до конца, а не только при отступаніи ледника или его стаціонарномъ состояніи. Далѣе, также несомнѣнно, что нѣтъ никакой разницы между ледниковыми отложеніями моренныхъ равнинъ и наиболѣе даже типичныхъ моренныхъ ландшафтовъ; породы, опредѣляющія ту и другую форму рельефа, генетически тождественны.

Моренный ландшафтъ пояса балтійскихъ высотъ (baltische Höhenrücken) окаймляетъ южное побережье Балтійскаго моря съ такимъ постоянствомъ,

---

*) Salisbury, Salient points concerning the glacial Geology of N.-Greenland. Journ. of Geol., Chicago, 1896, 4.

**) Защитникомъ теоріи дрифта для объясненія ледниковыхъ явленій сѣвера Европы во всемъ объемѣ является въ настоящее время только Lindwall: The glacial Period, 1891, и другія работы до 1898 г. Подобные же взгляды высказывалъ и Трауттшольдъ, Gletscher in Russland. Bull. de la Soc. Imp. des natural. de Moscou, 1892, № 3.

что необходимо предполагать генетическую зависимость этого пояса отъ берега Балтійской впадины. Гряды мореннаго ландшафта Средней Россіи имѣютъ своимъ ядромъ, какъ это превосходно выяснено Никитинымъ, выступы коренныхъ породъ; эти гряды расположены вдоль ступеньчатыхъ границъ между геологическими системами и ихъ отдѣльными ярусами. Хотя возстановленіе доледниковаго рельефа Средней Россіи едва ли возможно, хотя болѣе, чѣмъ вѣроятно, что этотъ рельефъ, какъ продуктъ неизмѣримо продолжительной эрозіи, долженъ былъ приближаться къ типу пенепленъ, но тѣсная топографическая связь грядъ мореннаго ландшафта съ границами налеганія, послѣдовательно къ SO выступающихъ, болѣе новыхъ геологическихъ образованій заставляетъ предполагать и здѣсь генетическую зависимость.

Валдайская гряда мореннаго ландшафта слѣдуетъ вдоль границы девона съ нижнимъ ярусомъ угленосныхъ глинъ каменноугольной системы. Осташковская гряда протягивается вдоль западной границы распространенія нижняго яруса продуктусоваго известняка. Вышневолоцкая гряда соотвѣтствуетъ простиранію выходовъ известняковъ Серпуховскаго яруса каменноугольной системы *). Труднѣе объяснить положеніе грядъ мореннаго ландшафта NW простиранія, напр., Витебско-Невельской; хотя возможно, что такія гряды представляютъ развѣтвленія главныхъ въ зависимости отъ мѣстныхъ поднятій доледниковаго рельефа (см. стр. 846); такъ Витебско-Невельская гряда окаймляетъ съ юга замѣтное пониженіе бассейновъ рѣкъ Куньи и Ловати.

Какъ вдоль южнаго побережья Балтики, такъ и здѣсь можно предполагать, что полосы мореннаго ландшафта располагаются по линіямъ наибольшаго сопротивленія ледниковаго ложа поступательному движенію ледника (Ваншаффэ, Никитинъ); присутствіе доледниковаго рельефа мѣстами доказано и для пояса Балтійскихъ высотъ (Ваншаффэ, Гейнитцъ, Кейльгакъ). Ледниковый покровъ, расплывавшійся на южные и западные берега Балтики послѣ перехода черезъ это пониженіе, долженъ былъ обнаруживать значительное уменьшеніе скорости движенія, вслѣдствіе встрѣчаемыхъ неблагопріятныхъ условій стока; при поднятіи на южную окраину впадины ледъ долженъ былъ оставлять весь тотъ матеріалъ, который онъ перемѣщалъ до того; гдѣ происходило наибольшее замедленіе движенія, тамъ и отлагались наибольшія количества ледниковаго матеріала. Ваншаффэ **) и Никитинъ ***), объясняя накопленіе матеріала моренныхъ ландшафтовъ при ослабленіи транспортирующей силы льда подъ вліяніемъ перехода черезъ пониженіе и перехода черезъ поясы доледниковаго рельефа, указываютъ въ то же время на явленія смятія, смѣщенія, раздробленія верхнихъ горизонтовъ какъ древнихъ коренныхъ породъ, такъ и отложеній ледниковыхъ; усиленное накопленіе и наиболѣе значительное смятіе подлежащихъ и отлагающихся породъ происходятъ одновременно, такъ какъ ледъ не теряетъ своей способности къ движенію, а затрудняются лишь условія его стока. Отъ прихотливости и случайности распредѣленія такихъ условій зависятъ и всѣ мѣстныя явленія смятія и напора, но они должны сосредоточиваться въ предѣлахъ полосы мореннаго ландшафта. Отъ разнообразія условій стока зависитъ и неравномѣрность отложенія матеріала, возможность холмистыхъ формъ.

*) С. Никитинъ, Бассейнъ Волги, стр. 154—156.
**) Die Ursachen etc., стр. 133 и 135—136.
***) Бассейнъ Волги, стр. 152 и 154.

По такому представленію моренный ландшафтъ есть накопленіе матеріала подъ льдомъ; также подъ льдомъ въ теченіе всей жизни покрова происходило отложеніе матеріала, давшаго и форму моренной равнины. Почему въ одномъ случаѣ «моренный покровъ» развивается въ сильно холмистыхъ формахъ, а въ другомъ въ равнинной, едва ли можно объяснить, ограничиваясь разсмотрѣніемъ только явленій наступанія и вліянія древняго рельефа на условія стока льда.

Постоянная связь между мореннымъ ландшафтомъ и конечными моренами заставляетъ искать генетическую связь и между этими формами. Почему край ледниковаго покрова испытывалъ въ области теперешняго мореннаго ландшафта особенно частыя и продолжительныя остановки и колебанія, вызвавшія образованіе различныхъ формъ конечныхъ моренъ? Тамъ, гдѣ мы видимъ моренныя равнины, тонкій сравнительно покровъ ледниковыхъ отложеній заставляетъ допускать быстрое отступаніе льда и незначительное приращеніе матеріала, накопившагося уже подъ льдомъ, новымъ матеріаломъ, остававшимся при стаиваніи льда на мѣстѣ. Кейльгакъ и Берендтъ допускаютъ даже вліяніе болѣе низкой средней температуры въ области пояса балтійскихъ высотъ, чтобы объяснить связь конечныхъ моренъ съ грядами мореннаго ландшафта. Ваншаффэ категорически говоритъ, что задерживающая сила пояса высотъ вызывала тамъ продолжительную остановку льда и колебанія его края; но это ясно при наступаніи льда, а въ пользу такого вліянія при его отступаніи ни у Ваншаффэ, ни у Никитина мы не находимъ достаточныхъ объясненій.

Шрёдеръ высказывается за вѣроятность возникновенія формъ мореннаго ландшафта подъ льдомъ, но во время медленнаго отступанія и при колебаніяхъ льда. Кейльгакъ считаетъ главнымъ факторомъ напорную и сжимающую односторонную силу, при многократныхъ наступаніяхъ края льда, причемъ каждый разъ край ледника занималъ новое положеніе; слѣдовательно, по этому представленію образованіе и моделировка формъ мореннаго ландшафта происходитъ впереди края льда, а не подъ льдомъ.

Это разногласіе приводитъ къ вопросу, насколько дѣйствительно могутъ возникать и сохраняться подъ льдомъ холмистыя формы рельефа. Ваншаффэ, Никитинъ, Тэрръ (Tarr), Чэмберленъ высказываются за возможность сохраненія, отнюдь не считая необходимымъ, чтобы ледъ при дальнѣйшемъ движеніи выравнивалъ всѣ неровности, созданныя неравномѣрнымъ холмистымъ отложеніемъ матеріала. Мы уже видѣли раньше, что эродирующая сила льда зависитъ именно отъ подвижности его нижнихъ частей, уменьшающейся съ возрастаніемъ отлагаемаго матеріала. Тѣмъ не менѣе вся дробность моделировки первичныхъ формъ мореннаго ландшафта подъ льдомъ наступающаго ледника остается трудно объяснимой; вѣроятнѣе, окончательная моделировка впереди и подъ краемъ льда при его общемъ отступаніи въ связи съ многократными колебаніями. При отступаніи льда происходила въ областяхъ уже первичнаго мореннаго ландшафта, или по крайней мѣрѣ болѣе мощнаго и неравномѣрнаго отложенія мореннаго покрова, окончательная моделировка формъ подъ вліяніемъ тѣхъ же причинъ, которыя вызвали и первоначальную неравномѣрность, т. е. преимущественно разнообразія условій стока льда.

Недавно проф. Гауталь *), наблюдавшій въ Кордильерахъ различнаго рода отношеніе ледниковъ къ своей конечной моренѣ, высказалъ догадку, что:

1) напоръ ледника на конечную морену при его наступаніи и слѣдовательно нагроможденіе матеріала основной морены впереди ледника (Staumoräne), происходитъ въ тѣхъ случаяхъ, когда нижнія части ледника движутся быстрѣе, чѣмъ верхнія (quellende Bewegung, по выраженію Гауталя);

2) наоборотъ, переходъ ледника черезъ рыхлыя отложенія конечной морены имѣетъ мѣсто, если верхнія части ледника движутся быстрѣе нижнихъ (wälzende Bewegung).

Извѣстны были и въ Альпахъ случаи, когда въ одномъ и томъ же мѣстѣ въ теченіе даже одного періода наступанія ледника онъ обнаруживалъ совершенно различное отношеніе къ своимъ моренамъ. Возможность перваго случая теоретически нельзя отрицать, какъ это мы видѣли раньше (стр. 811), но, повторяемъ, необходимы наблюденія надъ дѣйствительной скоростью льда на различныхъ глубинахъ (см. стр. 728).

Конечныя морены. Необъяснимая все-таки связь главныхъ конечныхъ моренъ съ грядами мореннаго ландшафта заставляетъ нѣкоторыхъ ученыхъ разсматривать эти гряды за конечныя же морены, на которыхъ поднимаются мѣстами только подчиненныя валообразныя формы, отлагавшіяся у самого края льда (dumpmoraines). Такъ Сэльсбёри разсматриваетъ балтійскій поясъ высотъ Германіи за колоссальную краевую морену, образовавшуюся хотя подъ льдомъ, но вблизи края (submarginale); ея характерныя холмистыя формы возникли подъ льдомъ вслѣдствіе неравномѣрности отложенія матеріала при продолжительномъ стаціонарномъ состояніи льда; узкія валообразныя морены, которыя нѣмецкими геологами только и называются конечными, Сэльсбёри относитъ на счетъ матеріала, отлагавшагося изъ льда при стаиваніи его окраины, и называетъ ихъ «сброшенными» моренами (dump, Sturz). Противъ такого представленія, по мнѣнію Ваншаффэ, говоритъ однако упомянутое тождество мореннаго покрова независимо отъ его формъ, и расположеніе конечныхъ моренъ всегда по внѣшнему краю, впереди мореннаго ландшафта. Конечная морена, по мнѣнію нѣмецкихъ геологовъ, всегда возникаетъ впереди льда, какъ это принято и при нашемъ изложеніи; въ этомъ генетическое отличіе между этими формами, проявляющееся и въ строеніи конечныхъ моренъ, какъ насыпныхъ, такъ и напорныхъ.

Если мы правильно понимаемъ Гейнитца **), то онъ также склоняется къ отождествленію конечно-мореннаго ландшафта съ мореннымъ въ тѣсномъ смыслѣ; кромѣ этой формы рельефа онъ различаетъ только моренныя равнины. Неустойчивость взглядовъ, очевидно, зависитъ отъ неувѣренности въ генезисѣ различныхъ формъ.

Конечныя морены разсматриваютъ за продуктъ отступанія льда; это ясно изъ того, что моренный покровъ, т. е. основная морена льда, представляетъ тѣ же петрографическія качества и то же стратиграфическое положеніе какъ впереди, такъ и сзади конечныхъ моренъ. Если бы конечныя морены выражали собою предѣлъ наибольшаго распространенія отдѣльныхъ фазъ оледенѣнія, то основная морена сзади конечной морены должна быть иной стратиграфически, чѣмъ основная морена впереди. За-

*) R. Hauthal, Gletscherbilder aus den argentinischen Cordillere. Zeitschr. d. d. u. ö. Alpenver., XXXV, 1904, стр. 41.

**) Das Quartär Nordeuropas, Lethaea geogn. 1903, стр. 298—304.

щитники отдѣльныхъ оледенѣній также признаютъ, что границы оледенѣній не совпадаютъ съ конечными моренами. Не наблюдается также и признаковъ субъаэральнаго вывѣтриванія основной морены впереди конечныхъ, что могло бы указывать на болѣе древній возрастъ этой части мореннаго покрова. Противоположнаго мнѣнія до сихъ поръ придерживаются однако Гики, многіе изъ американскихъ геологовъ, напр., Чэмберленъ, и нѣкоторые изъ русскихъ, напр., Криштафовичъ, принимающіе конечныя морены за границы распространенія отдѣльныхъ оледенѣній.

Седергольмъ указываетъ на совершенное тождество радіальнаго направленія ледниковыхъ бороздъ по обѣ стороны Сальпаусселька, что не позволяетъ разсматривать эту гряду, какъ границу особеннаго оледенѣнія; только на сѣверѣ и востокѣ отъ озера Іэнисъ-ерви (на NNO отъ Сердоболя) можно замѣтить ледниковыя борозды направленія NNW—SSO, повидимому, болѣе древней фазы оледенѣнія. Сальпаусселька представляетъ преимущественно слоистое строеніе, и поэтому финляндскіе геологи предполагаютъ, что отложеніе ея мореннаго матеріала происходило впереди края льда въ морѣ. Нѣкоторые шведскіе геологи считаютъ Сальпаусселька поперечнымъ озомъ (см. дальше).

Друмлины (drumlins, правильнѣе выговаривать дрёмлинъ). Подъ этимъ названіемъ (drum—холмъ) понимаютъ, какъ мы говорили, эллиптическіе холмы, вытянутые по направленію движенія льда. Они представляютъ разновидность формъ мореннаго ландшафта, часто появляющуюся группами, а иногда и преобладающую; всегда примыкаютъ къ конечнымъ моренамъ *). Къ типу друмлиновъ слѣдуетъ собственно относить и формы, покрывающія, какъ было упомянуто, внутреннюю и восточную Финляндію. Доссъ **) описалъ настоящій друмлиновый ландшафтъ въ средней Лифляндіи около Вольмара, Никитинъ ***) указалъ такой ландшафтъ изъ удлиненныхъ моренныхъ холмовъ однообразнаго направленія въ Порховскомъ уѣздѣ Псковской губ. Высота друмлиновъ Лифляндіи (не больше 10—15 м.) и Псковской губ. (не болѣе 3—5 саж.). значительно менѣе, чѣмъ такихъ же формъ Финляндіи и Америки, гдѣ значительнѣе мощность валунныхъ глинъ, образующихъ эти формы. Въ окрестностяхъ Петербурга къ западу отъ Гатчины по Балтійской жел. дор. холмистый ландшафтъ относится, по мнѣнію академика Шмидта, къ друмлиновому же типу; также къ западу отъ Варшавской жел. дор. между станц. Преображенская и Луга. Миссуна указываетъ друмлиновыя формы въ бассейнѣ р. Виліи (фиг. 475). Значительныя пространства эта форма занимаетъ въ мѣстности на половинѣ разстоянія между городами Великіе Луки и Невель (бассейнъ р. Ужицы), подтверждая своимъ расположеніемъ развитіе конечно-мореннаго характера (по даннымъ Миссуны) въ области мореннаго ландшафта Витебско-Невельской полосы.

Друмлины сложены изъ валунной глины, покрывающей часто ядро

---

*) Keilhack, Die Drumlinlandschaft in Norddeutschland. Jahrb. Landesanst., 1896.

**) B. Doss, Ueber das Vorkommen von Drumlins in Livland. Z. d. d. geol. Gesell., 1896, стр. 1—13.

***) С. Никитинъ, Геолог. набл. по строящ. линіямъ Московско-Виндав. жел. дор. Изв. геол. ком., 1898, 7, стр. 310—312.

изъ флювіогляціальныхъ отложеній. По мнѣнію большинства гляціалистовъ они образовались подъ льдомъ; Дэвисъ сравниваетъ ихъ съ песчаными банками въ широкой и мелкой рѣкѣ. Нансенъ объяснялъ ихъ поднятіями льда при днѣ, заполнявшимися матеріаломъ основной морены. Чэмберленъ и Дригальскій также считаютъ ихъ за образованія подъ льдомъ; первый приписываетъ ихъ образованіе вліянію рельефа ледниковаго ложа, когда ледъ вмѣстѣ съ нижней мореной поднимается надъ вздутіями почвы; второй объясняетъ ихъ различіемъ мощности, слѣдовательно, способности льда къ перемѣщенію матеріала. Гитчкокъ (Hitchcock) и Тэрръ полагаютъ, что ледниковый покровъ при новомъ наступаніи перерабатываетъ (эродируетъ) старыя конечныя морены въ друмлиновыя формы. Бальтцеръ также указалъ на сходство этихъ формъ съ округленными скалами (roches moutonnées), слѣдовательно на вѣроятность ихъ образованія выпахивающей работой льда (destructional theory по Тэрру), а не отлагающей (constructional theory), какъ думаетъ большинство изслѣдователей. Труднѣе всего объяснить присутствіе ядра изъ нарушенныхъ флювіогляціальныхъ отложеній въ нѣкоторыхъ формахъ друмлиновъ, напр. Лифляндіи; такъ какъ формы вытянуты по направленію движенія льда, т. е. по линіи наименьшаго сопротивленія, то нельзя допускать явленій напора и смятія, и Ваншаффэ полагаетъ, что такія формы возникли изъ первоначально уже нарушенныхъ образованій (Durchragungs- und Aufpressungskuppen) и получили свои очертанія въ одну изъ фазъ дальнѣйшаго движенія льда.

Какъ видимъ, ни одно изъ объясненій не разъясняетъ удовлетворительно главной особенности друмлиновъ — ихъ однообразнаго расположенія на значительныхъ пространствахъ. Отложеніе матеріала изъ ледниковаго покрова управляется условіями (въ зависимости отъ колебанія возможности стока), вызывающими или однообразный моренный покровъ, или неправильно холмистый. Скорѣе эродирующая работа льда можетъ вызвать такія однообразныя формы, какъ друмлины, но и въ пользу этого мнѣнія нѣтъ достаточныхъ основаній.

Щебневые холмы (Kames, Grandkuppen). Подъ этимъ названіемъ американскіе геологи (Чэмберленъ, Shaler, Fairchild) понимаютъ неправильно разбросанные холмы и короткія гряды изъ слоистаго матеріала, песка и щебня, раздѣленные глубокими впадинами; они придаютъ ландшафту видъ особенно пересѣченный и отличаются въ то же время болѣе пологими формами и отсутствіемъ озеръ отъ обычнаго мореннаго ландшафта; послѣднее справедливо по крайней мѣрѣ для сѣверной Германіи. По мнѣнію американцевъ они являются частью замѣстителями конечныхъ моренъ и обыкновенно вытянуты поперекъ движенія льда; характеръ матеріала и положеніе вѣроятно впереди края ледника позволяютъ объяснять ихъ отложеніе и моделировку дѣйствіемъ ледниковыхъ водъ; иногда это, можетъ быть, отложенія въ стоячей водѣ у края ледника. Въ Америкѣ наиболѣе ясно эти формы развиты, напр., въ западной части штата Нью-Іоркъ именно къ югу отъ озера Онтаріо, въ поясѣ сильнаго дренажа подледниковыми водами въ одну изъ фазъ оледенѣнія *).

*) Shaler, On the origin of Kames. Proc. Boston Soc. Nat. Hist., vol. XXIII, 1884. Fairchild, Kame areas in Western New-York., Journ. of Geol., 1896, стр. 129.

Въ Россіи эти формы до сихъ поръ не упоминаются никѣмъ, но вѣроятно ихъ можно найти въ озерной области прежняго оледенѣнія. Ваншаффэ считаетъ для нихъ характернымъ строеніе изъ тонко-песчанаго ядра, покрытаго болѣе грубымъ галечникомъ (Göhrde въ Lüneburger Heide).

Озы (Asar, Eskers). Эти замѣчательныя формы, образуемыя ледниковыми отложеніями, представляютъ или длинные, часто очень узкіе валообразные гребни, или вытянутые холмы, располагающіеся другъ за другомъ длинными рядами, или даже широкія платообразныя повышенія. По сторонамъ они обыкновенно сопровождаются канавообразными углубленіями (Asgräben), часто заполненными торфомъ, а дальше зандровыми полями. Они сложены изъ галечника и песка, иногда только изъ галечника или только изъ песка; часто наблюдается діагональная слоеватость, показывающая образованіе этихъ отложеній изъ проточной воды. Изборожденные валуны попадаются въ нихъ рѣдко. Иногда въ верхнихъ частяхъ озовъ появляется и обыкновенный валунный щебень.

Наиболѣе типично озы развиты въ Швеціи и Финляндіи. Повсюду ихъ простираніе параллельно направленію ледниковыхъ бороздъ. Скандинавскіе озы напоминаютъ своимъ расположеніемъ рѣки съ притоками, такъ какъ къ главному озу примыкаютъ боковые (biasar); они проходятъ независимо отъ рельефа грядами длиною отъ 300—400 м. до 1000 м., обыкновенно нѣсколько изгибаясь; послѣ перерыва, начинается другой озъ и такъ дальше; есть озы, которые прослѣжены на протяженіи до 250 килом. На гребняхъ ихъ нерѣдко замѣчаются круглыя или овальныя углубленія—воронки (Asgropar), часто заполненныя торфомъ. Скандинавскіе озы сложены или изъ песка (sandasar), или изъ гальки (rullstensasar), или изъ ледниковаго щебня (crossasar); финляндскіе преимущественно изъ гальки (rullstensasar). Высота озъ въ Скандинавіи и Финляндіи достигаетъ нерѣдко 45—54 м. и болѣе надъ окрестностью; крутизна склоновъ различная, отъ 10° до 45°. Узкіе высокіе озы, напоминающіе желѣзнодорожную насыпь, въ Швеціи называютъ «козлинымъ хребтомъ» (getrygg). Въ Олонецкомъ краѣ озы извѣстны подъ названіемъ «сельгъ». Изъ многочисленныхъ Финляндскихъ озовъ (фиг. 476) наиболѣе замѣчательны: Kejsaras на сѣверѣ Финляндіи около Кангасала поднимается до 80 м. надъ уровнемъ сосѣдняго озера; Hatelmalas около Тавастгуса, высокій и крутой; знаменитый Punkaharju (Пунгахарью), пересѣкающій озеро Пурувеси, — оба настолько узкіе по гребню, что мѣстами съ трудомъ можно проѣхать; Ryynikki около Таммерфорса и одинъ изъ наиболѣе крупныхъ около Säkylä въ Абосской губерніи *).

Въ Прибалтійскомъ краѣ извѣстны двѣ формы озъ: crossasar и rullstensasar; первые — короткіе, не высокіе, преимущественно изъ рихка; по Доссу это скорѣе друмлины; вторые — узкіе, крутые и высокіе, длиною съ перерывами до 40 верстъ. Въ Эстляндіи извѣстны своею красотою Везенбергскіе озы **); въ Лифляндіи около Риги такъ называемые «Kanger»

*) Многія интересныя подробности объ озахъ и различныя старыя теоріи образованія озовъ см. Кропоткинъ, Изсл. о ледн. періодѣ, 1876.

**) Fr. Schmidt, Excursion durch Estland, Guide d. Exc. du VII Cong. Géol. intern., 1897, XII, 15.

представляютъ типичные озы *). Въ Курляндіи извѣстны озы около гор. Тукума (Гальенбергъ) и Митавы (Руллекальнъ и Крушкальнъ); на границѣ Курляндіи и Ковенской губ. отчетливый озъ находится у городка Жагеренъ, по описанію Толля. Гораздо рѣже озы попадаются и въ области средней Россіи, напр. въ Псковской и Тверской губерніяхъ, также въ сѣверной Германіи.

По мнѣнію однихъ изслѣдователей (Гольстъ, Upham, Wright и др.) озы представляютъ образованія, возникавшія на поверхности льда; цѣлыя рѣки, протекающія по льду ледниковаго покрова, отлагаютъ въ своихъ ледяныхъ руслахъ матеріалъ, вымываемый ими изъ льда (внутреннія морены); послѣ стаиванія покрова такія отложенія остаются на поверхности основной морены въ видѣ валообразныхъ озовъ. Впервые Штрандмаркъ (Strandmark, 1883) высказался за образованіе ихъ подъ льдомъ дѣйствіемъ подледниковыхъ рѣкъ, протекающихъ въ закрытыхъ каналахъ и туннеляхъ и отлагающихъ матеріалъ, вымываемый изъ основной морены; при отступленіи ледника такое отложеніе также представится въ видѣ валообразнаго нагроможденія.

Нансенъ рѣшительно высказался за подледниковое образованіе озъ, такъ какъ на поверхности внутреннихъ покрововъ льда вовсе не наблюдается какихъ-нибудь непрерывныхъ потоковъ. Мы уже говорили о наблюденіяхъ Рёсселя на ледникѣ Маляспина и Рида на ледникѣ Муръ (см. стр. 771), объясняющихъ образованіе подледниковыхъ удлиненныхъ отложеній флювіогляціальнаго матеріала. Рёссель между прочимъ указываетъ, что послѣ стаиванія льда по склонамъ галечниковаго вала могутъ возникнуть наклонные слои (сѣдлообразные) и что матеріалъ основной морены иногда вдавливается или покрываетъ эти флювіогляціальныя образованія, причемъ, конечно, нѣтъ никакой разницы по времени отложенія того и другого матеріала. Эти наблюденія вполнѣ подтверждаютъ часто наблюдаемое строеніе озовъ, въ видѣ куполообразнаго изогнутія слоистости.

Такое кажущееся нарушеніе залеганія слоистыхъ отложеній, образующихъ озы, дало поводъ Дригальскому предполагать, что озы возникли позднѣйшимъ изогнутіемъ, складчатостью, флювіогляціальныхъ отложеній вдоль краевъ льда. Этотъ взглядъ опирается также на предположеніе де-Геера **), что слѣдуетъ различать два типа озъ—продольныхъ (Länsasar) и поперечныхъ (Querasar) относительно направленія общаго движенія льда. Озы сопоставляются слѣдовательно краевымъ моренамъ (см. стр. 768). Де-Геръ полагаетъ, что матеріалъ, перемѣщаемый подледниковыми рѣками, отлагается преимущественно при устьѣ рѣки около ледниковыхъ воротъ, гдѣ сразу уменьшается колоссальное гидростатическое давленіе, съ которымъ такая рѣка выноситъ даже самый крупный матеріалъ. Впереди «воротъ» возникаетъ конусъ отложенія, а при отступленіи льда такой конусъ разростается, постепенно отступая противъ движенія воды, въ валообразное нагроможденіе. Для объясненія поперечныхъ озъ де-

*) Doss, Die geologische Natur der Kanger, 1895, Festschr. d. Naturf.-Ver. zu Riga.
**) De Geer, Om rullstensäsarnes bildningssätt. Geolog. Fören. Förhandlingar, 1897, Band 19. № 5, стр. 366.

Гееръ предполагаетъ, что они возникли изъ отдѣльныхъ конусовъ (Ascentra) вдоль края льда, причемъ каждый послѣдующій конусъ отложенія располагается не какъ продолженіе стараго, а нѣсколько сдвинутъ относительно него. Такое отклоненіе тѣмъ легче, что старый конусъ преграждаетъ путь выносимому матеріалу и заставляетъ воду искать новый выходъ.

Такая же теорія образованія озъ изъ «дельтовыхъ», если можно такъ выразиться, отложеній подледниковыхъ водъ при постоянномъ отступаніи льда была формулирована независимо и барономъ Толлемъ въ приложеніи къ озамъ около Тукума и Митавы *).

Что касается поперечныхъ озъ, то этотъ типъ нельзя считать достаточно выясненнымъ. По крайней мѣрѣ Сальпаусселька, которую, напр., Гольстъ и Толль относятъ къ этому типу, объясняется финляндскими геологами, какъ конечная морена.

Гипотеза де-Геера опирается также на факты, какъ и гипотеза Рёсселя, и возможно, что озы, строеніе которыхъ позволяетъ отличить отдѣльные центры образованія, возникли путемъ такого сліянія конусовъ отложенія. Ваншаффэ совершенно правильно оттѣняетъ, что озы представляютъ вообще типичныя формы, возникшія при отступаніи льда; это объясняетъ частью и ихъ географическое распространеніе.

Полыя формы рельефа.

Впадины (Pfuhle, Sölle, Kettleholes) представляютъ округленныя или удлиненныя пониженія среди моренныхъ равнинъ, часто занятыя или озерами, или торфяниками. Образованіе ихъ приписываютъ (Берендтъ, Гейнитцъ) дѣйствію поверхностныхъ водъ ледниковаго покрова подобно образованію обыкновенныхъ ледниковыхъ исполиновыхъ котловъ (Ausstrudelungs или Evorsionsseen по Гейнитцу). По мнѣнію другихъ, это провалы среди моренныхъ отложеній вслѣдствіе стаиванія «мертвыхъ» массъ льда, остававшихся отдѣльными, иногда значительными, отломками послѣ отступленія ледниковаго покрова. Въ Америкѣ ледниковыя песчаныя равнины мѣстами покрыты множествомъ такихъ котлообразныхъ впадинъ (pitted plains); Чэмберлэнъ и Сэльсбёри полагаютъ, что это слѣды стаиванія отдѣльныхъ глыбъ льда, остававшихся впереди отступавшаго ледника и перекрытыхъ флювіогляціальными отложеніями.

У насъ такія вогнутыя формы рельефа въ верховьяхъ Волги, З. Двины часто заняты озерами, но вообще не указываются въ такомъ развитіи, какъ въ Америкѣ или, напр., около Boitzenburg въ Укермаркѣ въ Пруссіи.

Другіе типы озеръ въ области бывшаго оледенѣнія представляютъ заполненія неправильныхъ котловинъ расчлененнаго мореннаго ландшафта; это Grundmoränenseen Ваншаффэ, наиболѣе обычная форма озеръ. Рѣже встрѣчаются озера, образовавшіяся изъ узкихъ, глубокихъ бороздъ размыва ледниковыми водами; озера собираются въ наиболѣе глубокихъ частяхъ такихъ бороздъ послѣ исчезновенія ледниковаго покрова; они распространены какъ въ области мореннаго ландшафта, такъ и на зандровыхъ пространствахъ; это — Rinnenseen по Берендту; напр., нѣко-

*) l. c., Изв. Геол. Ком., 1897, XVI, № 5, стр. 171—172.

торыя изъ Невельскихъ озеръ. Наконецъ, Stauseen — подпорныя озера представляютъ скопленія воды въ котловинахъ, возникшихъ отъ бокового смятія мореннаго матеріала или образованія конечныхъ моренъ насыпного характера; этотъ типъ единственно только и относится къ плотиннымъ озерамъ (ср. стр. 498). Озера въ расширенныхъ частяхъ древнихъ рѣчныхъ долинъ представляютъ послѣдній типъ среди этого разнообразія полыхъ формъ рельефа, вызваннаго бывшимъ оледенѣніемъ.

Дилювіальныя рѣчныя долины. Кромѣ дѣятельности льда на выработку формъ поверхности должны были оказывать крупное вліяніе и воды, даваемыя ледниками. Слѣды такой дѣятельности повсемѣстны въ видѣ широкихъ долинъ и мощныхъ отложеній аллювіальнаго матеріала. Современныя рѣки въ области ледниковаго покрытія часто занимаютъ участки такихъ древнихъ долинъ. Наиболѣе полно возстановлена система такихъ рѣкъ для сѣверной Германіи и въ Сѣверной Америкѣ. Въ Германіи древнія рѣки протекали параллельно краю ледниковаго покрова *); мощный потокъ направлялся съ востока на западъ, принимая въ себя съ сѣвера воды убывающаго покрова, а съ юга рядъ притоковъ: Вислу, Одеръ и Эльбу (фиг. 471).

Поверхность средней Россіи, въ предѣлахъ прежняго ледниковаго покрытія (см. фиг. 477), носитъ на каждомъ шагу слѣды вліянія ледниковаго періода. Мѣстами формы поверхности, созданныя вліяніемъ ледникова покрова, сохранились во всей своей чистотѣ; періодъ отложенія ледниковыхъ осадковъ и дѣятельности ледниковыхъ водъ мѣстами проявляется до сихъ поръ отчетливѣе, чѣмъ періодъ современной эрозіи, какъ это мы указывали для верховій Волги, З. Двины и Днѣпра (см. стр. 377, 402) и для страны Великихъ озеръ Сѣв. Америки (стр. 502).

Географическое распространеніе древнихъ ледниковыхъ областей.

Кромѣ разсмотрѣнныхъ подробнѣе областей распространенія древнихъ ледниковъ въ Альпахъ и въ сѣверной Европѣ (фиг. 477), доказано прежнее развитіе ледниковъ и въ другихъ областяхъ какъ сѣвернаго, такъ и южнаго полушарія.

Сѣверное полушаріе. Область Тимано-Уральскаго ледника, какъ показали изслѣдованія Чернышева**), Ѳедорова***) и Кротова, простиралась къ югу до 61° с. ш.; слѣдами распространенія служатъ изборожденность и валуны Тиманскихъ породъ; моренныя отложенія перекрыты и частью переслаиваются осадками бореальной трансгрессіи. Оледенѣніе въ первую половину ледниковаго періода охватывало весь сѣверъ Россіи и Урала и нельзя провести границы между Скандинавской областью и Тимано-Уральской****).

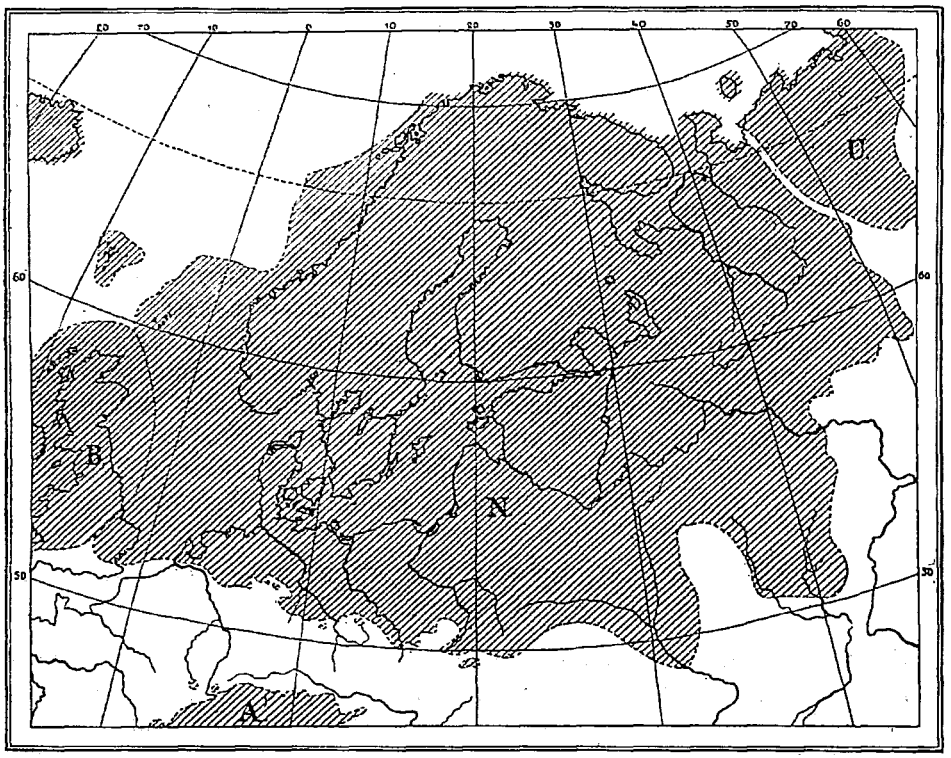
*) E. Geinitz, Die Geographischen Veränderungen des südwestlichen Ostseegebiets seit der quartären Abschmelzperiode. Pet. Mitt., 1903, II, IV.

**) Tschernyschoff, Aperçu sur les dépôts posttertiaires etc., Congrès internat. d. Archéol., Moscou, 1892, T. I, стр. 35—56.

***) Е. Федоровъ, Замѣтка о нахожд. мѣловыхъ и валунныхъ отложеній въ приуральской части Сѣв. Сибири. Изв. Геол. Ком., 1887, VI, стр. 439.

****) Яншевскій, Кельтминская дача въ Чердынскомъ уѣздѣ Перм. губ. Тр. Каз. Общ. Естеств., 1903, 36, 4.

Во вторую половину бореальная трансгрессія достигала до высоты 150 м. надъ уровнемъ современнаго моря, а фауна моллюсковъ, близкихъ къ современнымъ Бѣлаго моря (Cyprina islandica, Astarte borealis, Cardium groenlandicum, Mactra elliptica и въ южныхъ областяхъ Cypr. islandica, Card. edule), свидѣтельствуетъ, что къ этому времени льда больше уже не было въ сѣверной Россіи; эти отложенія въ общемъ соотвѣтствуютъ іолдіевымъ слоямъ запада. Изъ моренныхъ отложеній здѣсь различаютъ основную и конечныя морены, озы; экстрагляціальными являются морскія отложенія, пески съ остатками мамонта и друг.



Фиг. 477. — Сѣверная Европа въ фазу наибольшаго оледенѣнія.
N—сѣверно-европейская, *A*—альпійская, *B*—британская, *U*—урало-тиманская области оледенѣнія.

Мы уже говорили, что слѣды прежняго болѣе широкаго оледенѣнія обнаруживаются повсюду въ Гренландіи и на Шпицбергенѣ *).

Слѣды прежняго бо́льшого развитія ледниковъ доказаны рѣшительно во всѣхъ горахъ Европы какъ высокихъ, такъ и среднихъ (Mittelgebirge).

На Кавказѣ ледники спускались низко, выходя даже мѣстами изъ горныхъ долинъ. На сѣверномъ склонѣ слѣды ихъ наблюдаются до высоты 900 м., напр., по долинамъ Малки, Баксана, Терека, Ардона, Чегема и друг. (Абихъ, Мушкетовъ). На южномъ склонѣ они изслѣдо-

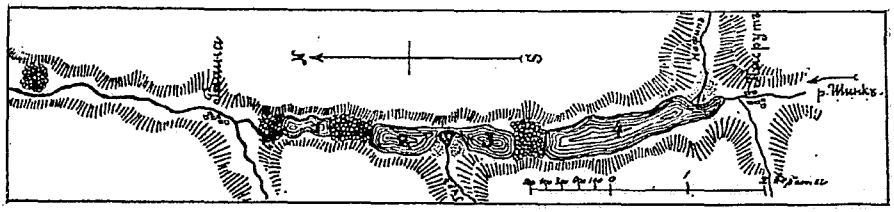
*) G. de Geer, Die Gletscher von Spitzbergen. Verh. d. VII int. Geogr.-Kongr., 1901, II, стр. 299—302.

ваны мало, но во всякомъ случаѣ они не спускаются такъ низко *), какъ на сѣверномъ, особенно въ юго-восточной части Кавказскаго хребта. Нужно замѣтить, что вообще изслѣдованія Кавказа въ этомъ отношеніи оставляютъ желать очень многаго; возможно, напр., смѣшеніе ледниковыхъ отложеній съ селевыми выносами.

Въ Пиренеяхъ **), какъ мы уже говорили, ледники не выходили изъ долинъ. Слѣды прежнихъ ледниковъ констатированы въ Сіерра-Невадѣ и Сіерра-Гуадаррама въ Испаніи, на Корсикѣ, въ сѣверныхъ Апеннинахъ, на центральномъ плато Франціи и около Ліона, въ Юрѣ, Вогезахъ, Шварцвальдѣ, Таунусѣ и Оденвальдѣ, въ Рудныхъ горахъ, въ Высокихъ Татрахъ и даже на Балканахъ ***).

Азія. Въ Тянь-шанѣ древніе ледники спускались гораздо ниже современныхъ; въ западной части несомнѣнные слѣды ихъ спускаются до 2000 м. и даже до 1500 м.,—напр. въ Таласкомъ Алатау, Ферганскомъ и Алайскомъ хребтахъ.

Интересные слѣды прежняго распространенія ледника приводитъ В. Веберъ въ Алайскомъ хребтѣ. Рѣка Шинкъ (фиг. 478)—правый притокъ



Фиг. 478. — Карта четырехъ нижнихъ Маргузарскихъ озеръ, подпруженныхъ конечными моренами на р. Шинкъ въ Самаркандской области.

р. Магіанъ-дарьи, впадающей въ р. Зеравшанъ нѣсколько выше г. Пянджекента. Шинкъ беретъ начало изъ ледника Сія-кухъ и вскорѣ переходитъ въ рядъ моренныхъ (стр. 493) озеръ Маргузарскихъ (фиг. 479), расположенныхъ четковидно въ числѣ семи на протяженіи 13 верстъ. Склоны долины надъ озерами сложены изъ отвѣсныхъ скалъ палеозойскаго изве-

---

*) Мушкетовъ, Ледниковая область Теберды и Чхалты, Тр. Геол. Комит., т. XIV, № 4, 1896, стр. 56—57.

Пятницкій, Геологическія изсл. въ центральномъ Кавказѣ; Мат. для Геол. Россіи, XXI, 1904, стр. 203—252.

**) Penck, Die Eiszeit in den Pyrenäen. Mitt. d. Ver. f. Erdk. zu Leipzig, 1883. Его же, Studien über das Klima Spaniens während der jüngeren Tertiärperiode und der Diluvialperiode. Z. d. Gesell. f. Erdk. zu Berlin, 1894, XXIX, № 2 съ подробнымъ указаніемъ литературы.

***) Partsch, Die Eiszeit in den Gebirgen Europas zwischen dem nördlichen und den alpinen Eisgebiet. Geogr. Z. herausgegeb. dr. Alf. Hettner, 1904, X, 12.

Cvijic, J., Das Rila-Gebirge und seine ehemalige Vergletscherung. Z. d. Gesells. f. Erdk. zu Berlin, 1898, XXXIII, № 4, также: L'époque glaciaire dans la Pénins. des Balkans. Ann. d. Géogr., 1900, IX.

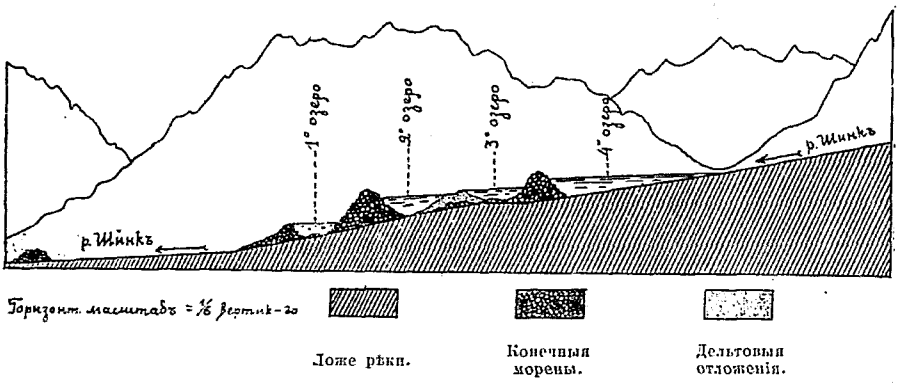
Götz, W., Die Frage der Vergletsch. des Central-Balkan. Z. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 1900, XXXV, № 2.

Penck, Die Eiszeit auf der Balkanhalbinsel, Globus, 78, 1902.

E. de Martonne, Contributions à l'étude de la periode glaciaire dans les Karpates méridionales. Bull. de la Soc. géol. de France, XXVIII, 1900, стр. 275—319. Литература.

стняка и сланца, мѣстами ясно отшлифованныхъ и изборожденныхъ (фиг. 480); озера отдѣляются другъ отъ друга громадными старыми конечными моренами. На мѣстѣ сел. Рашна (1540 м.) было восьмое озеро, но оно исчезло съ разрушеніемъ соотвѣтствующей ему морены. Первое озеро расположено на 1610 м., а второе на 1695 м. Ниже сел. Рашна находится значительная размытая морена (1525 м.); слѣды ледниковъ въ видѣ моренъ и округленныхъ скалъ распространены и ниже по рѣкѣ Шинкъ и по Магіанъ-Дарьѣ *). Рисунокъ 480 хорошо передаетъ корытообразный характеръ нижнихъ частей долины р. Шинкъ и измѣненіе поперечнаго профиля рядомъ послѣдовательныхъ корытообразныхъ углубленій (ср. стр. 829).

На Памирѣ, повидимому, были развиты ледники скандинавскаго типа, т. е. съ обширными фирновыми полями на Памирскихъ плоскогоріяхъ. Въ восточной части Тянь-шаня ясныя моренныя накопленія древнихъ ледниковъ спускаются еще ниже, до 1500 и даже 1000 м.



Фиг. 479. — Разрѣзъ по р. Шинкъ черезъ моренныя озера Маргузарскія.

Громадныя поперечныя морены въ Заилійскомъ и Кунгей-Алатау на высотѣ 1500 м.,—напр., въ долинахъ: Алматинки, Кебина, Чилика, Иссыка и др.,—всегда сопровождаются типичными моренными озерами.

Вообще можно сказать, что въ Тянь-шанѣ въ ледниковый періодъ ледники были развиты приблизительно въ такой степени, какъ въ настоящее время въ Альпахъ.

На Алтаѣ древніе ледники, повидимому, были только немного больше современныхъ, тоже и въ В. Сибири, за исключеніемъ Мунко-сардыка, сѣверо-восточнаго угла Азіи и Кореи.

Толмачевъ приводитъ доказательства довольно широкаго развитія слѣдовъ прежняго оледенѣнія въ Кузнецкомъ Алатау; циркообразный характеръ многочисленныхъ горныхъ озеръ, запертыхъ остатками конечныхъ моренъ, корытообразная форма многихъ долинъ и, наконецъ, ясныя полированныя и изборожденныя скалы (напр., въ вершинѣ р. Атбазаюса системы р. Казыра) свидѣтельствуютъ о развитіи ледниковъ до высотъ

*) Изъ письма В. Н. Вебера къ И. В. Мушкетову.

въ общемъ около 1000 м. въ этой горной системѣ, совершенно лишенной теперь постоянныхъ снѣговъ *).

Вопросъ о ледниковомъ періодѣ въ Сибири до сихъ поръ остается открытымъ. Несомнѣнные слѣды былого оледенѣнія доказаны также въ Олекминской тайгѣ (Кропоткинъ, Обручевъ и Герасимовъ) и Верхоянскомъ хребтѣ (Черскій). Толль защищалъ сильное оледенѣніе сѣвера Сибири. Черскій отрицалъ полное оледенѣніе Сибири, основываясь на изученіи фауны послѣтретичныхъ отложеній, характерной для сухого континентальнаго климата, подобнаго современному. Толль для сѣвера Сибири доказываетъ по растительнымъ остаткамъ и фаунѣ (Alnus, Cyclas и Valvata), что въ концѣ ледниковаго періода былъ климатъ болѣе влажный и обильный атмосферными осадками. Возможность болѣе влажнаго климата Сибири во время ледниковой эпохи нѣкоторые ученые подтверждаютъ по находкамъ пліоценовой флоры на Алтаѣ, хотя характеръ этой предшествующей эпохи, конечно, не можетъ служить доказательствомъ климата самой ледниковой эпохи. Воейковъ называетъ очень удачно климатическія условія Сибири въ теченіе главной фазы ледниковой эпохи континентальной фаціей ледниковаго времени. Если обратить вниманіе, что мамонтъ вѣроятно былъ современникомъ развитію льдовъ, которые теперь мы находимъ въ видѣ ископаемаго (см. стр. 636), т. е. что обиліе осадковъ синхронично второй половинѣ ледниковой эпохи, то вполнѣ понятнымъ можетъ быть и развитіе мѣстныхъ ледниковъ на сѣверѣ Сибири и на Камчаткѣ въ эпоху послѣледниковую, именно расширенія площади моря (трансгрессія), сопровождавшагося обильными атмосферными осадками и болѣе мягкимъ климатомъ.

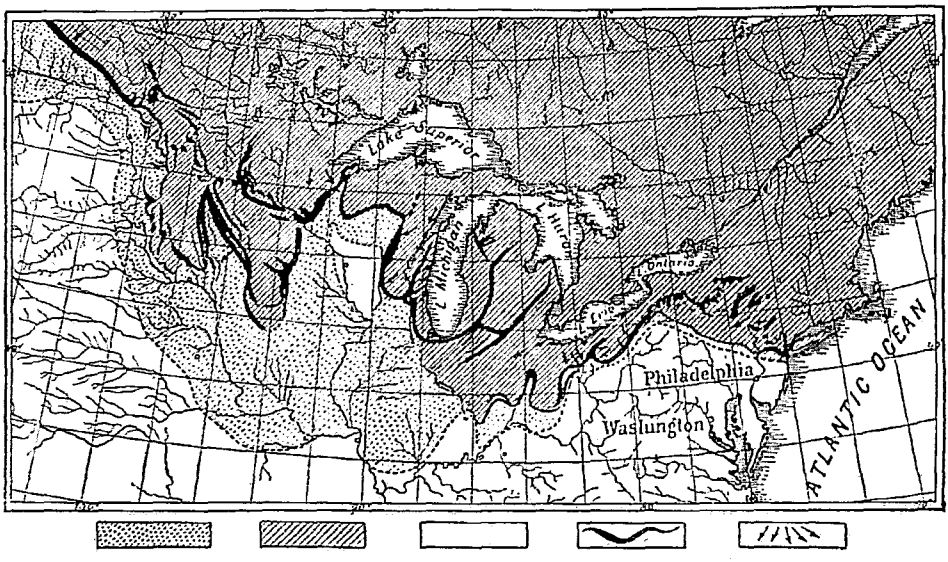
Фиг. 480. — Корытообразная долина р. Шинкъ на мѣстѣ втораго озера.

Въ Гиндукушѣ, Каракорумѣ и въ Гималаѣ ледники были гораздо больше современныхъ, но развитіе ихъ, повидимому, было такое же, какъ въ Тянь-шанѣ. Въ Гималаѣ въ западной части древнія ледниковыя отложенія констатированы на высотѣ 1000 м., а въ восточной—на 2000 м. Огромныя морены были найдены во многихъ долинахъ Сиккима и Вост.

*) И. П. Толмачевъ, Геологическая поѣздка въ Кузнецкій Алатау лѣтомъ 1902 г. Изв. Геогр. Общ., 1903, XXXIX, вып. IV. Его же: Къ вопросу о происхожденіи цирковъ. Тр. Спб. Общ. Ест., т. XXX, вып. 1 и «Къ вопросу о ледниковомъ періодѣ въ Сибири». Ibid., XXX, вып. 1.

Непала на высотахъ въ 7000 — 8000 ф. и до 5000 ф.; въ Зап. Гималаяхъ, напр. въ Пенджабѣ, эрратическіе валуны находятся гораздо ниже, на 3000 ф. и ниже *). По мнѣнію Ольдгэма **) нѣтъ никакихъ доказательствъ прежняго бо̀льшого поднятія Гималаевъ, а сходство флоры и фауны Гималаевъ и горъ южной Индіи (Цейлона) единственно можетъ быть объяснено пониженіемъ температуры въ концѣ третичнаго періода.

Сѣверная Америка***). Одновременно съ оледенѣніемъ сѣвера Европы и сѣверъ Америки, приподнятый болѣе чѣмъ на 700 — 800 м. и даже до 1000 м. выше надъ современнымъ уровнемъ моря, былъ покрытъ колоссальнымъ внутреннимъ покровомъ льда. Область оледенѣнія была здѣсь еще больше, чѣмъ въ Европѣ (фиг. 481); ледъ покрывалъ всю Канаду, откуда распространялся черезъ Новую Англію, Нью-Іоркъ, Мичиганъ,



Фиг. 481. — Область оледенѣнія Сѣв. Америки, по Чэмберлену.

Висконсинъ и Миннесоту до Миссисипи и на югъ до Нью-Джерсей, въ южную Пенсильванію, Огіо, Индіану, Иллинойсъ и Іова, слѣдовательно до 38° с. ш., т. е. почти до широтъ Сициліи и Мадрида. Площадь льда составляла не менѣе 15 милл. квадр. км. На западѣ Америки климатъ и въ то время былъ суше, такъ что оледенѣніе не распространялось южнѣе 48° с. ш.

---

*) Medlicott and Blanford, Geology of India, стр. 586. Diener, l. c., Z. d. d. u. ö. Alpenver., 1895, XXVI.

**) Oldham, A manual of the Geology of India, Strat. a. Struct. Geology, 1893, стр. 14—16.

***) Wright, The ice age in North America, 1890.

Chamberlin and Salisbury, The driftleesarea, VI An. Rep. U. S. G. Surv., 1886.

Chamberlin, Classif. of amer. glacial deposits, Journ. of Geol., Chicago, III, 1895.

Chamberlin, Preliminary Paper on the Terminal Moraine; III An. Rep. U. S. G. Surv., 1883.

Dawson, J. W., The Canadian Ice Age, 1894.

По распространенію ледниковыхъ образованій (driftarea) и направленію ледниковыхъ бороздъ различаютъ двѣ области оледенѣнія; большую восточную или лаврентьевскую, обнимавшую все пространство между Атлантическимъ океаномъ и Скалистыми горами, съ центромъ оледенѣнія на плоскогорьѣ Лабрадора, и западную или Кордильеровъ, гдѣ ледниковый покровъ покрывалъ пространства на западъ отъ Скалистыхъ горъ съ центромъ въ Британской Колумбіи.

Мощность покрова была весьма значительной, какъ видно по слѣдамъ покрытія льдомъ горъ высотою болѣе 1300 м., напр, Mount Mansfield въ Зеленыхъ горахъ и болѣе 1700 м., напр., Mt. Washington въ Новой Англіи. Мощность ледниковыхъ отложеній мѣстами превышаетъ 50 м. Эрратическіе валуны разсѣяны на пространствѣ до 1500 км. отъ коренныхъ мѣстонахожденій; такъ валуны самородной мѣди изъ окрестностей Верхняго озера находятся въ Индіанѣ и Иллинойсѣ.

Доледниковыя рѣчныя долины были совершенно заполнены ледниковыми отложеніями, и рѣки, напр. Ніагара и Миннесота, должны были принять совершенно другое направленіе. Каньонъ Ніагары и узкая, проложенная въ скалахъ, долина Миссисипи около Миннеполиса были образованы такими потоками, отклоненными отъ древняго теченія. Явленія истиранія и шлифованія скалъ мѣстами выражены съ необыкновенной отчетливостью; на значительныхъ пространствахъ скалы отшлифованы иногда зеркально гладко, затѣмъ тонко изборождены и покрыты глубокими бороздами иногда глубиною до фута. Напр., кварцитовыя скалы на Верхнемъ озерѣ отполированы такъ гладко, что по влажной поверхности ихъ съ трудомъ можно ходить.

Замѣчательно по своему положенію среди области распространенія ледниковаго покрова пространство (къ югу отъ Верхняго озера) въ верхнемъ теченіи Миссисипи, оставшееся совершенно свободнымъ отъ льда; это, такъ называемое, driftlees area въ штатѣ Винсконсинъ имѣетъ до 350 км. длины и до 180 км. ширины. По мнѣнію Чэмберлена и Сэльсбёри это объясняется топографическими особенностями; долины озеръ Верхняго и Мичигана отклоняли ледяныя массы влѣво и вправо, такъ что ледъ сохранялъ ихъ направленіе и далеко къ югу, совершенно обходя пространство между продолженіями ихъ долинъ. Нѣчто подобное недавно указалъ и для Россіи Тутковскій *) въ южномъ Полѣсьи между рѣками З. Бугомъ и Ушемъ, какъ пространство между двумя отпрысками ледниковаго покрова; здѣсь также направленіе окраины покрова было обусловлено задерживающими высотами на сѣверѣ отъ этого пространства между городомъ Минскомъ и Новогрудкомъ. Эти факты показываютъ вліяніе рельефа на направленіе движенія льда внутреннихъ покрововъ.

Основная морена Американской области оледенѣнія (till, boulder clay) совершенно тождественна валунной глинѣ европейской области; не менѣе распространенными являются флювіогляціальныя отложенія и лёссовидныя.

Различаютъ обыкновенно нѣсколько оледенѣній, раздѣленныхъ межуледниковыми эпохами. Чэмберленъ принимаетъ три оледенѣнія; древнѣй-

*) Тутковскій, Полѣсская безваллунная область, ея особенности и причины ея возникновенія. Зап. Общ. Ест. въ Кіевѣ, 1903, т. XVIII, кн. I, стр. IX—X.

шее—время Канзасское, второе—Іова и третье—Висконсини; послѣднее оставило обширныя конечныя морены, высотою до 100 м., которыя прослѣжены отъ берега Атлантическаго океана около Балтиморы на протяженіи до 2000 км. сначала до Дакоты, а оттуда въ Канаду еще на нѣсколько сотенъ км. Расположеніе поясовъ этихъ моренъ имѣло несомнѣнное вліяніе на образованіе озеръ. Друмлины особенно развиты въ Массачузетѣ и Висконсини, а кемы (Kames) и озы въ особенности въ Нью-Іоркѣ и Майнѣ.

Поясъ конечныхъ моренъ характеризуется обиліемъ замкнутыхъ впадинъ, часто занятыхъ озерами; котлообразная форма впадинъ послужила основаніемъ для названія Kettle range, которое американцы даютъ этому поясу конечныхъ моренъ.

По Дж. Гики и Чэмберлену оледенѣніе Канзасское соотвѣтствуетъ максимальному распространенію ледниковаго покрова Европы (Саксоніанъ); время Іова—второму оледенѣнію сѣвера Германіи (Поляндіанъ) и время Висконсини послѣднему балтійскому потоку, оставившему извѣстный поясъ моренъ (Мекленбургіанъ).

Одновременно съ отступленіемъ покрова послѣдняго оледенѣнія наступило позднеледниковое время постпліоцена, извѣстное подъ названіемъ эпохи Чэмпленъ (Champlain-Periode). Аналогичная эпоха опусканія въ поздне-ледниковое время для Скандинавіи названа Брёггеромъ эпохой Христіаніи (Chistiania period). Въ С. Америкѣ это было время сильнаго опусканія всей Лаврентьевской области, смѣнившагося снова поднятіемъ только къ началу современной эпохи (см. стр. 502). Древнѣйшія отложенія эпохи Чэмпленъ выражаются глинистыми образованіями съ Yoldia (Leda) arctica и Tellina groenlandica. Эти арктическія морскія глины распространялись съ востока и достигаютъ до высотъ въ 200 м.; внутри страны напротивъ преобладаютъ галечникъ и рыхлый ледниковый щебень (Geschiebedecksand), слагающіе величественныя террасы рѣчныхъ и озерныхъ долинъ. Образованіе озеръ и относится къ этому періоду сокращенія ледниковаго покрова, какъ мы говорили уже въ главѣ объ озерахъ (стр. 502) *).

Тропическій поясъ и Южное полушаріе. Въ Южной Америкѣ уже Дарвинъ указалъ на присутствіе такъ называемыхъ дрифтовыхъ отложеній, покрывающихъ почти всю Патагонію, Огненную землю **) и распространенныхъ въ Чили. Въ тропической Америкѣ именно въ Сіерра де Санта Марта (около 11° с. ш., въ сѣверной Колумбіи) и Венецуэлѣ слѣды прежняго оледенѣнія были доказаны Сиверсомъ и Гетнеромъ ***). Güssfeldt доказалъ прежнее развитіе ледниковъ на Аконкагуа, Benrath въ Перу ****), а Мейеръ †) въ Экуадорѣ.

*) Warren Upham, The glacial Lake Agassiz; U. S. G. Surv. Monogr., XXV, 1896.

**) O. Nordenskjöld, Ueber die posttertiären Ablagerungen der Magellanländer nebst einer kurzen Uebersicht ihrer tertiären Gebilde. 1898. Pet. Mitt. 1902, № 4, подробный рефератъ. Его-же: Die Landschaftsformen der Magellan-Länder etc., Verh. d. VII intern. Geogr.-Kongr., 1901, стр. 303—306.

***) W. Sievers, Ueber Schotterterrassen, Seen und Eiszeit im nördlichen Südamerika. Geogr. Abhand. herausgeg., von A. Penck, 1887, Bd. 2.

A. Hettner, Reisen in den columbianischen Anden, Leipzig, 1888. Его же, Die Kordillere von Bogotà. Erg.-Heft Pet. Mitt., № 104, 1892.

****) A. Benrath, Ueber eine Eiszeit in der peruanischen Küstenkordillere. Pet. Mitt., 1904, № XI.

†) H. Meyer, Ueber meine Ecuador-Reise. Z. d. Ges. f. Erdk., 1903, стр. 527—530 и Reisen im Hochland von Ecuador, Z. d. Ges. f. Erdk., 1905, стр. 49—61 и 132—150.

Въ Африкѣ слѣды прежняго оледенѣнія доказаны на Кеніи (Грегори и Элліотъ) *) и Рувенцори (или Runsaro) и въ области Килиманджаро (по Мейеру), гдѣ ледники спускались покрайней мѣрѣ на 600 м. ниже современныхъ.

Въ Австральазіи слѣды прежняго оледенѣнія распространены значительно больше. На Новой Зеландіи еще Гохштетеромъ было указано, что ледники въ эпоху, предшествующую современной, спускались въ равнины, а на западной сторонѣ острова достигали уровня моря. Также на материкѣ въ Альпахъ Викторіи (платообразная гора Богонгъ) и Новаго Южнаго Уэльса (гора Косцюшки) доказаны прежніе ледники; на горѣ Косцюшки найдены слѣды ледниковъ на высотѣ 1200 м. **) и даже 724 м.

Въ Тасманіи моренный матеріалъ спускается до 700 и даже 300 м. надъ уровнемъ моря; западное нагоріе Тасманіи было покрыто снѣгомъ и льдомъ на высотахъ отъ 700 метровъ.

Очень важными являются заключенія Гюттона ***), что нѣтъ никакихъ біологическихъ основаній для какихъ-либо заключеній объ охлажденіи климата Австральазіи къ концу третичнаго времени и началу постпліоцена. Фауна пліоцена и постпліоцена не обнаруживаетъ какихъ-либо климатическихъ измѣненій того времени; по мнѣнію Гюттона субтропическая флора и фауна Новой Зеландіи появилась уже во время міоцена и съ тѣхъ поръ не испытала никакихъ измѣненій, которыя бы указывали на охлажденіе климата. Причиной же широкаго развитія ледниковъ можно считать значительно большее поднятіе, напр., Новой Зеландіи, которая была приподнята по нѣкоторымъ признакамъ покрайней мѣрѣ на 3000—4000 фут. выше, чѣмъ теперь; такъ Тасманія составляла одно цѣлое съ материкомъ. Гюттонъ высказываетъ предположеніе, что время этой ледниковой эпохи Австральазіи относится вѣроятнѣе къ пліоцену, а не къ постпліоцену, какъ въ сѣверномъ полушаріи.

Гюттонъ, быть можетъ, правъ въ томъ отношеніи, что въ Австральазіи, какъ показываютъ новѣйшія изслѣдованія Гельмса и Ленденфельда ****), необходимо различать двѣ эпохи оледенѣнія, болѣе древнюю и болѣе новую: первая была интенсивнѣе (снѣговая линія 1650 м.), чѣмъ вторая (снѣговая линія 2000 м.). Ленденфельдъ полагаетъ, что обѣ эпохи соотвѣтствуютъ фазамъ сѣвернаго оледенѣнія. Повидимому, подобныя же двѣ фазы обнаруживаются по даннымъ Норденшельда въ Патагоніи и Конвэй въ Кордильерахъ Боливіи.

Какъ показали изслѣдованія Дригальскаго на антарктическомъ материкѣ, слѣды прежняго еще болѣе значительнаго оледенѣнія обнаруживаются и тамъ. Арктовскій *****) приводитъ указанія прежняго оледенѣнія

---

*) Quart. J. Geol. Soc., 1894.

**) Penck, Die Eiszeiten Australasiens; Z. d. Gesell. f. Erdk. zu Berlin, 1900, XXXV, № 4.
Johnston, The glaciar Epoch of Australasia; Proc. Roy. Soc. Tasmania, 1893.

***) F. W. Hutton, Report of Committee on Glacial Action in Australasia. Australas. Assoc., Adelaide, 1893.

****) R. v. Lendenfeld, Die einstige Vergletscherung der Australischen Alpen. Pet. Mitt., 1904, № X. Съ полнымъ спискомъ литературы.

*****) Arctowski, The antarctic Voyage of the Belgica; Smithsonian Report for 1901.

на берегахъ Palmerland: морены изъ валуновъ удаленныхъ мѣсторожденій, округленные холмы и т. п. Болѣе ясные слѣды наблюдаются на островахъ антарктическаго океана.

Плювіальный періодъ. Въ сѣв. Америкѣ наиболѣе отчетливо обнаруживаются крупныя климатическія измѣненія одновременныя съ ледниковымъ періодомъ внѣ области развитія оледенѣнія. Работами Кл. Кинга, Джильберта и Рёсселя доказано широкое распространеніе озеръ Бонневиль (Bonneville) (до 50000 кв. км., съ глубиною до 300 м.), остаткомъ котораго теперь является Большое Соленое озеро Ютахъ, и Лагонтанъ у подножія Сіерра-Невады (см. стр. 532). По террасамъ этихъ озеръ можно ясно различить два многоводныхъ періода, соотвѣтствующіе двумъ фазамъ великаго оледенѣнія; полагаютъ, что въ промежутокъ между этими фазами (междуледниковое время) озерный бассейнъ Бонневиля и Лагонтана сократился еще сильнѣе, чѣмъ въ настоящее время. Этотъ періодъ, болѣе или менѣе синхроничный ледниковой эпохѣ, былъ названъ Гуллемъ *) плювіальнымъ. Въ теченіе его Мертвое море заполняло всю впадину Горъ (Ghôr). Древнѣйшій (палеолитическій) человѣкъ Египта, современникъ главной фазы оледенѣнія сѣвера Европы, жилъ на плоскогорьяхъ, а не въ долинѣ Нила, которая была занята частью быстрыми потоками, частью первобытными лѣсами и болотами **); къ этому же времени относится максимальное развитіе каспійской трансгрессіи (см. стр. 520), также, быть можетъ, и широкое распространеніе озеръ Центральной Азіи— Аральскаго, Лобъ-Нора и другихъ. Мощныя аллювіальныя отложенія, извѣстныя въ Сахарѣ, Аравіи, Персіи и Центральной Азіи, свидѣтельствуютъ о болѣе значительныхъ осадкахъ въ теченіе постпліоцена. Правда, здѣсь трудно разобраться, что нужно считать причиной, а что слѣдствіемъ, т. е. не является ли нѣкоторое увеличеніе осадковъ только слѣдствіемъ развитія ледниковъ на сѣверо-западѣ. Воейковъ, напр., считаетъ, что при всѣхъ возможныхъ климатическихъ измѣненіяхъ, вызвавшихъ развитіе Скандинаво-русскаго ледниковаго покрова, въ Туркестанѣ и Центр. Азіи осадковъ было мало во всѣ времена года. Тѣмъ не менѣе значительное количество фактовъ свидѣтельствуетъ, что время ледниковой эпохи отличалось обиліемъ влажности и атмосферныхъ осадковъ повсюду, гдѣ конфигурація страны исключала развитіе сухого континентальнаго климата, какъ на площади Сибири или въ Центральной Азіи. Между колебаніями уровня озеръ и колебаніями ледниковъ въ настоящее время многіе усматриваютъ полное соотвѣтствіе; напр., въ настоящее время озера средней Азіи (Аралъ, Балкашъ, Иссыкъ-куль) прибываютъ; по нѣкоторымъ даннымъ замѣчается и наступленіе ледниковъ въ Тянь-шанѣ. Насколько колебанія уровня озеръ происходятъ параллельно на всей землѣ, остается еще вопросомъ; но Зигеръ ***) уже давно на основаніи сопоставленія старыхъ матеріаловъ указывалъ на вѣроятную одновременность этихъ явленій для всего свѣта. Брюкнеръ съ большимъ основаніемъ связалъ эти

*) Hull, The Survey of Western Palestine, London, 1886.

**) Blanckenhorn, Die Geschichte der Nil-Stroms in des Tertiär und Quartärperiode. Z. d. Gesell. f. Erdk. zu Berlin, 1902, № 9—10.

***) R. Sieger, Seespigel-Schwankungen. Mitt. d. geogr. Gesellsch. Wien, 1888, XXXI.

колебанія съ 35 л. періодами и высказывается еще опредѣленнѣе, что каждая ледниковая фаза характеризуется и расширеніемъ озеръ, не имѣющихъ стока *); правда это положеніе не совсѣмъ оправдывается на колебаніяхъ Каспія по Соколову (см. стр. 520). Тѣмъ не менѣе все болѣе накопляется фактовъ въ пользу мнѣнія, что фазы великаго оледенѣнія наступали одновременно на всей землѣ.

Заключеніе. Географическое распространеніе слѣдовъ прежняго оледенѣнія показываетъ, что это явленіе не ограничивалось только высокими широтами; оно распространялось какъ на всѣ области современнаго развитія ледниковъ, такъ и внѣ ихъ не только въ сѣверномъ, но и въ южномъ полушаріи и, что въ особенности важно, обнаруживалось и въ тропическихъ областяхъ. Степень оледенѣнія представляла значительныя колебанія, какъ зависящая отъ положенія снѣговой линіи; даже при единствѣ и повсемѣстности, быть можетъ, причины, вызвавшей условія ледниковаго періода, географическія условія отдѣльныхъ мѣстъ не могли не отразиться на характерѣ его проявленія. Данныя о синхронизмѣ ледниковыхъ явленій въ различныхъ частяхъ земного шара оставляютъ желать еще очень многаго. Для сѣвернаго полушарія одновременность главной фазы оледенѣнія можетъ быть принята съ большей или меньшей вѣроятностью; но и тамъ мѣстное развитіе ледниковъ могло запаздывать, какъ вызываемое накопленіемъ климатическихъ условій, которыя являлись уже слѣдствіемъ главной фазы оледенѣнія на другихъ пространствахъ. Для южнаго полушарія вопросъ объ одновременности ледниковыхъ явленій съ таковыми же сѣвернаго представляетъ еще бо̀льшія затрудненія. Гюттонъ, какъ указано, держится взгляда, что ледниковая эпоха Австраліазіи предшествовала ледниковой эпохѣ нашего полушарія; Пенкъ и Неймайръ считаютъ слѣды ледниковыхъ явленій постпліоцена въ тропической области доказательствомъ, что оледенѣніе сѣвернаго и южнаго полушарій наступили одновременно. Норденшельдъ, Ленденфельдъ высказываются за одновременность наступленія ледниковой эпохи въ сѣверномъ и южномъ полушаріяхъ.

Тѣмъ не менѣе нужно имѣть въ виду, что наступленію ледниковыхъ явленій необходимо предшествовало время, если можно такъ выразиться, борьбы между старыми условіями и новыми. Устойчивость старыхъ зависитъ отъ сложнаго сочетанія физико-географическихъ факторовъ, какъ это ясно обнаруживается изъ географическаго распространенія современныхъ ледниковъ; при одновременномъ наступленіи первичной причины, опредѣлившей ледниковую эпоху, какъ одну изъ стадій эволюціи земли, слѣдствія ея могли проявиться въ различныхъ частяхъ земного шара все-таки неодновременно. Для пониманія ледниковой эпохи во всемъ ея объемѣ для насъ важно только, что она наступила на рубежѣ третичнаго періода и современнаго, опредѣливъ основной характеръ географическаго распредѣленія всего органическаго міра современнаго времени. Въ «тѣни этой эпохѣ» продолжаетъ развиваться жизнь земной поверхности до сихъ поръ; въ ледниковую эпоху (въ наиболѣе древній ея отдѣлъ, время Elephas antiquus) появляется и человѣкъ, какъ активный членъ органической и неорганической природы.

*) Ed. Brückner, Klima-Schwankungen, 1890, стр. 305.

Причины ледниковой эпохи.

(Геологическіе климаты).

Развитіе снѣга и льда зависитъ отъ избытка атмосферныхъ осадковъ, конденсирующихся въ твердое состояніе; слѣдовательно, ни обиліе осадковъ, ни низкая температура, взятые порознь, не могутъ вызвать ледниковыхъ явленій. Потребовалась тѣмъ не менѣе долгая работа ума, чтобы прійти къ этой простой мысли, впервые ясно формулированной нашимъ метеорологомъ А. И. Воейковымъ.

Когда въ началѣ девятнадцатаго столѣтія убѣдились, въ особенности трудами Венеца и Шарпантье, что Альпійскіе ледники геологически недавно распространялись гораздо дальше современныхъ предѣловъ, то, разумѣется, явилось желаніе объяснить это явленіе. Шарпантье усматривалъ эту причину въ бо́льшей высотѣ Альпъ. Эшеръ фонъ-деръ Линтъ главною причиною считалъ послѣтретичное, какъ мы знаемъ теперь несуществовавшее, Сахарское море, откуда влажные фёны доставляли Альпамъ больше осадковъ, способствовавшихъ развитію ледниковъ. Агассицъ объяснялъ бо́льшее развитіе ледниковъ исключительно болѣе низкой температурой. Впервые, повидимому, Тиндаль высказалъ мнѣніе, что безъ всякаго измѣненія температуры только болѣе обильными осадками можно объяснить бо́льшее распространеніе ледниковъ. Затѣмъ Уоллесъ (Wallace) очень подробно развивалъ это положеніе Тиндаля, совершенно отрицая вліяніе температуры.

Послѣдовалъ цѣлый рядъ гипотезъ *), которыми старались объяснить или пониженіе температуры земного шара въ ледниковую эпоху, или повышеніе количества осадковъ. Воейковъ въ 1881 г. **) указалъ на крайности тѣхъ и другихъ гипотезъ. Противъ мнѣнія Агассица достаточно ясно говорятъ температурныя условія восточной Сибири, а противъ мнѣнія Тиндаля, напр., нынѣшнее положеніе Великобританіи. Въ восточной Сибири нѣтъ ледниковъ несмотря на низкую среднюю годовую температуру, а въ Великобританіи ихъ нѣтъ несмотря на обиліе въ горахъ осадковъ, выпадающихъ преимущественно въ зимніе мѣсяцы, но почти исключительно въ видѣ дождя.

Неймайръ приходитъ къ выводу, что развитіе ледниковъ въ постпліоценовую эпоху не было обусловлено исключительно обиліемъ осадковъ, но было вызвано также и уменьшеніемъ температуры; но это время отнюдь не слѣдуетъ понимать, какъ время сильнаго холода, а лишь какъ время пониженія средній годовой, быть можетъ, не болѣе, какъ на 4°—5° С (по Пенку и Брюкнеру). Брюкнеръ ***) на основаніи изученія кли-

---

*) Изложеніе старыхъ гипотезъ можно найти въ классическомъ трудѣ Сартоpіуса фонъ Вальтерсгаузена, Untersuchungen über die Klimate der Gegenwart und der Vorwelt, 1865. Сочиненіе было написано на тему, предложенную Голландскимъ общ. наукъ: каково должно было быть вліяніе массъ льда (ледниковой эпохи), если онѣ дѣйствительно существовали, на фауну и флору различныхъ странъ и на температуру атмосферы.

**) Климатическія условія ледниковыхъ явленій настоящихъ и прошедшихъ; Зап. Имп. Мин. Общ., 1881.

***) Klima-Schwankungen, 1890, стр. 306.

матическихъ условій современныхъ ледниковъ пришелъ къ заключенію, что климатъ ледниковой эпохи былъ повсюду холоднѣе и на значительнѣйшей части земной поверхности также и влажнѣе, чѣмъ современный.

Температура и осадки опредѣляютъ собою климатъ данной мѣстности, и ледниковыя явленія по самому существу относятся къ климатическимъ. Вопросъ о причинахъ ледниковой эпохи представляетъ, слѣдовательно, только частный случай болѣе широкаго вопроса объ измѣненіи климата земли въ теченіе ея геологической жизни. О поразительныхъ измѣненіяхъ климата земли свидѣтельствуютъ также остатки тропической и субтропической флоры въ полярныхъ широтахъ, напр., времени эоцена и міоцена (см. т. I, стр. 285 — 297). Мы уже говорили о періодическихъ измѣненіяхъ климата въ современную эпоху (стр. 58—62) и о такъ называемыхъ геологическихъ волнахъ измѣненія климата.

Климатъ каждой мѣстности зависитъ отъ распредѣленія суши и воды (горизонтальное расчлененіе земной поверхности) и вида поверхности земли (вертикальное расчлененіе); эти, такъ называемыя, физико-географическія условія опредѣляютъ и общій характеръ фауны и флоры. Чтобы рѣшить вопросъ о климатахъ минувшихъ періодовъ, или о такъ называемыхъ палеотермальныхъ условіяхъ, необходимо, слѣдовательно, возстановить полную картину физико-географическихъ условій земной поверхности въ различные геологическіе періоды. Вопросъ о геологическихъ климатахъ, слѣдовательно, составляетъ только часть грандіозной задачи науки, называемой палеографіей.

Едва ли нужно останавливаться на разъясненіи, что причинъ измѣненія геологическихъ климатовъ, а въ томъ числѣ и причинъ ледниковой эпохи, мы не знаемъ.

Геологу тѣмъ не менѣе необходимо знать методы, посредствомъ которыхъ дѣлаются попытки возстановленія физико-географическихъ условій прошлаго, и сумму представленій о климатическихъ измѣненіяхъ земли.

Методы возстановленія палеотермальныхъ условій.

О термальныхъ условіяхъ прежнихъ эпохъ обыкновенно дѣлали заключенія по общему характеру фауны и флоры того времени. Ляйэлль первый показалъ, что при такихъ заключеніяхъ необходимо помнить о значительной способности приспособленія организмовъ къ измѣняющимся условіямъ жизни и о возможности для животныхъ перемѣщаться при наступленіи условій, неблагопріятныхъ для ихъ жизни, въ области, болѣе соотвѣтствующія ихъ организаціи. Мы въ правѣ еще дѣлать нѣкоторыя заключенія на основаніи общаго характера ископаемой фауны и флоры (методъ палеонтологическій), опираясь на чрезвычайную медленность акклиматизаціи, лишь для періодовъ, ближайшихъ къ современному, когда можно съ нѣкоторой вѣроятностью сдѣлать допущеніе, что ископаемыя формы жили при тѣхъ же климатическихъ условіяхъ, въ какихъ продолжаютъ жить теперь ихъ ближайшіе родичи. Чѣмъ дальше мы удаляемся вглубь временъ, тѣмъ менѣе обоснованными будутъ такія заключенія, такъ какъ нѣтъ никакихъ доказательствъ, чтобы близкія или только сход-

ныя формы жили всегда въ одинаковыхъ климатическихъ условіяхъ. Измѣненіе этихъ условій реагируетъ вообще медленнѣе на морское населеніе, чѣмъ на флору суши; при разрѣшеніи палеотермальныхъ вопросовъ для ближайшихъ предшествующихъ эпохъ болѣе надежное основаніе могутъ дать, слѣдовательно, остатки сухопутныхъ растеній. Тѣмъ не менѣе и для различныхъ эпохъ третичнаго періода такой методъ нельзя считать вполнѣ удовлетворительнымъ; приложимость его ограничивается въ значительной мѣрѣ, какъ неизвѣстной для насъ степенью приспособляемости, напр., насушной флоры къ различнымъ климатическимъ условіямъ, такъ и неполнотой нашихъ свѣдѣній объ истинныхъ условіяхъ жизни многихъ морскихъ животныхъ, какъ это показано недавно, напр., нашимъ зоологомъ Н. М. Книповичемъ *) на формахъ, образъ жизни которыхъ считался сравнительно даже хорошо изученнымъ.

Для болѣе древнихъ періодовъ Неймайръ **) предложилъ иной методъ (стратиграфическій), основанный на изученіи географическаго распространенія растеній и животныхъ въ опредѣленные періоды. Если при такомъ сравнительномъ изученіи обнаружится какая-нибудь связь между географическимъ распространеніемъ ископаемыхъ организмовъ и широтою мѣста, то этимъ выяснится для соотвѣтствующей эпохи дифференцировка земной поверхности на климатическіе поясы или зоны; въ зависимости отъ широтнаго положенія такихъ зонъ, или, при менѣе значительномъ ихъ развитіи, такъ называемыхъ провинцій, можно уже опредѣлить характеръ населенія каждой такой провинціи или даже цѣлаго пояса, хотя бы условія жизни этого населенія оставались намъ совершенно неизвѣстными. При сравненіи послѣдовательныхъ эпохъ можно рѣшить, какъ измѣнялись климатическія условія, былъ ли раньше однообразный жаркій климатъ или теплыя и холодныя эпохи смѣняли другъ друга.

Разселеніе морскихъ животныхъ небольшихъ глубинъ и смѣшеніе фаунъ происходитъ вдоль береговъ суши; слѣдовательно, широкое распространеніе мелководныхъ ископаемыхъ формъ какой-нибудь эпохи служитъ яснымъ доказательствомъ однообразія климатическихъ условій, такъ какъ распространеніе въ настоящее время такихъ животныхъ, также какъ обитателей суши и озеръ, подчинено климатическимъ условіямъ. Въ каждомъ изъ такихъ пространствъ, подчиненныхъ одинаковымъ климатическимъ условіямъ, различныя мѣстныя причины, какъ измѣненія глубины моря, его солености, характера его дна, или различія въ высотѣ надъ уровнемъ моря на сушѣ, вызываютъ крупныя различія въ характерѣ населенія, которыя называютъ фаціальными. Наконецъ, кромѣ климата и фаціальныхъ причинъ, на распространеніе организмовъ оказываютъ влія-

*) N. Knipowitsch, Zur Kenntniss der geologischen Klimate. Зап. Мин. Общ., 1903, XL, стр. 287. Оказалось, что Yoldia arctica, которая, какъ полагали, живетъ при температурахъ отъ 0° до—2°, на самомъ дѣлѣ встрѣчается и при температурахъ значительно болѣе высокихъ; такъ Yoldia arctica и Cyprina islandica живутъ въ однѣхъ и тѣхъ же бухтахъ. Вслѣдствіе теплыхъ теченій въ одномъ и томъ же морѣ происходятъ отложенія, которыя могли бы быть приняты за происшедшія при различныхъ климатическихъ условіяхъ.

**) Neumayr, Ueber klimatische Zonen während der Jura-und Kreidezeit, Denkschr. Wiener Ak. d. Wissensch., Bd. XLVII, 1883. Тамъ же—Die geographischen Verbreitung der Juraformatien, Bd. L., 1885.—Die klimatische Verhältnisse des Vorzeit. Schr. d. Ver. z. Verbreit. naturwiss. Kenntn. in Wien, 1889, также, Исторія земли, т. II.

ніе также внѣшнія географическія условія, напр., высокіе хребты и глубокія пространства открытаго моря, составляющіе непреодолимыя преграды для разсѣленія организмовъ какъ сухопутныхъ, такъ и прибрежныхъ морскихъ. Какъ на сушѣ, такъ и въ морѣ можно, слѣдовательно, отличить и независимо отъ общихъ климатическихъ условій, еще отдѣльныя географическія области или провинціи, характеризующіяся также равномѣрнымъ и исключительнымъ распредѣленіемъ опредѣленныхъ группъ органическихъ формъ; такія же геологическія провинціи можно замѣтить и по распредѣленію ископаемыхъ формъ въ нѣкоторыя минувшія эпохи.

Такія геологическія провинціи, которыя особенно отчетливо обнаруживаются въ моряхъ, конечно, не нужно отождествлять съ климатическими поясами, но онѣ показываютъ, во всякомъ случаѣ, различіе физико-географическихъ условій, отражающихся на постоянствѣ данной фауны. Провести границу между такими провинціальными и болѣе частными, фаціальными, отличіями для осадковъ минувшихъ эпохъ не всегда возможно. Каждая провинція можетъ представлять совокупность самыхъ разнообразныхъ фацій, а каждый климатическій поясъ, или, какъ теперь называютъ, тепловой поясъ (жаркій, два умѣренныхъ и два холодныхъ, границы которыхъ не совпадаютъ съ математическими линіями прежнихъ климатическихъ поясовъ), можетъ обнимать нѣсколько географическихъ (или геологическихъ) провинцій.

На составъ ископаемаго населенія опредѣленнаго пространства могутъ оказывать вліяніе, слѣдовательно, и климатическія условія, и фаціальныя различія, и геологическія провинціи. Неймайру принадлежитъ крупная заслуга критической оцѣнки вліянія этихъ разнообразныхъ причинъ на составъ ископаемой фауны отдѣльныхъ геологическихъ отложеній и опредѣленія сферы каждаго вліянія путемъ востановленія очертаній материковъ и океановъ въ соотвѣтствующія геологическія эпохи, такъ какъ только послѣ этого мы можемъ различить фаціи и провинціи. Если одновременность глубоководныхъ и прибрежныхъ отложеній въ какой-либо группѣ геологическихъ образованій установлена, то первыя даютъ возможность показать распространеніе открытаго моря данной геологической эпохи, а прибрежныя отложенія позволяютъ намѣтить близость суши; распространеніе суши опредѣляется не только на основаніи отрицательныхъ признаковъ, т. е. тамъ, гдѣ соотвѣтствующихъ отложеній вовсе не найдено, но также и на основаніи положительныхъ, именно, наличности всей суммы признаковъ такъ называемыхъ континентальныхъ отложеній, т. е. образованій, возникшихъ на поверхности суши. Широкое распространеніе мелководныхъ ископаемыхъ формъ позволяетъ иногда намѣтить направленіе древняго берега, вдоль котораго могло происходить разселеніе данныхъ формъ.

Приложимость стратиграфическаго метода для возстановленія термальныхъ или климатическихъ условій древнихъ минувшихъ эпохъ зависитъ, слѣдовательно, всецѣло отъ успѣха геологическихъ знаній; неполнота ихъ и отражается, прежде всего, на достигнутыхъ до сихъ поръ результатахъ.

Существеннымъ дополненіемъ къ стратиграфическому методу служатъ

идеи, развиваемыя проф. Вальтеромъ *), о значеніи первичныхъ свойствъ геологическихъ образованій для заключеній о климатическихъ условіяхъ, при которыхъ возникли эти образованія. Идеи Вальтера представляютъ послѣдовательное приложеніе актуалистическаго, или, какъ онъ предлагаетъ называть, онтологическаго метода. Дѣйствительно, подъ климатомъ въ широкомъ смыслѣ мы можемъ понимать сумму метеорологическихъ и океанографическихъ условій, въ которыхъ происходитъ развитіе неорганической и органической природы; мы вполнѣ опредѣленно можемъ говорить о климатѣ полярныхъ областей и о климатѣ, напр., мелководнаго или глубокаго моря. Существуетъ вполнѣ опредѣленное соотношеніе между климатомъ отдѣльныхъ областей извѣстныхъ фацій и первичными свойствами возникающихъ тамъ породъ. Горныя породы первично различныя должны были возникнуть при условіяхъ литогенетически также различныхъ. Подъ фаціей Вальтеръ понимаетъ отличительные признаки одновременно образовавшихся породъ, т. е. сумму первичныхъ признаковъ породы. Въ настоящее время мы всегда видимъ извѣстное соотношеніе (Korrelation) фацій, зависящее отъ ихъ географическаго распредѣленія. Области однородныхъ фацій суши распредѣляются закономѣрно; таковы фаціи центральныхъ лишенныхъ стока областей и периферическихъ; фаціи полярныхъ поясовъ и тропическихъ; фаціи моря отличаются труднѣе, тѣмъ не менѣе, напр., моренный матеріалъ можетъ характеризовать береговую фацію полярнаго моря, коралловые рифы—береговую фацію тропическихъ морей и т. д.

При разсмотрѣніи сочетанія горныхъ породъ необходимо всегда помнить, представляютъ ли онѣ гомологическія образованія, т. е. той же области фацій хотя бы и петрографически различныя, или аналогичныя, т. е. различныхъ фаціальныхъ областей, хотя бы петрографически близкія. Только при одновременной оцѣнкѣ географическаго распространенія организмовъ и литогенетическихъ измѣненій горныхъ породъ можно приблизиться къ возстановленію физико-географическихъ условій прошлаго.

Мысли эти не представляли чего либо новаго и въ то время (1893—94 г.), но тѣмъ не менѣе значеніе первычныхъ свойствъ горныхъ породъ недостаточно оцѣнивалось. Такъ противоположный смыслъ отложеній соли и гипса съ одной стороны и каменнаго угля съ другой, соотвѣтствующій условіямъ центральныхъ и периферическихъ областей, только недавно былъ оттѣненъ Зюссомъ **). Послѣдовательная смѣна угленосныхъ образованій гипсоносными можетъ показывать превращеніе периферической области въ центральную и обратно, т.-е. смѣну климатическихъ фацій.

Часто заключенія о климатѣ дѣлали исключительно, напр., по морскимъ отложеніямъ, такъ какъ континентальныя отложенія внутреннихъ частей материковъ соотвѣтствующаго времени оставались совершенно неизвѣстными; напр., для каменноугольнаго періода.

Необходимо помнить, что всѣ, включительно до новѣйшихъ—Фреха и Лаппарана, попытки возстановленія очертаній суши въ различныя

*) Joh. Walther, Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. 1893—94, стр. 976 и слѣд.

**) Ed. Suess, Das Antlitz der Erde, 1901, III.

геологическія эпохи *) представляютъ только эскизы, для полноты которыхъ не хватаетъ еще данныхъ для обширнѣйшихъ пространствъ земной поверхности, въ особенности южнаго полушарія; часто одинъ новый фактъ заставляетъ еще значительно измѣнять все построеніе. Глубоководныя изслѣдованія еще продолжаютъ знакомить насъ съ вліяніемъ рельефа дна на морскія теченія и распредѣленіе организмовъ; антарктическія экспедиціи только теперь обѣщаютъ намъ значительное расширеніе геологическихъ свѣдѣній для пространствъ, куда давно уже обращались взоры геологовъ. Но не только глубины океановъ и неизвѣданныя пространства суши таятъ новые факты для геологовъ; они должны жадно слѣдить за успѣхами трудовъ и физика, и химика, блестящія изслѣдованія которыхъ иногда неожиданно открываютъ геологу возможность извлечь изъ прошлаго земли цифры, которыя только и могутъ безповоротно рѣшить нѣкоторыя изъ его наведеній.

Вѣроятныя климатическія измѣненія въ послѣдовательные геологическіе періоды.

Однообразіе въ распредѣленіи тепла по всей поверхности земли въ теченіе палеозойской и мезозойской эръ. Однообразіе въ распредѣленіи тепла независимо отъ широты мѣста составляло въ теченіе этихъ эръ обычное явленіе. Припомнимъ необыкновенное распространеніе такъ называемаго періарктическаго типа фауны верхняго силура отъ Скандинавіи до Бразиліи и Австраліи, что наглядно показываетъ однообразіе климатическихъ условій того времени. Необыкновенно широкое распространеніе многихъ формъ средняго (кальцеоловые слои съ Calceola sandelina и стрингоцефаловые слои съ Stringocephalus Burtini) и верхняго (слои со Spirifer Verneuili) девона въ мелководныхъ образованіяхъ отъ Канады и сѣвера Европы до Австраліи снова показываетъ единство климатическихъ условій въ теченіе этихъ эпохъ.

Съ наступленіемъ времени карбона получаетъ необыкновенное развитіе насущная флора. Папоротники, плауновыя и хвощи, достигшіе наиболѣе полнаго развитія въ теченіе этого періода, распространяются въ тѣхъ же видахъ отъ широтъ Шпицбергена и Новой Зелли до южной Бразиліи и Замбези. Въ распространеніи морскихъ организмовъ замѣчается такое же однообразіе, какъ въ распространеніи насущнаго населенія; плеченогія мелководной зоны, Productus semireticulatus и Spirifer mosquensis (верхне-каменноугольныя отложенія), кораллы и другія формы встрѣчены повсюду въ морскихъ образованіяхъ того времени отъ полярнаго круга до Австраліи и сѣверной Африки.

Распростаненіе мелководныхъ моллюсковъ, какъ Pseudomonotis ochotica, встрѣченныхъ отъ Аляски и Охотскаго моря до Перу, Новой Зеландіи и Новой Каледоніи, показываетъ равномѣрное распредѣленіе тепла по берегамъ материковъ, омывавшихся водами тріасовыхъ океановъ. Флора и фауна, первые представители которыхъ нисходятъ до каменноугольнаго

*) Frech, Lethaea geognostica, 1897—1903.
Lapparent, Traité de Geologie, 1900.

періода, продолжаютъ развиваться въ новомъ направленіи, которое рѣзко отличаетъ этотъ мезозойскій міръ отъ палеозойскаго. Пресмыкающіяся и крупныя земноводныя представляютъ отличительную особенность фауны этого міра; повсемѣстное распространеніе ихъ отъ Европы до южной Африки позволяетъ, конечно условно, предполагать климатъ безъ морозовъ; дѣйствительно, въ настоящее время полярныя области почти совершенно свободны отъ пресмыкающихся, которыя достигаютъ только ничтожныхъ размѣровъ въ нашихъ широтахъ, подверженныхъ періодическому пониженію температуры ниже 0°. Такія же термальныя условія показываетъ распространеніе саговой пальмы—цикадеи, главной представительницы флоры первой половины мезозоя *); ея ближайшія родственныя формы характерны для тропической современной флоры и, только какъ исключенія, встрѣчаются въ субтропической зонѣ. Цикадовыя пальмы достигаютъ своего наибольшаго развитія во время тріаса, и онѣ встрѣчены даже въ наиболѣе сѣверныхъ частяхъ тріасовыхъ побережій, напр., на землѣ Франца-Іосифа. Растенія земли Франца-Іосифа, относящіяся къ переходному времени между юрой и мѣломъ, представляютъ тѣ же тропическія формы безъ всякихъ указаній на возможность особеннаго холода. Однако, въ теченіе мезозойской эры, по словамъ Шенка, обнаруживается постепенное исчезновеніе большей части цикадовыхъ растеній, которыя оставляютъ только немногіе слѣды въ отложеніяхъ мѣлового періода.

Приведенные факты показываютъ несомнѣнно только одно,—что въ теченіе указанныхъ періодовъ на поверхности земли не было никакихъ тепловыхъ поясовъ; но эти факты отнюдь не могутъ говорить противъ возможности климатической дифференцировки по географическимъ провинціямъ.

Такъ среди археозойскихъ отложеній Индіи открыты (Нётлингомъ) мощные слои темнокрасныхъ песчаниковъ съ волноприбойными знаками и діагональной слоеватостью и подчиненные имъ слои соленосныхъ глинъ. Согласно взглядамъ Вальтера, такія континентальныя отложенія можно считать за фацію жаркаго климата пустынь **).

Нѣкоторыя фаунистическія особенности въ морскомъ населеніи можно обнаружить также въ кембрійскихъ отложеніяхъ Австраліи и Индіи, слѣдовательно третьяго кембрійскаго океана (первый—сѣверо-атлантическій, второй—тихоокеанскій бассейнъ). Среди различныхъ горизонтовъ кембрійскихъ отложеній обнаруживаютъ широкое распространеніе красные

---

*) Будетъ умѣстнымъ напомнить, что теперь доказана принадлежность формъ наиболѣе распространенныхъ каменноугольныхъ растеній, именно семействъ Neuropterideae и Sphenopterideae, не къ папоротникамъ, а къ голосѣмяннымъ; они представляютъ переходныя формы между папоротниками и саговниками.

М. Залѣсскій. Объ открытіи Кидстономъ сѣмени у Neuropt. heterophylla, Br. Зап. Мин. Общ., т. XLII, 1.

**) Katzer Fr., Ueber die rothe Farbe von Schichgesteinen. N. J. f. M., G. u. Pal., 1899, II, 177. На основаніи изслѣдованій въ тропическихъ областяхъ Америки авторъ доказываетъ, что красный цвѣтъ береговыхъ отложеній есть слѣдствіе непосредственнаго воздѣйствія солнечнаго тепла на водные окислы желѣза; процессъ гематизаціи происходитъ быстрѣе сухимъ путемъ (subäolisch) и медленнѣе мокрымъ (subaquatisch); въ послѣднемъ случаѣ окислы желѣза принимаютъ болѣе кристаллическій видъ и фіолетовую окраску.

песчаники, несогласное положеніе которыхъ среди другихъ породъ и петрографическія особенности позволяютъ разсматривать ихъ также за образованія пустынь жаркаго сухого климата.

Для времени нижняго и средняго силура распредѣленіе морской фауны позволяетъ выдѣлить нѣсколько морскихъ провинцій (Фрехъ *) различаетъ четыре), которыя съ расширеніемъ моря во вторую половину этого періода исчезаютъ; для верхняго силура при повсемѣстномъ распространеніи какъ въ сѣверномъ, такъ и въ южномъ полушаріи формъ, совокупность которыхъ и называютъ періарктическимъ типомъ фауны, только въ центрѣ Европы (отъ Бельгіи до восточныхъ Альпъ) въ соотвѣтствующихъ отложеніяхъ находится фауна совершенно иного типа, такъ называемаго южно-европейскаго, или богемскаго. Неймайръ высказывалъ предположеніе о возможности такого обособленія богемскаго типа, какъ остатка экваторіальнаго пояса, по обѣ стороны котораго распространялись сѣверное и южное полярныя моря. Но по мѣрѣ расширенія верхне-силурійскаго моря можно прослѣдить постепенное смѣшеніе фаунъ болѣе древней эпохи, обособленіе которыхъ объясняется какъ распредѣленіемъ суши, такъ и вѣроятными морскими теченіями.

Каменноугольный періодъ незамѣтно, безъ сколько-нибудь рѣзкихъ видимыхъ измѣненій въ границахъ между сушей и моремъ смѣнился пермскимъ. Морское населеніе пермскаго времени представляетъ такую постепенную смѣну формъ карбона, что геологи давно уже отказались проводить какую-либо границу между отложеніями обоихъ періодовъ. Среди морскихъ отложеній пермскаго періода можно отчетливо замѣтить фаціи открытаго моря и внутреннихъ морей, а континентальныя отложенія своей яркой пестрой окраской (напр., мертвый красный лежень Западной Европы, наши красноцвѣтныя и пестроцвѣтныя породы по Западному склону Урала и въ Волжско-Камскомъ бассейнѣ), появленіемъ залежей гипса и соли указываютъ на исключительно сухой и жаркій климатъ.

До сихъ поръ часто повторяется мнѣніе, напр., Фрехомъ **), что каменноугольный періодъ съ его равномѣрнымъ и повсемѣстнымъ развитіемъ однообразной фауны и флоры представляетъ полную противоположность времени пермскому, когда особенно отчетливо обнаруживается обособленіе географическихъ провинцій и климатическое измѣненіе на всей землѣ. Въ дѣйствительности это едва ли такъ.

Конецъ палеозоя давно уже привлекаетъ особенное вниманіе наиболѣе выдающихся геологовъ; это время отмѣчено и нѣкоторыми особенностями, важными и для интересующаго насъ вопроса объ измѣненіяхъ климата земли.

Ледниковая эпоха конца палеозоя. Первоначально въ южномъ полушаріи, именно въ Австраліи, среди верхне-каменноугольныхъ морскихъ слоевъ были встрѣчены слои съ растительными остатками, совершенно иного характера, чѣмъ флора каменноугольная. Общій характеръ этой флоры скорѣе приближаетъ ее къ мезозойской изъ папоротниковъ

*) Lethaea geognostica; I Theil, Leth. palaeozoica, 2 B., 1 Lief., 1897, стр. 88.
**) Lethaea palaeozoica, 2 B., 4 Lief., Das Carbon, 1899 и Die Dyas, 1901—1902, стр. 271—272, 453—454, 581—582.

и хвощей; по наиболѣе характерному роду папоротниковъ она получила названіе глоссоптеріевой флоры. Слои съ глоссоптеріевой флорой сопровождаются и подстилаются другими замѣчательными образованіями изъ отложеній съ валунами и неправильными обломками, покрытыми бороздами и шрамами; характеръ этихъ отложеній, безъ ясныхъ признаковъ обработки водой, по мнѣнію большинства геологовъ, позволяетъ признать ихъ за ледниковыя образованія. Открытіе однородныхъ валунныхъ образованій не замедлилось и въ другихъ странахъ; въ Индіи среди прѣсноводныхъ отложеній такъ называемой гондванской системы были открыты такіе же слои, названные въ нижнихъ горизонтахъ талчирскими слоями съ ледниковыми валунами и обломками, а въ верхнихъ панчетскими съ глоссоптеріевой флорой и фауной крупныхъ пресмыкающихся; въ Южной Африкѣ къ этимъ отложеніямъ приравниваютъ слои Карроо съ конгломератами Двайка въ нижнихъ горизонтахъ; подобныя же слои были найдены въ Бразиліи и Аргентинѣ съ глоссоптеріевой флорой и каменноугольными лепидодендронами *).

Благодаря трудамъ русскихъ изслѣдователей и ученыхъ, въ особенности Карпинскаго и Чернышева **), въ настоящее время удается точнѣе установить возрастъ предполагаемыхъ ледниковыхъ образованій и глоссоптеріевой флоры. Несмотря на возраженія многихъ западно-европейскихъ геологовъ (Фреха, Нётлинга и другихъ), время конгломератовъ талчирскихъ, Двайка и другихъ приходится считать верхне-каменноугольнымъ (древнѣе такъ называемаго артинскаго яруса русскихъ геологовъ); открытія глоссоптеріевой флоры по С. Двинѣ, по р. Печорѣ (слои Оранца), въ Кузнецкомъ бассейнѣ Алтая, а раньше еще въ Альпахъ, показываютъ, что на рубежѣ каменноугольнаго и пермскаго періодовъ характерная флора карбона уже смѣнилась не только въ южномъ полушаріи, но и на значительной части сѣвернаго совершенно инымъ населеніемъ. Первоначально, какъ бы центромъ разселенія этой новой флоры, новаго нарождающагося міра, считали южный материкъ, откуда она постепенно распространялась къ сѣверу и, какъ думали, достигла Европы только ко времени тріаса. Устойчивость этого новаго типа объясняли его приспособленностью къ болѣе холодному климату (аггрессивной силой этихъ новыхъ формъ), такъ какъ появленіе его слѣдовало за предполагаемымъ оледенѣніемъ, покрывшимъ часть южнаго материка; была нарисована стройная картина громадныхъ хребтовъ этого материка, покрытыхъ ледниками, все болѣе спускавшимися и расширявшимися; глоссоптеріевая флора постепенно спускалась вмѣстѣ со льдами, вытѣсняя болѣе требовательную къ мягкому климату флору карбона. Слѣды такихъ хребтовъ, дѣйствительно, можно видѣть въ сильной складчатости, которая обнаруживается въ слояхъ древнихъ образованій, подстилающихъ, напр., систему Карроо въ Южной Африкѣ.

Одновременное распространеніе глоссоптеріевой флоры по всей земной поверхности, а не только въ субтропическихъ областяхъ, нарушаетъ

---

*) Литературу этого вопроса см. дальше, при изложеніи гипотезы Дюбуа.

**) Ѳ. Чернышевъ, Верхне-каменноугольные брахіопады Урала и Тимана. Тр. Геол. Ком., т. XVI, 2, 1902, стр. 398—432.

такой предполагаемый ходъ измѣненій; эта флора является повсюду, какъ развитіе болѣе древнихъ формъ, не связанное съ климатическими колебаніями только въ южномъ полушаріи. Конгломераты, подобные отчасти гондванскимъ валуннымъ отложеніямъ, доказаны и для восточнаго склона Урала (Карпинскимъ); хотя доказательства ихъ ледниковаго происхожденія, также какъ для конгломератовъ Бразиліи, и нѣтъ, но важно, что время ихъ, дѣйствительно, предшествовало (приблизительно въ серединѣ каменноугольнаго періода) появленію глоссоптеріевой флоры Печоры, С. Двины, гдѣ проф. Амалицкимъ была открыта замѣчательная фауна пресмыкающихся, и Кузнецкаго бассейна на Алтаѣ. Словомъ, всюду, гдѣ встрѣчены были конгломераты и валунныя отложенія, однимъ изъ которыхъ приписываютъ ледниковое происхожденіе, они предшествовали появленію глоссоптеріевой флоры, а время ихъ нисходитъ до эпохи развитія еще роскошной каменноугольной флоры.

Вмѣстѣ съ глоссоптеріевой флорой среди отложеній верхняго палеозоя появляются въ особенно богатомъ развитіи разнообразныя гигантскія пресмыкающіяся и земноводныя. Если дѣлать, хотя бы условно, какія нибудь заключенія на основаніи извѣстныхъ соотношеній, то такое роскошное развитіе холоднокровныхъ животныхъ, распространенныхъ одновременно отъ сѣвера Россіи до Южной Африки и Бразиліи, едва ли говоритъ въ пользу сколько-нибудь замѣтнаго охлажденія климатовъ со времени карбона съ его характерной флорой. Съ одинаковымъ правомъ можно, пожалуй, говорить, что обособленіе и развитіе глоссоптеріевой флоры явилось слѣдствіемъ не охлажденія, а увеличенія сухости климатовъ.

Каменноугольный и пермскій періоды отнюдь не являются противоположностями въ смыслѣ, устанавливаемомъ Фрехомъ. Какъ въ томъ, такъ и въ другомъ можно отмѣтить обособленіе областей периферическихъ съ климатомъ морскимъ, влажнымъ и центральныхъ съ климатомъ болѣе континентальнымъ. Рѣзкое обособленіе такихъ провинцій началось не въ пермскомъ періодѣ, а въ каменноугольномъ; одновременно съ образованіемъ залежей каменнаго угля въ однихъ мѣстахъ, въ другихъ происходило отложеніе загадочныхъ валунныхъ и конгломератовыхъ образованій. Частыя колебанія уровня моря характерныя для конца палеозоя, являются причиной физико-географическихъ особенностей различныхъ пространствъ; продолжавшееся поднятіе горныхъ цѣпей должно было еще болѣе усиливать такія провинціальныя особенности.

Измѣненіе климатическихъ условій въ концѣ мезозойской эры. Мы уже говорили (т. I, стр. 260) о попыткѣ Неймайра установить климатическіе поясы для юрскаго періода; онъ отождествлялъ выдѣляемыя имъ провинціи съ климатическими широтными поясами.

Это построеніе Неймайра оказалось однако преждевременнымъ; уже и въ то время (1889 г.) русскіе ученые, въ особенности Никитинъ, не соглашались съ выводами Неймайра, указывая на совершенную произвольность ограниченія бореальной провинціи, а новѣйшія данныя только подтвердили взгляды Никитина; фауна бореальной провинціи оказалась и въ тропическихъ областяхъ, а средиземноморская значительно южнѣе (Аргентина) чѣмъ 30° ю. ш., а по другую сторону Андъ въ Чили и Боливіи оказалась въ то же время фауна среднеевропейскаго типа. Не

обнаруживается никакой зависимости между предполагаемыми климатическими поясами и фаунистическими типами, хотя остается несомнѣннымъ широкое распространеніе бореальнаго типа, распространявшагося отъ арктическихъ областей къ югу. Здѣсь впервые въ исторіи земли все-таки обнаружилось съ достаточной отчетливостью распространеніе животнаго населенія отъ сѣвера къ югу; Неймайръ объяснялъ эту миграцію большей аггресивной силой сѣверныхъ типовъ, устойчивостью ихъ въ борьбѣ за существованіе, подкрѣпляя свои выводы ссылкой на современное распространеніе животныхъ, древнѣйшіе типы которыхъ какъ бы оттѣснены южнѣе экватора на крайнія оконечности остатковъ геологическихъ материковъ, къ Новой Зеландіи, Тасманіи и Мадагаскару.

Примемъ ли мы это объясненіе или другое, по которому борельная фауна распространялась отъ сѣвера къ югу, вытѣсняемая все болѣе неблагопріятными условіями для ея жизни, причемъ на смѣну ей развивались болѣе приспособленные типы, въ обоихъ случаяхъ мы сталкиваемся съ фактомъ уже замѣтнаго климатическаго различія между полярными и экваторіальной частями поверхности земли, хотя далеко не въ тѣхъ размѣрахъ, какіе предполагалъ Неймайръ. Болѣе опредѣленно и рѣзко выраженное различіе того же характера обнаруживается въ мѣловомъ періодѣ (т. I, стр. 274).

Въ связи съ проявленіемъ нѣкотораго климатическаго различія между полярными и тропическими областями въ юрскую эпоху и съ исчезновеніемъ ко времени мѣла большей части такихъ представителей тропическаго климата, какъ саговыя пальмы, изъ такого характера климатической поясовой диференцировки ко времени верхняго мѣла можно сдѣлать заключеніе объ измѣненіи общихъ термальныхъ условій сравнительно съ послѣ-палеойзойской эпохой. Относительно найденной въ полярныхъ странахъ ископаемой флоры мѣлового періода Шенкъ *) высказываетъ также сильное сомнѣніе въ ея принадлежности къ тропической. На смѣну цикадовой и хвойной растительности тріаса въ нижне-мѣловыхъ слояхъ (въ Сѣверной Америкѣ, потомакскіе слои) появляются первыя растенія съ опадающей листвой, т. е. двудольныя, которыя, повидимому, отсюда распространялись къ западу въ Европу. Крупныя пресмыкающіяся первой половины мезозойской эры постепенно къ началу кенозойской эры уступаютъ мѣсто млекопитающимъ и птицамъ; одновременно съ этимъ происходитъ и дальнѣйшее распространеніе въ сѣверномъ полушаріи двудольныхъ растеній. Обнаруживается все большее усиленіе формъ, по своей организаціи болѣе приспособленныхъ къ климатическимъ колебаніямъ.

Изъ черепахъ и крокодиловъ, двухъ наиболѣе древнихъ геологическихъ порядковъ пресмыкающихся, извѣстныхъ съ начала мезозоя, послѣдніе ограничиваются теперь на материкахъ тропиками и субтропическими областями, а первыя достигаютъ здѣсь наибольшаго развитія; такое распространеніе обнаруживаютъ и морскіе ихъ родичи (черепахи и крокодилы, ищущіе морскую воду). Геологически болѣе новыя группы пресмыкающихся, какъ ящерицы и змѣи, лучше приспособлены къ кли-

*) Zittel-Schenk, Palaeophytologie, 1890, II, стр. 806—822.

матическимъ измѣненіямъ и географически распространены теперь гораздо шире, хотя все-таки достигаютъ наибольшаго распространенія и наибольшихъ размѣровъ въ тропикахъ. Исчезновеніе большей части холоднокровныхъ позвоночныхъ къ началу слѣдующей кенозойской эры и географическое распространеніе оставшихся, также какъ и саговыхъ пальмъ, является какъ бы слѣдствіемъ наступавшихъ все менѣе благопріятныхъ условій для ихъ существованія.

Со второй половины мезозоя, т. е. со времени болѣе рѣзкаго проявленія климатическихъ поясовъ, обнаруживается какъ бы воздѣйствіе болѣе сложныхъ внѣшнихъ условій на характеръ населенія. Исчезновеніе морскихъ хищниковъ, какъ ихтіозавры и плезіозавры, повидимому совпадаетъ съ медленнымъ вымираніемъ головоногихъ моллюсковъ (аммонитовъ и белемнитовъ), составлявшихъ ихъ главную пищу; исчезновеніе ихъ могло зависѣть также (по мнѣнію Кокена) отъ постепеннаго развитія до громадныхъ размѣровъ акулъ, т. е. новыхъ хищниковъ; громадныя рептиліи съ крайней спеціализаціей отдѣльныхъ органовъ ихъ тѣла, какова удивительная лебединая шея плезіозавровъ или, наоборотъ, короткая шея съ узкой головой дельфинообразныхъ ихтіозавровъ, оказывались менѣе приспособленными къ неожиданнымъ перемѣнамъ физико-географическихъ условій, чѣмъ маленькія и болѣе совершенныя млекопитающія и птицы.

Конецъ палеозоя и послѣ-палеозойская эпоха съ ихъ необыкновеннымъ развитіемъ материковъ и крупными горообразовательными явленіями характеризуются появленіемъ новаго органическаго міра, который достигъ своего развитія и увяданія въ теченіе мезозоя. Преобладаніе морского развитія надъ материковымъ составляетъ отличительную черту второй половины мезозоя. Конецъ мезозойской эры, когда опредѣленнѣе всего выразилось увяданіе мезозойскаго міра, обнаруживаетъ признаки измѣненія общихъ термальныхъ условій въ смыслѣ появленія климатическихъ поясовъ и охлажденія околополярныхъ областей.

Обособленіе климатическихъ широтныхъ поясовъ въ кенозойскую эру. Измѣненіе общаго характера фауны, какое было отмѣчено къ концу верхне-мѣлового періода, закончилось совершенно къ началу третичнаго. Упомянутые морскіе хищники и гигантскіе динозавры, эти странные исполинскіе ящеры, ходившіе на заднихъ ногахъ, исчезаютъ безъ слѣда уже въ нижне-третичныхъ образованіяхъ; въ морѣ появляются акулы и громадные киты. Исчезновеніе многихъ родовъ изъ безпозвоночныхъ животныхъ (аммониты, белемниты, рудисты и друг.) и появленіе новыхъ семействъ въ отрядѣ фораминиферъ (нуммулиты) придаютъ нѣкоторую особенность и этой части морского населенія третичнаго періода, хотя въ общемъ безпозвоночная фауна третичнаго періода мало отличается отъ соотвѣтствующей фауны мезозоя. Насушное населеніе измѣнилось рѣзче; такъ появляются, какъ упомянуто, въ большомъ разнообразіи формъ млекопитающія. Нынѣ живущія животныя и растенія постепенно усиливаются среди ископаемыхъ формъ третичнаго періода, появляясь или въ видѣ тождественныхъ современнымъ или весьма близкихъ къ нимъ формахъ. Степень измѣненія органическаго міра въ теченіе кенозойской эры сравнительно съ его измѣненіями въ различныя предше-

ствовавшія эпохи оказывается гораздо менѣе значительной, и необходимо предполагать, что кенозойская эра по своей продолжительности значительно короче предшествовавшихъ эръ или даже періодовъ (Неймайръ).

Шенкъ отмѣчаетъ въ эоценовой флорѣ сѣвера Европы преобладаніе тропическихъ и субтропическихъ формъ. Флора олигоцена обнаруживаетъ уже уменьшеніе температуры и частью влажности атмосферы; повидимому, обнаруживается уже вліяніе географическихъ широтъ и съ другой стороны мѣстныхъ (фаціальныхъ) условій; среди нея много уже такихъ формъ, которыя вовсе не относятся къ тропическимъ. Міоценовая флора Европы представляетъ еще много общаго съ олигоценовой; пальмы и цикадовыя росли еще повсюду къ сѣверу отъ Альпъ. Ко времени верхняго міоцена тропическія формы исчезаютъ, замѣщаясь формами умѣреннаго пояса; въ высокихъ сѣверныхъ широтахъ, какъ на Шпицбергенѣ и въ Гренландіи, въ концѣ міоцена флора показываетъ уже замѣтное пониженіе температуры, хотя по мнѣнію другого авторитета, Освальда Геера *), общій характеръ этой флоры требуетъ еще повышенія средней годовой температуры сравнительно съ современной для Шпицбергена по крайней мѣрѣ на $17^1/_2°$ С, а для Гринеллевой земли на 28° С, т. е. среднія годовыя температуры Іессо въ Японіи и Средней Германіи (9° и 8° С). По мнѣнію графа Сапорта **) ископаемая флора полярныхъ мѣстонахожденій относится даже скорѣе къ эоцену; въ этой флорѣ совершенно нѣтъ пальмъ и мало лавровыхъ деревьевъ, которыя однако извѣстны въ Средней Европѣ въ эоценовыхъ отложеніяхъ. Флора полярныхъ мѣстонахожденій, состоящая изъ бука, тополя, вяза и дуба съ платанами и магноліями, представляется многими видами, тождественными съ міоценовыми формами Европы. Она является какъ бы предшественницей міоценовой флоры, возникшей черезъ миграцію этихъ эоценовыхъ формъ отъ сѣвера къ югу; но такъ какъ въ міоценовыхъ отложеніяхъ Европы извѣстны и пальмы, то послѣднія, повидимому, никогда не проникали за полярный кругъ. Пониженіе температуры продолжается и въ эпоху пліоцена; вмѣстѣ съ типами, родственныя формы которыхъ продолжаютъ жить въ Европѣ еще и теперь, встрѣчаются формы азіатскія, африканскія и американскія, не распространяющіяся теперь далеко къ сѣверу. Распредѣленіе формъ не показываетъ уже на вполнѣ однообразный климатъ даже для Европы, такъ около Ліона развиты формы болѣе нѣжныя, чѣмъ въ долинѣ Рейна ***).

Климатическія условія, медленно измѣнявшіяся во время двухъ предшествовавшихъ эръ, когда однообразіе въ распредѣленіи тепла по всей поверхности земли независимо отъ широты мѣста составляло какъ бы обычное явленіе, начинаютъ быстро измѣняться съ конца мѣлового періода въ теченіе третичнаго, продолжительность котораго была во много разъ меньше, чѣмъ двухъ минувшихъ до него эръ. Относительно слабые еще признаки климатическихъ поясовъ эоцена смѣняются ко времени

*) Osw. Heer, Untersuchungen über das Klima und die Vegetationsverhältnisse des Tertiärlandes, 1860. Его же, Die Urwelt der Schweiz, 1864 и Flora fossilis arctica, II, 1874.

**) De Saporta, Le Monde des plants avant l'apparition de l'homme, 1879.

***) R. Zeiller, Éléments de Paléobotanique, 1900, стр. 348—364.

пліоцена уже условіями, вѣроятно мало чѣмъ отличавшимися отъ современныхъ.

Эпоха великаго оледенѣнія какъ бы завершаетъ быстрое измѣненіе термальныхъ условій въ теченіе третичнаго періода; наступаетъ на всей земной поверхности пониженіе температуры, послѣ котораго температурная волна снова поднимается до прежнихъ условій пліоценовой эпохи. Медленный вообще ходъ развитія въ органической и неорганической природѣ, смѣнившійся ускореннымъ темпомъ уже въ третичномъ періодѣ, достигаетъ въ эту эпоху наибольшаго напряженія.

Общія замѣчанія. Таковы въ общихъ чертахъ факты о климатическихъ измѣненіяхъ земли въ теченіе ея жизни. Изъ этихъ фактовъ видно, что нѣтъ никакого основанія говорить о геологическихъ волнахъ климата, поддерживаемыхъ Зупаномъ, Гюнтеромъ и Креднеромъ *).

Въ настоящее время геологія приходитъ, правда, къ выводу (Фрехъ, Хогъ и другіе *), что въ общемъ ходѣ географо-геологическихъ измѣненій въ исторіи земли обнаруживаются рядомъ съ исключительными, рѣдкими событіями также явленія другого порядка, періодически повторяющіяся. Послѣднія выражаются въ послѣдовательности регрессій и трансгрессій моря, управляющихъ непрерывнымъ развитіемъ и дифференцировкой органическаго міра. Цѣлые періоды въ исторіи земли, какъ во время верхняго кембрія и въ теченіе конца палеозоя и начала мезозоя, отмѣчены частыми колебаніями границъ между сушей и моремъ; это были періоды наибольшей дифференцировки и обособленія физико-географическихъ условій на земной поверхности и слѣдовательно организмовъ, которые должны были приспособляться къ вновь наступавшимъ условіямъ жизни. Можно замѣтить также послѣдовательную смѣну, по крайней мѣрѣ для сѣвернаго полушарія болѣе изученнаго, эпохъ рѣзкаго обособленія морскихъ провинцій подъ вліяніемъ продолжительной регрессіи, какъ въ началѣ періодовъ силурійскаго, девонскаго, юрскаго и мѣлового, и эпохъ широкаго распространенія однообразныхъ фаунъ подъ вліяніемъ трансгрессій въ теченіе второй половины тѣхъ же періодовъ. Границы между геологическими періодами отмѣчены слѣдовательно сильными измѣненіями физико-географическихъ условій (регрессіи моря). Конечно, въ различныхъ частяхъ земной поверхности такія измѣненія наступали неодновременно. Все болѣе выясняется также вѣроятность сопряженности регрессій въ одномъ мѣстѣ съ трансгрессіями въ другомъ; явленія горообразованія и постепеннаго повышенія дна моря подъ вліяніемъ отложенія новыхъ осадковъ служатъ причинами колебаній границъ между сушей и моремъ, или, иными словами, каждое перемѣщеніе въ твердой земной корѣ вызываетъ перемѣщеніе въ ея водной оболочкѣ. Для объясненія всѣхъ такихъ періодически повторяющихся явленій геологу нѣтъ надобности прибѣгать къ какимъ либо факторамъ внѣ земли. Нѣтъ надобности къ нимъ обращаться даже для объясненія такихъ широкихъ

*) R. Credner, Das Eiszeit-Problem. Wesen und Verlauf der diluvialen Eiszeit. Jahresber. geogr. Ges. Greifswald, 1902, 16.

**) Frech, Dyas, 1902, стр. 670—678.

Haug, Les géosynclinaux etc., Bull. soc. géol. de France, 1900, XXVIII, стр. 683.

явленій, какъ обширныя трансгрессіи второй половины нѣкоторыхъ періодовъ, какъ силура, девона и мѣла, для которыхъ въ предѣлахъ изслѣдованныхъ частей земной поверхности нельзя еще указать съ полной достовѣрностью сопряженныхъ съ ними регрессій. Расширеніе періарктическихъ океановъ силура и девона вѣроятнѣе всего вызывается уменьшеніемъ ихъ средней глубины, разъ количество воды не измѣняется, какъ это давно уже было высказываемо Зюссомъ.

Словомъ, цѣлый рядъ періодически возобновлявшихся явленій въ исторіи земли выражается въ сопряженныхъ, взаимно компенсирующихся, движеніяхъ моря, которыя вызывались очень сложными причинами въ самой землѣ, т. е. теллурическими.

Этотъ непрерывный ходъ развитія земли прерывается тѣмъ не менѣе нѣсколькими событіями, которыя какъ бы ускоряютъ темпъ ея жизни и проявляются одновременно по всей поверхности земли, поскольку она уже изслѣдована. Такія событія сосредоточены въ концѣ палеозоя и на рубежѣ современной эпохи.

Они выражаются въ крупнѣйшихъ орогеническихъ движеніяхъ, а въ отношеніи геологическихъ климатовъ двумя эпохами предполагаемаго и доказаннаго оледенѣнія. Великой ледниковой эпохѣ предшествовала фаза крупнѣйшихъ движеній въ твердой земной корѣ въ теченіе второй половины третичнаго періода: отношеніе такихъ орогеническихъ фазъ и предполагаемой ледниковой эпохи конца палеозоя нѣсколько иное.

Если вопреки мнѣнію Фреха и другихъ западно-европейскихъ геологовъ предполагаемую ледниковую эпоху конца палеозоя не выдѣлять въ пермское время, то необходимо признать, что эта эпоха и нѣсколько фазъ крупнѣйшихъ орогеническихъ движеній, обнявшихъ поверхность всей земли, были одновременными и частью даже эти фазы слѣдовали за предполагаемой ледниковой эпохой.

Конецъ палеозоя и время великаго ледниковаго развитія, дѣйствительно, отмѣчены рѣзкими чертами, которыя позволяютъ сохранить за этими періодами исторіи земли названіе критическихъ, впервые предложенное Ле-Контомъ (1891 г.) *).

Только эти два періода обнаруживаютъ особенности, какихъ нельзя замѣтить въ другіе моменты исторіи земли: въ концѣ палеозоя физико-географическая дифференцировка земной поверхности, при отсутствіи климатическихъ поясовъ въ тѣсномъ смыслѣ, достигла крайняго напряженія; рядомъ съ флорой и фауной, равномѣрно распространявшимися независимо отъ широты мѣста, встрѣчаются признаки предполагаемаго охлажденія, непостоянные, повторяющіеся въ однихъ и тѣхъ же мѣстахъ по нѣсколько разъ. Термальныя условія на поверхности земли повидимому подвергаются колебаніямъ, крайнія степени которыхъ сосредоточиваются не только въ южномъ полушаріи, но распространяются и на сѣверное, преобладая все-таки, какъ было уже указано, въ низкихъ широ-

*) Le Conte, Elements of Geology, 1891, стр. 594—600. Повидимому иного взгляда на значеніе ледниковой эпохи держится, напр., Лаппаранъ (Tr. de géologie, 1900, стр. 1642), указывающій на ничтожность измѣненія фауны и флоры въ теченіе ледниковой эпохи; онъ не видитъ, чтобы геологическіе факты позволяли переоцѣнивать значеніе эпохи.

тахъ, частью въ тропическомъ поясѣ. Такое колебаніе термальныхъ условій продолжается въ теченіе цѣлаго геологическаго періода (конецъ палеозоя), вслѣдъ за которымъ эволюція земной поверхности снова продолжается болѣе спокойно. Великая ледниковая эпоха явилась естественнымъ продолженіемъ пониженія общихъ термальныхъ условій съ начала третичнаго періода. Такому пониженію предшествовало постепенное обособленіе климатическихъ поясовъ въ мѣловомъ періодѣ и, быть можетъ, съ конца юрскаго, но только въ эту эпоху обнаружились рѣзкія климатическія колебанія и какъ слѣдствіе этого перераспредѣленіе органическаго міра на земной поверхности.

Естественнымъ заключеніемъ изъ такого разсмотрѣнія измѣненій термальныхъ условій земной поверхности въ теченіе исторіи земли можетъ быть только одно, что истинная причина какъ ледниковой эпохи, такъ и сложной климатической дифференцировки конца палеозоя тѣсно связана съ эволюціей земли, какъ нераздѣльнаго члена всей солнечной системы. Цѣлый рядъ мѣстныхъ причинъ, какъ распредѣленіе суши и воды, поднятія суши, отклоненіе морскихъ теченій и т. под. несомнѣнно оказывали вліяніе на то или иное проявленіе климатическихъ измѣненій, усиливая или ослабляя ихъ; но однѣми географическими причинами объяснить ни ледниковой эпохи, ни другихъ палеотермальныхъ особенностей все-таки нельзя.

Гипотезы, которыми объясняютъ колебанія климата земли.

Въ настоящее время можно отмѣтить въ этомъ вопросѣ два направленія научной мысли, которыя даже не исключаютъ другъ друга. Одно стремится привести въ стройное единство всю массу фактовъ, считая внѣшнія термальныя условія земли неизмѣнными со времени появленія на ея поверхности первой органической жизни; другое, напротивъ, считается съ возможностью измѣненія этихъ внѣшнихъ условій. Большинство геологовъ придерживается перваго направленія; но нельзя не замѣтить, что это зависитъ не столько отъ подавляющаго сочетанія фактовъ, сколько отъ преувеличеннаго нѣсколько представленія о неизмѣнности качества геологическихъ факторовъ, хотя въ данномъ случаѣ дѣло идетъ даже объ измѣненіи только напряженности одного изъ факторовъ.

Причины измѣненія климата могутъ быть космическаго (физическаго) и теллурическаго характера; тѣ и другія могутъ оказывать свое вліяніе постоянно и всегда въ опредѣленномъ направленіи. Но кромѣ того могутъ быть и причины, дѣйствующія періодически; послѣднія можно назвать астрономическими, какъ зависящія отъ особенностей только движенія земли.

Астрономическія гипотезы.

Всѣ онѣ ведутъ свое начало отъ гипотезы Роде (J. P. von Rohde, 1809 г.), формулированной имъ еще задолго до выясненія самыхъ условій ледниковаго періода *). Основываясь на теоріи Лапласа, Роде пришелъ къ выводу, что для каждаго полушарія попеременно черезъ опредѣленные промежутки времени (вслѣдствіе такъ называемой прецессіи) наступаетъ извѣстное увеличеніе продолжительности зимняго полугодія сравнительно съ лѣтнимъ, или перемѣщеніе зимняго полугодія изъ положенія въ афеліи въ перигелій **). Роде указываетъ, какъ на слѣдствіе изъ этого, особыя условія неодинаковаго согрѣванія и освѣщенія, неизбѣжно вліяющія на климатическія особенности каждаго полушарія. Въ 1875 году Кроль ***) раз-

*) Günther, Handb. d. Geoph., II, 1899, стр. 334.

**) Въ настоящее время для сѣвернаго полушарія зимное полугодіе болѣе короткое на 8 дней, чѣмъ лѣтнее, приходится въ положеніи земли въ перигеліи, т. е. въ ближайшемъ отъ солнца.

***) J. Croll, Climate and Time, 1875. Также—Climate and Cosmology, 1885.

вилъ эту гипотезу Роде, внося поправку на измѣненіе эксцентриситета земной орбиты, при наступленіи максимума котораго (послѣдній разъ за 850,000 лѣтъ до нашей эры) разность продолжительности полугодій достигала до 36 дней. Полушаріе, имѣющее зиму въ афеліи должно имѣть суровый и холодный климатъ, получая въ теченіе зимы менѣе тепла вслѣдствіе значительнаго удаленія отъ солнца, а короткое лѣто для этого полушарія, хотя болѣе теплое, вслѣдствіе близости отъ солнца, будетъ недостаточно, чтобы превратить въ воду всю массу льда и снѣга, накопившихся въ теченіе долгой зимы, и въ этомъ полушаріи наступаетъ ледниковая эпоха.

Не останавливаясь подробнѣе на этой и другихъ астрономическихъ гипотезахъ, напр., Шмика *) (періодическое и попеременное для каждаго полушарія наступаніе моря вслѣдствіе притяженія солнцемъ водъ океана при положеніи полушарія въ перигеліи), достаточно замѣтить, что всѣ такія астрономическія гипотезы имѣютъ общій недостатокъ; онѣ требуютъ періодичности въ наступленіи теплыхъ и холодныхъ эпохъ климата, слѣдовательно періодическаго повторенія ледниковой эпохи и притомъ попеременно въ каждомъ полушаріи. Ни то, ни другое не подтверждается.

Космическія гипотезы.

Палеоклиматическія измѣненія, насколько они намѣчены до сихъ поръ, показываютъ, что до наступленія ледниковой эпохи или, правильнѣе, времени пліоцена термальныя условія на земной поверхности были повышены сравнительно съ современными.

Количество тепла, такъ или иначе распредѣляемаго на земной поверхности, можетъ повыситься отъ болѣе высокой степени лученспусканія (тепловой радіаціи) солнца или же отъ болѣе высокой степени поглощенія тепла земной атмосферой **). Хотя противъ перваго предположенія еще недавно высказывался одинъ изъ наиболѣе авторитетныхъ физиковъ и метеорологовъ, Экгольмъ (1901 г.), тѣмъ не менѣе основанная на этомъ предположеніи гипотеза Дюбуа, въ особенности съ поправками къ ней Воейкова и недавно сдѣланными самимъ Дюбуа (1902 г.), снова обращаетъ на себя вниманія.

Главныя положенія этой гипотезы заключаются въ слѣдующемъ ***). Климаты земли со времени появленія органической жизни зависятъ только отъ солнца. Солнце представляетъ звѣзду, которая должна была испытать въ своемъ развитіи четыре фазы: 1) состоянія бѣлой звѣзды, температуры значительно болѣе высокой, чѣмъ теперь; въ теченіе этой фазы колебанія температуры были ничтожны; этой фазѣ соотвѣтствуетъ время до-третичнаго періода; 2) относительно короткаго переходнаго времени къ состоянію желтой звѣзды; это время сопровождалось быстрымъ охлажденіемъ, которое обнаружилось и на землѣ съ начала третичнаго періода до плейстоценовой эпохи (т. е. ледниковой); 3) состоянія желтой звѣзды, температуры почти постоянной въ теченіе долгаго времени; во время этой фазы черезъ значительные промежутки времени, постепенно сокращающіеся, на солнцѣ происходятъ химическія соединенія, причемъ звѣзда принимаетъ красноватый цвѣтъ; спектры такихъ звѣздъ характеризуются колоннами темныхъ линій, а не отдѣльными линіями, какъ для желтыхъ звѣздъ. Этимъ періодамъ затемнѣнія солнца и соотвѣтствуютъ отдѣльныя ледниковыя эпохи, а временамъ возврата солнца къ желтому состоянію— эпохи междуледниковыя, болѣе продолжительныя сравнительно съ временами развитія ледниковъ; въ одной изъ такихъ междуледниковыхъ эпохъ мы живемъ въ настоящее время; вслѣдствіе медленнаго и равномѣрнаго уменьшенія солнечнаго лученспусканія въ теченіе желтой фазы такія перемежающіяся эпохи будутъ, вѣроятно, повторяться очень долго; 4) лишь передъ концомъ жизни солнца холодные періоды должны значительно увеличиваться, пока солнце не перейдетъ въ состояніе красной звѣзды и наконецъ темнаго тѣла. Тогда наступитъ по выраженію Воейкова „на-

---

*) Schmick, Das Flutphänomen и другія работы.

Всѣ астрономическія гипотезы подробно разобраны въ статьѣ А. Воейкова, Къ вопросу о колебаніи климата. Метеорологическій Вѣстникъ, 1902.

**) Предположенія о вліяніи внутренней теплоты земли и прохожденія солнечной системы черезъ болѣе нагрѣтыя небесныя пространства — первое неосновательно, а второе слишкомъ гипотетично.

***) Eug. Dubois, Die Klimate der Geologischen Vergangenheit und ihre Beziehung zur Entwickelungsgeschichte der Sonne, 1893.

Его же, Les causes probables du phénomène paléoglaciaire permo-carbonifèrien dans les basses latitudes. Archives du Musée Teyler, Ser. II, vol. VII, 1901, 313—362 и ser. II, vol. VIII, 1902, 13—91 и 157—163.

чало конца". Съ геологической точки зрѣнія наиболѣе слабымъ мѣстомъ гипотезы является предположеніе о продолжительныхъ междуледниковыхъ эпохахъ, сущность которыхъ мы понимаемъ иначе.

Гипотеза Дюбуа находится въ полномъ согласіи съ современными представленіями о состояніи солнца и звѣздъ по Гельмгольцу, Томсону, Секки *). Равномѣрность лученспусканія въ состояніи бѣлой и желтой звѣзды и быстрое уменьшеніе лученспусканія въ переходномъ—отъ бѣлой къ желтой—состояніи подтверждается, напр., тѣмъ, что только немногія звѣзды находятся въ такомъ переходномъ состояніи, а безконечное множество или въ постоянномъ бѣломъ, или въ постоянномъ желтомъ состояніяхъ. Труднѣе, кажется, объяснить однообразіе климатовъ минувшихъ эпохъ, такъ какъ избытокъ тепла того времени долженъ распредѣляться тремя частями для тропиковъ и только одной частью для полярныхъ областей. Дюбуа предполагаетъ атмосферу земли болѣе насыщенной парами съ постоянными густыми облаками, болѣе сильную циркуляцію воздушныхъ и морскихъ теченій и преобладаніе въ солнечныхъ лучахъ отъ болѣе раскаленнаго тѣла лучей фіолетовыхъ и ультра-фіолетовыхъ (короткой волны), болѣе поглощаемыхъ атмосферой, чѣмъ красные лучи; при такихъ условіяхъ нижніе слои воздуха тропическихъ областей должны получить отъ бѣлаго солнца относительно немного больше тепла, чѣмъ теперь, а избытокъ поглощенный верхними слоями атмосферы, поступаетъ на усиленіе циркуляціи воздуха отъ низкихъ широтъ къ высокимъ, т. е. косвеннымъ путемъ на поднятіе общей температуры околополярныхъ областей. Слѣдовательно, избытокъ тепла, получаемаго нижними слоями воздуха въ тропикахъ, не можетъ быть настолько великъ, чтобы исключить тамъ возможность органической жизни, что нерѣдко указывается, какъ возраженіе противъ гипотезы болѣе сильнаго лученспусканія солнца. Обратно, при переходѣ солнца въ состояніе красной звѣзды, когда преобладаютъ ультра-красные и красные лучи, они достигаютъ въ большемъ процентномъ отношеніи нижнихъ слоевъ атмосферы и подъ тропиками температура можетъ быть даже выше, но вслѣдствіе общаго уменьшенія тепла во всемъ слоѣ атмосферы надъ тропиками температурный градіентъ (т. е. разница) между тропиками и полярными областями уменьшается и условія согрѣванія послѣднихъ становятся менѣе благопріятными, чѣмъ теперь.

Воейковъ дѣлаетъ метеорологическія поправки къ выводамъ Дюбуа, между прочимъ, въ томъ отношеніи, что условія согрѣванія полярныхъ областей зависятъ существенно отъ развитія тамъ морского климата, а не континентальнаго; этимъ можно было бы объяснить и относительную умѣренность холода теперь въ полярныхъ странахъ, сравнительно съ ледниковой эпохой, если тогда существовало еще соединеніе Европы съ Гренландіей. Далѣе Воейковъ доказываетъ, что въ тропическихъ областяхъ при уменьшеніи количества солнечнаго тепла разница въ согрѣваніи нижнихъ слоевъ атмосферы, сравнительно съ временемъ болѣе жаркаго солнца, еще невелика, но она значительна въ верхнихъ слояхъ атмосферы; это объясняетъ, между прочимъ, возможность образованія ледниковъ въ высокихъ тропическихъ горахъ **). Это соображеніе можетъ имѣть нѣкоторое значеніе для оцѣнки предполагаемыхъ ледниковыхъ явленій времени карбона. Если только допустить возможность временнаго переходнаго состоянія солнца изъ бѣлой въ желтую звѣзду (уменьшеніе радіаціи лучей короткой волны) или вообще колебаній въ лученспусканіи въ концѣ палеозоя, то нѣтъ ничего невѣроятнаго въ образованіи ледниковъ въ тропическихъ областяхъ того времени.

Ледниковая эпоха конца палеозоя ***), если даже допустить согласно съ Дюбуа обиліе осадковъ въ субтропическихъ областяхъ того времени, представляетъ тѣмъ

---

*) Этого нельзя сказать про другую космическую гипотезу Blandet (1868 г.) о бо́льшей величинѣ первичнаго солнца. Эта гипотеза, согласная съ взглядами Гельмгольца о сокращеніи солнца, сильно поддерживается до сихъ поръ Лаппараномъ (Traitè etc.) и также Мэрреемъ (J. Murrey, On the deep and shallow-water Marine Fauna of the Great Souther Ocean. Trans. Royal Soc. of Edinb., Vol. 38, 1896, стр. 496—499). Нужно согласиться, что сокращеніе діаметра солнца могло быть одной изъ причинъ нѣкоторыхъ палеотермальныхъ измѣненій.

**) Эту поправку развиваетъ и Дюбуа въ своихъ новѣйшихъ работахъ.

***) Разбросанная литература до 1901 г. о ледниковыхъ явленіяхъ конца палеозоя обстоятельно собрана въ цитированныхъ уже работахъ Дюбуа, также F. Noetling: Beiträge z. Kenntn. d. glac. Schicht. perm. Alters in der Salt-range. Neues Jahrb. f. M., G. u. Pal., 1896, B. 2, стр. 61—86.

— Beiträge z. Geol. der Saltrange. XIV Beil. Bd., N. Jahrb. d. G., M. u. Pal., 1901, стр. 468—471.

и Frech, Die Dyas, 1902, 581—627.

не менѣе явленіе настолько исключительное и обособленное въ исторіи земли, что естественно возникаетъ сомнѣніе въ правильности его опредѣленія. Среди геологовъ давно уже многіе указывали, напр., Пенкъ *), что полнаго тожества между валунными отложеніями конца палеозоя и ледниковыми отложеніями великой ледниковой эпохи все-таки нѣтъ; слоистостью и частымъ появленіемъ валуновъ, ошлифованныхъ по нѣсколькимъ гранямъ (Facettengeschiebe), эти отложенія отличаются довольно рѣзко отъ несомнѣнно ледниковыхъ, напоминая отложенія бурныхъ потоковъ и нѣкоторыя псевдоледниковыя образованія, напр., у подножія Альпъ. Слоистость валунныхъ отложеній Австраліи объясняется теперь происхожденіемъ ихъ частью при стапваніи плавающихъ айсберговъ, распространявшихся отъ антарктическаго ледниковаго покрова; направленіе бороздъ и шрамовъ показываетъ также довольно согласно движеніе отъ полюса къ сѣверу. Что касается до ошлифованныхъ валуновъ изъ отложеній Пенджаба въ Индіи (Соляной кряжъ), то Кокенъ и Нётлингъ **) разсматриваютъ ихъ какъ части ледниковаго ложа, шлифуемаго дѣйствіемъ нижней морены; валуны были заключены въ тонкомъ пескѣ, превращенномъ теперь въ песчаникъ; при повторенномъ оттапваніи песка подъ ледниковымъ покровомъ валуны могли переворачиваться, и шлифовкѣ подвергались различныя стороны; при оттапваніи такой почвы части ея могли увлекаться движеніемъ льда, становясь въ свою очередь нижней мореной, и ограненные ошлифованные валуны попадаются также въ верхнихъ валунныхъ отложеніяхъ, теперь въ видѣ валуннаго мергеля. Слоистость отложеній, покрывающихъ валунный мергель, позволяетъ разсматривать ихъ за осадки отъ совмѣстной дѣятельности ледниковъ и воды (флювіогляціальныя). Нѣмецкая антарктическая экспедиція „Гаусса“ показала, что валуны, включенные въ айсберги, и основной морены у подножія горы Гаусса, замѣтно отличаются отъ обычнаго типа валуновъ основной морены; среди нихъ очень рѣдки валуны округленные и изборожденные со всѣхъ сторонъ и наоборотъ очень обыкновенны камни, ошлифованные по двумъ или болѣе сторонамъ, но въ промежуткахъ остроребристые, совершенно однородные граненымъ валунамъ (Facettengeschiebe) конца палеозоя ***).

Пониженіе снѣговой линіи въ субтропической области при замѣтномъ преобладаніи тамъ материковаго развитія трудно объяснимо безъ допущенія значительнаго поднятія этихъ областей и временнаго пониженія радіаціи солнца или измѣненія качества этой радіаціи (Дюбуа). Продолжительность эръ палеозойской, мезозойской и кенозойской находится въ отношеніи 12 : 3 : 1 (по Дэна); продолжительность археозойской эры вѣроятно больше суммы этихъ трехъ. Слѣдовательно, допущеніе перваго временнаго перехода солнца отъ состоянія бѣлой звѣзды къ желтой приходится на эпоху ближе къ концу первой фазы жизни солнца и является не произвольнымъ, а согласнымъ съ общей эволюціей солнечной системы. Какъ ни убѣдительны новыя данныя Кокена и Нётлинга, но вопросъ о ледниковомъ происхожденіи валунныхъ отложеній конца палеозоя не можетъ считаться рѣшеннымъ безповоротно; отрицательное его рѣшеніе въ смыслѣ происхожденія этихъ отложеній дѣйствіемъ воды, а шлифовки дѣйствіемъ предварительной обработки частью вѣтромъ, конечно, болѣе соотвѣтствуетъ эволюціи земли согласно основаніямъ гипотезы Дюбуа, чѣмъ положительное рѣшеніе. Ольдгэмъ ****) и частью Пенкъ *****) указывая на преобладаніе ледниковыхъ явленій конца палеозоя въ субтропической области, высказали гипотезу объ измѣненіи положенія полюсовъ; именно перемѣщеніе антарктическаго полюса къ тропику козерога подъ 86° в. д.; но, какъ показалъ Пенкъ, нѣтъ никакой возможности фиксировать соотвѣтствующее положеніе арктическаго полюса. Также трудно объяснить перемѣщеніемъ точекъ полюсовъ (по Натгорсту) и субтропическій климатъ полярныхъ странъ въ теченіе третичнаго времени.

---

*) Penck, Die Eiszeiten Australasiens. Z. d. Gesell. f. Erdk. zu Berlin, 1900.

**) E. Koken u. F. Noetling, Geologische Mittheilungen aus der Saltrange (Pandschab). Centrbl. f. M. G. u. Pal, 1903, №№ 2, 3, 4. Также Koken, Facettengeschiebe, ibid., 1903, № 20.

***) E. Philippi, Ueber recente Facettengeschiebe von antarktischen Eisbergen. Centralblatt f. M. G. u. Pal., 1904, № 24, стр. 737.

Въ связи съ этимъ вопросомъ см. замѣтки Johnsen'a, Zur Entstehung der Facettengesteine, Centralblatt etc., 1903, № 19 и № 21—22. Авторъ разъясняетъ процессъ образованія граненыхъ валуновъ дѣйствіемъ вѣтра, который обрабатываетъ плоскости только раньше возникшія отъ инсоляціи или другихъ причинъ; самъ по себѣ вѣтеръ можетъ создать ребра только при условіи постоянства вѣтра. Срав. стр. 71—72.

****) Oldham, Probable Changes of Latitude. Geol. Mag., N. Ser., Dec. III, v. 3, 1886.

*****) Penck, Die Eiszeiten Australasiens, ibid, 1900.

Гипотеза Дюбуа представляетъ только дальнѣйшее развитіе небулярной гипотезы мірозданія и совершенно исключаетъ элементъ періодичности, понимаемой какъ простая законность отъ возвращенія земли на старое мѣсто и рѣшительно ничѣмъ не оправдываемой въ исторіи земли. Понять и привести въ стройное цѣлое сложный міръ явленій въ ихъ поступательномъ движеніи, конечно труднѣе, чѣмъ опредѣлить законы періодичности, и мы далеки еще отъ такого представленія. Зюпанъ не совсѣмъ правъ, когда говоритъ, что если ледниковая эпоха была не единственной въ исторіи земли, то получили бы высшее значеніе слова Бенъ-Акибы: „все уже когда-нибудь было“. Исторія земли есть вѣчно измѣняющееся сочетаніе причинъ и слѣдствій; что было, то никогда въ томъ же видѣ не повторится; въ этомъ высшая тайна природы, болѣе высокая, чѣмъ иногда кажущійся круговоротъ явленій.

Теллурическія гипотезы.

1) На предположеніи, что распредѣленіе тепла на земной поверхности при неизмѣнномъ его притокѣ отъ солнца, зависитъ только отъ неодинаковой степени поглощаемости лучей атмосферой, построены гипотезы Арреніуса*) и de Marchi**). Арреніусъ предполагаетъ, что увеличеніе количества водянаго пара ведетъ къ повышенію температуры, причемъ часть воды снова превратится въ паръ; увеличеніе водянаго пара вызоветъ новое повышеніе и т. д. до извѣстной, конечно, границы. По опытамъ Арреніуса, болѣе существенное вліяніе на поглощеніе тепла, излучаемаго землею и получаемаго ею отъ солнца, оказываетъ содержаніе угольной кислоты въ воздухѣ. Съ увеличеніемъ угольной кислоты въ воздухѣ возрастаетъ слѣдовательно температура нижнихъ слоевъ атмосферы и поверхности земли. Арреніусъ думаетъ, что вслѣдствіе малой теплопрозрачности углекислоты для тепловыхъ лучей, исходящихъ отъ слабо нагрѣтыхъ тѣлъ, какъ поверхность земного шара, и большой теплопрозрачности для солнечныхъ лучей, этотъ газъ дѣйствуетъ, какъ стекляныя рамы теплицъ.

Теперь содержаніе угольной кислоты составляетъ всего 0,03% воздуха по объему. Уменьшеніе этого количества до 0,67 теперешняго содержанія вызоветъ, по вычисленіямъ Арреніуса пониженіе температуры въ широтахъ между 40° и 60° с. ш. на 4°—5° С., т. е. будетъ достаточнымъ, чтобы вызвать новое оледенѣніе Сѣв. Америки и Средней Европы. При увеличеніи количества угольной кислоты отъ 2 до 3 разъ сравнительно съ теперешнимъ произойдетъ повышеніе температуры въ тѣхъ же широтахъ и полярныхъ областяхъ на 8°—9° С, слѣдовательно достаточное для объясненія теплаго климата полярныхъ странъ въ началѣ третичнаго періода. Такое увеличеніе количества угольной кислоты, конечно, еще далеко отъ предѣльнаго для жизни высшихъ животныхъ.

Гипотеза Арреніуса, основанія которой, впрочемъ, теперь оспариваются другимъ извѣстнымъ шведскимъ физикомъ Энгстремомъ (Ängström), не могла не отразиться на соображеніяхъ геологовъ. Дѣйствительно, среди геологическихъ явленій можно отмѣтить двѣ группы, одна изъ которыхъ является источникомъ въ атмосферѣ угольной кислоты, именно вулканическія изверженія и выдѣленія газовъ ***), а другая поглощаетъ угольную кислоту, именно химическіе и біологическіе процессы, напр., образованіе известняковъ и залежей ископаемаго горючаго ****). Естественно возникаетъ предположеніе, если періоды тепла и холода въ исторіи земли обнаруживаютъ опредѣленное отношеніе къ вулканической дѣятельности на землѣ,

---

*) Svante Arrhenius, Ueber den Einfluss des atmosphärischen Kohlensäuregehalts auf die Temperatur der Erdoberfläche, въ изданіяхъ шведской акад. наукъ, 1897 г. и Les oscillations séculaires de la température à la surface terrestre. Rev. génér. de sciences, 1899.

**) Le cause dell' era glaciale, Pavia. 1895.

***) Буровая скважина около Бургброля въ области Лаахерскаго озера даетъ ежедневно $2^1/_2$ милл. литровъ CO_2, идущей на производство жидкой угольной кислоты.

****) J. J. C. Chamberlin, Influence of great epochs of limestone formation on the atmosphere. Journ. of Geol., 1898. Авторъ доказываетъ регулирующее вліяніе морской воды на содержаніе углекислоты въ воздухѣ; освобожденіе CO_2 происходитъ при увеличеніи температуры, а поглощеніе при уменьшеніи температуры и увеличеніи количества ея въ воздухѣ. Съ возрастаніемъ поглощенія усиливается отложеніе известняковъ. См. также его же: A group of Hypotheses bearing on Climatic changes. Journ. of Geol., Chicago, 1897, v. V, 653—683 и An Attempt to frame a working Hypothesis of the Cause of Glacial Periods on an atmospheric Basis, ibid., v. VII, 1899.

то гипотеза Арреніуса расширяется, а указываемыя ею основанія получаютъ значеніе факторовъ, постоянно, но не періодически, дѣйствующихъ теллурическихъ причинъ различія климатовъ земли въ ея геологической жизни.

Такая геологическая провѣрка гипотезы была недавно исполнена проф. Фрехомъ *). Періодами наибольшаго возбужденія вулканической дѣятельности, когда поверхность земли покрылась мощными массовыми изліяніями различныхъ изверженныхъ горныхъ породъ, былъ конецъ палеозоя и третичный періодъ, именно время наиболѣе сильныхъ горообразовательныхъ процессовъ. Оставаясь на почвѣ фактовъ, нужно признать, что время необыкновеннаго расхода угольной кислоты на образованіе единственныхъ по величинѣ и распространенію залежей ископаемаго горючаго каменноугольнаго періода и на отложеніе мощныхъ известняковъ карбона было одновременнымъ и частью предшествовало фазамъ горообразованія и вулканическихъ изверженій, а предполагаемая ледниковая эпоха конца палеозоя предшествовала эпохѣ мощныхъ вулканическихъ изліяній нижне-пермскаго времени. Если можно еще съ нѣкоторыми натяжками считать эти вулканическія изліянія причиной повышенія температуры и прекращенія палеозойскаго ледниковаго періода, то связывать увеличеніе количества угольной кислоты отъ этихъ изліяній съ незначительными залежами горючаго въ пермской и тріасовой системѣ, какъ это дѣлаетъ Фрехъ, едва ли есть какое-нибудь основаніе. Фрехъ совершенно обходитъ молчаніемъ мощныя угленосныя образованія времени лейаса (нижняя юра) и замѣчательныя по обилію известняковъ отложенія верхней юры, которымъ предшествовало значительное сокращеніе вулканической дѣятельности на землѣ. Вся мезозойская эра, а тріасовый ея періодъ въ особенности, представляетъ такъ мало случаевъ изліянія изверженныхъ породъ, что на это давно и справедливо обращено вниманіе геологовъ, но болѣе, чѣмъ смѣло, было бы связывать съ этимъ первое болѣе отчетливое проявленіе климатическихъ поясовъ на землѣ. Предполагая медленное, конечно, воздѣйствіе насыщенія атмосферы угольной кислотой на распредѣленіе тепла, мы могли бы скорѣе удивляться, что особенно выдающіяся въ исторіи земли изліянія изверженныхъ породъ нижне-третичнаго времени (эоцена и олигоцена) не имѣли никакого вліянія на постепенно усиливающееся охлажденіе земной поверхности. Если такимъ же и даже меньшимъ изліяніямъ Фрехъ придаетъ важное значеніе на колебаніе климатовъ въ теченіе періодовъ палеозоя и мезозоя, то насколько сильнѣе, казалось бы, должно быть такое вліяніе въ теченіе сравнительно болѣе короткаго времени третичнаго періода; быстрый расходъ угольной кислоты вызывалъ, быть можетъ, по предположенію Фреха развитіе цвѣтковыхъ растеній.

Весьма интереснымъ являются сопоставленія между образованіемъ залежей ископаемаго горючаго и вулканической дѣятельностью въ теченіе третичнаго періода въ различныхъ мѣстахъ земной поверхности, но въ особенности на Суматрѣ, Явѣ и Борнео (Инсулинда) по новѣйшимъ изслѣдованіямъ Вольтца. Оказывается, что эпохи возбужденія вулканической дѣятельности правильно чередуются съ эпохами образованія залежей угля. Ледниковая эпоха соотвѣтствуетъ времени замѣтнаго сокращенія вулканической дѣятельности, хотя далеко не полнаго прекращенія, и Фрехъ даже выражаетъ догадку, не соотвѣтствуютъ ли времена пробужденія этой дѣятельности междуледниковымъ эпохамъ; также мощное распространеніе ледниковъ, ограничивая развитіе растительности, съуживая районъ строющихъ рифы коралловъ, породообразующихъ водорослей и фораминиферъ и ослабляя химическое вывѣтриваніе, уменьшаетъ расходъ угольной кислоты и слѣдовательно, подготовляетъ, такъ сказать, причину послѣдующаго сокращенія ледниковыхъ массъ. Химическіе и органическіе процессы на земной поверхности и въ океанахъ являются, по предположенію Фреха, какъ бы регуляторомъ, который черезъ опредѣленные промежутки времени вызываетъ прекращеніе ненормальныхъ климатическихъ условій.

Нѣсколько удачныхъ, а еще болѣе неудачныхъ сопоставленій между періодами оживленія вулканической дѣятельности и послѣдующими періодами усиленнаго поглощенія угольной кислоты не даютъ еще права заключать, что колебаніе въ содержаніи угольной кислоты въ атмосферѣ даетъ ключъ для физическаго объясненія различій геологическихъ климатовъ, какъ это высказываетъ Фрехъ въ концѣ своего весьма любопытнаго изслѣдованія. Что касается до параллелизированія періодовъ значительнаго тепла на землѣ и періодовъ особеннаго возбужденія вулканической дѣятельности, то два, напр., періода такого возбужденія въ эоценѣ и міоценѣ соотвѣтствуютъ только двумъ положеніямъ температуры на плавно понижающейся кривой, а отнюдь не двумъ повышеніямъ на такой кривой.

---

*) Studien über das Klima der geologischen Vergangenheit. Zeitsch. der Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin, 1902, № 7—8. Также въ сочиненіи: Die Dyas, 1902, стр. 665—670.

Однимъ словомъ гипотеза Арреніуса *), если основанія ея окажутся правильными, увеличиваетъ число теллурическихъ причинъ, вліяющихъ несомнѣнно на распредѣленіе солнечнаго тепла на земной поверхности, не исключая, конечно, другихъ, какъ распредѣленіе суши и воды. Эта гипотеза открываетъ новые горизонты для оцѣнки значенія вулканизма въ исторіи земли и показываетъ новыя соотношенія въ ея сложной жизни. Эта гипотеза, также какъ и гипотеза Дюбуа, можетъ служить рабочей гипотезой (working), способной къ дальнѣйшему совершенствованію при развитіи космической физики.

2) Гипотеза вліянія географическаго положенія различныхъ частей земли. Родоначальникомъ этой гипотезы въ ея современномъ развитіи по всей справедливости нужно считать А. И. Воейкова, работа котораго о климатическихъ условіяхъ ледниковыхъ явленій настоящихъ и прошедшихъ (1881 г.) открываетъ новую эру въ разработкѣ вопроса о причинахъ ледниковой эпохи **). Основное положеніе Воейкова о вліяніи на климатическія колебанія совокупныхъ причинъ распредѣленія суши и воды и неизбѣжно связанныхъ съ этимъ измѣненій морскихъ и воздушныхъ теченій, особенно близко геологамъ, въ задачу которыхъ и входитъ всестороннее освѣщеніе вліянія на жизнь земли причинъ, лежащихъ въ ней самой, т. е. теллурическихъ. Геологія, широко пользуясь помощью другихъ наукъ, все болѣе отказывается отъ попытокъ вводить причины космическія для объясненія земныхъ явленій; космическія причины для объясненія явленій вулканизма, сейсмическихъ, колебаній границъ между моремъ и сушей (трансгрессій и регрессій) потеряли, можно сказать, всякій кредитъ. Тѣмъ не менѣе и въ этой гипотезѣ нельзя видѣть универсальной причины палеотермальныхъ измѣненій, какъ это неоднократно было отмѣчаемо самимъ Воейковымъ; но послѣдователи его пошли гораздо дальше. Измѣненія въ горизонтальномъ расчлененіи земной поверхности въ теченіе третичнаго періода, какъ ни значительны они, едва ли достигаютъ той степени различія, какую представляютъ, напр., верхне-девонская трансгрессія и материковое развитіе конца палеозоя. Одно такое сравненіе подрываетъ уже довѣріе къ соображеніямъ объ исключительномъ вліяніи на распредѣленіе тепла только конфигураціи земной поверхности. Воейковъ на одной изъ первыхъ страницъ своей классической книги о климатахъ земного шара говоритъ, что умѣряющее вліяніе воды такъ велико, что извѣстное распредѣленіе суши и воды рѣзко уменьшаетъ разности географическихъ широтъ; отсюда и выводъ, что возможно такое распредѣленіе суши и морей, при которомъ лѣтняя температура на полюсѣ была бы выше, чѣмъ у экватора. При особыхъ, вполнѣ возможныхъ, условіяхъ, препятствующихъ лучеиспусканію въ зимнія полярныя ночи, вѣчно зеленыя растенія могли бы жить и тамъ; съ такимъ объясненіемъ, которое энергично поддерживаетъ Кокенъ ***), плохо вяжется однако та роскошная форма развитія крупныхъ листьевъ ольхи, липы и магноліи, какія извѣстны, напр., изъ мѣстонахожденій Шпицбергена по изслѣдованіямъ Натгорста.

Иное распредѣленіе суши и воды и теплыя морскія теченія не позволяютъ еще объяснить всѣ особенности флоры полярныхъ странъ третичнаго времени. Изслѣдованіе Семпера ****), исполненное съ образцовой научной осторожностью, не особенно утѣшительно для защитниковъ неизмѣнныхъ внѣшнихъ условій. Результаты этого изслѣдованія, хотя и показывающаго крупное вліяніе на климаты горизонтальнаго расчлененія земной поверхности, вмѣсто старыхъ гипотезъ о болѣе значительномъ лученспусканіи солнца въ предшествовавшія эпохи или о перемѣщеніи точекъ полюсовъ выдвигаетъ необходимость новыхъ предположеній. Извѣстные пока факты заставляютъ предполагать для сѣвернаго полушарія въ теченіе третичнаго

*) Гипотеза Арреніуса сильно поддерживается другимъ выдающимся шведскимъ ученымъ Экгольмомъ (Nils Ekholm), On the variations of climate in the geological and historical past and their causes. Journ. R. Meteor. Soc. 1901. Обстоятельную критику этихъ взглядовъ съ метеорологической точки зрѣнія см.: Воейковъ, Къ вопросу о колебаніи климата. Мет. Вѣст., 1902.

**) Идея объ измѣненіи климата подъ вліяніемъ только иного распредѣленія суши и воды высказывалась, конечно, и раньше; такъ она развивалась и Ляйэллемъ, Гопкинсомъ и другими. Одновременно съ Воейковымъ однородную основную идею развивалъ также Пробстъ (Probst): Zur klimatischen Frage, 1881, Würtemb. naturw. Jahr.-h. — Ueber einige Gegenstände aus dem Gebiete der Geophysik, 1889, тамъ же.—Klima und Gesteltung d. Erdoberfl., 1887; но основанія его довольно шатки (см. Физ. Геол., первое изданіе, стр. 561—562).

***) E. Koken, Die Vorwelt und ihre Entwickelungsgeschichte, 1893.

****) M. Semper, Das Paläothermale Problem. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Gesellsch., XLVIII B., 1896.

періода такое распредѣленіе суши и воды, которое отнюдь уже не исключаетъ возможности даже холоднаго климата около полюсовъ: но въ такомъ случаѣ для объясненія особенностей околополярной флоры того времени необходимо сдѣлать два допущенія: или 1) что полярная, напр., эоценовая флора выносила зимнія температуры значительно болѣе низкія, чѣмъ это предполагаютъ ботаники, или 2) мѣстныя орографическія условія около полюсовъ были таковы, что климатическое вліяніе широты мѣста на флору околополярныхъ странъ, гдѣ теперь найдены уже остатки субтропической флоры, совершенно исключалось. Первое допущеніе едва ли заслуживаетъ особаго вниманія; что касается второго, то здѣсь мы остаемся пока въ области догадокъ, которыя могутъ быть разсѣяны только дальнѣйшими геологическими изслѣдованіями околополярныхъ странъ.

Въ настоящее время выдвигается все болѣе значеніе теплыхъ теченій на климатъ прибрежныхъ пространствъ. Такъ Нансенъ *) и Книповичъ **) приходятъ къ заключенію, что при уменьшеніи количества воды такого теченія, какъ Гольфстремъ, напр., вслѣдствіе поднятія дна океана, можетъ произойти постепенное передвиженіе полярныхъ льдовъ къ югу, а соединеніе сѣвера Европы съ Гренландіей и совершенное отклоненіе этого теченія отъ арктическаго моря можетъ повлечь за собой пониженіе температуры и накопленіе льдовъ, достаточныя для воспроизведенія условій ледниковаго періода, но во всякомъ случаѣ только въ сѣверномъ полушаріи, а не по всей землѣ ***).

Мы неоднократно указывали на явленія поднятія суши, сопровождавшія главную фазу оледенѣнія (Скандинавія, С. Америка, Австральазія), хотя въ другихъ мѣстахъ эта фаза не сопровождалась какими-либо колебаніями суши (Альпы, Гималаи). Доказательствъ ****) замѣчательной подвижности земной коры, ея гибкости, собирается все болѣе, и все чаще ученые обращаются къ колебаніямъ суши и связаннымъ съ ними измѣненіямъ морскихъ и воздушныхъ теченій для объясненія ледниковой эпохи сочетаніемъ такихъ исключительно теллурическихъ причинъ.

Съ наибольшей опредѣленностью эти взгляды высказывалъ уже Сарт. фонъ Вальтерсгаузенъ, который говорилъ, что „мы должны привыкнуть къ мысли, что наши города, наши жилища покоятся не на прочномъ, а на подвижномъ основаніи,— что не сушу, а уровень моря нужно разсматривать, какъ нѣчто непзмѣнное“ *****).

Доусонъ ******) сильно поддерживалъ эту же мысль; къ ней теперь примыкаютъ Гольстъ и въ особенности Гейнитцъ, развитіе идей котораго приведено нами раньше (стр. 853). Признавая крупное вліяніе на климаты за этими факторами, тѣмъ не менѣе, повторяемъ, едва ли можно только ими объяснить во всемъ объемѣ какъ ледниковую эпоху, такъ и другія палеотермальныя условія.

Практическое приложеніе геологіи ледниковыхъ отложеній.

Значительная часть поверхности Европейской Россіи покрыта ледниковыми отложеніями, иногда совершенно скрывающими коренныя породы. Мощность ледниковыхъ отложеній въ средней Россіи, напр. въ бассейнахъ верховій рѣкъ Волги и З. Двины, достигаетъ до 15 и болѣе саженей; на сѣверо-германской низменности мощность ихъ нерѣдко достигаетъ 50 и болѣе метровъ. Слѣдовательно, ледниковыя отложенія являются на обширнѣйшихъ пространствахъ матеріаломъ, опредѣляющимъ характеръ почвъ, и породами, опредѣляющими верхніе водоносные горизонты; на пространствахъ, измѣряемыхъ сотнями квадр. верстъ, эти отложенія служатъ часто единственнымъ источникомъ строительныхъ матеріаловъ.

---

*) Krümmel, Oceanographische Ergebnisse der Norwegischen Polarexpedition, Pet. Mitt., 1902, № X.

**) N. Knipowitsch, Zur Kenntniss der geolog. Klimate. Зап. Мин. Общ., XL, 1903, стр. 293.

***) Вѣроятность охлажденія климата Европы вслѣдствіе появленія суши между Америкой и Европой и прекращенія отъ этого Гольфстрема указывалъ уже Гопкинсъ въ 1852. Osw. Heer, Untersuchungen über das Klima etc., 1860, стр. 149.

****) Mellard Read, The evolution of Earth Structure, 1903.

*****) Sart. von Waltershausen, Untersuchungen etc., 1865, стр. 370.

******) J. W. Dawson, Some salient points in the science of the earth, 1893.

Въ нашу задачу не входитъ разсмотрѣніе значенія подпочвы для сельскаго хозяйства, что составляетъ одинъ изъ предметовъ почвовѣдѣнія. Мы воспользуемся только случаемъ указать лишній разъ, что въ области распространенія опредѣленнаго типа почвъ (см. карту № III и стр. 183 — 187), зависящаго отъ распространенія ледниковыхъ отложеній, дробность почвъ опредѣляется деталями петрографическаго характера, распредѣленія и формъ поверхности ледниковыхъ образованій. Пригодность каждаго участка какой-либо мѣстности къ земледѣльческой культурѣ опредѣляется не только качествами почвы и подпочвы, но и условіями водоносности. Слѣдовательно, для правильнаго развитія работъ по улучшенію земледѣльческой культуры (меліораціи) въ области развитія ледниковыхъ отложеній необходимо отчетливое представленіе о взаимныхъ отношеніяхъ ихъ различныхъ членовъ *).

Остановимся на значеніи ледниковыхъ отложеній при инженерныхъ работахъ.

1. Водоносными горизонтами въ области развитія ледниковыхъ отложеній повсюду являются флювіогляціальные песчанистые слои (нижневалунные пески средней Россіи, Q_1^a геологич. карты Россіи), если они залегаютъ на болѣе или менѣе водонепроницаемыхъ породахъ.

Наиболѣе развитой членъ серіи нашихъ ледниковыхъ отложеній, моренная глина и суглинокъ въ ея неизмѣненномъ состояніи (Q_1^b), представляетъ породу водонепроницаемую, опредѣляющую, слѣдовательно, верхній водоносный горизонтъ грунтовыхъ водъ, если она покрыта песчанистыми разностями серіи (Q_1^c). Сочетаніе этихъ трехъ членовъ серіи, а въ области Литовско-Польскаго дилювія, также какъ на сѣверо-германской низменности, и возможное присутствіе нижней моренной глины, объясняетъ различные случаи въ инженерной практикѣ.

2. При расцѣнкѣ земляныхъ работъ даже общее знакомство съ геологіей ледниковыхъ отложеній можетъ предохранить отъ грубыхъ ошибокъ и неожиданностей. Случаи плывучихъ грунтовъ въ выемкахъ въ средней Россіи могутъ зависѣть въ области ледниковыхъ отложеній исключительно отъ выхода нижневалунныхъ песковъ. Количество воды, подаваемой этимъ горизонтомъ, существенно зависитъ отъ природы подлежащихъ образованій; напр., въ верховьяхъ Волги и З. Двины такими породами мѣстами являются известняки (каменноугольные и девонскіе), и воды, циркулирующія по нимъ (въ этомъ случаѣ уже артезіанскія, т. е. подъ напоромъ), могутъ получить истокъ по водопроницаемымъ пескамъ. Насколько намъ извѣстно по личнымъ наблюденіямъ, при постройкѣ послѣдней крупной желѣзнодорожной линіи въ средней Россіи (Бологое-Полоцкъ) выемки коснулись плывуновъ при такихъ условіяхъ только въ бассейнѣ р. Кочи (къ SW отъ города Осташкова). Не всегда условія для выемокъ могутъ быть настолько благопріятными, и для оцѣнки значенія плывуна необходимо принять во вниманіе распространеніе водоноснаго горизонта и его питаніе. Болѣе серьезныя затрудненія инженеръ можетъ встрѣтить при прохожде-

*) Гедройцъ, А., князь, Геолог. изсл. въ губ. Вилен., Гродн., Минск., Волын. и сѣв. части Царства Польскаго. Мат. по Геологіи Россіи, XVII, 1895. Много дѣльныхъ замѣчаній въ этомъ отношеніи.

ніи насыпями болотъ. Необходимо имѣть въ виду, что ложемъ болотъ могутъ быть какъ моренныя глины, такъ и пески ледниковаго происхожденія; послѣднее для болотъ моховыхъ, удерживающихъ воду вслѣдствіе значительной влагоемкости болотныхъ отложеній, въ особенности торфа, а также вслѣдствіе высокаго уровня грунтовой воды, выступающей на поверхность и вызывающей заболоченность. Такими болотными отложеніями является иловато-торфяниковый матеріалъ *), хорошо знакомый каждому инженеру. Устойчивость насыпи, очевидно, зависитъ отъ мощности болотныхъ отложеній, постепенно выдавливаемыхъ тяжестью насыпи, и также отъ условій питанія болота водою. Конечно, нельзя предвидѣть мощности этихъ отложеній, руководствуясь только размѣрами болота, окаймляющаго, напр., заростающія озера или представляющаго котловину типа нѣмецкихъ Pfuhle; не всегда и буреніе только въ нѣсколькихъ мѣстахъ можетъ дать ясное представленіе о мощности и распространенности болотныхъ отложеній; слѣдовательно, каждая лишняя буровая скважина можетъ имѣть большое значеніе при изслѣдованіи грунта подъ насыпями. Питаніе болота часто происходитъ на счетъ водъ нижневалунныхъ песковъ, которые могутъ выступать въ различныхъ мѣстахъ дна болотъ. Этотъ случай можетъ быть наиболѣе опаснымъ для насыпи, такъ какъ ея нагрузка по мѣрѣ ея возрастанія можетъ только усиливать хотя бы ничтожное перемѣщеніе плывуновъ этого горизонта и вызывать разстройство уже готовой насыпи. Повидимому, такія условія и имѣютъ мѣсто въ большинствѣ случаевъ непрерывнаго осѣданія насыпей, не поддающагося исправленію никакой подсыпкой матеріала. Вѣроятно, этотъ случай представляетъ извѣстная многимъ инженерамъ насыпь около ст. *Сокольники на С.-Петербурго-Витебской жел. дорогѣ. Теоретически можно* предвидѣть, что по мѣрѣ увеличенія нагрузки въ слабомъ мѣстѣ осѣданіе можетъ только увеличиться, а не прекратиться; борьба съ природой можетъ оказаться техникѣ не подъ силу, разъ нарушены условія естественнаго равновѣсія плывучаго горизонта **). Въ области ледниковыхъ отложеній при пересѣченіи насыпями болотъ и озеръ подобно тому, какъ и въ гористыхъ мѣстностяхъ по склонамъ долинъ или около озеръ, необходимо остерегаться, чтобы не принять крупныхъ валуновъ за прочный грунтъ при пробной забивкѣ свай ***); если подъ валунной глиной залегаютъ нижніе пески, имѣющіе близко выходъ на поверхность или на дно болотъ, озеръ и рѣкъ, движеніе насыпи можетъ быть очень значительнымъ.

3. На сѣверо-германской низменности, гдѣ имѣются многія тысячи верстъ шоссейныхъ дорогъ снабженіе ихъ матеріаломъ для шоссировки пути представляетъ весьма серьезный вопросъ. Главнымъ источникомъ такого

---

*) Ramann, E., Organogene Ablagerungen. N. Jahrb. f. M., G. u. Pal., Beil.-B. X, 1895.

**) Многочисленныя данныя о водоносности и распредѣленіи ледниковыхъ отложеній на пространствѣ средней Россіи имѣются въ трудахъ С. Н. Никитина: Бассейнъ Днѣпра, 1896 и Бассейнъ Волги, 1899 въ Труд. эксп. для изсл. ист. главн. рѣкъ Евр. Россіи. Техникамъ очень полезно знакомство и съ другими трудами того же автора: Бассейнъ Оки, 1894 и Бассейнъ Сызрани, 1898, въ которыхъ собраны обильные гидрогеологическіе матеріалы по областямъ иного геологическаго характера.

***) Напр., *случаи при постройкѣ Зальцбургъ-Тирольской жел. дороги около Целлерскаго* озера. Вагнеръ, Приложеніе геологіи къ инженерному дѣлу. 1887. Вып. XI Сборника Инст. инж. пут. сообщ., стр. 202—203.

матеріала служатъ конечныя морены эпохи великаго оледенѣнія. Во многихъ мѣстахъ эти морены (типа нагроможденія камней, Blockpackung, или полей валуновъ, Bestreuungsgebiete) систематически разрабатываются на валуны. Часто возникаютъ вопросы о запасахъ валуннаго матеріала въ опредѣленной мѣстности.

На основаніи точнаго геологическаго изученія серіи ледниковыхъ отложеній и пробныхъ буровыхъ скважинъ опредѣляются площади и объемъ содержащихъ валуны образованій. Затѣмъ пробными выемками или опредѣленіемъ количества валуновъ на горизонтальной поверхности и по вертикальному разрѣзу вычисляютъ число куб. метр. морены, заключающихъ одинъ куб. метръ валуновъ, т. е. опредѣляютъ такъ называемый коэффиціентъ полезнаго матеріала *). Какъ для строителей дорогъ, такъ и для собственниковъ земли такія вычисленія представляютъ нерѣдко насущную потребность. Само собою разумѣется, если и не такія точныя вычисленія, то хотя бы примѣрная расцѣнка возможнаго каменнаго матеріала не на глазъ, а на основаніи нѣкоторыхъ геологическихъ соображеній крайне желательна и при постройкѣ желѣзныхъ дорогъ у насъ въ области развитія ледниковыхъ отложеній, гдѣ каменный матеріалъ пріобрѣтаетъ особенную цѣнность. Извѣстны случаи непріятнаго разочарованія строителей, положившихся только на показанія пробныхъ шурфовъ. При проектированіи большихъ выемокъ въ ледниковыхъ отложеніяхъ, даже при крайне неравномѣрномъ содержаніи валуновъ въ моренной глинѣ, можно заранѣе подсчитать приблизительное количество возможнаго каменнаго матеріала, а слѣдовательно также и матеріала на насыпь; могутъ оказаться полезными и свѣдѣнія о дѣйствительно полученномъ каменномъ матеріалѣ изъ отдѣльныхъ выемокъ. Ясное представленіе о томъ, что такое конечная морена, можетъ при случаѣ дать необходимое указаніе, куда направить поиски за необходимымъ матеріаломъ. Все это, повидимому, очень просто и при кажущемся обиліи валуннаго матеріала, повидимому, лишне, а въ дѣйствительности всѣ такія соображенія могутъ сохранить не одинъ десятокъ тысячъ народныхъ средствъ.

Прекраснымъ примѣромъ необыкновенно благопріятныхъ мѣстныхъ условій для проведенія грунтовыхъ и желѣзныхъ дорогъ, но въ то же время и чрезвычайно экономическаго отношенія къ этимъ условіямъ служитъ Финляндія; тамъ каждый озъ использованъ въ этихъ цѣляхъ. Тамъ не было надобности, конечно, въ предварительныхъ изысканіяхъ, какъ на сѣверо-германской низменности или у насъ; но если такія изысканія, опирающіяся на геологическія соображенія, могутъ послужить къ экономической расцѣнкѣ, инженеръ никогда не долженъ ими пренебрегать.

4. Наконецъ, при такихъ крупныхъ сооруженіяхъ, какъ мосты, ясное представленіе о валунной глинѣ и песчаныхъ ледниковыхъ образованіяхъ можетъ дать инженеру много детальныхъ практическихъ указаній какъ при предварительномъ буреніи, такъ и при выемкѣ котловановъ.

*) Keilhack, Berechnung von Geschiebemengen in Endmoränen. Z. f. prakt. Geologie, 1900, H. 5.

Нѣсколько замѣчаній о приложеніи геологіи къ инженерному дѣлу.

Слѣдующія замѣчанія въ значительной мѣрѣ заимствованы въ общихъ чертахъ изъ стариннаго сочиненія знаменитаго англійскаго геолога де-ля-Бэша *), и это показываетъ, насколько жизненны затрагиваемые вопросы и какъ мало съ ними считаются иногда до сихъ поръ. Все ново, что основательно забыто.

Стоимость проведенія новыхъ дорогъ и ремонта старыхъ зависитъ между прочимъ отъ легкости, съ какой можно имѣть соотвѣтствующіе строительные матеріалы, и прочности какъ насыпей, такъ и выемокъ, какія приходится прокладывать при постройкѣ дорогъ. Но до сихъ поръ не вошло въ сознаніе инженеровъ, что эти условія зависятъ отъ геологическаго состава и строенія мѣстности,—что только зная геологическія условія, можно иногда рѣшить, будетъ ли какая-нибудь дорога стоить дороже, чѣмъ другая, или среди горныхъ породъ различнаго характера выбрать наиболѣе соотвѣтствующія во всѣхъ отношеніяхъ. До сихъ поръ часто повторяются случаи, что ищутъ матеріалы за сотни верстъ отъ строющейся дороги, когда ихъ можно было бы имѣть на мѣстѣ; правда, что часто нѣтъ никакихъ разработокъ такихъ матеріаловъ, въ особенности на необъятныхъ пространствахъ Россіи, но геологическія карты и геологическія описанія могутъ помочь современному инженеру разобраться на мѣстности.

Обыкновенно при выборѣ направленія дорогъ преимущество отдаютъ тому, по которому меньше разстояніе и меньше разница высотъ. Геологическія условія часто могутъ показать, что варіантъ менѣе благопріятный въ этихъ отношеніяхъ представляетъ крупныя преимущества въ отношеніи стоимости какъ постройки, такъ въ особенности и эксплоатаціи. Ничтожныя на первый взглядъ обстоятельства могутъ сразу показать, что кратчайшее направленіе будетъ источникомъ непрерывнаго ремонта и задержки движенія.

Такія мѣстныя условія имѣютъ крупное значеніе въ особенности при проведеніи мелкихъ путей и шоссейныхъ дорогъ. Россія давно уже ждетъ эти дороги, и сотнямъ инженеровъ придется примѣнять свои познанія не на грандіозныхъ сооруженіяхъ, а на скромной, но не менѣе жизненной, работѣ проведенія этихъ развѣтвленій главныхъ нервовъ современной промышленности.

---

*) Henry T. de la Bèche, L'art d'observer en géologie. Traduit de l'anglais par H. de Callegno, 1838, стр. 216—227.

1. Когда приходится проводить выемки въ осадочныхъ породахъ, всегда нужно помнить, что можно пересѣчь путь подземныхъ водъ и обнаружить источники, которые будутъ причиной постоянныхъ затрудненій для новой дороги. Всякая выемка нарушаетъ естественное равновѣсіе горныхъ массъ, и прежде чѣмъ ее закладывать, необходимо оцѣнить наличныя условія равновѣсія и вѣроятность ихъ нарушенія; направленіе паденія слоевъ, положеніе водоносныхъ горизонтовъ, состояніе горныхъ породъ (нарушенное, вывѣтрѣлое и т. п.), состояніе растительнаго покрова—все это должно быть принято во вниманіе. Примѣры оползней и обваловъ, вызванныхъ желѣзнодорожными выемками, проведенными безъ вниманія къ этимъ условіямъ, представляетъ, напр., Тимирязево-Нижегородская линія Моск.-Каз. жел. дороги около Нижняго-Новгорода *), а частью къ этой же категоріи неудачныхъ желѣзнодорожныхъ работъ нужно отнести положеніе пристанской вѣтви Моск.-Казанской жел. дороги въ городѣ Симбирскѣ **). При устройствѣ насыпей, напр., при пересѣченіи рѣчныхъ долинъ, слѣдуетъ обращать вниманіе, чтобы не закрыть насыпью выхода источниковъ и этимъ не создать постоянной причины разбуханія насыпи; подобный случай имѣлъ мѣсто на Владикавказской жел. дорогѣ при переходѣ насыпью долины р. Кубани около ст. Невинномысской ***). Если пересѣчь выемкой неосторожно прочный пластъ, часто приходится останавливаться на глинистыхъ слояхъ, требующихъ для прочности пути, напр., шоссе, большихъ затратъ.

Когда необходимо обогнуть дорогой отдѣльную возвышенность, что случается часто въ холмистой странѣ, напр., въ Закавказьи, и можетъ встрѣтиться во многихъ мѣстахъ Россіи, необходимо обратить вниманіе на паденіе слоевъ, сланцеватости и отдѣльности, чтобы выбрать направленіе обхода съ той стороны, гдѣ слои или сланцеватость будутъ падать въ сторону холма, а не отъ него. Въ зависимости отъ характера вывѣтриванія, осыпей и выхода источниковъ часто выгоднѣе сразу поднять шоссе значительно выше черезъ холмы, чѣмъ огибать имъ косогоры на склонѣ рѣчной долины; подобный случай, былъ напр., между гор. Ахалцыхомъ и Абасъ-туманомъ При выборѣ направленія шоссе по рѣчной долинѣ не слѣдуетъ ради избѣжанія лишняго моста или выбора его мѣста держаться исключительно одной стороны долины; необходимо оцѣнить характеръ склоновъ, строеніе ихъ, характеръ выносовъ изъ боковыхъ лощинъ (бурные потоки, стр. 431—440), словомъ не только одно количество земляныхъ и каменныхъ работъ, но также и условія будущаго режима дороги.

О значеніи качества горныхъ породъ и ихъ отношенія къ дѣятельности подземной воды и къ вывѣтриванію при выборѣ направленія пути было указано уже раньше (стр. 350—351 и 357). Инженеру часто приходится бороться съ явленіями вывѣтриванія, избѣгая по возможности

---

*) Н. А. Богословскій. Геологич. набл. вдоль жел.-дор. линіи Нижній Новгородъ—Тимирязево. Изв. Геол. Ком., 1900, XIX, № 7. А. В. Павловъ, Зап. о геол. изсл., произв. по поруч. Упр. по постр. Тимирязево—Нижегор. линіи. Москва, 1903.

**) Проф. А. П. Павловъ, Оползни Симбирскаго и Саратовскаго Поволжья. Москва, 1903. Также, Изв. Геол. Ком., 1904, т. XXIII, протоколы: Отзывъ комиссіи командированной Геол. Комит. для осмотра оползней подъ г. Симбирскомъ.

***) Д. Л. Ивановъ, Значеніе геолог. изсл. для устойчивости полотна Уссурійской жел. дороги. Изв. Общ. горн. инж., 1894.

вывѣтрѣлыя массы или примѣняя соотвѣтствующіе строительные пріемы (защиты, укрѣпленія и т. п.). Бываютъ случаи, когда сама природа указываетъ инженеру наивыгоднѣйшій способъ работъ. Такъ въ области лёссовыхъ породъ, дающихъ устойчивые вертикальные склоны съ земляными пирамидами, вывѣтриваніе можетъ докончить работу техника; американскіе инженеры очень удачно воспользовались этимъ свойствомъ лёссовыхъ породъ при устройствѣ многочисленныхъ выемокъ на линія St. Louis and South-Eastern R. R. Они дѣлали крутыя выемки въ лёссѣ, предоставляя вывѣтриванію докончить естественную разработку профили склона — крутого съ пологимъ основаніемъ и принимая мѣры только для отвода медленно смываемаго матеріала. Иногда техника безсильна въ борьбѣ съ вывѣтриваніемъ; такъ до сихъ поръ нѣтъ средствъ для предотвращенія разрушенія береговъ о-ва Гельголанда. Предложены два проекта: дренажа сѣверо-восточнаго берега острова (инж. Conze) и наоборотъ постояннаго поддерживанія высокаго положенія грунтовыхъ водъ и предотвращенія ихъ циркуляціи (проектъ Liebenam'a) *).

Отмѣтимъ, что цѣлый рядъ грубыхъ ошибокъ былъ сдѣланъ при постройкѣ желѣзныхъ дорогъ въ Германіи, гдѣ, напр., станція Эльгерсбургъ на участкѣ Пляуэ-Ильменау (въ Саксенъ-Кобургъ-Гота) была построена на гипсовомъ штокѣ, что повлекло огромныя затраты, а между тѣмъ въ 80 м. въ сторонѣ находятся крѣпкіе доломитовые слои, на которыхъ можно было строиться безъ всякаго опасенія. На участкѣ Цэлль-Шмалькальденъ (въ Гессенѣ, Тюрингія) выемками прошли обрушающіеся слои, и мелкими туннелями крѣпкія породы, вмѣсто того, чтобы сдѣлать обратно, какъ и пришлось впослѣдствіи; и мног. подобныхъ же, стоившихъ сотни тысячъ марокъ, случаевъ невниманія къ геологическому составу **).

При изслѣдованіи грунта подъ основанія крупныхъ сооруженій *необходимо обращать вниманіе не только на прочность породъ до опредѣленной глубины*, но также и на условія ихъ залеганія — нарушенность, наклонъ, перемежаемость водопроницаемыхъ слоевъ съ водоупорными и т. д.; одинъ изъ извѣстныхъ случаевъ неудачной крупной постройки на разрыхленной почвѣ (sol remanié) представляетъ возведеніе зданія Palais de justice въ Nivelles въ Бельгіи, также Fort Ruplemond около Антверпена ***).

2. Не менѣе важна своевременная оцѣнка геологическаго состава и строенія мѣстности при постройкѣ каналовъ. Геологическія данныя позволяютъ предвидѣть вѣроятность встрѣчи водоносныхъ горизонтовъ и водопроницаемыхъ породъ; послѣднія могутъ потребовать крупныхъ затратъ для устройства ложа канала. Такъ между Mons и Havré (въ Бельгіи, пров. Hainaut) каналъ, проведенный въ мѣловыхъ слояхъ выше уровня грунтовыхъ водъ, оказался безъ воды; точно также каналъ между Bliton и Ath тамъ же въ каменноугольныхъ известнякахъ. О значеніи геологическаго состава при устройствѣ плотинъ было указано уже раньше (стр. 403).

---

*) Alb. Conze, Wie ist dem Abbröckeln der Insel Helgoland Einhalt zu gebieten? Zeitschr. für prakt. Geologie, 1904, 8. Также, ibid., 1905, 1, стр. 37—38.

**) F. Beyschlag, Wert der Geologie für die Praxis, besonders für den Eisenbahnbau. Vortrag. Berlin, 1902.

***) E. van den Broeck, A propos du rôle de la géologie dans les travaux d'intérêt public. Procés verbaux de la Soc. Belge de géologie, 1888, t. II, стр. 303.

3. Вопросы водоснабженія станцій въ мѣстностяхъ безводныхъ требуютъ самаго внимательнаго отношенія ко всѣмъ даннымъ о циркуляціи подземной воды (см. главу IV, стр. 213—280). Не только минеральные источники, но также источники питьевой воды необходимо предохранять отъ загрязненія и смѣшенія съ почвенными водами. Необходимо защищать питьевыя воды отъ такого смѣшенія какъ при выходѣ источника, такъ и на всемъ пути воды отъ мѣста ея геологическаго залеганія до поверхности земли; это достигается такъ называемымъ каптажемъ, система котораго зависитъ отъ геологическихъ условій залеганія воды, т. е. типа источниковъ и рода воды, именно безъ напора (nappes libres французовъ) или съ напоромъ (nappes artésiennes, nappes captives, артезіанская). Другой заботой инженера при устройствѣ водопроводовъ отъ источниковъ должна быть охрана воды отъ загрязненія въ самомъ мѣстѣ ея залеганія (protection des sources); для этого необходимо опредѣлить периметръ питанія (périmètre d'alimentation) и всѣ отношенія между подземной и поверхностной циркуляціей водъ, что дается только подробнымъ геологическимъ изученіемъ всей мѣстности. Само собою разумѣется, что основаніе всякаго проекта водоснабженія отъ источниковъ, именно количество воды, не можетъ быть опредѣлено безъ всесторонней геологической оцѣнки режима подземныхъ водъ; такая оцѣнка въ особенности важна, если система каптажа, напр. пониженіемъ его заложенія, разсчитана на увеличеніе дебита источниковъ *).

4. При развитіи шоссейныхъ дорогъ далеко не безразлично, какой матеріалъ примѣняется для шоссировки. Лучшимъ матеріаломъ, какъ извѣстно, считаютъ одновременно твердый, вязкій, слабо вывѣтривающійся и невлагоемкій. Нѣтъ надобности непремѣнно стремиться къ наиболѣе твердому матеріалу, такъ какъ примѣненіе его влечетъ быстрое изнашиваніе экипажей и порчу ногъ животныхъ. Наиболѣе соотвѣтствующій матеріалъ даютъ горныя породы съ высокимъ прочнымъ сопротивленіемъ, вязкія вслѣдствіе плотнаго соединенія своихъ составныхъ частей и слабо пористыя. Вывѣтриваніе сильно понижаетъ качества матеріала, наоборотъ легкая метаморфизація подъ вліяніемъ давленія повышаетъ; присутствіе слюды и крупныхъ кристалловъ полевого шпата замѣтно ухудшаетъ, а развитіе роговой обманки и авгита улучшаетъ качества матеріаловъ. Лучшими матеріалами слѣдовательно будутъ—базальтъ, кварцевый порфиръ, діоритъ, сіенитъ, кварцитъ, кремнистый сланецъ; гранитъ—только малослюдистый и мелкозернистый гнейсъ—только наиболѣе плотныя разности; практика въ Саксоніи показала, что появленіе сланцеватой структуры въ гранитахъ (гранито-гнейсъ) замѣтно понижаетъ качества матеріала. Совершенно непригодными для этой цѣли нужно считать всѣ крупно-зернистыя, богатыя слюдою породы, известняки, доломиты, гипсъ, глинистые и известковистые песчаники и глинистые сланцы **). Само собою разумѣется, что для балластировки желѣзнодорожнаго полотна невыгодно примѣнять матеріалъ значительной твердости, но важно, чтобы онъ былъ возможно ме-

*) Вопросы каптажа источниковъ разобраны въ сочиненіи De Launay, Recherche, captage et aménagement des sources thermo-minérales, 1899.

**) Geinitz u. Sorge, Uebersicht der im Königreiche Sachsen zur Chausseunterhaltung verwendten Steinarten. Dresden, 1870.

нѣе влагоемкимъ; слѣдовательно примѣсь глинистыхъ частицъ, обыкновенная въ дилювіальныхъ галечникахъ и пескахъ, значительно понижаетъ достоинство матеріала, способствуя проникновенію влажности къ шпаламъ и вспученію отъ мороза. Приведенныя данныя необходимо имѣть въ виду особенно въ области развитія ледниковыхъ отложеній; практика германскихъ желѣзныхъ и шоссейныхъ дорогъ показываетъ, насколько могутъ быть строгими требованія при выборѣ матеріала для шоссировки и балластировки путей. Въ Саксоніи въ зависимости отъ наличности наилучшаго матеріала опредѣленныя горныя породы примѣняются на строго опредѣленныхъ участкахъ шоссе, отъ 0,3 км. до нѣсколькихъ десятковъ км. Лучшіе шоссировочные матеріалы являются лучшими и для бетонныхъ работъ.

Безъ сомнѣнія и у насъ настанетъ время, когда повысятся требованія отъ матеріала для мостовыхъ, когда признаютъ, что совершенно негодными для этой цѣли являются вывѣтрѣлыя горныя породы, гнейсъ, глинистые сланцы, известковистые песчаники, известняки, доломиты,— которые теперь примѣняются у насъ безразлично рядомъ съ гранитомъ, порфирами, кварцевыми песчаниками.

5. При выборѣ матеріала для устройства различныхъ портовыхъ сооруженій — моловъ, жетэ, брекватеровъ и т. п. *) необходимо помнить, что различныя части этихъ сооруженій требуютъ различнаго матеріала.

Нужно различать части сооруженій подъ водой и части, временно покрываемыя водой. Вліяніе морской воды можетъ быть двоякое, механическое и химическое. Правильная оцѣнка перваго относится къ выбору конструкціи сооруженія, причемъ можетъ быть весьма полезнымъ предварительное знакомство съ характеромъ разрушенія смежныхъ береговъ подъ вліяніемъ дѣйствія волнъ. Выборъ облицовочнаго матеріала требуетъ при этомъ особеннаго вниманія въ особенности при условіяхъ нашего климата, гдѣ сооруженія подвергаются обмерзанію. Что касается химическаго вліянія морской воды, то только сравнительно недавно было обращено вниманіе на вредное дѣйствіе морской воды на бетонныя сооруженія и гидравлическіе цементы. Въ виду чрезвычайной важности этого вопроса для многомилліонныхъ портовыхъ сооруженій и нѣкоторой связи этого вопроса у насъ съ геологическимъ изученіемъ страны, приведемъ выводы Михаэлиса и Ле-Шателье о вліяніи морской воды на гидравлическіе растворы **).

По наблюденіямъ Михаэлиса причиной непрочности въ морской водѣ растворовъ изъ портландскаго цемента есть избытокъ свободной извести (CaO) въ цементѣ; этотъ избытокъ можно нейтрализировать примѣшиваніемъ добавокъ, образующихъ съ нимъ также твердѣющее соединеніе.

---

*) Примѣненіе горныхъ породъ для различныхъ строительныхъ цѣлей излагается въ спеціальныхъ сочиненіяхъ:
O. Hermann, Steinbruchindustrie und Steinbruchgeologie. Berlin, 1899.
George P. Merrill, Stones for Building and Decoration. New York, 1897.
Exner, Hauenschild, Lauböck, Die Technik der wichtigeren Baustoffe. Handb. d. Architectur, Bd. 1 Th. I, 1895.
С. Глинка, Каменные строительные матеріалы, 1891.

**) В. Чарномскій, инж. пут. сообщ., Дѣйствіе морской воды на гидравлическіе растворы въ портовыхъ сооруженіяхъ. Труды отдѣла торговыхъ портовъ главн. упр. торг. морепл. и портовъ, вып. I, 1904.

Онъ указалъ для этой цѣли такъ называемые трассъ и пуццолоны, какъ вещества, содержащія водный кремнеземъ и вообще водные силикаты.

Ле-Шателье указалъ, что главная причина разложенія цементовъ есть присутствіе въ нихъ глинозема (Al_2O_3), именно выше 4%, дающаго съ CaO цемента и сѣрнокислыми солями ($CaSO_4$ и $MgSO_4$) морской воды весьма сложное соединеніе—сульфоаллюминатъ извести ($Al_2O_3 . 3CaO + 3CaSO_4 + 28{,}5H_2O$). Для предотвращенія такого разложенія цемента онъ совѣтуетъ также добавленіе къ гидравлическимъ растворамъ различныхъ естественныхъ продуктовъ, именно пуццоланъ.

Сущность процесса разложенія цемента морской водой, слѣдовательно, еще не выяснена; такъ по наблюденіямъ проф. Бразье разрушенный цементъ и сметанообразное вещество, замѣчаемое при такомъ разложеніи, заключаютъ магнезію (MgO) и углекислоту (CO_2), какъ слѣдствія отложенія MgO изъ морской воды известью цемента и поглощенія известью CO_2.

Практика несомнѣнно показала, что употребленіе трасса, пуццоланы и санториновой земли въ качествѣ прибавокъ къ извести даетъ гидравлическіе растворы болѣе устойчивые, чѣмъ различные цементы. Вліяніе этихъ веществъ далеко еще не ясно; химическій составъ ихъ довольно разнообразенъ и значеніе физическаго характера этихъ добавокъ достаточно еще не изучено. Тѣмъ не менѣе громадная потребность въ нихъ дѣлаетъ ихъ предметомъ промышленнаго значенія.

Трассъ и пуццолана представляютъ собою трахитовый туфъ—первый въ области Лаахерскаго озера на Рейнѣ, второй около гор. Пуццуоли близъ Неаполя (см. т. I, стр. 439—440); санториновая земля—туфъ гиперстеноваго андезита на о-вѣ Санторинъ.

Всѣ эти вещества представляютъ частью пемзовые туфы, частью же цементированные рыхлые вулканическіе продукты какъ тонкіе, песокъ и зола, такъ и грубые, лапилли и проч. Изъ анализовъ, приведенныхъ на стр. 440, т. I видно, что можно различить двѣ группы вулканическихъ туфовъ: одни бѣдные щелочными землями, но относительно богатые щелочами, а другіе—обратно. Первые представляютъ туфы трахитовыхъ и частью андезитовыхъ породъ, а вторые—базальтовъ; высокое содержаніе воды показываетъ обиліе водныхъ силикатовъ (аморфнаго кремнезема и цеолитовъ). Вслѣдствіе болѣе значительнаго содержанія магнезіи (MgO), туфы второго рода не могутъ быть годными прибавками. Различіе химическаго состава примѣняемыхъ въ практикѣ добавокъ (пуццоланы и санториновая земля отличаются очень сильно, но относятся къ первому изъ указанныхъ типовъ) показываетъ, что значеніе имѣетъ не столько абсолютное количество извѣстныхъ веществъ, сколько ихъ то или иное сочетаніе.

Присутствіе силикатовыхъ соединеній, легко разлагаемыхъ морской водой съ выдѣленіемъ воднаго (аморфнаго) кремнезема, который съ свободной известью бетона даетъ твердѣющія соединенія,—опредѣляетъ пригодность вещества въ качествѣ гидравлической прибавки. Какъ удовлетворяющіе этому условію и по своимъ физическимъ качествамъ, наиболѣе пригодными добавками могутъ служить туфы трахитовыхъ и андезитовыхъ породъ. Инженеръ, умѣющій читать геологическія карты и знакомый практически съ различными изверженными породами можетъ оказать въ Россіи крупныя услуги техникѣ и промышленности.

6. Отвѣтственныя геологическія изслѣдованія должны предшествовать и сопровождать проведеніе крупныхъ туннелей; а постройка каждаго туннеля должна способствовать технической успѣшности слѣдующаго. До постройки С.-Готардскаго туннеля главной задачей предварительныхъ геологическихъ изслѣдованій считали только опредѣленіе наибольшей вѣроятной температуры въ туннелѣ (т. I, стр. 76—80) и конечно опредѣленіе послѣдовательности горныхъ породъ; опытъ постройки этого туннеля показалъ, что не менѣе важнымъ является опредѣленіе вѣроятнаго притока воды. Отъ геологическихъ предсказаній въ этомъ отношеніи зависитъ выборъ системы работъ и необходимаго уклона почвы туннеля. При туннельныхъ работахъ можно видѣть, какъ почти непроизвольно увеличивается его уклонъ при встрѣчѣ значительнаго притока воды. Значеніе измѣненія уклона для режима водъ въ туннелѣ не трудно понять изъ слѣдующаго разсчета. Если скорость теченія воды была 1 м. при уклонѣ въ 0,001, она выразится, при уклонѣ въ 0,002, $\sqrt{\frac{0,002}{0,001}} = 1,4$; слѣдовательно, и затрудненія, проистекающія отъ притока воды, уменьшатся почти въ такомъ же отношеніи $\frac{1}{1,4} = 0,7$. При проектированіи С.-Готардскаго туннеля не было принято во вниманіе вѣроятное количество воды, уклонъ южной части туннеля былъ заданъ слишкомъ малымъ, и воды, скоплявшіяся вслѣдствіе этого, причинили огромныя затрудненія въ работахъ, заставляя поднимать направляющую штольну и нарушая правильность всѣхъ работъ по откаткѣ добытыхъ породъ, провѣтриванію и т. д.; мѣстами возникали подпруды воды на разстояніи цѣлыхъ кл., и всѣ работы приходилось вести въ водѣ *). Точно также выборъ системы работъ по бельгійскому способу съ потолочной направляющей штольней, какъ это было сдѣлано въ С.-Готардѣ, при значительномъ притокѣ воды нужно считать неправильнымъ.

Циркуляція подземныхъ водъ происходитъ по породамъ водопроницаемымъ, по плоскостямъ соприкосновенія различныхъ горныхъ породъ, по трещинамъ и сбросамъ. Слѣдовательно, для предсказанія о притокѣ воды необходимы непрерывныя наблюденія во время самыхъ работъ надъ всѣми измѣненіями геологическаго строенія въ каждой точкѣ продольной профили туннеля, непрерывныя измѣренія притока воды и правильныя наблюденія надъ количествомъ атмосферныхъ осадковъ въ районѣ питанія водою туннеля.

Зная площадь питанія извѣстнаго района и количество атмосферныхъ осадковъ, также свойства развитыхъ тамъ горныхъ породъ, можно вычислить и максимальное количество воды, проникающей внутрь опредѣленнаго горнаго массива.

Опредѣленіе водопроницаемыхъ породъ, поясовъ разлома и т. под. можетъ быть основано только на всестороннемъ геологическомъ изслѣдованіи по проектируемому направленію; недостаточность такихъ изслѣдованій до начала работъ стоила милліонныхъ расходовъ при проведеніи

*) F. M. Stapff, Les eaux du tunnel du St.-Gothard, 1891.
Wanner, Geschichte des Baues der Gotthardbahn. Nach den Quellen dargestellt. Luzern, 1895.

С.-Готардскаго туннеля, и многія затрудненія были преодолены только благодаря выдающимся техническимъ и геологическимъ способностямъ инженера Штапфа, приглашеннаго уже послѣ начала постройки.

Особенностью Симплонскаго туннеля является низкое заложеніе его входовъ надъ уровнемъ моря (на сѣверной сторонѣ 667 м., на южной 634 м., при высшей точкѣ подъема оси до 705 м.; для С.-Готардскаго, Монъ-Сени и Арльбергскаго—1100, 1200 и 1300 м.), что придаетъ ему особенно важное значеніе въ международныхъ сношеніяхъ. Положеніе туннеля было избрано послѣ нѣсколькихъ предварительныхъ геологическихъ изслѣдованій лучшими геологами Альпъ *). При постройкѣ С.-Готардскаго туннеля, гдѣ температура была только 30° С., заболѣваемость рабочихъ, вслѣдствіе высокой влажности, достигала до 50%, а животныя пали почти всѣ. Превышеніе поверхности земли надъ осью туннеля для Симплона составляетъ 2135 м. (для С.-Готарда и Монъ-Сени около 1700 м.) слѣдовательно Симплонскій туннель находится въ термическихъ условіяхъ значительно менѣе благопріятныхъ, чѣмъ С.-Готардскій. Съ 1877 по 1882 г. было составлено четыре проекта направленія туннеля; проектъ 1877 г. (projet de la Comp. de Simplon) давалъ длину туннеля только 18507 м., но вѣроятная наибольшая температура на 11 кл. была вычислена проф. Геймомъ въ 48°. Наименьшую температуру давалъ проектъ 1882 г. съ длиной туннеля въ 20000 м., именно 34°—35°. Это направленіе трассировано такъ, чтобы ось туннеля оставалась по возможности на большихъ пространствахъ подъ долинами; но опытъ С.-Готардскаго туннеля показалъ, что это сопряжено съ опасностью встрѣтить слишкомъ значительный притокъ воды, такъ какъ именно долины проложены въ зонахъ наибольшаго разлома и среди горныхъ породъ болѣе нарушенныхъ, чѣмъ въ окружающихъ массивахъ. Остановились на проектахъ между этими двумя направленіями, съ вѣроятной наибольшей температурой 37,5° и 38°—39°. Болѣе простое разрѣшеніе вопроса заключалось въ усиленіи провѣтриванія, и въ этихъ видахъ туннель былъ спроектированъ въ видѣ двухъ отдѣльныхъ туннелей въ одну колею, вмѣсто одного туннеля о двухъ путяхъ. Эксплоатація предполагается сначала одного туннеля, съ расширеніемъ въ серединѣ для разъѣзда (длина туннеля 19731 м.); съ развитіемъ доходности сооруженія предполагается превратить (въ 4 лѣтній срокъ по контракту) въ настоящій туннель и направляющую штольну втораго. Разстояніе между осями туннелей 17 м., и они соединены поперечными галлереями черезъ каждые двѣсти метровъ. Эта система двойнаго туннеля дала огромныя преимущества въ отношеніи провѣтриванія, отлива воды, откатки вынутыхъ породъ и т. д. Низкое положеніе туннеля позволило воспользоваться на обѣихъ сторонахъ гидравлической силой для самыхъ разнообразныхъ цѣлей.

Геологическая профиль по оси туннеля вполнѣ подтвердилась; не было неожиданностью прохожденіе на южной сторонѣ 41 м. слюдистыхъ

*) Въ 1877 и 1882 г. Lory, Heim, Renevier и Taramelli: Etude géol. sur le projet de tunnel du Simplon, Bull. vaud. Sc. natur., vol. XV и XIX, также Vierteljahr. d. Naturf.-Gesell. zu Zürich, 1882. Въ 1893 г. Schardt и Golliez: Act. Soc. helv., 1893; Arch. sc. phys. et mat., Genève, XXX, 1893.

известняковыхъ сланцевъ, обнаружившихъ необычайное давленіе и потребовавшихъ для прохода ихъ желѣзной крѣпи.

Вліяніе давленія на успѣшность работъ выражается не только въ нарушеніи устойчивости горныхъ массъ, требующихъ очень сильнаго крѣпленія, но также и обратно въ необыкновенномъ уплотненіи другихъ массъ. Въ 1891 г. были сдѣланы пробныя буренія въ глыбѣ гнейса Антигоріо, который пересѣкается туннелемъ на 5 и 6 кл. отъ южнаго входа; по этимъ опытамъ успѣшность суточной работы была оцѣнена въ 5,85 м.; въ дѣйствительности успѣшность работы въ этихъ гнейсахъ выразилась 4,25 м.; это пониженіе по мнѣнію инженеровъ нужно объяснить исключительно значительнымъ уплотненіемъ толщъ породы подъ вліяніемъ страшнаго давленія, и это отозвалось значительнымъ замедленіемъ работъ со стороны юга.

Предположенія о температурѣ не вполнѣ оправдались. На сѣверной сторонѣ наиболѣе высокая температура была встрѣчена въ разстояніи 9 км. отъ входа, именно 50° С. въ горныхъ породахъ и 53° С. въ жилахъ воды. Благодаря энергичному провѣриванію температура воздуха у забоевъ во время заложенія шпуровъ поддерживалась 29° С., а при очисткѣ забоя она поднималась до 33° С. На южной сторонѣ, благодаря болѣе значительному притоку поверхностной воды (съ площади въ 10 кв. кл.) по сланцеватымъ породамъ, температура была замѣтно ниже, притокъ воды на этой сторонѣ въ разстояніи 4,4 кл. отъ входа достигалъ 103680 куб. м. въ 24 часа, или 1200 литровъ въ секунду *); съ дальнѣйшей работой притокъ воды сократился, такъ какъ туннель вступилъ въ область водонепроницаемыхъ породъ, также предсказанныхъ геологической профилью. На сѣверной сторонѣ притокъ воды не превышалъ 10000 куб. м. въ сутки, но 31 апр. 1904 г. здѣсь встрѣченъ былъ на 10144 метрѣ въ галереѣ № 1, т. е. расширяемой въ туннель, источникъ горячей воды температуры 48° С. съ притокомъ въ 6048 куб. м. въ 24 ч. (70 литровъ въ 1″). Вслѣдствіе трудности отлива такого количества горячей воды, принуждены были остановить работы на этой сторонѣ и сосредоточить всю работу на южной сторонѣ, гдѣ осталось пройдти еще 1688 м. (длина этой части въ это время была 7898 м.). Средняя скорость работъ туннеля съ обѣихъ сторонъ до сихъ поръ была 8,72 м. въ день; при сосредоточеніи работъ только на одной сторонѣ послѣдніе 1688 м. потребовали бы, конечно, болѣе значительнаго времени. Швейцарское правительство, выкупившее линію Юра-Симплонъ, въ виду этихъ затрудненій дало исполнителямъ (общество постройки Симплонскаго туннеля Brandt, Brandau &Co) проекта этого грандіознѣйшаго сооруженія отстрочку до 31 апрѣля 1905 г., но 24 февраля сквозная брешь была пробита **).

7. Нельзя не обратить вниманія инженеровъ на приложеніе въ ихъ дѣлѣ и сейсмологіи, какъ отрасли геофизики, близкой къ геологіи.

Въ своемъ мѣстѣ было указано уже (т. I, стр. 636—645) на необхо-

*) Schardt, Rapport sur les venues d'eau rencontrées dans le tunnel du Simplon du côté d'Iselle. Lausanne 1902 и Rap. supplement, 1903. Притокъ воды въ самомъ крупномъ изъ нашихъ туннелей, Сурамскомъ на Закавказской жел. дор., не превышалъ 2 литровъ въ 1″.

**) О постройкѣ Симплонскаго туннеля пока имѣются только небольшія замѣтки: въ Österr. Zeitschr. für Berg-u. Hüttenwesen, 1903; Berg-u. Hüttenmaen. Zeitung,

димость изслѣдованія въ сейсмическомъ отношеніи площадей, предназначенныхъ для возведенія на нихъ крупныхъ сооруженій въ областяхъ, часто подвергающихся землетрясеніямъ. Замѣтимъ, что современные успѣхи въ усовершенствованіи простыхъ и портативныхъ сейсмическихъ приборовъ позволяютъ воспользоваться ими для изслѣдованія прочности массъ, которыя предстоитъ, напр., пересѣчь туннелемъ. Для этого можно устанавливать соотвѣтствующій сейсмометръ въ различныхъ подлежащихъ изслѣдованію точкахъ и затѣмъ производить искусственныя сотрясенія, напр., посредствомъ взрывовъ. Извѣстно, что форма и родъ колебаній зависятъ отъ условій упругости той среды, по которой проходятъ сейсмическія волны; слѣдовательно, одинъ и тотъ же сейсмометръ въ различныхъ точкахъ при неодинаковомъ геологическомъ составѣ грунтовъ дастъ сейсмограммы различнаго вида. Если получить рядъ такихъ искусственныхъ сейсмограммъ въ различныхъ точкахъ изслѣдуемой площади отъ взрывовъ на опредѣленной глубинѣ, то изъ такого сравнительнаго матеріала можно сдѣлать нѣкоторыя заключенія о геологическихъ и, слѣдовательно, техническихъ свойствахъ тѣхъ недоступныхъ прямому наблюденію массъ, черезъ которыя прошли искусственныя сейсмическія волны.

Въ Италіи и въ особенности Японіи обращено вниманіе на изслѣдованіе сопротивленія сейсмическимъ сотрясеніямъ, опрокидыванію и разлому, различныхъ кирпичныхъ частей сооруженій въ зависимости отъ ихъ формы и матеріала. Въ сейсмической лабораторіи токійскаго университета имѣется спеціально приспособленная платформа для воспроизведенія различнаго рода сотрясеній *); на ней испытываются различныя конструкціи кирпичныхъ кладокъ и матеріалы посредствомъ получаемыхъ при этомъ діаграммъ; также испытываются кирпичные и каменные столбы на прогибъ **).

Въ особенности важно и заслуживаетъ вниманія нашихъ инженеровъ изслѣдованіе желѣзнодорожныхъ мостовъ посредствомъ сейсмометровъ. Первое такое изслѣдованіе было исполнено въ Шотландіи Ewing'омъ крупнаго моста Firth of Forth-Bridge; затѣмъ въ Японіи Мильнъ и въ особенности профес. Омори ***) изслѣдовали цѣлый рядъ мостовъ и недавно въ Австріи Belar ****). Наиболѣе практичными приборами для

1902; Revue univer. des mines, de la Métallurgie etc., 1904 и въ другихъ журналахъ.

Многія полезныя указанія для работъ въ незначительныхъ туннеляхъ инженеръ можетъ найдти въ сочиненіи Вагнера, Приложеніе геологіи къ инжен. дѣлу, 1887; Сборн. Инст. Инж. Пут. Сообщ., XI.

О проектѣ новаго туннеля см. Schmidt, Geologische Begutachtung des Ricken-Tunnels Wattwil-Kaltbrunn (8604 m). Bern 1903.

О Монбланѣ: Baretti, Aperçu géol. sur la chaine du Mont-Blanc en rapport av. le projet d'un tunnel, Turin 1881. Вѣроятная температура вычисляется болѣе 50° С. Длина туннеля была бы 20710 м., но не сплошного: длина большаго туннеля—13100 и длина подхода къ нему туннелемъ же—5525.

*) Въ физической лабораторіи Ак. Наукъ въ С.-Петербургѣ недавно построена кн. Б. Голицынымъ подобная же платформа, но для цѣлей научнаго изслѣдованія сейсмическихъ приборовъ.

**) F. Omori, Note on applied Seismology. Verhandl. d. I Internation. Seismolog. Konferenz, 1902. Также различныя статьи въ Publications of the Earthquake Investigation Committee in Foreign Languages, Tokyo, № 3, 4, 9 и 12.

***) F. Omori, Note on app. Seismology, l. c., стр. 347—475 и On the deflection and vibration of railway bridges, Publ. of the Earth. Invest. etc., № 9.

****) A. Belar, Ueber Verwendung von Erdbebenmessern bei Eisenbahnbrücken. Die Erdbebenwarte, I Jahrg., № 2, 1901, Laibach.

этого слѣдуетъ считать, предложенные Омори, такъ называемые Deflectograph, или измѣритель отклоненія, и Vibration Measurer, или измѣритель колебаній; эти приборы представляютъ собою не болѣе, какъ портативные сейсмометры для горизонтальныхъ и вертикальныхъ колебаній. Устанавливая ихъ въ различныхъ точкахъ моста, можно получить діаграммы движеній различныхъ частей мостового сооруженія при спокойной нагрузкѣ, при перемѣщеніи ея съ различной скоростью, т. е. при прохожденіи поѣздовъ разной скорости, сотрясеній верхняго строенія мостовъ отъ вѣтра и т. под. Региструющіе приборы даютъ графически изображенія всѣхъ движеній различныхъ частей сооруженія; получается матеріалъ, позволяющій сравнить при абсолютно одинаковыхъ условіяхъ различныя конструкціи мостовъ, различный матеріалъ ихъ и позволяющій уловить всѣ дефекты, напр., въ качествѣ матеріала. Повторныя изслѣдованія одного и того же моста позволяютъ уловить по измѣненіямъ діаграммъ молекулярныя измѣненія желѣзныхъ частей, вызывающія иныя условія упругости мостовыхъ частей. Строители мостовъ могутъ получить изъ такихъ діаграммъ очень цѣнныя указанія на преимущества различныхъ конструкцій. Можно съ увѣренностью предсказать широкое въ будущемъ приложеніе такихъ приборовъ въ дѣлѣ пріемки мостовыхъ сооруженій и наблюденія надъ ними.

Подобными же приборами проф. Омори, быть можетъ, можно воспользоваться для изслѣдованія вредныхъ сотрясеній фабричныхъ зданій и ихъ окрестностей при работѣ сильныхъ машинъ, что, какъ извѣстно, весьма озабочиваетъ строителей въ районѣ городскихъ построекъ.

Наконецъ, подобныя же изслѣдованія широко примѣняются въ Японіи для изученія характера колебаній, испытываемыхъ вагонами и паровозами *). Первые опыты въ этомъ направленіи были сдѣланы уже Мильномъ при помощи прибора, названнаго имъ Vibration recorder. Въ настоящее время проф. Омори предложены болѣе совершенные сейсмометры для горизонтальныхъ и вертикальныхъ колебаній; посредствомъ ихъ можно удобно получить діаграммы, позволяющія дѣлать заключенія по цѣлому ряду вопросовъ, интересующихъ желѣзнодорожную технику:

1. Различіе въ колебаніяхъ вагоновъ и паровозовъ при движеніи ихъ черезъ мосты и по полотну.
2. Эффектъ стыковъ рельсовъ на подвижной составъ.
3. Отношеніе между колебаніями вагоновъ и скоростью движенія.
4. Эффектъ закругленій и стрѣлокъ.
5. Вліяніе колебаній на опрокидываніе вагоновъ и т. д.

Очевидно, что при опредѣленной системѣ вагона такія діаграммы могутъ служить средствомъ для изслѣдованія качествъ самого желѣзнодорожнаго полотна, какъ это и дѣлается уже на нѣкоторыхъ желѣзнодорожныхъ линіяхъ Японіи.

На примѣненіе сейсмометровъ для наблюденій надъ выдѣленіемъ гремучаго газа въ каменноугольныхъ рудникахъ было уже указано (т. I,

*) Omori, Application of Seismographs to the Measurement of the Vibration of Railway Carriages. Publicat. of the Earth. etc. № 15, 1904.

стр. 679—680) и напомнимъ только желательность систематическихъ наблюденій *).

Если исключить указанныя отвѣтственныя геологическія изслѣдованія при проведеніи туннелей или гидрологическихъ работахъ, другіе изъ случаевъ вліянія геологическаго состава и строенія на инженерныя работы требуютъ отъ инженера не столько разносторонних геологическихъ познаній, сколько представленія о томъ, что нужно наблюдать и какъ наблюдать. Чтобы составить себѣ полную картину состоянія тѣхъ твердыхъ массъ, около которыхъ или на которыхъ инженеру приходится возводить свое сооруженіе, необходимо, чтобы у инженеровъ вошло въ привычку наблюденіе природы, естественныхъ условій почвы, какъ до, такъ и во время возведенія сооруженій.

Имѣя иногда возможность непрерывно въ теченіе долгаго времени наблюдать какой-нибудь уголокъ природы, ясное, воспитанное на математическихъ образцахъ, мышленіе инженеровъ не преминетъ оказать полезное вліяніе и на развитіе какой-нибудь стороны геологической науки.

*) Gérard et van den Broeck, Projet d'un programme de recherches à faire sur les phénomènes et sur le dégagement du grisou. Bull. de la Soc. belge de Géologie, 1898.

ПРИМѢЧАНІЯ КЪ ГЛАВАМЪ.

ВВЕДЕНІЕ.

1) Poullet Scrope. Considerations on Volcanoes, 1825, стр. 221.

2) A. Supan. Grundzüge der physischen Erdkunde, 2-е изд. 1896, стр. 341. Имѣется въ русскомъ переводѣ—Основы Физической географіи, 1899, подъ редакціей Д. Н. Анучина. Въ 1903 г. вышло 3-е изд. нѣмецкаго оригинала, которое и рекомендуемъ, какъ одинъ изъ лучшихъ современныхъ курсовъ физической географіи.

3) J. Walther. Lithogenesis der Gegenwart, 3-я часть Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. 1893—1894, стр. 573.

4) Ch. Lyell. Principles of Geology, 1872, стр. 104. Русскій переводъ Мина имѣется только съ 9-го изд., 1866 г.—См. также Richthofen, Führer für Forschungsreisende, 1886, стр. 499 и друг.

5) Supan, ibid, № 2, стр. 341.

6) Russel, Rep. U. S. Geol. Survey, V. III, стр. 197.

7) Theobald, Jahrb. Schweizer Alpenclub, 1868, стр. 534.

8) Contjean, Comp. rendu Acad. Paris, 1889, стр. 1218.

9) Flinders Petril, Rog. Geogr. Soc., 1889, стр. 647.

10) J. Walther. Die denudation in der Wüste und ihre geologische Bedeutung (XVI Bd. Abh. d. math.-ph. Cl. d. Kön. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch.), 1891, стр. 382.

11) D. А. Лачиновъ. Основы Метеорологіи и Климатологіи. 2-ое изд. Спб. 1895, стр. 379.

12) J. Murray, Scott. Geol. Magazin, 1887.—V. Uhlig, Z. f. prakt. Geol., 1897, № 11, указываетъ, что въ умѣренномъ климатѣ испаряется до 70—80%.

12а) Алтуховъ и Фейгинъ. Отчетъ объ изысканіи ключевой воды для водоснабженія С.-Петербура, Спб., 1897. Къ сожалѣнію опредѣленія ихъ подверглись сомнѣнію; см. отзывъ Лутугина, Наливкина и Погребова, Изв. Геол. Ком., XVIII, 1, 1899.

13) Isidor Soyka. Die Schwankungen des Grundwassers etc.; Geogr. Abhandl. Penck's, 1888.

14) Justus Roth. Allg. u. chem. Geologie, B. I. Bildung u. Umbild. d. Mineralen—Quell—Fluss—u. Meerwasser. Berlin, 1897, стр. 44.—W. Götz. Die dauernde Abnahme der fliessenden Wasser auf dem Festlande; Verh. d. achten deutsch. Geographentages, Berl. 1889. Авторъ доказываетъ, что количество воды уменьшается вслѣдствіе расхода ея на: 1) вывѣтриваніе, 2) образованіе новыхъ минераловъ, 3) проникновеніе внутрь и 4) жизнедѣятельность растеній и образованіе гумуса.

15) Lock. Gold, its occurence and extraction, Lond., 1882. Нѣкоторыя главы этого сочиненія переведены Серебренниковымъ въ Горн. Журн., 1885, IV.

16) A. Penck. Die Erdoberfläche, въ Geogr. Handbuch zu Andreas Handatlas, Scobel, 3-ье изд. 1899.

Глава I.

1) А. Воейковъ. Климаты земного шара, Спб. 1884.

2) J. Hann. Hanbuch der Klimatologie. Stuttgart, 1883.

3) Ib., стр. 62—67.

4) Воейковъ, ib., стр. 9.

5) Hann, ib.; стр. 69.

6) Kirchoff. Unser Wissen von der Erde, I, стр. 90. Теперь имѣется уже 5-ое изд., 1897.

7) М. М. Поморцевъ. Изслѣдованіе атмосферы при помощи воздушныхъ шаровъ. Спб. 1897, гдѣ между прочимъ приведенъ историческій очеркъ подобнаго рода изслѣдованій. Тому же автору принадлежатъ относящіяся сюда работы: a) Научные результаты 40 воздушныхъ поднятій. Спб. 1895. b) Опредѣленіе направленій и угловыхъ скоростей движенія облаковъ. Изв. Геогр. Общ., XXIX, 1893. c) Очеркъ ученія о предсказаніи погоды, Спб. 1890. d) О законѣ распредѣленія скоростей вѣтра и географическаго распредѣленія силы вѣтра. e) Работа вѣтра и др. статьи, которыя будутъ указаны ниже.

8) Supan, Grundz. d. ph. Erdk.

9) Лачиновъ. Осн. метеорол. и климат.

10) А. Варнекъ. Распредѣленіе абсолютныхъ наибольшихъ и наименьшихъ температуръ и ихъ амплитудъ въ Россіи. Зап. Акад. Наукъ, V, № 6, 1897.

11) Spitaler. Die Wärmeverteilung auf d. Erdoberfläche. Wiener Acad., Bd. 51, 1886, гдѣ приведена болѣе подробная таблица среднихъ температуръ параллелей, но безъ указанія % отношенія суммъ.

12) Supan, ib., стр. 51.

13) Hann. Uns. Wissen von der Erde, Bd. I, стр. 115.

14) А. А. Тилло. Распредѣленіе атмосфернаго давленія на пространствѣ Россійской имперіи и азіатскаго материка на основаніи наблюденій съ 1836 по 1885 г. Съ атласомъ, Спб 1890.

15) Лачиновъ, ib.

16) A. Sprung. Lehrb. d. Meteorologie. 1885 и Лачиновъ, ib., 221.

17) Воейковъ. Климаты земного шара.

18) Поморцевъ. Изслѣдованіе атмосферы при помощи воздушныхъ шаровъ. Спб. 1897, стр. 33. Также результ. 40 возд. подн.

19) Поморцевъ. О законѣ распред. скор. вѣтра и т. д., стр. 50.

20) Керсновскій. Ходъ силы вѣтра въ Россіи. Приложеніе къ LXV т. записокъ Ак. Наукъ, 1896.

21) А. В. Клоссовскій. Труды метеорол. сѣти Ю. З. Россіи.

22) Лачиновъ, ib. стр. 480—499.

23) В. Л. Розенбергъ. Приборъ для подтвержденія теоріи пассата, циклона, антициклона и закона Бэра. 1892.

24) См. цѣлый рядъ спеціальныхъ работъ. Въ русской литературѣ кромѣ руковод. Лачинова подробно изложено въ сочин. Поморцева, Очеркъ ученія о предсказаніи погоды. 1889.

25) Варнекъ. Объ организаціи предсказаній погоды въ С. Америкѣ. Изв. Геогр. Общ.

26) Supan, ib.

27) М. А. Рыкачевъ. О вѣтрахъ Каспія.

28) Ferrel. A popular Treatise on the winds. London. 1889.

29) П. И. Броуновъ. Метеорологія, какъ наука о вѣтровыхъ движеніяхъ атмосферы. Спб. 1897.—І. В. Шпиндлеръ. Теорія циклоновъ и антициклоновъ по Обербеку. Зап. по гидрографіи. XXI, 1900.

30) Айткенъ. См. Метеор. Вѣстн. 1891, № 3.

31) Вилъдъ. Объ осадкахъ въ Россіи.—1873. Тилло. Распредѣл. атмосф. осадковъ на рѣчн. басс. Евр. Россіи; Тр. эксп. для изслѣд. источ. главнѣйш. рѣкъ Евр. Россіи. Спб. 1897.

32) Е. А. Гейнцъ. Объ осадкахъ, количествѣ снѣга и объ испареніи на рѣчн. бассейн. Евр. Россіи; Тр. эксп. для ислѣд. источн. главн. рѣкъ Евр. Россіи. Спб. 1898.

33) А. В. Клоссовскій. Метеорол. обозрѣніе за 1892 г. Изд. Новороссійскаго Университета.

34) В. А. Таргонскій. 1) Геогр. распред. града въ Евр. Россіи и зависим. этого явленія отъ рельефа земной поверхности. Москва 1893. 2) Характеристика мѣстностей, подверженныхъ градобитіямъ въ Евр. Россіи. Москва. 1895.—М. Сидоренко. О кристалл. формѣ градинъ 30 мая 1899 г. въ Одессѣ.

35) Klossowsky. Distribution des orages à la surface du globe terrestre. 1894 и въ Метеорол. Обозрѣніи 1892 г.

36) Лачиновъ. Основы и т. д.

37) Зупанъ. Основы физ. географіи. 1900, стр. 189.

38) П. Рыбкинъ. Повторяемость хода атмосферныхъ явленій въ Европѣ. Изв. Акад. Наукъ, IX, № 3, 1898.

39) Köppen. Mehrjährige Perioden der Witterung. Zeitschr. d. Oesterr. Gesellsch. d. Meteorologie. 1873–1880—1881 г.г.

40) E. Brückner. Klimaschwankunden seit 1700 nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit. Geogr. Abhandl. Penck's, IV, № 2, Wien 1890. См. сообщенія въ Геогр. Общ. проф. Швецова, находившаго возможность опредѣ-

лять періоды сухихъ и дождливыхъ годовъ по толщинѣ годовыхъ слоевъ большихъ сосновыхъ деревьевъ. Метеор. Вѣсти. 1892, 5,—Дерево, какъ лѣтопись засухъ.

41) Blytt. Zwei Kalktuffbildungen in Gudbrandzdolen. Beiblatt 36 zu Englers Botanischen Jahrb. 1892. Также, E. Toll, Wissenschaftl. Resultate der zur Erforschung des Janalandes und der Neusibirischen Inseln ausgesandten Expedition. Mém. de l'Acad. Imp. des Sc. de St. Petersb. 1895, Abschn. III.

42) Воейковъ. Воздѣйствіе человѣка на природу. Землевѣдѣніе, 1893.—Георгъ Мартъ. Человѣкъ и природа.—Ebermayer, Meteorol. Zeitschr. 1895.—Reichelt, Beiträge zur Geschichte des ältesten Weinbaums in Deutschland. 1886.—Вейнбергъ. Лѣсъ. Значеніе его въ природѣ и мѣры къ его сохраненію. Москва 1884.—Partsch. Ueber den Nachweis einer Klimaänderung der Mittelmeerländern in geschichtlicher Zeit, гдѣ доказывается отсутствіе измѣненія климата. Penck, въ Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin, XXIX, 1894, 2.

Дополненіе. Послѣ того, какъ эта глава была составлена, научно-учебная литература обогатилась нѣсколькими капитальными трудами по метеорологіи и космической физикѣ: А. И. Воейковъ. Метеорологія. Спб. 1903 — 1904. — Hann. Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig 1901. Второе изданіе 1905 г. — Arrhenius. Lehrbuch der kosmischen Physik. 1903. Интересующимся предметомъ можно указать еще краткій курсъ—Davis. Elementary Meteorology, Boston 1895 и періодическое изд. Метеор. Вѣстникъ (Геогр. Общ.), въ которомъ помѣщаются какъ важныя оригинальныя статьи, такъ и рефераты по всѣмъ вопросамъ метеорологіи въ текущей литературѣ.

Глава II.

1) Мушкетовъ. Туркестанъ I, стр. 620. Также статьи Czerny, Pet. Mitt. Ergänzungsheft № 48, 1876 и Tietze, Jahrb. d. K. K. geol. Reichsanst., 1877, 4 и 1881, 1.—Никольскаго. Путешествіе на оз. Балхашъ и въ Семирѣченскую область; Зап.-Спб. отд. Геогр. Общ., кн. VII, 1885.—Richthofen, Führer etc.

2) Мушкетовъ. Геол. изсл. въ Киргизской степи. Тр. Геол. Ком., XIV, 5, 1896.—Гаркема. Кр. очеркъ распростр. песковъ въ Астрах. губ., 1895.

3) Thoulet. Expériences synthétiques sur l'abrasion des roches par le sable. Comp. rend. Acad. d. Sc., CIV, стр. 381; также Ann. des. mines. 1887.

4) Berendt, Jahrb. d. k. preuss. Landesanst., 1884.

5) Travers. On the sand-worn stones of Evans-Bay, Transact. a. Proceed. of the New-Zealand Inst., V. 2, 1869, стр. 247.

6) A. Mickwitz. Die Dreikanter, ein Product des Flugsandschliffes, eine Entgegnung auf die von H. Berendt aufgest. Packungtheorie; Зап. Минер. Общ., XXIII, 1887.—Schmidt, N. Jahrb. etc., 1885, II, № 7. См. также Mikwitz: Ueber die Bildung der Schlifflächen an den sogenannten Dreikantern. Naturwiss. Wochenschrift, 1889, III—Woldrich. Ueber einige geologisch—äerodynamische Erscheinungen in der Umgeb. Prags; авторъ пытается доказать измѣненія климата на основаніи нахожденія трехгранниковъ.

7) A. G. Nathorst. Ueber Pyramidal-Gesteine; N. Jahrb., 1887, I, 2, стр. 179. См. также Тутковскій. Пирамидальные валуны въ южномъ Полѣсьѣ; Изв. Геол. Ком, XIX, 1900. Въ этой интересной статьѣ приведенъ очень полный перечень литературы объ эоловыхъ многогранникахъ. См. также стр. 896 этого тома.

8) J. Walther. Die Denudation in der Wüste, 1891.—В. А. Обручевъ. О процессахъ вывѣтриванія и раздуванія въ Центр. Азіи. Зап. Мин. Общ., XXXIII, вып. 1, 1895.

9) Обручевъ. Ib., стр. 253—254.

10) Siekenberger. Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch., 1889, стр. 314.

11) Zittel. Beitr. zur. Geol. u. Pal. d. Lybischen Wüste. Palaeontographica, XXX, стр. 59.

12) Обручевъ. Ib. стр. 285—288.

13) Мушкетовъ. Кр. отчетъ о геол. изсл. въ Туркестанѣ въ 1875. Зап. Мин, Общ., XII, 1876.—Богдановичъ. Геол. изсл. въ вост. Туркестанѣ, Тр. тпб. экс., II, 1892.

14) Walther. Ib. стр. 420.—Богдановичъ. Къ геологіи средн. Азіи, Зап. Мин., Общ., XXVI, 1889, стр. 9—20.

15) Hayden. Ann. Report. Geol. Survey, 1874.

16) Schenk. Ueber den geolog. Bau der Lybischen Wüste. München, Festrede, Ac. d. Wissensch., 1880.

17) Н. А. Соколовъ. Дюны. Ихъ образованіе, развитіе и внутреннее стр. Спб. 1884, стр. 12 (Тр. Спб. Общ. Ест.). Рекомендуемъ въ особенности нѣмецкое изд. этого превосходнаго труда въ перев. проф. Арцруни: Die Dünen, Berl. 1894.

17а) Наливкинъ. Опытъ изсл. песковъ Ферганской Обл. Нов. Маргеланъ 1887, стр. 85.

18) C. de Candoll. Rides formées à la surface du sable déposé au fond de l'eau et autres phénoménes analogues. Arch. des Sc. phys. et natur. Genève, 1883, IX, 3. Резюме по этому вопросу, см. Соколовъ. Дюны, стр. 15—17.

19) Реклю. Земля etc., II, стр. 156.

20) Соколовъ. Ib. стр. 21.

21) Соколовъ. Ib. стр. 47.—Bruno Doss. Ueber die Richtungsverkehr einer Dünenwanderung bei Schlock in Livland. Korrespondenzblatt d. Nat. Ver. zu Riga, 1899, XLII.

22) Hagen. Handuch d. Wasserbaukunst, стр. 21.

23) Berendt. Geologie des Kurischen Haffes, стр. 86.

23а) A. Parran. Bull. Soc. géol. de France, [3], 1890, стр. 245.

24) Реклю. Земля, II, стр. 161.

25) A. Briart. Sur la stratification entrecroisée. Bull. Soc. géol. de France, [3], VIII, 1882.

26) Walther. Ib. стр. 517.

27) А. Миддендорфъ. Очерки Ферганской долины. Спб. 1882, стр. 93.

28) Walther. Ib. стр. 520.

29) Н. Лебедевъ. Геологич. изслѣд. и поиски на золото въ дол. р. Чороха. Мат. для геол. Кавказа, [3], кн. 1, стр. 93—94.

30) J. W. Retgers. Ueber die mineralogische und chemische Zusammensetzung der Dünensande Hollands u. über die Wichtigkeit von Fluss—und Meersanduntersuchungen in Allgemeinen. N. Jahrb., 1894, I, 1.—Послѣ того, какъ глава II была напечатана, вышла прекрасная книга, которою нельзя было воспользоваться въ текстѣ, а именно: Handbuch der deutschen Dünenbaues. Berl. 1900. Она издана по порученію Прусскаго Мин. Публ. работъ Paul Gerhardt при участіи нѣсколькихъ лицъ, которымъ принадлежатъ самостоятельныя статьи, а именно: геолога Alf. Jentsch, ботаника Joh. Abromeit и лѣснича Paul Bock. Въ этомъ капитальномъ сочиненіи обстоятельно изложены не только вопросы о происхожденіи, формированіи, составѣ и передвиженіи дюнъ на берегахъ Нѣмецкаго и Балтійскаго морей въ Пруссіи, но также описана очень подробно флора дюнъ и, что особенно важно, разные способы закрѣпленія ихъ и экономическіе выгоды этого. Хотя она разсматриваетъ исключительно только нѣмецкія дюны, но имѣетъ и общее значеніе. Книгу эту особенно можно рекомендовать лицамъ, озабоченнымъ закрѣпленіемъ летучихъ песковъ, тѣмъ болѣе, что она снабжена многочисленными и прекрасными рисунками.

31) С. Ю. Раунеръ. Дюны, ихъ укрѣпленіе и облѣсеніе. Спб. 1884. — Его же Укрѣпленіе и облѣсеніе летучихъ песковъ въ Зап. Европѣ. Изв. Геогр. Общ. 1888, XVIII, 3.

32) Павлиновъ. Ортштейнъ. Мат. по изуч. русск. почвъ А. Совѣтова и В. Докучаева, 1887, III.—Храмовъ. Нѣск. словъ объ ортштейнѣ и подзолѣ. Лѣсн. журн., 1889, XIX, 1.—Ramann. Der Ortstein und ähnliche Secundärbildungen in d. Diluvial—u. Alluvialsanden. Jahrb. d. k. preuss. geol. Landesanst. 1885.—Biedermann. Ortstein u. Raseneisenstein. Zeitschr. f. Forst-u. Jagdwesen, 1876.

33) Vassillierc. La region des dunes Girondines. Par. 1889, Bull. Min. de l'Agriculture.

34) П. А. Костычевъ. Алешкинскіе пески. Спб. 1884. Въ этой статьѣ имѣется много интересныхъ данныхъ о песчаной растительности и закрѣпленіи песковъ. См. также статью Раунера и работу П. Янковскаго. Ива въ борьбѣ съ летучими песками и выгодные способы ея культуры. Журн. Сельск. Хоз., 1889, 17—19.

35) Wessely. Der Europäische Flugsand u. seine Kultur, стр. 7.

36) Н. П. Барботъ-де-Марни и А. П. Карпинскій. Геологич. изслѣд. Волынской губ. Юбил. сборн. Горн. Инст. 1873, стр. 50—51.

37) Zittel. Die Sahara, ihre physische u. geol. Beschaffenheit, стр. 10.

38) Н. М. Пржевальскій. Третье пут. въ Центр. Азію, 1883, стр. 440.—См. также путеш. Обручева, Свенъ-Гедина и друг.

38а) Bayberger. Deutsche Rundschau, VIII, 1 — 2; то же въ Горн. Журналѣ 1886, № 8.

39) Мушкетовъ. Туркестанъ и также калмыцкія степи.

40) Zittel. Ib.

41) Rolland. Grandes dunes du Sahara.—Его же. Géologie du Sahara Algérien; Par. 1890.

42) А. Миддендорфъ. Очерки Ферган. долины.

43) Mission de Ghadames 1863. Etudes sur les terrains et sur les eaux des pays traversés, par M. F. Vatonne.
44) А. М. Коншинъ. Изв. Геогр. Общ. 1886, V, 4, стр. 412—415 и Зап. Геогр. Общ., XXXIII, 1, 1897. Разъясненіе вопроса о древнемъ значеніи Аму-Дарьи.
45) Х. В. Гельманъ. Наблюденія надъ движ. летучихъ песковъ въ Хивинск. ханствѣ. Изв. Геогр. Общ., XXVII, 5, 1891.
46) В. А. Обручевъ. Закаспійская низменность. Зап. Геогр. Общ. 1890.
47) Наливкинъ. См. № 17а.
48) Архиповъ. Матер. по Азіи.
49) Мушкетовъ. Геол. изсл. въ Калмыцкой степи. 1884—1885 г.г. и въ Кирг. степи въ 1894 г. Тр. Геол. Ком., XIV, 1 и 5.
50) К. И. Богдановичъ. Геол. изсл. въ Вост. Туркестанѣ. Тр. Тиб. экс. II, 1892, стр. 100.
51) Г. Н. Потанинъ. О сыпучихъ пескахъ Ордоса въ Монголіи. Вѣстн. Естествознанія, № 5, стр. 191—194.
52) Вамбери. См. также Свенъ Гединъ. Въ сердцѣ Азіи. Спб. 1899.
53) Эверсманнъ. Еств. Исторія Оренб. края, стр. 65.
54) Мушкетовъ. Туркестанъ I, въ разн. мѣстахъ.
55) H. C. Sorby. The Monthly microsp. Journ. 1877.
56) Обручевъ. Закасп. низм., стр. 126—127.
57) Коншинъ. Зап. Геогр. Общ., XXXIII, 1, стр. 240.
58) Наливкинъ. См. № 17а.
59) С. Н. Никитинъ. Изв. Геол. Ком. 1891, стр. 163.
60) Schweinfurt. Peterm. Geogr. Mitt., 1888, VII, стр. 76.
61) Мооръ. Микроорганизмы воздуха и ихъ роль въ распр. заразныхъ болѣзней. Журн. Общ. охр. нар. здравія, 1894, 1—4; 1895, 4.—Plumandon, Par. 1897; Атмосф. пыль, ея движ. въ атмосф. и вл. на здор.—см. Метеор. Вѣстн. 1897, II.—Также Эверсманнъ. Воздушная пыль. 1896.
62) Gümbel. Grundzüge etc., стр. 284.
63) Мет. Вѣстникъ, 1891, № 3, рефератъ Броунова.
64) C. Freih. v. Camerlander. Der am 5 u. 6 Febr. in Schlesien, Mähren u. Ungarn mit Schnee niederfall. Staub; Jahrb. d. k.k. geol. Reichsanst. 1888.
65) Мооръ. № 61, стр. 112 и 271.
66) A. E. Nordenskiöld. Ueber die geolog. Bedeutung des Herabfall. kosmischer Stoffe auf die Oberfl. der Erde. Studien u. Forschungen. — Suplement zu der Umsegelung Asiens und Europa auf der Vega. Leipz. 1885, стр. 142. —Его же. Grönland—Eine Eiswüste in Innern und seine Ostküste. Schilderung der zweiten Dickson'schen Expedition, ausgefahren im Jahre 1883. Leipz. 1886.
67) Rosenbusch. Elemente der Gesteinslehre. 1898, стр. 414.
68) И. Клингенъ. Вліяніе культуры, растительности и водъ на выпаденіе и распредѣл. атмосф. осадковъ. Мет. Вѣстникъ, 1893, 1—2, стр. 52.
69) Н. Сарандинаки. Къ вопросу о выдуваніи посѣвовъ на югѣ Россіи. Мет. Вѣстникъ, 1894, 6, стр. 226.—Попруженко. Мат. для изуч. пыльнаго тумана и песчаныхъ бурь на юго-зап. Россіи. Метеорол. Обозр. юго-зап. Россіи, 1892, 10 (Одесса).
70) А. А. Шульцъ. О необходимости изученія мглы. Спб. 1897.
71) Г. Высоцкій. Матер. по изуч. черныхъ бурь въ степяхъ Россіи. Сборн. отд. тр. экс. Лѣсн. Департ. Спб. 1894, стр. 45.
72) Эренбергъ. Многочисл. статьи о пассатной пыли съ 1844 г. печатались въ изд. Берлинской Акад. Наукъ; наиболѣе важная: Passatstaub u. Blutregen, ein grosses organisches unsichtbares Wirken und Leben in der Atmosphäre. Abhandl. d. k. Ak. W. zu Berlin, 1847.
72) Otto Krümmel. Der Ozean—Eine Einführung in die allgemeine Meereskunde. 1886.—Berghaus. Physikalische Atlas, 1890.
74) Обручевъ. См. № 8.
75) Свенъ Гединъ. Въ сердцѣ Азіи, I, 1899.
76) Богдановичъ. См. № 50, 100—107.
78) Мушкетовъ. Туркестанъ, I, 1886. Карта.
78) Наливкинъ. № 17а. Карта.
79) М. В. Пѣвцовъ. Тр. тиб. экс., I, 1895, стр. 79.
80) Богдановичъ. № 50, стр. 101.
81) Мушкетовъ. Туркестанъ.
82) Рихтгофенъ. Кромѣ различныхъ мелкихъ статей главный трудъ Рихтгофена: China.—Ergebnisse eigener Reise und darauf gegründeter Studien, B. I, 1877, гдѣ развиты его теоретическія воззрѣнія на происхожденіе лёсса. Въ томѣ II приведено много фактическихъ данныхъ о лёссѣ Китая. Много интересныхъ замѣчаній о лёссѣ см. его Führer etc., а также Tietze (Geogn. Verh. d. Gegend von Lem-

berg, 1882), Baltzer (Mitt. d. Nat. ver. in Rein, 1886), Penck (Mensch u. Eiszeit, 1884, Arh. v. Antr. XV, 3), Wahnschaffe (Zeitschr. d. d. geol. Gesell., 1886) и друг.; послѣдній особенно подробно разбираетъ лёссу-подобныя образованія.

83) Andreae u. Osann. Löss u. Lösslehm bei Heidelberg. Mitt. Grossh. Bad. geol. Landesanst. 1893, XX, стр. 737—747.—A. Sauer. Ueber die äolische Enstehung des Lösses am Rande d. norddeutsch. Tiefebene. Z. f. Naturwiss.—Halle, 1889, LXII; тоже N. Jahrb., 1890, II.

84) Миддендорфъ. № 27, приложеніе X.

85) Обручевъ. № 46, стр. 46.

86) Braun. Löss der Reinthales. N. Jahrb. 1847, стр. 51.

87) E. Süess. Ueber den Löss. Wien, 1866.—Penck. Mensch u. Eiszeit, 1884, ib. 82.

88) Ч. Ляйелль. Руководство по геологіи. Перев. Головкинскаго, 1886, т. I.

89) Th. Kingsmill. The Geology of the asiatic Loess. Quatr. Journ. Geol. LI, стр. 238; Nature, 1892, № 1202.

90) A. de Lapparent. Traité de géol., 4-oe изд., 1900.

91) В. В. Докучаевъ. Мат. къ оцѣнкѣ зем. Нижегор. губ. Вып. I—XIV, 1883—1887. Его же. Полтавской губ. Вып. I—XVI, 1890—1895. Его же. Къ вопросу о происхожденіи русскаго лёсса. Вѣстн. Естествоис., 1892, 3—4 и друг. статьи.

92) П. Я. Армашевскій. Геологич. очеркъ Черниг. губ. Зап. Кіев. Общ. Ест. 1883, VII, 1.—О происхожденіи лёсса, Зап. Кіев. Общ. Ест., XV, 1896.—Нѣкоторыя данныя для сравненія лёсса Зап. Евр. и Россіи. Зап. Кіев. Общ. Ест., 1889, X и друг. статьи.

93) Lapparent. № 90.

94) Докучаевъ. № 21.

95) F. Wahnschaffe. Die Quartärbild. der Umgeg. v. Magdeburg. Abh. d. geol. specialkarte v. Preussen, 1885. Bd. VII, 1.—Его же. Z. d. d. geol. Gesell., 1885, 1886 и Beitrag zur Lössfrage, Jahrb. d. k. pr. Geol. Landesanst. 1889.

96) П. Тутковскій. Къ вопросу о способѣ образованія лесса. Землевѣдѣніе, 1899.—Его же. № 7.

97) Abich. N. Jahrb. 1871, стр. 193.

98) Humboldt. Kosmos, IV, стр. 428, 592.

99) Gümbel. Z. d. d. g. Gesell., XXXIV—XXXVI.

100) Clarke. Proceed. of U. St. National Museum 1886, стр. 83.

Дополненіе. Указанія на новыя работы съ 1900 г. о механической дѣятельности атмосферы интересующіеся могутъ найти, напримѣръ, въ Geolog. Centralblatt, herausgeg. von Prof. Keilhack. Обширные матеріалы по вопросамъ о механической работѣ вѣтра, о ландшафтныхъ формахъ создаваемыхъ вѣтромъ, о климатическихъ условіяхъ, способствующихъ интенсивной работѣ вѣтра, о качествахъ песка пустынь, лессѣ и т. под. можно найдти на многихъ страницахъ слѣдующихъ выдающихся сочиненій:

В. А. Обручевъ. Центральная Азія, сѣверный Китай и Нань-шань. I—II, 1900—1901 (изд. Геогр. Общ.).

Sven Hedin. Die geographisch — wissenschaftlichen Ergebnisse meiner Reisen in Zentralasien 1894—1897. Ergänzungsheft № 131 Peterm. Mitt., 1900. Его же. Scientific Results of a journey in Central Asia, 1899—1902. I—the Tarim River, 1904, въ особенности стр. 311—418.

K. Futterer. Durch Asien. I, Geographische Charakterbilder, 1901 и B. II, Th. I, 1905. Его же. Der Pe-schan als Typus der Felsenwüste. Hettners Geogr. Zeitschr., 1902.

Raphael Pumpelly. Explorations in Turkestan with an account of the Basin of Eastern Persia and Sistan. Expedition of 1903, under the Direction. of R. Pumpelly. Washington, 1905. Рядъ оригинальныхъ наблюденій о дѣятельности вѣтра, эрозіи, ледниковыхъ явленій въ средней Азіи—Pumpelly, Davis и Huntington.

Какъ пособіе при изученіи механической дѣятельности атмосферы, укажемъ работы и статьи:

J. Walther. Das Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart u. Vorzeit, 1900.

J. Girard. L'évolution comparée des sables. E'érosion.—L'abrasion.—Les dunes.—La transformation des rivages. 1903.

S. Passarge. Die Kalahari. Versuch einer physisch-geographischen Darstellung der Sandfelder des südafrikanischen Beckens. Berlin, 1904.

E. v. Cholnoky. Die Bewegungsgesetze des Flugsandes. Földtani Közlöny, Budapest, 1902, XXXII.

Образцомъ измѣреній на дюнахъ и эоловыхъ отложеніяхъ могутъ служить небольшія работы. O. Baschin. Dünenstudien. Z. d. Ges. f. Erdk. 1903, № 6, стр 422—430 и Udden. The mechanical composition of Wind Deposits (Augustana Libr. Publications), 1898; также въ Journ. of Geology, II, 1894, стр. 318—331.

Заслуживаютъ вниманія нѣкоторыя старыя работы; напримѣръ, о дюнахъ на морскихъ побережьяхъ—Anderssen. Klitformationen, Copenhagen, 1861.—О не-

скахъ внутри континентовъ: Desor. Le Sahara, ses différents types de déserts. Bul. S. Sc. Nat. Neufchâtel, 1864;—Russell, Subaërial deposits of the Arid Region of North America. Geol. Mag. 1889;—Blake, Union Pacific Railrood Report, vol. V.—A. Choisy, Documents relatifs à la mission dirigée au sud l'Algérie, Paris 1890. О лёссѣ см. работы: Армашевскій. О происхожденіи лёсса, Тр. Геол. Ком., XV, 1, 1903.—А. П. Павловъ. О туркестанскомъ и европейскомъ лёссѣ. Прот. Моск. Общ. Испыт. Природы, 1903, № 4—9.—Криштафовичъ. Гидро-геологич. описаніе терр. гор. Люблина. Зап. Ново-Александр. Инст. Сельск. хоз. и лѣсов., XV, 3, 1902, стр. 108—194 (обстоятельный обзоръ русской литературы).—П. А. Соколовъ. Къ исторіи причерноморскихъ степей съ конца третичнаго періода. Почвовѣдѣніе, 1904, 3, стр. 35.—Wright. Origin and distribution of the loess in northern China and centr. Asia. Bul. G. S. of America, 1902, XIII. — По вопросу древнемъ теченіи Аму-дарьи и различіи песковъ эоловыхъ и рѣчныхъ см. Walther, Das Oxusproblem in historischer u. geol. Beleuchtung. P. Mitt., 1898, стр. 204.

Глава III.

1) F. Zirkel. Lehrbuch der Petrographie, I.

2) A. v. Liebenberg. Untersuchungen über Bodenwärme, Halle 1875,

3) J. Walther. Das Gesetz der Wüstenbildung, 1900, стр. 21.—Fraas, Aus dem Orient.—Geuyr, Pet. Mitt., XXII.—Schirmer. La Sahara, 1893.—Peschuel-Loesche, Ausland 1884 и друг.

3a) Branner. Decomposition of Rocks in Brazil, Bull. Geol. Soc. of America, 1896.

4) Kerr. On the action of Frost in the arrangement of superf. earthy material. Amer. journ. 1881. стр. 345.—Drygalski, Verh. Ges. f. Erdk., 1891, стр. 457.—Thoulet, Sur un mode d'érosion des roches par l'action combinée de la mer et de la gelée. C. R. Ac. Sc., CIII, 1886, стр. 1194, гдѣ между прочимъ описывается оригинальное разрушеніе береговъ Маргарсписнъ-бай, въ которомъ существенное участіе принимаютъ приливы и отливы, смачивающіе породы два раза въ сутки. См. также Blümcke и Finsterwalder о разрушеніи ложа ледниковъ, Sitzungsber. Acad. d. Wiss. München, 1890, стр. 435.

5—6) Reimers. Ueber den Gehalt des Bodens an Bacterien. Jena, 1879. См. также Muntz. Sur la décomposition des roches et la formation de la terre arable. C. R. Ac. Sc. CX, 1890.—Н. И. Андрусовъ. Бактеріологія и геологія, ихъ взаимныя отношенія.—М. Егуновъ. Сѣробактеріи Одесскихъ лимановъ. Арх. біолог. наукъ. III, 4.— Его же. Результаты поѣздки по Черному морю и Крымскому полуо-ву. Ежегодн. Криштафовича, I, вып. 1, 1896.—Виноградскій. Круговоротъ азота въ въ природѣ. IX съѣздъ русск. ест. и врачей въ Москвѣ.—Его же, Recherches sur les organismes de la nitrification. Ann. de l'Inst. Pasteur. IV, V.—Д. Ивановскій. Изъ дѣятельности микроорганизмовъ въ почвѣ. Зап. Вольноэконом. Общ. 1891.—Также см. работы Warington, Engler, Брусиловскаго и друг.

7) Ч. Дарвинъ. Образованіе почвеннаго слоя дождевыми червями. Москва, 1882, стр. 105.

8) Thoulet. C. R. Ac. Sc., 1890.

9) J. Roth. Allg. u. ch. Geologie. I, стр. 47 и 159.- J. Lemberg. Zur Kenntniss der Bildung u. Umbildung von Silicaten, Z. d. d. geol. Ges.. XL, 1888, стр. 625.

10) Lasaulx. Chem. Prozesse in der Geologie. Handwörterbuch Kenngot, I, 1882, стр. 127—156.

11) Иностранцевъ. Геолог. очеркъ Повѣнецк. уѣзда Олонец. губ. Мат. для геол. Россіи, VII, стр. 536—539.—Van den Broeck, ib. стр. 75.

12) Senft. Lehrbuch der Gesteins u. Bodenkunde, 1877. стр. 140. Укажемъ еще интересныя статьи: Holland. The comparative Actions of subaërial and submarine in Rock Decomposition. Geol. Mag., Lond. 1899, стр. 30—31.—Его же. A contribution to the Discussion on Rock-Weathering and Serpentinisation. Geol. Mag. 1899, а также Merill. A Descussion on the Use of the Terms Rock—Weathering: Serpentinisation and Hydromethamorphism. Geol. Mag., 1899. Интересно, что образованіе змѣевика, измѣненіе нефелина и друг. процессы гидратизаціи происходили не на воздухѣ, а подъ водой, т. е. процессы подъ-океаническіе.

13) Senft, ib. стр. 180.

14) Вальтеръ. Самумъ, какъ геологич. сила. Землевѣдѣніе, III, 1899.

15) Иностранцевъ, № 11, стр. 547.

16) Senft. Fels u. Erdboden, 1876.

17) Guppy. Solomon Islands.—Murray. R. Inst. of Great Brit. 1888, March, 16

18) E. van den Broeck. Mém. sur les fénomènes des dépôts superficiels par l'infiltration des eaux météoriques, étudiés dans leurs rapports avec la géol. stratigrafique, Bruxelles, 1881, стр. 27—30.

19) R. Schütze. Ueber Verwitterungsvorgänge bei crystallinischen und Sedimentär-Gesteinen. Berlin, 1886.

20) K. Friedläг. Ueber Verwitterungsvorgänge etc., München, 1890, продолженіе работы Шютце.

21) С. Глинка. Каменные строительные матеріалы, Спб. 1891.—Н. Лахтинъ. О вывѣтриваніи каменныхъ строительныхъ матеріаловъ. Сборн. Ин. Инж. Путей Сообщ. 1890 г.

22) А. П. Павловъ. Геологическіе типы материковыхъ образованій ледниковой и послѣледниковой эпохи. Изв. Геол. Ком., 1888, VII, 7.—Его же. О рельефѣ равнинъ и его измѣненіяхъ подъ вліяніемъ работы подземныхъ и поверхностныхъ водъ. Землевѣдѣніе, III—IV, 1898.

23) Van den Broeck, № 18, стр. 65, 122 и друг.—Много интересныхъ свѣдѣній о вывѣтриваніи находится въ статьѣ Ramann, см. гл. II, № 32.

24) С. Н. Никитинъ. Мат. для геол. Россіи XI, 1883, стр. 215.

25) В. В. Докучаевъ. Отчетъ Нижегородск. Губ. Земства. Мат. къ оцѣнкѣ зем. Ниж. губ., I, 1886, стр. 220, 228.—Karpinsky. Bull. de l'Ac. des Sc., XII.

26) П. А. Земятченскій. Жел. руды центр. части Евр. Россіи. Спб. 1889.

27) Bischof. Lehrbuch der chem. u. phys. Geologie. 2-е изд., I, 1863.

28) J. Walther. Lithogenesis der Gegenwart, 1894, стр. 566, 999.

29) I. Russell. On the subaërial Deckay of Rocks and Origin of the red colour of certain Formations. Bull. U. St. Geol. Surv., № 52, 1889.—Hilgard. Report on the Relations of soil to climate. U. St. Depart. of Agriculture - Weather Bureau, Bull. № 3.

30) Richthofen, Führer etc.

31) A. Schenk. Z. d. d. geol. Ges., XLII, 1890, стр. 610.

32) Transact. of Edinb. Geol. Soc., II, стр. 1; 1872, стр. 113.

33) Peschoel-Loesche. Ausland, 1884, № 21—22; 1885, № 16.—Также Klement, Min. u. petr. Mitt., VIII. 1887.—Posewitz. Pet. Mitt.. XXXIII, 1887.

34) J. C. Branner. Decomposition of Rocks in Brazil. Bull. geol. Soc. of Amer., 7, 1896, стр. 255—314.

35) Докучаевъ. Сообщеніе въ Мин. Общ., 1899.

36) Max Bauer. Ueber Laterit, insbesonders den von den Seychellen. Sitzungsber. d Ges. zur Beförder d. ger. Naturw. zu Marburg, 1897, стр. 122, также Pet. Mitt., XII, 1888.

37) Земятченскій. Замѣтки о латеритѣ.—Lenz. Zur Lateritfrage. Verh. des VII-en Intern. Geographen Kongress, Berlin, 1899, II.

38) Измаильскій. Влажность почвы и грунтовыя воды. Полтава 1899.

39) Н. А. Богословскій. О нѣкоторыхъ явленіяхъ вывѣтриванія въ области русской равнины. Изв. Геол. Ком., XVIII, 5, 1899, тоже въ Зап. Мин. Общ., XXXVIII, 1900, на нѣмецк. языкѣ.

40) Богословскій, ib. стр. 251.—E. Ramann, ib. № 32, II гл.—Г. Н. Высоцкій такую совокупность втековъ или вмыванія по трещинамъ называетъ иллювіемъ, см. его статью—Степной Иллювій.

41) Hilgard, ib. № 29.

42) Wollny. Ueber den Einfluss der Klimat auf die Bildung und Zusammensetzung des Bodens. Forsch. auf. d. Gebiete d. Agriculturphysik, vol. XVI.

43) Н. М. Сибирцевъ. Объ основаніяхъ генетической классификаціи почвъ. Варш. 1895.—Его же. Краткій обзоръ главнѣйш. почвенныхъ типовъ въ Россіи. Варш. 1896; тоже на франц. языкѣ въ C. R. de la VII sess., Congr. geol. intérn.. St.-Pétersbourg, 1899, стр. 74—122. —См. также работы Докучаева, Мат. по оцѣнкѣ земель Нижегор. губ., I, 1886, гдѣ помѣщенъ разборъ главнѣйшихъ почвенныхъ классификацій и дана Естественная классификація русскихъ почвъ.—Его же, О зональности почвъ.

44) Сибирцевъ, ib. № 43. Карта взята изъ журн. Почвовѣдѣніе, 1899, № 1, стр. 3—6.—См. также Отоцкій. Главнѣйшія почвы Россіи, 1899 и Э. Раманнъ. Почвенно-климатическія зоны Европы, съ картами. Почвовѣдѣніе, 1901, № 1.

45) Сибирцевъ, ib. № 43, см. таблицу классификаціи почвъ въ примѣненіи къ Россіи.

46) Heim. Ueber die Verwitterung im Gebirge, Bazel, 1879, стр. 34.

47) Мушкетовъ. Туркестанъ.

48) Карпинскій и Чернышевъ. Тр. Геол. Ком., III, 2, стр. 38.

49) Clerc. La ville d'Ekathérinbourg etc. Guide des exc. du VII Congr. géol., St. Pétersbourg, 1897, VII.

50) Обручевъ. Альбомъ фотографій.

51) Изысканія Круго-Байкальской жел. дор., альбомъ.
52) Мушкетовъ. Ахалкалакское землетрясеніе (рукопись, напечат. въ Тр. Геол. Ком., нов. серія, вып. 1, 1903).
53) Geikie. Text-Bock of Geology. Lond. 1892, стр. 277.
55) Hayden. Report 1875, стр. 276.
55) Мушкетовъ. Геологич. очеркъ ледник. области Теберды и Чхалты, Тр. Геол. Ком., XIV, 4, 1896.
56) La Nature, 1885, октябрь, стр. 3, а также Мушкетовъ. Туркестанъ.
57) Heim, ib. № 46.—Ratzel. Über Karrenfelder im Jura. Leipzig 1893 (Denkschr. Univers.).
58) А. П. Павловъ: a) Геолог. типы, см. № 22; b) Изв. Геол. Ком., VII, 6, 1888; c) Дѣловій, какъ генетич. типъ послѣтретичныхъ отложеній. Вѣстн. Естествозн. 1890, № 8; d) Voyage géol. par le Volga. Guide des excur. VII Congr. géol., 1897; e) О рельефѣ равнинъ, см. № 22.
59) Canon Moseley a. Charles Davison. Note on the Movement of serea Material. Quart. Journ. Geol. Soc., XLIV, 1888.
60) J. Geikie. Prehistoric Europe. Lond. 1881, стр. 224.—Penck. Morphologie der Erdoberfläche, I, 1894, стр. 222.
61) Kerr. On the action of Frost in the arrangement of superficial earthy material. Amer. Journ., XXI, 1881.
62) C. Chelius. Die Bildung der Felsenmeere im Odenwald. Z. d. d. geol. Ges., XLVIII, 3, 1896.
62a) См. живописное описаніе Мамина-Сибиряка горы Иремель въ Землевѣдѣніи, I, 1894.
63) Hagen. Seitendruck der Erde. Math. Abh. d. k. Ak. d. Wiss., Berlin, 1871.
64) Thoulet. C. R. Ac. Sc., CIV, 1887.
65) Павловъ, ib. см. № 22, Землевѣдѣніе, III—IV, 1898, стр. 118—119.
Добавленіе.
Органическое вывѣтриваніе:
Haacke. Über die geologische Thätigkeit der Ameisen. Zoolog. Garten, Frankf. a. M. 1886.
O. Lenz. Die Bedeutung der Termiten für Erdbewegung. Mitt. d. Wiener Geogr. Ges., 1894.
J. C. Branner. Ants as Geological Agents in the Tropics. Journ. of Geol., 1900.
Химическое вывѣтриваніе по преимуществу:
George P. Merrill. Principles of Rock-Weathering. Journ. of Geol., IV, 1896, стр. 704—724, 850—870.—Его же. A Treatise on rocks, rock-weathering and soils. N.-York 1904 (втор. изд.).
Sterry Hunt. The decay of rocks in mineral physiology and physiography. Boston, 1886.
E. Weinschenk. Grundzüge der Gesteinskunde, I.—Allgemeine Gesteinskunde als Grundlage der Geologie, 1902, стр. 61—78.
N. S. Shaler. The origine and Nature of Soils. XII Ann. Rep. U. S. G. Surv., 1891, стр. 219—345 (трактатъ о всѣхъ видахъ вывѣтриванія).
Van Hise. A Treatise on Metamorphism. U. S. Geol. Surv., Mon. NXLVII, 1904. Часть этого капитальнаго сочиненія посвящена обзору химическихъ и минералогическихъ измѣненій минераловъ и горныхъ породъ.
W. Mackie. Seventy chemical analyses of rocks, with deductions. Transact. of the Edinb. Geol. Soc., 1901, стр. 33—60 (подробный рефератъ, N. Jahrb., 1905, I, 3, стр. 414—417). По состоянію въ которомъ находятся въ обломочныхъ породахъ зерна полевого шпата авторъ дѣлаетъ попытку возстановленія климатическихъ условій соотвѣтствующаго времени. Богатые щелочами, т. е. свѣжіе полевые шпаты, свидѣтельствуютъ, по мнѣнію автора, о сухомъ и холодномъ климатѣ времени отложенія осадочной породы, а сильно разложенные, т. е. бѣдные щелочами и богатые водою, полевые шпаты указываютъ на теплый и влажный климатъ. Наиболѣе древніе песчаники, археозойскіе, оказываются содержащими наиболѣе свѣжіе полевые шпаты, равнымъ образомъ какъ и песчаники ледниковой эпохи; наоборотъ тріаса и девона отличаются низкимъ содержаніемъ щелочей, какъ современные морскіе и дюнные пески. Болѣе интереснымъ выводомъ автора слѣдуетъ считать заключеніе, что части кристаллическихъ сланцевъ необходимо приписать осадочное происхожденіе.
Н. А. Богословскій. Къ сравнительной химической характеристикѣ коры вывѣтриванія центрально-русскихъ и нѣкоторыхъ западно-европейскихъ областей. Изв. Геол. Ком., т. 23, № 5—6, 1904.

Глава IV

1) Алтуховъ и Фейгинъ. Отчетъ объ изслѣдов. ключевой воды для водоснаж. С.-Петербурга, 1898. Поглощеніе опредѣляется въ 75%, но къ сожалѣнію эти единственныя въ своемъ родѣ данныя внушаютъ большое сомнѣніе, какъ показана критика этого отчетъ гг. Лутугина, Наливкина и Погребова, въ Изв. Геол. Ком., XVIII, 1, гдѣ даже небольшая поправка понижаетъ поглощеніе до 62%.

2) Stapff. Z. f. pr. Geologie, 1894.

2а) Головкинскій. Источники Бабугана и Чатырдыга. Изд. Земст. 1893.

3) Гейнцъ. Объ осадкахъ, количествѣ снѣга и объ испареніи на рѣчн. басс. Евр. Россіи. Спб. 1898.—Вильдъ. Осадки Евр. Россіи.—Дорандтъ. Мет. набл. въ Нухусѣ на Аму-дарьѣ, 1874.

4) С. Н. Никитинъ. Грунтовыя и артезіанскія воды на русской равнинѣ. Спб. 1900.

5) Люгеръ. Водоснабженіе городовъ, ч. I, въ перев. Боровича и Максименко, Спб. 1898, стр. 20.

6) Ѳ. Г. Зброжекъ. Стокъ атмосферныхъ осадковъ, Спб. 1901; содержитъ очень интересныя данныя.

6а) Никитинъ, ib. № 4, стр. 23.—См. также интересную работу Е. В. Оппокова. Сравнительная роль торфяныхъ и песчаныхъ почвъ въ водоносности. Почвовѣдѣніе, 4, 1901.

7) Люгеръ, ib. № 5, стр. 60.

8) Haas. Quellenkunde. Lehre von der Bildung und vom Vorkommen der Quellen und des Grundwassers. Leipz. 1895, стр. 169.

9) Шуховъ, Кнорре и Лембке. Проектъ Московскаго водоснабженія. Изд. Бари. Москва 1891.

10) Daubrée. Les eaux souterraines á l'époque actuelle, I, Paris 1887, стр. 53. См. Мет. Вѣстн., 1893, № 3—о колебаніяхъ почвенныхъ водъ по американскимъ даннымъ.—См. также Тилло. О колебаніяхъ уровня почвенныхъ водъ въ С.-Петербургѣ. Зап. Геогр. Общ., XXIX, 4, 1895.

11) Реклю. Земля etc., II, стр. 115.

12) Peschel u. Leipoldt. Physische Erdkunde, II, 1885, стр. 318—319.

13) Реклю, ib. II, стр. 116.

14) П. Отоцкій. Гидрологическая экскурсія въ 1895 г. въ степные лѣса. Тр. *Вольноэкон. общ.* 1895.—*Его же.* О *вліяніи лѣсовъ на грунтовыя воды.* Почвовѣдѣніе.—E. Ebermayer. Einfluss der Wälder auf die Bodenfeuchtigkeit, auf des Sickerwasser, auf das Grundwasser und auf Ergiebigkeit der Quellen. begründet durch exacte Untersuchungen. Stuttgart 1900.—Его же. Einfluss der Wälder u. der Bestanddichte auf die Bodenfeuchtigkeit, und die Sickerwassermenge, 1889.

15) С. Н. Никитинъ, ib. № 4, стр. 41. См. также Тр. опытн. лѣсничествъ Лѣсн. Департ. Спб. 1901, нѣсколько томовъ, въ которыхъ различные авторы: Высоцкій, Адамовъ, Морозовъ и друг. даютъ много интересныхъ наблюденій о вліяніи лѣса на грунтовыя воды.

16) Haas, ib, № 8, стр. 173.

16а) Daubrée, ib. № 10, стр. 87—92.

17) А. В. Конради. Рукописныя сообщенія и личныя разъясненія.

18) Daubrée, № 10, стр. 62.

19) Pettenkofer: 1) Hauptbericht über die Choleraepidemie des Jahres 1854 in München. Münch. 1854. 2) Uber die Schwankungen der Typhussterblichkeit in München von. 1856—57 въ Z. f. Biologie, IV. 3) Zum gegenwärtigen Stand der Cholerafrage, München 1873—1887 и мног. друг. статьи. По его настоянію въ Мюнхенѣ была устроена одна изъ первыхъ превосходная канализація. Ученики Петтенкофера продолжали разработку его идей, напр., Soyka: Zur Epidemiologie und Klimatologie von Frankfurt a. M., 1887; A. Penck: Der Boden in anthropogeographischer Hinsicht въ Beilage zur Münchener Allgemeine-Zeitung. 1887 и другіе.

20) Исторія этого вопроса и вся старая литература приведены у Günther. Handbuch der Geophysik, I—II, 1897. Также см. статью Тенчинскаго. О происхожденіи минеральныхъ источниковъ.

21) Ученый римлянинъ Маркусъ Палліо Витрувіусъ: De architectura Cibrix; см. Günther, ib., стр. 579 (перв. изданія).

22) Bernhard Palissy. Discours admirable de la nature des eaux et fontaines tant naturelles, qu'artificielles. Paris 1580.

23) J. Vossius. De Neli et aliorum flumirum aribine. Hagae comitum 1656.

24) Mariotte. Oeuvres de Mariotte, Leiden 1717, II; Traité du mouvement des eaux. 1700. Но распространеніе собственно обязано de la Métherie: Théorie de la terre. Paris. 1797, t. II.

25) G. Volger. Neue Theorie des Quellen- u. Bodenwassers.—Fr. König. Die Vertheilung des Wassers über, auf und in der Erde und die daraus sich ergebende Entstehung des Grundwassers u. seiner Quellen, mit einer Kritik der bisherigen Quellentheorien. Jena 1901.

26) Ernst Kohl. Ueber den Ursprung der Quellen. Leipzig 1884.—Nowak, Vom Ursprung der Quellen, 1879.

27) W. Wibel. Die Insel Kephalonia und die Meermühlen von Argostoli. Versuch einer Lösung dieses geophysikalischen Räthsels. Hamburg 1873.—Jos. Partsch. Kephalonia u. Ithaka, Eine geograph. Monogr. Pet. Mitt. Erg.—H. № 18.—Günther, Handbuch der Geophysik, II.

28) Lersch. Hydrophysik, 1865.—Einleitung in die Mineralquellenlehre, 1855.

29) Paramelle. L'art de decouvrir les sources.

30) Lubberger. Die Theorien der Quellenbildung. Journ. f. Gasbel. u. Wasserv., 27, 1883.

31) Leppla. Zeitschr. f. pr. Geologie, 1893, стр. 100.

32) M. Karrer. Geol. des Kais. Franz-Josefphs-Hochquellen Wasserleitung. Abh. d. k. k. geol. Reichsanst., IX, 1877.

33) Люгеръ, ib. стр. 67.

34) Martel et Goupillat. Sur la formation des sources dans l'intérieur des plateaux calcaires des Causses. C. R. Ac. Sc., CII., 1889.

35) Latham. Influence of barometric pressure on the discharge of Water from springs. Journ. gaslich., 1881; также — Einfluss des Atmosphärendruckes auf die Ergiebigkeit von Brunnen und Quellen. Centralblatt der Bauverwalt. 1882.

36) Haas. Quellenkunde, стр. 82.—Клоденъ. Физич. Географія, II, стр. 475.

37) Люгеръ, ib. стр. 125.

38) Hochstetter. Ueber einen neuen geol. Aufschluss etc. Denkschr. d. Ac. d. Wiss. 1879, t. 39; также въ Sitzungsber. Ak. d. Wiss., t. 20.—Laube. Geolog. Excurs. im Thermalgebiet des nördlich. Böhmens etc. Leipzig 1884.

39) Мушкетовъ. Геолог. замѣтки о Кавказскихъ минер. водахъ. Зап. Мин. Общ., XXII, 1885.

40) L. de Launay. Recherche, captage et aménagement des sources thermo-minérales. Origine des eaux thermo-minérales, géologie, propriétés physiques et chimiques. Paris 1899, стр. 51. Это одно изъ лучшихъ новѣйшихъ сочиненій о минеральныхъ источникахъ, ихъ свойствахъ, происхожденіи и географическомъ распредѣленіи, каптажѣ ихъ и тому под. Подробная библіографія.

41) De Longuemar. Arrondissement de Loudun, 1860.—См. также Daubrée. Ib., стр. 110.

42) De Launay. Также Daubrée. Ib. стр. 118.

43) De Launay. Ib. стр. 36, 260—265.

44) Lambron. Les Pyrénées et les eaux thermales de Bagnères de Luchon, 1862.—François. Mém sur. les trav. de recherche, d'aménagement des eaux thermales de Bagnères de Luchon exécutés de 1838 à 1841. Ann. des Mines, [4], I.

45) Rolland. Assoc. franç. pour l'avancement des sc., Reims, 1880, стр. 547.—Laurent. Bull. Soc. géol. de France, [2], XXII, 1856, стр. 113.

46) Dechen. Erläuterung zur geol. Karte der Rheinprovinz u. d. Prov. Westphalen, 1884, II, стр. 836.

47) Daubrée. Ib., I, стр. 368.

48) Hochstetter. Uns. Wissen von der Erde, II, стр. 355. Вообще объ источникахъ Нов. Зеландіи—De Launay. Richesses minérales de la Nauvelle—Zélande. Ann. des Mines, 1894 и De Launay. Recherche etc., стр. 394.

49) Otto Lang. Ueber die Bedingungen der Geysir. Nachr. v. d. kön. Ges. d. Wissensch. u. s. g. A. Univ. zu Göttingen. 1880, № 6. На русск. языкѣ въ перев. Лебедева, Горн. Ж., 1880, III.—Гипотеза Бунзена изложена въ Annalen d. Ch. u. Phar., 1847, LXII, стр. 24, также въ Poggendorf's Annalen, 1847, стр. 152.

50) Andreae. Ueber die künstl. Nachamung der Geysirphänomene etc., N. Jahrb. 1889, II. — J. Petersen. Darstellen der Geyserercheinungen. N. Jahrb. 1889, II, стр. 65.

51) Eit. Das Wasser im alten u. neuen Egypten. Nachr. aus d. Klub d. Landw. in Berlin, 1881.

52) Tecklenburg. Handbuch d. Tiefbohrkunde, 1886, также работы Войслава и друг.

53) Haton de la Goupillière. Cours d'exploitation des mines, I, стр, 145.—De Launay. Ib. стр. 18—34.

54) Richthofen. Führer etc., стр. 121—122.

55) A. E. Nordenskiöld. Om boreninger etc. Geol. Fören. Förhandl. 1896 и N. Jahrb., 1899, I, 2.

56) Люгеръ. Ib., стр. 296.

57) Belgrand. Les travaux souterrains de Paris, 1878—1882. Также см. Daubrée. Ib., стр. 207—212.

58) Люгеръ. Ib., стр. 364.

59) Головкинскій. Артез. колодцы въ Таврич. губ., Одесса 1890.

60) Dujardin. Mém. Soc. geol. de Fr., [1], II, 1837; также Daubrée. Ib. I, стр. 159—161.

61) Rolland. C. R. Ac. Sc., XCIII, 1881, стр. 1090.

62) Keilhack. Das Brunnenunglück in Schneidemühl. Prometeus, V, 1893, № 218.—Его же. Uber die Lage der Wasserscheide auf der Baltischen Seenplatte. Pet. Mitt., 1891, H. 3. См. также статьи Jentzsch и Stapff о катастрофѣ въ Шнейдемюллѣ въ Z. F. pr. Geol., 1893, стр. 347 и 381.

63) Проф. Г. Д. Романовскій. Словесное сообщеніе маститаго ученаго, производившаго буреніе въ Москвѣ.

64) См. въ Ann. Rep. of. U. S. G. Surv., 1889—90, Part II, Irrigation, стр. 267. Американская литература богата капитальными работами по вопросу о циркуляціи подземныхъ водъ: Chamberlin. Въ 5-th Ann. Rep. U. S. G. S., 1883—84, стр. 131.—Final Report on Artesian and Underflow Investigation. Ex. Doc. Senate U. S. 41, part II, 1892 и друг. работы.

65) Rolland. Rapp. de la Soc. agric. et industr. de Batna et du sud algerien 1889.—Его же. Mém. div. sur le régime des eaux artésiennes de l'oued Rhir et du bas Sahara en général. C. R. Ac. Sc., C., стр. 606; 24 janv. 1887, 27 févr. 1892, 21 mars 1892; Soc. Ing. civils, mais 1898 и друг.

66) А. П. Карпинскій. Zur Geol. des Gouvern. Pskow. Bull. Ac. des. Sc. de St. Pt., XII. Также см. Карпинскій. Въ Горн. Ж. 1876, I и Богдановичъ. Въ Горн. Ж., 1890, II.

67) Головкинскій. Ib.

68) Никитинъ. Ib., стр. 65.

69) Г. Д. Романовскій. Въ Горн. Ж. 1864, III, стр. 45.—Савченковъ. Зап. Мин Общ., XXII, 1885, стр. 133.—Анализъ воды изъ колодца экспедиціи впервые сдѣланъ Струве, см. Mém. de l'Ac. d. Sc. d. St. Pét., VIII, № 11; кромѣ того, замѣтки Иностранцева въ Тр. Спб. Общ. Ест., XVI, 2 и XVII, 1886.

70) Г. Д. Романовскій. О производствѣ работъ по буренію артезіанскаго колодца въ Крыму около дер. Айбаръ. Спб. 1871.

71) В. А. Бабинъ: a) О водоснабженіи Москвы и проектъ устройства въ ней артезіанскаго колодца. Горн. Ж., 1865, II, стр. 139—174. b) Артезіанская вода Московской буровой скважины 1882 г. c) Докладъ о Московск. артез. колоддѣ въ Московск. Отд. Русск. Техн. Общ. въ Журн. Техникъ. 1885 г. №№ 61, 72, 73, 90—92. См. также Т. Е. Щуровскій. Юбилейный сборникъ. Москва 1873. Его же. Исторія геологіи Моск. бассейна. Изв. Моск. Общ. Люб. Ест., т. I, вып. 1.

72) Г. Д. Романовскій. Геогност. изслѣдов. средне-россійск. каменноуг. бассейна. Памятн. книжка для русск. горн. людей на 1863 г. и статьи Щуровскаго. Артез. колодецъ въ Москвѣ въ Русск. Вѣстн. за 1869 г. и въ Изв. Моск. Общ. Ест., т. 33, 1873. См. также. А. Н. Петунниковъ. Почва и почвенныя воды въ Москвѣ. Изв. Моск. Город. Думы за 1882 г., вып. 8.

73) С. Н. Никитинъ. Каменноугольныя отложенія Подмосковн. края и артезіанскія воды подъ Москвою. Тр. Геол. Ком., V, 5, 1890. Подробныя библіографическія указанія.

74) С. Г. Войславъ. Тр. Бюро изслѣдованій почвы 1888—1896 г.г. Спб. 1896, стр. 31, 46.

75) П. А. Ососковъ. Геолог. условія орошенія, расположенныхъ у южнаго края Самарской луки, удѣльныхъ полей путемъ буренія артезіанскихъ источниковъ. Спб. 1893.

76) А. Штукенбергъ. Подземныя воды Казани. Тр. Общ. Ест. при Казани. Унив., 1872.

77) С. Н. Никитинъ. Кромѣ вышеуказанныхъ его сочиненій приведемъ еще: a) Гидрогеологическій очеркъ Кирсановскаго уѣзда. Изв. Геол. Ком., 1891, № 6. b) О геологическихъ условіяхъ орошенія полей Юго-вост. губ. Евр. Россіи. Изв. Геол. Ком., 1892 и друг.

78) Н. А. Соколовъ. Объ артез. колодцахъ южной Россіи. Изв. Геол. Ком., 1892 и Тр. Геол. Ком. IX, 1.—Его же. Гидрогеолог. изслѣд. Херсонской губ., Тр. Геол., Ком., XIV, 2. См. также. Леваковскій. Наружныя и подземныя воды Екатериносл. губ., Горн. Ж. 1883, III.—Пятницкій. Гидрогеологическое изсл. Верхне-Днѣпр. уѣзда Екатерин. губ. Харьковъ, 1895.

79) В. К. Агафоновъ. Буровыя скваж. Полтавской губ. Тр. Спб. Общ. Ест. 1891.

80) Пустовитовъ. Геолог. описаніе г. Харькова. Тр. Общ. Исп. прир. при Харьковск. Унив., XXVIII, 1895.
81) Гуровъ. Первое артез. буреніе на подмѣловыя воды въ Харьковѣ. 1887.
82) Н. Головкинскій. Артез. кол. Таврич. губ. Одесса, 1890. См. также Новоросс. календарь 1891.—Его же. Краткій Гидро-геол. очеркъ Днѣпровс. уѣзда. Симферополь 1892.—Н. И. Каракашъ. Условія залег. артез. водъ въ Ѳеодос. уѣздѣ Таврич. губ. Тр. Спб. Об. Ест. XXI, 1.
83) Головкинскій. О соврем. полож. артез. дѣла въ Таврич. губ. Земск. Собр. 1895—96 г.—Синцовъ. О буров. скважин. въ Одессѣ, 1893.—Его же. Гидрогеологическое описаніе Одесскаго Градоначальства. Одесса 1894.—А. В. Конради. Сельскохозяйствен. водоснабженіе горной части Крымскаго полуострова. Спб. 1894; статья содержитъ очень много интересныхъ данныхъ объ источникахъ Крыма и способахъ пользованія ими.
84) Lapparent. Tr. de géologie, [3], стр. 473.
85) Laube. Die Katastrophe von Dux und ihr Zusammenhang mit dem Ausbleiben der Stadtbadquelle in Teplitz Bohemia, 1879; также въ Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanst., 1888, стр. 474.—Hauer. Въ Verh. d. k. k. geol. Reichsanst., 1879, стр. 96.
86) Hörnes. Erdbebenkunde, 1893, стр. 125.
87) Lersch. Hydrophysik, стр. 44.
88) De Launay. Recherche, captage etc., стр. 168—169.
89) Scoutetten. De l'électricité considérée comme cause principale de l'action des eaux minerales. Metz, 1864. См. также. Durand-Fardel et Lebret. Dictionnaire des eaux minérales, 1860, I, 591.
90) A. Struve. Künstliche Mineralwasser. Leipzig 1825—26.—Alwin Goldberg. Die natürlichen u. künstlichen Mineralwasser. Weimar, 1892.—Conrad Clar. Въ Tscherm. Mineral.-petrogr. Mitt. 1883 и друг.
91) Lersch. Einleitung in die Mineralquellenlehre, I, стр. 70.
92) Bunsen. Ann. de chimie et de phys., [3], B. 38, 1865, стр. 264.
93) Л. В. Бертенсонъ. Лечебн. воды, грязи и морск. купанья въ Россіи и заграницей. Классификація, химическій составъ, дѣйствія и показанія къ употребленію. 4-ое изд. Спб. 1901. Капитальный трудъ, въ которомъ весьма тщательно собранъ богатый матеріалъ о лечебныхъ водахъ и ихъ дѣйствіи.—Эта книга должна быть настольной не только для врачей, но и для каждаго, занимающагося минеральными водами; особенно прекрасно подобраны анализы всѣхъ главныхъ источниковъ.
94) Бертенсонъ. Ib. стр. 177. См. также. Виноградскій. Ueber die Schwefelbacterien. Ann. du l'Inst. Pasteur, I, 1887; II, 1889.—Андрусовъ. Изв. Геогр. Общ., XXXVII, 1892.—Егуновъ. О сѣробактеріяхъ одесскихъ лимановъ. Спб. 1895 и друг.
95) Haas. Quellenkunde, 1898.
96) Daubrée. Les eaux souterraines, II, стр. 35.
97) Than. Die chemische Constitution der Mineralwässer u. die Vergleichung derselben. Tscherm. Miner.-petrogr. Mitt. XI, 1890.
98) Бертенсонъ. Ib. стр. 10.
99) Коншинъ. Описаніе горячихъ минеральн. источниковъ Восточн. Кавказа. Мат. для геол. Кавказа, [2], VI, 1892.
100) De Launay. Ib. стр. 100.
101) Иностранцевъ. Геологія, I, стр. 56.—Его же. Изученіе Друскеникскихъ минер. источниковъ. Спб. 1882.
102) Fresenius. Ueber die Schwankungen in Gehalte der Mineralwasser. Veröffentlichungen der Allg. Deutschen Bäder-Verbands. München 1894, стр. 110—117.
103) Ф. Мольденгауэръ. Наблюденіе надъ жизнью минеральныхъ источниковъ при помощи самопишущихъ приборовъ. Тифлисъ 1901 (брошюра).
104) Ляйэлль. Основн. начала геологіи, I, стр. 279.
105) P. de Tchihatchef. Espagne, Algérie et Tunisie. Lettres à Michel Chevalier. Paris 1880, стр. 384.
106) Реклю. La Terre, I, стр. 322.
107) Lacroix. C. R. Ac. Sc. 1898, CXXVI.
108) Groddeck. Die Lehre von der Lagerstätten der Erze, 1879, стр. 299.
109) Cotta. Die Lehre von den Erzlagerstätten, 1859.
110) Ф. Бутаковъ. О грунтѣ-изгарь. Морск. Сборн. 1898, № 4. См. также замѣтку Еремѣева. Объ изгарн. Изв. Имп. Ак. Наукъ, 1897, т. 7, сер. 5.
111) Daubrée. Etudes synthét. de géol. expérimentale, 1879. I, стр. 72.—Его же. Les eaux souterraines, II.
112) Sandberger. Untersuchungen über Erzgänge. Wissbaden, I—II, 1882—1885.
113) De Launay. Formation des gites métallifères, 1899.—Weed, The formation of Hot Springs Deposits. C. R. 5 Session of the Intern. Geol. Congr. и также 9 Ann. Rep. U. S. G. S., стр. 613—76.

114) De Launay. Recherche, captage etc.
115) Batten. Cause of the Heat of the Bath Waters.—De Launay. Ib. стр. 231.
116) De Rance. The water supply of England and Wales. London 1888.
117) С. В. Тилличеевъ. Путеводитель по Старорусскимъ минеральн. водамъ. Спб. 1890 и отчеты за разные годы.—Н. В. Соболевъ. Сравнит. химич. анализъ натуральной и газированной воды Старорусскаго Директорскаго источн., Спб. 1893 и друг.
118) Иностранцевъ. Изуч. Друск. мин. ист.—Ругевичъ. Опред. округовъ охраны Кеммернскихъ, Баладонскихъ, Цѣхоцинскихъ и Друскеникскихъ источн. мин. водъ. Горн. Ж., 1891, 4—6.
119) А. Г. Кулябко-Корецкій. Кеммернъ и его цѣлебныя силы. Рига 1895.—А. Сотинъ. Краткій очеркъ историческаго развитія Кеммернскихъ сѣрныхъ водъ и ихъ современное состояніе. Рига 1898.
120) Ругевичъ. Геолог. изслѣд. въ окрестн. Бускихъ минеральныхъ водъ. Горн. Ж., 1884, 9.—Михальскій. Гидротехнич. изслѣд. минер. ист. Бускаго курорта. Изв. Общ. горн. инж., 1894.—Жерве. Горн. Ж., 1897, 7 и друг.
121) Никитинъ. Геолог. условія Сергѣевскихъ сѣрныхъ водъ. Изв. Геол. Ком., 1889, VII, 7.
122) Мушкетовъ. Геолог. очеркъ Липецкаго уѣзда въ связи съ минеральн. источн. г. Липецка. Тр. Геол. Ком., I, 4, 1885.—Войславъ. Гидротехнич. изыск. на Липецк. мин. водахъ. Горн. Ж., 1887; 7—8.—Кислаковскій. Генезисъ Липецкихъ минеральныхъ источниковъ и способы ихъ минерализаціи. Москва 1889 и друг.
123) Beissel und Kribben. Aachen: seine geol. Verhältnisse und Thermalquellen, 1872.
123) De Launay. Ib. стр. 238, литература.
125) Barrois. Rech. sur les terrains anciens des Asturies et de la Galice. Mèm. Soc. geol. du Nord, 1882, II.
126) De Launay. Ib. стр. 251 и слѣд.
127) Литература см. De Launay. Стр. 305—306.
128) Margerie et Schrader. Aperçu de la structure géol. des Pyrénées. Ann. du Club alpin, 1892. Подробн. библіографія см. De Launay. Стр. 308 и друг., равно какъ и для Альпъ, Карпатъ, Апеннинъ и проч.
129) C. de Stefani. I soffioni boraciferi della Toscana. Mém. Soc. géogr. Ital. 1896. Библіографія см. de Launay. Стр. 350 и друг.
130) H. Abich. Beiträge zur geolog. Kenntnise der Thermalquellen in die Kaukasischen Ländern. Tiflis 1865, стр. 38 и слѣд.
131) Abich. Zur Geologie d. südöstlichen Kaukasus. Mél. phys. et chim. tirés du Bull. de l'Ac. d. sc. d. St.-Petersb., VI, стр. 667—670.
132) Мушкетовъ, см. № 39.
133) Коншинъ, см. № 99.
134) Богдановичъ. Два пересѣч. главн. Кавказ. хребта. Тр. Геол. Ком., XIX, 1, 1902, стр. 102 и друг.
135) Мушкетовъ, см. № 39.—Коншинъ. Описаніе минеральныхъ источниковъ сѣвернаго Кавказа. Мат. для геол. Кавказа [3], 2, 1891.—Его же. Опис. мин. источ. западнаго Кавказа. Мат. и т. д., [2], 8, 1894.—L. Dru. Rapport sur les eaux minerales du Caucase, 1882 и работы François, Незлобинскаго и друг.—Rougewitsch Les eaux minérales du Caucase. Guide des excurs. du VII Congr. géolog. Internat. St. Pétersbourg, 1897; списокъ главнѣйшей литературы.
136) Коншинъ. Отчетъ объ изслѣд. Боржомскихъ и Абасъ-Туманскихъ минер. водъ съ цѣлью опред. ихъ округовъ охраны. Мат. для геол. Кавк., [2], 7, 1893.
137) Сорокинъ и Симоновичъ. Къ геол. Тифл. губ. Краткій очеркъ геол. явленій въ ахалцихскомъ третичн. бассейнѣ. Мат. для геол. Кавк., [1], 4, 1886.
138) Abich. Vergleichende Grundzüge, 1858, стр. 141—144.—Его же. Geologie des Armenichen Hochlandes. II, Osthälfte. 1887.
139) E. Suess. Ueber heisse Quellen. Verh. d. Ges. d. Naturf· u. Aerzte. 1902, стр. 133—151; также въ Naturw. Rdsch., 1902, стр. 585—588, 597—600, 609—611.
140) Fr. Kraus. Höhlenkunde. Wege u. Zweek der Erforschung unterirdischer Räume. Mit. Berücksichtigung der geograph., geolog., physik., anthropol. u. technisch. Verhältnissc. Wien 1894.
141) J. Walther. Die Korallenriffe der Sinaihalbinsel. Geol. u biolog. Beobacht. Pet. Mitt. Ergänz.-heft № 102, 1892.
142) Em. Werth. Lebende u. jungfossile Korallenriffe in Ost-Africa, Z. d. Ges. f. Erdkunde, XXXVI, 3, 1901.
143) Penck. Morphol. der Erdoberfläche, 1894, II, стр. 447—459.
144) E. A. Martel. Les abîmes. Les eaux souterraines, les sources. La spéleologie etc. Paris 1894.
145) Hauer. Verhand d. k. k. geol. Reichs., 1885, № 2.

146) Е. С. Федоровъ. *Мат. для геол. Россіи*, XI, 1883, стр. 217.
147) Döll, въ Blätter fur Höhlenkunde, Wien, 1886, № 1.
148) Carl Vogt, Lehrbuch d. Geologie u. Petrefactenkunde, 1878, II, стр. 58.
149) И. Д. Черскій, въ Изв. Сиб. отд. Геогр. Общ., VI, № 5—6; VII, № 2—3 и Описаніе коллекціи послѣтретичныхъ млекопитающихъ животныхъ, собран. Ново-сибирск. экспедиц., прил. къ LXV т. Зап. Ак. Наукъ, 1891.
150) Martel, ib. № 144.
151) Kraus, ib. № 140.
152) Упомянутая выше и Les Cévennes, 1890. Въ работахъ Мартеля и Крауса указана главнѣйшая литература о пещерахъ. Существуютъ также и спеціальные органы, посвященные изслѣдованіямъ пещеръ, какъ Mitt. d. Sektion für Höllenkunde d. Oesterr. Touristen-klubs, Wien съ 1882 г., также Schrift. d. schwäb. Höhlenvereins, съ 1893 г. Можно ожидать, что со временемъ изслѣдованіе пещеръ трудами гротистовъ (grottistes) дастъ такіе же плодотворные результаты, какъ и труды альпинистовъ по изслѣдованію *снѣговыхъ областей высокихъ горъ*. Пещеры въ Россіи, не представляя такого разнообразія, какъ во Франціи, Австріи, Америкѣ, дали тѣмъ не менѣе матеріалъ для ряда научныхъ изслѣдованій Черскаго, Федорова, Листова, Каракаша.
153) Ю. Листовъ. Пещеры—ледники. Мат. для геол. Россіи, XII, 1885. Подробная старая литература.
154) Hans Lohmann. Das Höhleneis unter besonderer Berücksichtigung einiger Eishöhlen der Erzgebirger. Jena, 1895. Въ *Рудныхъ горахъ извѣстно нѣсколько* пещеръ ледниковъ; Барійская, Риттерова, Штольтнеръ, Бани, Старая Тіель. Всего извѣстно пещеръ-ледниковъ, по спискамъ Швальбе и Фуггера до 117. Въ Америкѣ (C. Fruwirth, Die Höhlen der Verein. Stat. von Nordamerika, Pet. Mitt., 1888, VII) и въ Германіи нѣкоторыми пещерами пользуются, какъ постояннымъ источникомъ льда. Лёманнъ особенно останавливается на строеніи пещернаго льда, который представляетъ, вслѣдствіе температурныхъ колебаній, первичное ячеистое строеніе, обусловливающее часто такъ называемое *сотовое* (Waben) *сложеніе*.
155) Günther. Handbuch d. Geophysik, II, стр. 754—758.
156) E. Terlanday. Meine Erfahrungen in der Eishohle von Sziliezie. Pet. Mitt., 1893, XII. Хотя онъ склоняется къ объясненію Швальбе, но его собственныя наблюденія подтверждаютъ болѣе общее объясненіе Листова.
157) Tietze. Zur Geologie der Karsterscheinungen. Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanst. 1880, стр. 724.
158) Mojsisovics. Zur Geol. der Karstersch., Z. d. d. u. oest. Alpenver., 11—13, стр. 111. — См. также о карстовыхъ явленіяхъ. Hörnes, Zur Erklär. d. Karstersch., Gaea, 16 Jahrg., стр. 699. — Reyer, Studien über Karstrelief, Wien, 1881. — Cvijic, Das Karstphänomen, Penck's Geogr. Abhandl., 1895.—Hassert, Beiträge znr physisch. Geographie von Montenegro, Pet. Mitt. Erg.—heft. № 115, 1896.
159) Guttenberg. Der Karst u. seine forstlich. Verhältn. Z. d. d. u. oest. Alpenver., стр. 28.—Günther, ib., II, стр. 634.
160) Günther, ib. II, стр. 930—931.
161) Martel. Les abîmes, стр. 514—521.—Penck, Morphologie, II, стр. 274—286.
162) А. Круберъ. О карстовыхъ явленіяхъ въ Россіи. Землевѣдѣніе, VII, 1900, кн. VI, стр. 6.
163) Неймайръ. Исторія земли, I, стр. 559—561.
164) Martel, ib.
165) Г. Д. Романовскій. О теоретич. и практич. выводахъ относит. обрушеній почвы надъ подземн. выраб. пластов. мѣсторожд. Горн. Ж., 1900, 1.
166) Н. Соболевъ, О карстовыхъ явленіяхъ Онежско-Двинскаго водораздѣла. Изв. Геогр. Общ., XXXV, 1899, 5, стр. 482—502.
167) Круберъ, см. № 162. Авторъ даетъ интересную сводку карстовыхъ явленій въ Россіи, подробнѣе останавливаясь на описаніи проваловъ и воронокъ Тульской губерніи.
168) Г. Куликовскій. Заростающія и періодически исчезающія озера Обонежскаго края. Землевѣдѣніе, I, 1894, стр. 17—46.
169) Ѳ. Н. Чернышевъ. Записка 29 окт. 1887 г. Изв. Общ. Горн. инж., 1897, № 1.—Д. Л. Ивановъ. Уфимскія воронки, Изд. Собр. Инж. Путей Сообщ., 1899.
170) Credner. Elemente d. Geologie, 6-е изд., стр. 231.
171) Heim. Ueber Bergsturze. Neujahrsblatt d. Natur. Ges. Zürich, 1882.—Его же, Der Bergsturz von Elm. Zür. 1881, также въ Nature, vol. XXIV, стр. 505 и другія статьи его и Hartung о старыхъ обвалахъ у Эльмы.
172) C. Wagner, Die Beziehungen der Geol. zu den Ingen.—Wissenschaften, 1884, на русскомъ языкѣ въ Сборн. Инст. Инж. Путей Сообщ., XI, 1887. Въ этомъ сочиненіи *приведено* много поучительныхъ примѣровъ объ оползняхъ при постройкахъ дорогъ въ горныхъ долинахъ.

173) А. Конради. Отчетъ объ изысканіяхъ въ іюлѣ 1890 г. для выбора источниковъ водоснабженія г. Баку.

174) А. П. Павловъ. Оползни Симбирскаго и Саратовскаго Поволжья. Москва 1903.

175) В. В. Докучаевъ. Отчетъ Нижегородск. земству, XIII, 1886, стр. 38.

176) К. М. Ѳеофилактовъ. Приднѣпровскіе оползни и обвалы въ г. Кіевѣ. Прот. шест. очер. собр. Кіевскаго Общ. Ест. 1881, 21 дек.

177) Зенкевичъ. Сборн. Инст. инж. пут. Сообщ., I, 1, стр. 17. — Отчетъ В. И. Меллера въ рукописи, хранящейся въ библ. Инст. Инж. пут. Сообщ. См. также Д. Л. Ивановъ, Уфимскія воронки. — Его же, Значеніе геологич. изслѣдов. для устойчивости полотна Уссурійской жел. дороги. Изв. Общ. горн. инж. 1894, 5—6.— Его же, Обвалы желѣзнодорожныхъ откосовъ. Пут. замѣтки съ Забайкальской жел. дор. Изв. Вост.—Спб. отд. Геогр. Общ. 1901 г.—Войславъ, Краткое описаніе изсл. причины пученія полотна Николаевской желѣзной дороги. Тр. бюро изсл. почвы. Спб., 1896.

178) Ляйэлль. Осн. нач. геол., стр. 373.

179) Синцовъ. Гидрогеол. описаніе Одесскаго градоначальства. Зап. Новор. Общ. Ест., 1894.—Д. Ф. Жарницевъ, Зап. Геогр. Общ., т. XV, № 5, 1886.—Неопубликованныя работы Мушкетова, Иностранцева и другихъ.

180) А. П. Карпинскій. Результатъ осмотра окрестностей Графскаго віадука, 1890. Зап. управл. Лозово-Севастоп. жел. дор. (Рукопись въ Библ. Геол. Ком.).

181) Neumayr. Erdgeschichte, I, стр. 420.

182) Penck. Morphologie, I, стр. 219—231.

183) Richthofen. Führer, стр. 125.

Добавленіе. Подробная литература за послѣдніе годы по гидрологіи вообще, дѣятельности подземныхъ водъ и минеральнымъ источникамъ хорошо сопоставлена въ Geologisches Centralblatt, Keilhack; для русской литературы также въ Геологической Библіотекѣ. Особенно полными работами по подземной циркуляціи воды являются: King. Principles and Conditions of the Movements of Ground-Water. 19 Ann. Rep. U. S. G. S., 1898, part II. — Slichter. Theoretical investigation of the motion of ground waters. 19 Ann. R. U. S. G. S., 1898. p. II и Water supply a. Irr., Paper № 67.—F. E. Suess. Studien über unterirdische Wasserbewegung. Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanst., 1898. — Въ Report'ахъ U. S. G. Surv., а въ настоящее время въ части изданій этого учрежденія, называемыхъ Water-supply and irrigation papers, напечатаны и продолжаютъ выходить очень цѣнныя изслѣдованія какъ геологическаго, такъ и чисто техническаго характера; послѣднее въ особенности по отношенію къ изслѣдованіямъ рѣкъ (XII и XIII Ann. Rep.). Интересующимся горячими минеральными источниками можно указать работы:

Rosival. Franzensbad, Marienbad, Karlsbad. Führer für die Excur. in Oesterreich. IX Geol. Kongr., 1903. Приведена новѣйшая литература.—Рядъ статей Delkeskamp въ Balneol. Zentralzeit. № 9—10, 1905, Deutsch. Medizinalztg. № 54—56, 1904, Intern. Mineralquellenztg № 91, 1904, № 100, 1904 и другія какъ общаго теоретическаго значенія, такъ и частнаго о Висбаденѣ, Крейцнахѣ, Эмсѣ. О карстовыхъ явленіяхъ важная работа—Grund. Die Karsthydrographie. Studien aus West-Bosnien. Penck's Geograph. Abhandb., VII, 3, 1903. — Diener. Libanon — Grundlinien der Physischen Geographie und Geologie von Mittel-Syrien. 1886, стр. 211—236.

О теоріи Фольгера см. интересную статью Соловьева. Новая теорія происхожденія грунтовыхъ и ключевыхъ водъ. Землевѣдѣніе 1905, кн. I—II.

О циркуляціи воды въ различныхъ горныхъ породахъ см.: Reade. Circulation of water in sandstone, 1880.

Van den Broeck, Le dossier hydrologique du régime aquifére en terrains calcaires. Bull. Soc. Belg. géol., pal., hydr., Avril, 1901.

Fournier, Etudes sur les projets d'alimentation, le captage, la recherche et la protection des eaux potables. Bull. des serv. de la carte géol. de la France, № 94, t. XIV, 1902—1903. Обширная библіографія по этимъ вопросамъ.—Его же. Étude sur les sources, les résurgences et les nappes aquifères du Jura Franc-Comptois. Bull. d. serv. de la car., № 89, 1902.—Martel, La spéleologie. 1900.—Много работъ по гидрологіи вообще печатается въ Bull. de la Soc. Belge de géol., de paléont. et d'hydrologie.

Съ пріемами гидрогеологическихъ изслѣдованій можно познакомиться по сдѣдующимъ, кромѣ упомянутыхъ выше американскихъ, сочиненіямъ:

Duclaux. Travaux des années 1899—1900 sur les eaux de l'Avre et de la Vanne. Comm. sc. de perfectionnement de l'observat. municipal de Montsouris. Dir. des affaires municipales. Paris, 1901.—Linstow. Die Grundwasserverhältnisse zwischen Mulde u. Elbe südl. Dessau u. d. prakt. Bedeutung derartig. Untersuch. Z. f. pr. Geol., 1905, 4. — Pochet. Études sur les sources. Hydraulique des nappes et des sources, et applications pratiques. Paris, 1905.

Глава V.

1) Воейковъ. Климаты земнаго шара etc. стр. 102—108.
2) О. Пешель. Новыя Задачи Сравнительнаго Землевѣдѣнія, какъ попытка морфологіи земной поверхности.—Переводъ со 2-го нѣм. изд. К. И. Турчаковскаго.—Одесса. 1879 г., стр. 193.
3) Реклю, Ib. T. I.
4) Воейковъ, Ib. стр. 109.
5) Dr. Gustav Fritsch. Südafrika bis zum Zambezi. — Ad. 1. въ Das Wissen der Gegenwart, XXXIV Band. Leipzig—Prag 1885. стр. 17.
6) Richthofen. Führer etc. стр. 140.
7) Surell et Cezanne. Etudes sur torrents des hautes Alpes. 1870—1872.
8) O. Peschel u. G. Leipold. Physische Erdkunde etc. B. II. стр. 430.
9) Н. А. Богуславскій. Волга, какъ путь сообщенія. Сборникъ Инст. Инж. П. С. Имп. Александра I. Вып. IX. 1887.
10) Богуславскій, Ib.
11) Докучаевъ, Ib. Вып. XIII. 1886 г. стр. 28.
12) Richthofen. Führer etc. стр. 147.
13) K. v. Baer. Ueber ein allgemeines Gesetz in der Gestaltung der Flussbette въ сборникѣ Kaspische Studien, VIII. Bull. d. l'Acad. Imp. d. s. d. S.-P. 1860.
14) Steffanovic, Mitt. d. k. k. geographische Gesellschaft zu Wien. 1881.
15) Klokmann, Jahrbuch d. Königl. Preuss. Geolog. Landesanst. 1882 г.
16) Gilbert, Bull. Philos. Soc. of Washington.—VII. 1884 г., стр. 21.
17) Baines, Amer. Journ. of. Sc. XXVIII. 1884 г., стр. 434.
18) Fontès, Comptes Rendus.—Vol. 101. 1885 г., стр. 1141.
19) Baltzer, Mitt. der Nat. Gesell. in Bern. 1884 г. H. 3, стр. 40.
20) F. Löwl. Ueber Thalbildung. Prag 1884 г.
21) Докучаевъ. Способы образов. рѣчн. дол. Европ. Россіи. Труд. Спб. Общ. Ест. T. IX. 1878 г.
22) Dr. K. Jung. Der Welttheil Australien. Abh. III. 1883 г.
23) Charles Lyell. Travels in North America with geological observations on the United States, Canada and Nova Scotia (два тома). Vol. 1, London, 1845.
24) E. Wesson, Nature XXXII, 1885, стр. 229.
25) F. Posepny. Die Wasserfälle des Niagara. Wien. 1879 г.
26) Венюковъ. Очеркъ водопадовъ Сѣверной Эстляндіи, въ Трудахъ Спб. Общ. Ест. T. XIII—B. 2—1883 г., также Г. Гельмерсена. Die geologische Beschaffenheit des untern Narovathales und die Versandung der Narovamündung. въ Bull. de l'Acad. d. sc. d. S. P.—T. III—1861.
27) G. Fritsch—Südafrika etc. Abth. I—1885 г. l. c. 35.
28) F. Löwl. Ueber Thalbildung. стр. 72.
29) F. V. Hayden, Annual Report—Washington. 1874 г. стр. 345.
30) Richthofen. Führer, стр. 164.
31) Richthofen, Ib. стр. 166.
32) Richthofen, Ib. 167, а также M. Neumayr, Erdgeschichte. B. 1, стр. 440.
33) Powel. Exploration of the Colorado River. Washington. 1875 г.
34) E. Tietze. Bemerkungen über die Bildung von Querthälern. Jahrbuch d. k. k. Geol. Reichsanstalt. 1878;—тоже, дополненіе въ 1882 г.
35) Blanford and Medlicott. Manual of the Geology of India. 1879. Calcutta.
36) F. Löwl. Ueber Thalbildung, 1884 г.
37) Richthofen. Führer стр. 192.
38) Tietze, Jahrb. d. k. k. G. R. 1882.
39) Rütimeyer. Ueber Thal und Seebildung. Bazel, 1874.
40) A. Penck. Ueber Periodicität der Thalbildung въ Verhand. d. Gesell. für Erdkunde zu Berlin—B. XI, № 1, 1884 г. Въ этомъ отношеніи также весьма интересна статья H. Hergesell. Ueber den Einfluss, welchen eine Geoidänderung auf die Höhenverhältnisse eines Plateaus und auf die Gefällswerthe eines Flusslaufes haben kann въ Beiträge zur Geophysik—Prof. Dr. G. Gerland—B. I. Stuttgart—1887 г., въ которой авторъ доказывалъ, что хотя съ измѣненіемъ поверхности геоида происходитъ измѣненіе абсолютной высоты и уклона рѣкъ, но не въ такой сильной степени, какъ это допускалъ Пенкъ, и не слѣдуетъ его закону, т.-е. уменьшается съ квадратомъ разстоянія. Хергезелль на примѣрахъ выводилъ, что уменьшеніе уклона рѣкъ происходитъ не болѣе 1 сант. на 1 килом. при той же величинѣ измѣненія геоида, какое допускалъ Пенкъ, а потому Хергезелль сомнѣвался, чтобы сѣв.-германскія рѣки послѣ ледниковаго періода получили противоположное теченіе.
41) Докучаевъ. Отчетъ Нижегородскому etc. Вып. XIII, стр. 24.—25.

42) F. Hochstetter, Unser Wissen etc. Ч. II, стр. 428.
43) С. Н. Никитинъ, Ib. 45.
46) Heim, Jahrbuch des Schweiz. Alpenclub.—1879.
47) Bodmer. Terrassen und Thalstufen der Schweiz, ein Betrag zur Erklärung der Thalbildung. Zürich 1880.
48) Докучаевъ, Ib. Вып. XIII. стр. 19.
49) Richthofen. Führer etc. стр. 204—206.
50) A. de Lapparent. Traité de Géologie, 2-е изданіе, 1886 г. стр. 194.
51) Brewer, Mem. Nat. Acad. of sc. Vol. 11. Washington. 1884 г.
52) Дорандтъ и Шмидтъ. Труды Аму-дарьинской экспедиціи. Вып. 4-й. Гидрографическія изслѣдованія на Аму-дарьѣ. Изд. Имп. Русск. Г. Общ. Спб. 1878 г., стр. 29.
53) М. Н. Герсевановъ. Очеркъ Гидрографіи Кавказскаго Края. Спб. 1886 г. Работа М. Н. Герсеванова представляла собою починъ въ изданіи цѣнныхъ матеріаловъ по нашимъ рѣкамъ, собираемыхъ Министерствомъ Путей Сообщенія и обыкновенно хранившихся въ архивахъ, а потому почти недоступныхъ. Къ счастію, это время миновало, и съ легкой руки М. Н. Герсеванова появились въ печати очень хорошія работы о нашихъ рѣкахъ: Богуславскаго о Волгѣ (см. № 9, гл. VI) и о Невѣ—„Объ опредѣленіи расхода воды въ Невѣ и въ Морскомъ каналѣ".—Сборникъ Инст. Инж. П. С. Вып. VIII.; В. М. Лохтина. Рѣка Днѣстръ, ея судоходство, свойства и улучшеніе. Одесса, 1886 г.; Моссаковскаго, Рѣка Днѣпръ и ея пороги. Спб. 1886 г. Прекрасные и подробные атласы съемокъ многихъ рѣкъ: Волги, Камы, Оки, Днѣпра и пр.—очень цѣнное изданіе Минист. Пут. Сообщ.
54) Клоденъ. Физическая Географія. Вып. II. Спб. 1875 г., стр. 551.
55) Georg R. Credner. Die Deltas. Ergänzungsheft Pet. Mitt. B. XII—1878.
56–57) G. Credner, Ib. стр. 25.
58) Герсевановъ, Ib.
59) Credner, Ib. стр. 36.
60) A. Supan, Grundzüge etc. стр. 285.

Добавленіе.

A. Philippson. Studien über Wasserscheiden. Mitt. d. Vereins für Erdkunde zu Leipzig, 1875.

K. Futterer. Durchbruchsthäler in den Süd-Alpen. Zeitschr. d. Ges. für Erdkunde zu Berlin. XXX, 1895, 1.

I. C. Russell. River Development as illustrated by the Rivers of North America, London, 1898.

Penck. Untersuchungen über Abfluss und Verdunstung von grösseren Landflächen. Penck's Geogr. Abhandlungen, V, 1896.

Maillet. Essais d'hydraulique souterraine et fluviatule, Paris, 1905.

Fugger und Kastner. Die Geschiebe des Salzach. Mitt. d. Geogr. Gesellsch. in Wien, 1895.

Neumann. Studien über den Bau der Strombetten und das Baersche Gesetz. Königsberg, 1893.

J. Brunhes, Le travail des eaux courantes, la tactique des tourbillons. Mém. de la Soc. fribourg. des sc. nat., géol. et géogr., II, 1903.

B. et J. Brunhes. Les analogies des tourbillons atmosphériques et des tourbillons des cours d'eau et la question de la déviation des riviéres vers la droite. Ann. de Géogr., 1904, № 67.

Carl. de Mello. Les lois de la geographie. Berlin, 1902, стр. 71—95. Очень интересные топографическіе законы въ распредѣленіи рѣкъ.

Lapparent. La question des Pénéplaines. Verh. d. VII intern. Geogr. Kongr., II, 1901.

Davis. The Geographical Cycle. Verh. d. VII intern. Geogr. Kongr., II, 1901.

Jsaiah Bowman. A typical case of stream capture in Michigan. J. of Geol., vol. 12, 1904.

J. Iddings. A fracture valley system. Am. Journ. of Geology, Bd. XII, 1904, стр. 94—105. О связи рѣчной системы съ тектоникой.

Friederichsen. Peneplaenbildungen im zentralen Tiënschan? Pet. Mitt. 1904, XI. Его же, Forschungsreise in den centralen Tiën—schan und Dsungarischen Alatau, Hamburg, 1904.

R. Pumpelly, см. въ добавленіи указателя къ гл. II.

Много полезныхъ свѣдѣній о дѣятельности проточныхъ водъ можно найти въ Zeitschr. f. Gewässerkunde. Dresden, издающемся съ 1899 г.

Глава VI.

1) Supan, Grundzüge etc. стр. 371.

2) F. Richthofen сначала кратко изложилъ свою классификацію въ Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen, G. Neumayer, Berlin. 1875 г., стр. 291; но затѣмъ болѣе подробно въ Führer etc. стр. 261—289.

3) О. Пешель. Новыя задачи etc. 1880 г.; нѣмецкое изданіе вышло въ 1876 г.

4) Sonklar. Allgemeine Orographie. Wien 1873 г.

5) A. Boué. Ueber die unterirdischen Wasserläufe und Behälter und die Reinheit, sowie Durchsichtigkeit gewisser Seen, dann über die wahrscheinliche Bildung von Seen überhaupt. Wien. 1878.

6) R. Credner. Die geographische Vertheilung der Alpenseen въ Verhandl. d. II Geographentages, Berlin 1882 г. стр. 84.

7) Davis. On the classification of the bassins въ Proceeding of the Boston society of natural history. Vol. XXI. стр. 315.

8) Dr. Fr. E. Geinitz. Die Seen, Moore und Flussläufe Mecklenburgs. Ein Versuch zur Erklärung der Entstehung der Seen und Wasserläufe der norddeutschen Diluviallandschaft, sowie der Küstenbildung, Mit 1 Karte und 2 Tafeln. Güstrow. 1886 г.

9) Supan, Ib. 371.

10) Rütimeyer. Ueber Thal und Seebildung. Bazel. 1879 г.

11) Penck—Ib. (см. № 40, гл. VI).

12) Peschel u. Leipold, Ib. (см. № 12, гл. IV).

13) Richthofen. Führer etc. стр. 276 и слѣдующія.

14) А. А. Тилло. Изв. И. Р. Г. Общ. Т. XXI. № 6. 1885 г., стр. 537. См. его же Матеріалы по Гипсометріи Европ. Россіи.—Абсолютная высота оз. Ладожскаго (5,01), Онежскаго (34,97 м.) и Ильменя (17,97) etc. Изд. Инст. Шут. Сооб. Спб. 1886 г.

15) И. Д. Черскій. Зап. Вост. Сибир. Отд. Имп. Русск. Г. Общ. 1886 г

16) В. Д. Аленицынъ. Очерки Троицко-Челябинскихъ оз. (Оренбургской губ.) и ихъ ихтіологическая фауна. Спб. 1873 г. стр. 73, также стр. 352—58, гдѣ онъ раздѣляетъ озера эти на три типа. Интересно, что въ оз. Усково въ числѣ 7,743 гр. солей находится 4,1069 Na_2CO_3 по анализу г. Дрездова—Горн. Ж. 1873 г. Ч. III, стр. 259. Объ озерахъ Урала въ предѣлахъ 139 лист. Общ. Геол. Карты Евр. Рос. см. также Карпинскаго и Чернышева. Труды Геолог. Комитета. Т. III. № 2. 1886 г.

17) Аленицынъ. Устное сообщеніе.

18) Мушкетовъ. Туркестанъ. Т. I. Спб. 1886 г. Много интересныхъ фактовъ объ усыханіи не только озеръ Ср. Азіи, но и Америки и пр. собрано въ книгѣ: J. D. Whitney. The climatic changes of later geological times: a discussion based on observations made in the Cordilleras of North America. Cambridge. 1882 г.

19) Н. М. Ядринцевъ. Изв. И. Р. Г. Общ. № 1. 1886 г. стр. 53.

20) M. Venukoff. Du dessèchement des lacs dans l'Asie centrale въ Revue de Géographie. 1886 г. стр. 84.

21) А. М. Никольскій. Зап. Западн. Спб. Отд. И. Р. Г. Общ. Кн. VII. 1885 г. стр. 41—42.

22) Мушкетовъ. Ib. стр. 144, 268, 699 и др.

23) Мушкетовъ. Ib. 269.

24) Воейковъ. Климаты, стр. 521.—Герсевановъ, Н., стр. 117.

26) Archibald Geikie. Text-book of Geology.—2 изд.—London. 1885, стр. 381.

27) K. Baer. Ib. (см. № 13. Гл. V).

28) Richthofen Führer etc. стр. 283.

29) F. A. Forel. Instructions pour l'étude des lacs, изд. И. Р. Г. Общ. 1887; тоже по-русски въ Изв. Р. Г. О. за 1887 г.

30) Воейковъ. Климаты etc. стр. 159 и въ Archive des sciences physique et naturelles. T. XV, 1886. Etudes sur la temp. des eaux et sur les variations d. la temp. du globe.

31) J. Roth. All. u. chem. Geol. l. c. 454—490.

32) Г. П Федченко. О самосадочной соли и соляныхъ озерахъ Каспійскаго и Азовскаго бассейновъ. Изв. Имп. Общ. Люб. Ест., Антр. и Этн. Т. V. Вып. I. Москва. 1870. Сочиненіе это составлено на основаніи изслѣдованій автора въ 1863 г., но, къ сожалѣнію, оно не окончено, хотя уже то, что вышло послѣ смерти автора, представляетъ весьма цѣнный вкладъ въ литературу о нашихъ соляныхъ озерахъ.

33) В. М. Гаркема. Горный Журн. 1884 г. Ч. II, стр. 368.

34) Федченко. Ib. стр. 56.

35) K. Baer. Ib. (См. № 13. Гл. V).

36) Н. П. Барботъ-де-Марни. Геологическо-орографическій очеркъ Калмыцкой степи. Зап. Имп. Русск. Геогр. Общ. 1862 г. Кн. III, стр. 83.
37) Федченко. Ib. стр. 56.
38) Bergsträsser. Die Salzseen des Gouvernements Astrachan und der Wolga-Mündungen въ Petermann's Geogr. Mitt. 1858. H. 3, стр. 112.
39) Глушковъ. Горн. Журн. 1884 г. № 6, стр. 170.
40) Федченко. Ib. стр. 60.
41) Марковниковъ. Горн. Журн. 1885 г. № 5, стр. 201.
42) П. Штейнъ. О естественной глауберовой соли въ Тифл. уѣздѣ въ имѣніи Уджарма. 1881 г.
Добавленіе.
Gilbert. Topographic Features of Lake Shores. 5-th Ann. Report U. S. G. Surv., 1883—1884. Подробное разсмотрѣніе механической работы волнъ озера, типовъ береговъ и проч.
R. Bell. The geological History of Lake Superior, 1899.
Объ озерахъ Балхашѣ, Аральскомъ см. статьи Л. С. Берга въ Изв. Геогр. Общ. за 1904 г.
Wilh. Halbfass. Beiträge zur Kenntnis der Pommerschen Seen. Pet. Mitt. Erg.-heft, № 136, 1901. Обстоятельная монографія цѣлой озерной области; можетъ служить образцомъ лимнологическихъ наслѣдованій.
Wilh. Halbfass. Die Morphometrie der Europäischen Seen. Z. d. Ges. f. Erkunde zu Berlin, 1903, № 8, 9, 10 и 1904, № 3. Таблицы морфометрическихъ данныхъ для огромнаго числа озеръ Европы.
Otto Aufsess. Die physikalischen Eigenschaften der Seen, 1905. Подробный списокъ литературы.

Глава VII.

1) Воейковъ. Климаты etc. стр. 185.
2) Prof. dr. G. v. Boguslawski. Handbuch der Ozeanographie. Stuttgart. 1884 г. I. с. 243. Это прекрасное и въ своемъ родѣ единственное сочиненіе входитъ такъ же, какъ и Ганна, въ серію руководствъ, изд. подъ редакціею Ратцеля; Богуславскій успѣлъ издать только первый томъ, а второй уже послѣ его смерти изданъ О. Крюммелемъ.
3) Воейковъ. Ib. стр. 190.
4) Wyv. Thomson. Voyage of the Challenger.—The Atlantic. II, стр. 327.
5) Supan. Ib. стр. 179.
6) Воейковъ. Ib. стр. 193.
7) Лучшимъ пособіемъ для знакомства съ распредѣленіемъ температуры въ моряхъ можетъ служить, кромѣ различныхъ спеціальныхъ монографій, выше-цитированное соч. проф. Богуславскаго, и друг. указ. въ текстѣ.
8) J. Roth. All. u. chem. Geol., I, 490—492.
9) Форгаммеръ публиковалъ свои анализы въ разныхъ изданіяхъ, начиная съ 1845 г., и затѣмъ собралъ въ статьѣ: On the composition of sea-water in the differents parts of the Ocean въ Philos. Transaction. 1865 г.
10, 11, 12) Boguslawsky. Стр. 130—134—145.
13) Theodor Fuchs. Welche Ablagerung haben wir als Tiefseebildung zu betrachten? Въ Beilage-Band. II. — 1883 г. № 7, N. J. für Min. etc. Кромѣ того, еще раньше нѣсколько статей его о томъ же предметѣ было помѣщено въ Verh. d. k. k. geol. Reichsanstalt. 1892 г.
14) Günther. Handb. d. Geoph. стр. 318. Fol et Sarrasin. — Comptes rendus. I. Paris. 1884. T. 100. 1885.
15) Neumayer. Nature.—1885, стр. 603, также въ Proceedings Roy.—1884, стр. 248.
16) С. О. Макаровъ. Объ обмѣнѣ водъ Чернаго и Средиземнаго морей. Приложеніе къ Т. LI. Зап. Имп. Акад. Наукъ. Спб. 1886—въ извлеченіи напечатанъ въ Изв. Имп. Р. Г. Общ. за 1886 г., Т. XXII, подъ заглавіемъ: „О двойственныхъ теченіяхъ въ проливахъ".
17) Zöppritz. Hydrodynamische Probleme in Beziehung zur Theorie der Meeresströmungen въ Ann. d. Phys. u. Chemie. B. 3, стр. 582.
19, 20, 21) Ляйэлль. Ib. T. I. стр. 350—354—361.
22) Conrad Cold. Küsten-Veränderungen im Archipel. München. 1886.
23) Реклю. Ib. стр. 124—также Geographische Charakter-Bilder. Holzel's. Lief. 5. 1883 г. Text, стр. 19.

24) Реклю. Ib. стр. 113.
25) Hagen. Handbuch der Wasserbaukunst. 3 Theil: Das Meer. B. I. Abth. 1.—Erscheinungen im Meer.
26) Соколовъ. Дюны etc. стр. 26.
27) Мушкетовъ. Зап. Имп. Спб. Мин. Общ.Т. XII. 1876 г. стр. 88.
28) Леваковскій. № 37, дальше.
29) Lapparent. Traité de Géologie, стр. 167.
30) Реклю. Ib. стр. 128.
31) Соколовъ. Ib. стр. 33.
32) Г. Ф. Герцбергъ. Исторія Греціи. Переводъ Прахова. Спб. 1881 г., стр. 61. Подробнѣе см. у Neumann und Partsch. Physikalische Geographie von Griechenland. Breslau. 1885 г., стр. 191—322—349, также у Leake и др.—Сводку этихъ изслѣдованій объ измѣненіи береговъ Гр. Архипелага сдѣлалъ Конрадъ Кольдъ въ чрезвычайно интересной, выше-цитированной работѣ: см. № 22.—Гл. VI.
32a) Cold. Ib. стр. 31 и Spratt. Travels in Licia, II. 1885 г.
33) C. Cold. Ib. стр. 60.
34) Th. Fischer. Zur Entwickelungsgeschichte der Küsten въ Petermanns Geogr. Mitt. B. XXXI, № XI, въ переводѣ на русскій языкъ въ Горн. Журн. 1886 г. № 2, стр. 258.
35) Richthofen. Führer etc. стр. 349.
36) Fischer. Ib. стр. 258.
37) И. Ф. Леваковскій. Изслѣдованіе надъ образованіемъ Таврическихъ горъ. Харьковъ. 1881 г. стр. 39.
39) Чернявскій. Изв. И. Р. Общ. Т. XIII.
40) Леваковскій. Ib. стр. 41.
41) Prof. Ramsay. On the denudation of South Wales and the adjacent Counties of England въ Memoirs of the geological survey of Great Britain. Vol. 1 стр. 297.—Также у Green'a—Physical Geology, стр. 574—575.
42) Richthofen. China, B. II. 1882.
43) Green. Ib. стр. 575.
44) Richthofen. Führer, стр. 357.
45) W. H. Brewer. Въ American Journal of Science. Vol. 129. New Haven. 1885 г. стр. 1, а раньше въ Memoirs of the National Academy of Science. Vol. 11—1883. Washington. 1884, стр. 165—175. Подобныя же изслѣдованія еще раньше были произведены Th. Scherer въ Pogg. Ann. B. 82. 1851, стр. 419, Tr. Schulze B. 126—1866, стр. 368 и др.
46) L. F. v. Pourtalès. Der Boden des Golfstromes und der atlantischen Küste N.-Americas въ Petermann's Geogr. Mitt. 1870 г. стр. 393.
47) Gümbel. Ib. l. c. 333.
48) Murray и Renard. Les caractères microscopiques des cendres volcaniques et des poussières cosmiques et leur rôle dans les sédiments de la mer profonde въ Bull. de Mus. Roy. d'histoire naturelle de Belgique. T. III. 1885.
49) Gümbel. Ib. стр. 335.
50) Richthofen. Führer стр. 416.
51) M. Delesse. Lithologie du fond des mers. — Lithologie des mers de France et des mers principales du globe. Paris—1866 г.
52) Гуровъ. Ib. l. c. 15; см. также M. Neymayr — Ueber den alterthümlichen Character der Tiefseefauna въ N. Jahr. für Min. etc. 1882 г. H. 2, стр. 123—въ переводѣ въ Горн. Журн. 1882 г. Ч. III, стр. 109.
53) Бобятинскій. Горн. Ж., 1884, I, стр. 358.
54) Мушкетовъ. Туркестанъ, I, 1886, также Зап. Мин. Общ. 1876, XII.

Добавленіе. Кромѣ работъ, указанныхъ въ текстѣ и указателѣ, можно привести еще слѣдующія сочиненія:

По морфологіи моря:

Krümmel. Die Ozeane, 2-oe изд. 1902.

Thomson a. J. Murray. Report on the Scientific Results of the Voyage of H. M. S. Challenger, 1882—95: Deep-Sea Deposits, 1891 (трактатъ объ отложеніяхъ въ океанахъ).

Supan. Die Bodenformen des Weltmeeres. Pet. Mitt. 1899.

Nansen. Norwegian North Polar Expedition 1893—1896. Vol. III, 1902—The Oceanography of the North Polar Basin. Vol. IV, 1904—The Bathymetrical Features of the North Polar Seas, with a Discussion of the Continental Shelves and Previous Oscillations of the Shor-Line.

Физическія и химическія свойства морской воды:

Challenger Report. Physics and Chemistry, v. I—II, 1889.

Buchan. Report on the Oceanic Circulation. Challenger Report, 1895.

Schott. Die Vertheilung des Salzgehalts im Oberflächenwasser der Oceane. Pet. Mitt. 1902.

Hasenkamp. Die Farbe natürlichen Gewässer. Ann. d. Hydrographie u. marit. Meteorologie, 1897.

Abbeg. Ueber die Farbe der Meere u. Seen. Naturw. Runsch., 1898, 13—14.

Salisbury. The mineral watter of the sea with some speculations as to the changes which have been involved in its production. Journ. of Geology. v. XIII, 6, 1905.

W. Mackie. The soltness of the sea in relation to the geological age of the earth. Trans. of the Edinburgh Geol. Soc., 8, 1903. Небольшая статья широкаго научнаго интереса; дѣлается попытка по количеству щелочей, выносимыхъ рѣками въ море и количеству ихъ заключающихся въ водѣ океановъ и морей, опредѣлить древность земли. Чтобы путемъ выщѣтриванія первичныхъ породъ доставить въ океанъ все количество заключающихся въ нихъ водѣ щелочей, достаточно лишь 28.200.000 лѣтъ.

Спеціально о Черномъ морѣ—Егуновъ. Біо-анизотропные бассейны. Ежегодникъ Крштафовича. VI, 3, 1900.

Движеніе морской воды:

G. H. Darwin. The Tides and Kindred Phenomena in the Solar System, 1898 (на нѣмецкомъ языкѣ въ переводѣ Packels. Ebbe u. Flut, Leipzig 1902).

Nansen. Die Ursachen der Meeresströmungen, Pet. Mitt. 1905, № I—II.

Фаціальныя отложенія въ морѣ, методы стратиграфіи, образованіе залежей соли, доломита, нефти:

Головкинскій. О пермской формаціи въ центральной части Камско-Волжскаго бассейна. Мат. для геол. Россіи, 1869, I, стр. 391—408.

Grossouvre. Recherches sur la craie supérieure. Mém. pour servir à l'explic. de la carte géol. de la France. 1901, стр. 1—93.

Paul Fischer. Sedimentbildung am heutigen Meeresboden, dargestellt auf Grund der neueren Tiefseeforschungen. Jahr.-ber. d. städt. Realgymn. zu Leipzig, 1901. Очень полезная сводная работа на основаніи изслѣдованій Челленджера, Альбатроса, Блэке, Сибога и друг.

Häpke. Warmwasserseen und heisse Salzteiche. Pet. Mitt., 1902, VIII.

Michalski. Jak nalezy szukac soli kamiennej w pólnocnej czesci Kròlewstwa. Wszechswiat, 1902. Статья имѣетъ и общее значеніе.

Ochsenius. Uebereinstimmung der geologischen und chemischen Bildungsverhältnisse in unsern Kalilagern. Z. f. pr. Geol., 1905, № 5, Salz-Nummer. Въ этомъ же номерѣ приведена вся новѣйшая литература о мѣсторожденіяхъ каменной соли, отбросныхъ солей, селитры и бора.

Bornemann. Ueber den Buntsandstein in Deutschland u. seine Bedeutung für die Trias nebst Untersuchungen über Sand und Sandsteinbildungen im Allgemeinen. 1889.

Felix. Studien über tertiäre und quartäre Korallen und Riffkalke aus Ägypten und der Sinaihalbinsel. Z. d. d. geol. Gesell., 56, 1904, стр. 168. Образованіе доломита.

Skeats. The chemical and Mineralogical Evidence as to the Origin of the Dolomites of Soutern Tyrol. Quart. Journ. Geol. Soc., LXI, 1905, стр. 97—139.

Höfer. Erdöl-Studien. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wissensch., CXL, VII. Wien, 1902.

Морфологія береговъ суши.

Haas. Studien über die Entstehung der Förden (Buchten) an der Ostküste Schleswig-Holsteins, sowie der Seen und des Flussnetz dieses Landes. Beiträge zur Glacialgeologie Schleswig-Holsteins. Mitt. aus dem Mineral. Inst. der Univ. Kiel. I, 1892.

Schwind. Die Riasküsten, Prag u. Leipzig 1901.

Wheeler. The Sea Coast. Destruction, Littoral Drift and Protection. London 1902. Обстоятельное сочиненіе, очень полезное для инженеровъ.

Krümmel. Die Haupttypen der natürlichen Seehäfen. Globus, LX, 1891.

Gulliver. Cuspate forelands. Bull. of the geol. Soc. of America, 1896, vol. 7, стр. 399—422. Интересная статья о заостренныхъ мысахъ и дельтахъ.

Глава VIII.

Къ стр. 636. По вопросу объ ископаемомъ льдѣ цѣнные матеріалы собраны послѣдней экспедиціей Толля, о чемъ было сообщено Воллосовичемъ на одномъ изъ засѣданій минералог. Общ. въ 1905 г. Воллосовичъ склоняется къ мнѣнію Толля.—Для Америки свѣдѣнія объ отложеніяхъ льда подъ почвой собраны въ работѣ Bulch, Subterranean Ice Deposits in America. Jour. of the Frankl. Inst., 1899, Также въ новыхъ работахъ объ Аляскѣ въ изд. U. S. G. Surv.

Къ стр. 640. Щіонглинскій. Изв. Геогр. Общ., XL, IV, 1904, стр. 26, протоколы, и его же: О наблюденіяхъ надъ замерзаніемъ р. Невы и изслѣдованіяхъ зажоровъ на ней, произведенныхъ въ 1903 г. по поруч. правл. С.-Петерб. Округа Пут. Сообщ. 1905. Также: Отчетъ комиссіи по изученію доннаго льда въ 1904 г. Изв. Геогр. Общ., XLI, 1905.

Къ стр. 642. О дѣятельности рѣчного льда интересныя замѣчанія проф. Павлова. Оползни Симбирскаго и Саратовскаго Поволжья, 1903. Дѣятельность льда и эрозія способствуютъ явленіямъ оползней.

Къ стр. 663. О лавинахъ: Sprecher. Grundlawinenstudien I, II. Jahrb. d. Schweiz. Alpenklub, 35 Jahrg. 1900 и 37 Jahrg. 1902. Описаніе лавинъ въ Альпахъ и нѣкоторыя общія заключенія.

Къ стр. 666. Висячіе ледники американцы называютъ также Cliffglacier.

Къ стр. 683. Jegerlehner. Die Schneegrenze in der Schweiz (mit einer Karte). Beitr. z. Geophys., herausgegeb. v. Gerland, B. V, H. 3, 1902.

Къ стр. 684. Бушъ. Ледники западнаго Кавказа. Зап. Геогр. Общ., т. XXXII, № 4, 1905.

Къ стр. 685. Max Friederichsen. Forschungsreise in den Zentralen Tièn-schan und Dsungarischen Alatau. Hamburg, 1904.

G. Merzbacher. Vorläuf. Bericht über Forschungsreise in den zentralen Thian-Schan. Pet. Mitt. Erg.-heft, № 149, 1904.

R. Pumpelly. Explorations in Turkestan, 1905.

Къ стр. 690. Oldham. Note an the Glaciation and History of the Sind-Valley, Kashmir. Rec. of. the Geol. Survey of India, Vol. XXXI, P. 3, 1904.

Къ стр. 754. Американцы называютъ также поверхностныя морены—superglacial, внутреннія—englacial и нижнія—subglacial.

Къ стр. 763—764. Сольсбёри и Чэмберлэнъ указываютъ, что на окраинахъ полярныхъ ледниковъ нижніе слои льда часто приподняты кверху. При этомъ матеріалъ внутреннихъ и нижнихъ моренъ (englacial and basal debris) перемѣщается къ поверхности дѣйствительнымъ движеніемъ вверхъ, а тамъ, гдѣ поднимающіеся такимъ образомъ слои выходятъ на поверхность, возникаютъ одна или цѣлая серія конечныхъ моренъ. Что матеріалъ этихъ моренъ принадлежалъ нижней моренѣ, подтверждается изборожденностью валуновъ и ихъ природой. Напримѣръ, на нѣкорыхъ ледникахъ Сѣв. Гренландіи, переходящихъ черезъ мелкіе заливы, въ морену попадаютъ такимъ образомъ многочисленныя раковины моллюсковъ со дна заливовъ. Такое приподнятіе слоевъ льда замѣчается также и по боковымъ краямъ ледниковъ, вызывая образованіе краевыхъ моренъ, а нерѣдко и вдоль середины ледника, причемъ возникаетъ на его поверхности срединная морена. Чэмберлэнъ объясняетъ это явленіе сдвигами льда вслѣдствіе сопротивленія мерзлыхъ слоевъ мореннаго матеріала подъ льдомъ на окраинахъ покрова. См. Chamberlin and Salisbury, Geology, I, 1904, стр. 282—283.

Къ стр. 766. Американскіе геологи различаютъ слѣдующія категоріи конечныхъ моренъ (terminal mor.): когда часть матеріала отлагается подъ льдомъ, называютъ внѣдренной мореной (lodge mor.); если матеріалъ перемѣщается на поверхности льда и сбрасывается при оконечности ледника, морену называютъ сброшенной (dump mor.); если она перемѣщается впереди льда, говорятъ, что это морена напора (puch mor.).

Къ стр. 769. Возможные случаи особенныхъ моренъ разбираетъ Поповъ: Boris Popoff, Zur Frage von der Entstehung terrassenähnlicher Abstufungen an moränenbedeckten Gebirgsabhängen unter Inlandeis gewesener Gebiete. Зап. Мин. Общ., XLI, 1, 1904.

Къ стр. 828. Schulz. Geomorphologische Studien in den Ampezzaner Dolomiten. 1905. Интересные примѣры и изображенія каръ, какъ доказательствъ прежняго оледенѣнія.

Къ стр. 830. Davis. Glacial Erosion in France, Switzerland and Norway. Pr. of the Boston S. of Nat. Hist., 1900, B. XXIX. О переуглубленіи долинъ.

Къ стр. 839. О псевдоледниковыхъ явленіяхъ см.: Penck., Pseudoglaciale Erscheinungen. Z. d. d. g. Ges., XXXVI, 1884.—Blanckenhorn. Theorie der Bewegungen des Erdbodens. Z. d. d. g. Ges., XLVIII, 1896. О такъ называемыхъ Warp, queues, rubble drift и т. д., представляющихъ движенія почвы подъ вліяніемъ колебанія температурныхъ условій и часто принимаемыхъ за ледниковыя явленія.

Къ стр. 858. По вопросамъ о происхожденіи различныхъ формъ поверхности подъ вліяніемъ ледниковаго покрова см. интересную работу Joh. Elbert. Die Entwickelung des Bodenreliefs von Vorpommern und Rügen, zowie der angrenzenden Gebiete der Uckermark und Mecklenburgs während der letzten diluvialen Vereisung. 8 Jahresber. d. geogr. Ges. zu Greifswald, 1904. Въ особенности богатъ отдѣлъ объ озахъ, щебневыхъ холмахъ и т. под. щебнево-галечниковыхъ ледниковыхъ отложеніяхъ.

Къ стр. 869. Для Тянь-шаня см. новыя работы Friederichsen, Pumpelly (выше, къ стр. 685).

Къ стр. 869. E. de Martonne. La période Glaciaire dans les Karpates méridionales. Cong. géol. intern., c. r. de la IX Sess., Vienne, 1903, стр. 691.

Къ стр. 874. О положеніи снѣговой линіи въ тропикахъ и измѣненіяхъ этого положенія въ ледниковую эпоху см. Hans Meyer. Die Eiszeit in den Tropen. Geogr. Zeitschr., X, № 11, 1904. Пониженіе снѣговой линіи было почти такимъ же, какъ и въ областяхъ умѣреннаго климата: въ экваторіальной Африкѣ — около 500 m., въ Экуадорѣ—800—900 m. Ледники обнаруживали такія же фазы колебаній, какъ и въ сѣверномъ полушаріи. Всѣ эти факты говорятъ въ пользу одновременности ледниковой эпохи на всей поверхности земли.

Къ стр. 876. C. Easton. Zur Periodizität der solaren und klimatischen Schwankungen. Pet. Mitt., 51 15, 1905, VIII.

Къ стр. 879. Интересный опытъ возстановленія климатическихъ условій прошлаго для значительной области даетъ S. Passarge. Die klimatischen Verhältnisse Süd-Afrikas seit dem mittleren Mesozoicum. Z. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 1904, № 3. Эта небольшая статья заслуживаетъ особеннаго вниманія геологовъ, давая примѣры фаціальныхъ условій образованія различныхъ континентальныхъ отложеній.

Къ стр. 886. Philippi. Das südafrikanische Dwyka-Konglomerat. Z. d. d. geol. Ges., B. 56, H. 4, стр. 304—345. Статья исчерпывающая литературу и мнѣнія по вопросу объ этихъ конгламератахъ, относимыхъ авторомъ къ ледниковымъ образованіямъ.

Къ стр. 893. Недавно была сдѣлана попытка снова возстановить довѣріе къ астрономическимъ причинамъ ледниковой эпохи: Ludw. Pilgrim. Versuch einer rechnerischen Behandlung des Eiszeitproblems. Jahreshefte d. Ver. f. vaterl. Naturkunde in Würtemberg, LX, 1904. Авторъ именно доказываетъ, что ледниковое покрытіе, которое должно было продолжаться въ теченіе нѣсколькихъ періодовъ прецессій, было одновременнымъ для обоихъ полушарій. Авторъ полагаетъ, что массы льда, возникшія во время одного періода прецессіи при большой величинѣ эксцентриситета земной орбиты, продолжали еще существовать и во время положенія полушарія въ перигеліи до ближайшаго новаго періода прецессіи, когда неисчезнувшія массы льда снова увеличивались, переживая такимъ образомъ нѣсколько періодовъ прецессій.

Авторъ опирается при этомъ на соображеніяхъ относительно вліянія ледниковаго покрытія на положеніе снѣговой линіи; это вліяніе можетъ быть значительнѣе, чѣмъ вліяніе астрономическихъ причинъ.

Къ стр. 907. Н. Максимовичъ, инж. пут. сообщ. Изслѣд. каменныхъ матеріаловъ употребляемыхъ для ремонта шоссе и мостовыхъ въ Варшавск. Округѣ Пут. Сообщ. 1905. Изд. Упр. Внутр. водныхъ Путей и Шосс. дорогъ. Интересный трудъ, заслуживающій особенн. вниманія инж. пут. сообщ.

Къ стр. 912. Schardt. Die wissenschaftl. Ergebnisse des Simplondurchstichs. 1904. — Heim. Ueber die geolog. Voraussicht beim Simplon-Tunnel. Eclog. Geol. Helvetiae, Vol. VIII, № 4, 1904.—Притокъ воды въ Сурамскомъ туннелѣ, показанный по отчету горн. инж. Ругевича, не соотвѣтствуетъ дѣйствительно имѣвшему мѣсто. Горн. инж. Стрешевскій, завѣдовавшій горными работами при постройкѣ этого туннеля, сообщилъ мнѣ выписку изъ „Отчета нач. работъ по постр. II участка обходной линіи Сурамскаго перевала 1886—1890 г.“, изъ которой видно, что на западной сторонѣ нижняго направляющаго хода 860—1060 саж. отъ начала этой галлереи притокъ воды въ твердыхъ мергеляхъ (мѣловыхъ) достигалъ до 700.000 ведеръ въ сутки, или 98,5 литра въ 1″. При уклонѣ на этой сторонѣ въ 0,018 вода стекала быстро; на восточной сторонѣ при работахъ по обратному уклону въ виду трудности откачивать воду при ея притокѣ въ 117 000 ведеръ въ сутки необходимо было временно прекращать машинное буреніе.

Предметный указатель.

Абасъ-Туманъ, источники 328.
Абиссальныя отложенія 617.
Абляція земной поверхности 364, 366.
» ледниковъ 742.
Абразія 6, 13, 364, 422, 586.
Авгитъ, выв'Ётриваніе 161.
Австро-Венгрія, термы 283.
Агассица оз. 502.
Азія, обвалы 353.
Азогумусовыя соли 156.
Азотъ, въ источникахъ 286; въ морской водѣ 541.
Айсберги 652, 747.
Актинометръ (пиргеліометръ) 16.
Алжиръ, термы 284.
Аліосъ 107.
Аллювіальныя глины 445; наносы 430; пески 444; равнина 454.
Аллювій 174, 885.
Аллюминій, въ ист. 288; въ морской во- 541.
Альгонквинъ оз. 502.
Альпы, дислокація 317; источники 236; ледники 683, 830; термы 223.
Амплитуда температуры годовая 25; суточная 23.
Аму-Дарья р. 361, 385, 295, 456; грунтовыя воды 228.
Амуръ р. 362.
Анаклинальное отношеніе 473.
Анаррегматическая долина 422.
Аналогичныя образованія 882.
Ангидритъ 620.
Англія, термы 283.
Анемометры 34.
Антарктическая область, ледники 701.
Антецедентныя рѣки 474, 478.
Антипассаты 37, 45.
Антициклонъ 40, 42, 60.
Анциловое озеро 855.
Апеннины, источн. 325.
Аппалахскія горы источн. 254, 282; циклы эрозіи 480—481.
Арагонитъ 306.
Аргонъ, въ источн. 286.
Ассоціація минераловъ 165.
Астраханитъ 530, 627.
Афелій 893.
Аэоротермическій градіентъ 22.

Байкалъ оз. 499, 503
Бактеріи 155.
Балануcы 156.
Балка 403.
Балтійскій щитъ 502.
Балтійскій ледяной потокъ 836, 852.
Балтійское море, литологическая карта дна 612; въ ледниковую эпоху 852—855.
Бальмы 199.
Бальнеологія 281; Бальнеологическая мощность 302.
Барій, въ морской водѣ 542.
Барическій рельефъ 32.
Барометрическое давленіе, вліяніе на источн. 244.
Барханы 5, 87, 108.
Барханныя горы, гряды 118.
Бары 455, 458, 623.
Баскунчакъ оз 516, 525.
Батіальная зона 617.
Батиметрическія отношенія 617.
Баткакъ 528.
Береговой валъ 574.
Береговыя образованія 594.
Бикатакластическая долина 426.
Бифуркація рѣкъ 384, 472, 475.
Бишофитъ 627.
Блузы 101.
Богемія, термы 320.
Бодденъ 593.
Болотныя почвы 186.
Бомы 198.
Бора 47.
Бореальная провинція 887.
Боржомъ 290, 299, 328.
Боръ, въ источникахъ 288; морской водѣ 541; озерахъ 515.
Брамапутра р. 362; дельта 468.
Бризы 46.
Бровка 382.
Бромъ, въ морской водѣ 541.
Буамы, бумы 404.
Буза 87.
Бузунъ 527.
Булыжная мостовая, ледниковая 833.
Буреніе, артез. колодцевъ 275.
Бури черныя 129.
Бурные потоки (грязевые) 431—440.
Бѣлоглазка 140.

Вади 76.
Валуны 833; граненые 896; руководящіе 837.

Валуны эрратическіе 822, 828.
Ваттъ 578.
Венгрія пст. 294.
Вивіанитъ 308.
Висконсинн время 874.
Везеръ р. 362.
Великія озера 502.
Вихри 50.
Вишн пст. 251, 290, 299.
Влажность породъ 217, 244.
Влажность 51, 217.
Вогезы, источники 320.
Вода, артезіанская 266; вадозовая 331, 332; грунтовая 217, 223; ювенилевая 331, 332; составъ 232.
Водовороты 233.
Водоемкость породъ 217.
Водоносный горизонтъ 217.
Водопроницаемость 217.
Водораздѣлъ, перемѣщеніе 378, 427, 472; аномальный 479.
Водородъ, въ источникахъ 286; морской водѣ 541.
Водяные слои, жилы 232, 238.
Воклены 350.
Воклюзы 241.
Волга р. 377, 380, 384, 390, 393, 395, 402, 440, 442, 460, 486.
Волноприбойная терраса 560.
Волноприбойные знаки 596, 597.
Волны, геологическія 60, 891.
Волны, морскія 547.
Впадины ледниковыя 866.
Вуокса р. 394, 409.
Вывѣтриваніе 3, 66, 212; органическое 148, 154, 156; подледниковое 364; сложное 158; физическое 148; химическое 148, 156.
Выемки, желѣзнодорожныя 901; въ лёссѣ 906.
Выкристаллизовываніе 152.
Выпахиваніе ледн. 749, 752, 773, 776, 780.
Выступы (пересѣченія) моренные 839.
Выщелачиваніе 167.
Вѣковыя колебанія климата 62.
Вѣтры, классификація 37.

Гангъ р. 362, 390, 395, 456.
Гарматтанъ 48, 132.
Гармъ-салъ 48.
Гаронна р. 415.
Геантиклиналъ 472.
Гейзеритъ 308.
Гейзеры 246, 255, 308, 332.
Гелій, ист. 286.
Геосинклиналъ 473.
Германія, термы 283.
Гетероптигматическая долина 423.
Гидрократическое движеніе 476, 585.
Гидрометеоры 53.
Гипотезы колебаній климата 893; астрономическія 894; космическія 894; теллурическія 827.
Гипотермы 281.
Гипсъ 171, 302, 311, 339, 619.
Гирла 496.
Глауберитъ 489.
Глауконитъ 599.
Глетчеръ 635, 660.
Глина, продуктъ выщелачиванія 170; валунная 826, 833, 834.
Глинтъ 502.
Глобигериновый илъ 602.
Глоссоптеріевая флора 886, 887.
Гляціальныя образованія 770.
Гольвеги 65.
Гольфстремъ 555.
Гольцы 208.
Гомологическія образованія 882.
Гомохромовыя породы 151.
Гондвана 886.
Горизонтъ водоносный 900.
Горная влажность 232.
Градъ 56.
Гранатка, соль 528.
Гранаты 163.
Гранитъ, вывѣтриваніе 151, 168.
Гранитныя палатки 191.
Гренландія, ледники 672, 696.
Грибообразныя скалы 81.
Гроза 58.
Гротъ 335.
Грунтъ—изслѣдованія 906.
Гумусъ 154.

Двайка конгломераты 886.
Движеніе ледниковъ 717, 793.
Двина Зап. р. 402, 442.
Дельтовыя озера 495.
Дельты 430, 452—470.
Дельфины, колодцы 230.
Делювій 174, 189, 204, 367.
Денудаціонный уровень 378.
Денудація 1—14, 364—366.
Депрессіонная поверхн. 225, 228, 271.
Дерриваты 247.
Десквамація 151.
Деструкція 1.
Дефляція 5, 364.
Дилювій 822, 850,
Дислокаціонныя озера 499.
Дислокація альпійская 318; связь источниковъ 315—318; вліяніе на развитіе 426, 477.
Діагенезисъ 364.
Діагональная слоеватость 69; дюнъ 104.
Діаклинальное отношеніе 473.
Діатомеевый илъ 603.
Днѣпръ р. 377, 402, 442, 486.
Днѣстръ р. 442.
Дождливость 55.
Дождь, каменный 71; кровяной 127; сѣрный 127.
Долины, дилювіальныя 867; корытообразныя 750, 829; переуглубленія 781, 829; развѣванія 76.
Доллины 345.
Доломитъ, образованіе 632.
Доны 119.
Донъ р. 380, 384, 442, 487.
Дрейфовыя теченія 548, 559.
Дресва 151, 167.

Dryas время 851, 855.
Дрифтъ 822; дрифтовыя отлож. 874.
Дропги 566.
Друмлины 767, 826, 862.
Друскеники мин. воды 291, 298.
Дюповыя озера 494.
Дюны, приморскія 5, 87; рѣчныя 107; грунтовыя воды 225.

Елтонъ оз. 370, 516, 525.
Енисей р. 384.
Ерики 495, 523.

Желтоземъ 5, 133.
Желѣзо, въ источникахъ 288; въ морской водѣ 541.
Желѣзноводскіе источники 247, 292.
Желѣзнякъ бурый 177, 303, 308.
Жеоды 313.
Жилы минеральныя 310; рудныя 312; сложеніе 313.
Журавчики 140.

Загаръ пустыни 67.
Зажоры 395, 640.
Займище 382.
Замбези р. 416.
Зандры 626, 771, 826, 844.
Заплескъ 382.
Заструги 382.
Засухи 496.
Заторъ 640.
Земляныя пирамиды 368.
Зеравшанъ р. 368, 421.
Зернистость льда 708, 794.
Золото, въ морской водѣ 542.
Зоогеновые осадки 14.
Зунды 591.

Ивердонъ—источники 254.
Известняки, землистые 154; пѣнистые 155.
Изгарь 309.
Излучины рѣкъ 389.
Изморозь 53.
Изобары 30.
Изобранты 58.
Изонефы 54.
Изономалы 26.
Изопектика 642.
Изорахіи 552.
Изотака 642.
Изотахи 388.
Изотермобаты 541.
Изотермы 25.
Изохіеты 55.
Изохіоны 656.
Илъ, морской 598.
Ильмени 523.
Иматра 394, 408.
Индъ р. 361, 385, 393, 456.
Иней 53.
Инсоляція 151.
Инфильтрація 221.
Исландія, источники 256; ледники 695; термы 284.
Испареніе 213—215.
Исполиновые котлы 393, 565, 781, 828.
Источники восходящіе 236, 246; горькіе 289, 294; грунтовые 237; желѣзные 289, 292; жильные 247; извергающіе (гейзеры) 254; известковистые 289, 295; индиферентные 290, 296; контактовые 251; котловинные 240; минеральные 252; мышьяковистые 293; нисходящіе 236, 237; осыпей 241; пластовые 239; перемежающіеся 245; сбросовые 250; складковые 254; соляные 289, 291; сѣрнистые 289, 294; термоминеральные 281, 315; трещинные 240; щелочные 289, 290; углеводородные 255; осадки 302; измѣритель ихъ жизни 299; колебанія минерализаціи 298; классификація Де-Лонэ 297; химическій составъ воды 285; система корней 242; питаніе атмосферой 233; питаніе моремъ 234.
Италія, источники 284.

Іова время 874.
Іодъ, источники 287; морская вода 541.
Іолдіевая глина 851, 874.

Кавказъ, артезіанское буреніе 280; дислокація 317; источники 326; ледники 684; обвалы 353; сели-муры 438.
Каинитъ 621, 632.
Калій источники 288.
» морская вода 542.
Кальцій пст. 288.
» мор. вода 542.
Калюшитъ 632.
Каменный лѣсъ 197.
Каменныя поляны 430.
Камнеточцы 156.
Камни, вытачивающіе 751; нагроможденіе 834.
Кампины 109.
Канадскій щитъ 502.
Кандеръ р. 376.
Канзасское время 874.
Каньоны 404, 412, 477.
Каолинъ 170.
Каптажъ источниковъ 907.
Карбонаты, горизонтъ 181.
Карлсбадъ 247, 290, 303, 331.
Карманы 175.
Карналлитъ 618, 627.
Карнаты, пст. 323.
Карру (Karroo) система 886.
Карры 200, 368, 666, 828.
Карстовыя явленія 345.
Каспій 506, 613.
Катавотры 346.
Катакластическая долина 426.
Катаклинальное отношеніе 473.
Качающіеся камни 208.
Кекура 645.
Кеммернъ, источники 295.
Кемы 863, 874.
Кефалонія 234.
Кизеритъ 620, 627.

Кислородъ, ист. 286; морская вода 541.
Кислоты 156.
Киссингенъ 255, 291.
Климатъ 58, геологич. 878.
» полярныхъ областей 681.
Климатическіе пояса 28, 880.
Клюзы 199, 422.
Ключевыя руды 308.
Кобальтъ—морская вода 541.
Колодцы 175, 233; артезіанскіе 264, 237; голодные-майскіе 235, 245; поглощающіе 274; приливные 230; простые 263, 236.
Колоннады развѣванія 68.
Комбъ 422, 473.
Комплексъ ледниковый 825.
Конгломераты, вывѣтриваніе 172.
Коническіе наносы 430.
Консеквентныя рѣки 472.
Континентальная зона морского дна 597.
Корга 646.
Корразія 364, 365.
Коррозія 366.
Корытообразныя долины 829, 830, 870, 871.
Котловины конечныя 825.
Котлы—см. Исполиновые котлы.
Кошки 577.
Красноземъ 133.
Кратерныя озера 494.
Крейцнахъ 291.
Кремній, ист. 288; морская вода 541.
Кріоконитъ 128, 700.
Критическій періодъ 892.
Крупа 56.
Крымъ, артезіанскія воды 279; колодцы 273; пещеры 336; соляныя озера 519.
Кульджа, источники 241.
Куполообразные холмы 774.
Курчавыя скалы 774.
Кызылъ-джузганъ 120.

Лавехе 48.
Лавина 660, 661.
» ледниковыя 790.
Лавинныя озера 493.
Лагонтанское озеро 532.
Лагуны 100, 577.
Лайбахъ р. 348.
Лакколиты 190.
Ландшафтъ моренный 826, 839, 842, 858.
» озерный 844.
Латеритъ 180, 183.
Ледники 635, 660, 664; альпійскіе 665; висячіе 666; типъ внутреннихъ покрововъ 671; земляные 153; мертвые 670; мульдовые 666; недоразвившіеся 670; переметные 666; развившіеся 794; состарѣвшіеся 794; ущелій 669; типа Маляспина 674.
Ледниковый, періодъ 822; ворота 744; выпахиваніе 749, 773; движеніе 717, 793, 801; дѣятельность 749; катастрофы 790; колебанія 782, 787; миграціи центра 724; морены 744; образованія 768; озера 492; покровъ 671; стадіи 827; стаканы 745; столы 745; трещины 730; убыль 742; эпохи 822, 854, 878.
Ледъ береговой 651; вспученный 640; грунтовый-донный 638, 640; зернистость 708; материковый 697; морской 649; окаменѣлый 636; пластинчатость 714; пластичность 797, 802; полосчатость 713, 736; почвенный 635; разжиженіе 799; рѣчной 642; температура 715; цирковый 702, 706; слоистость 736; смерзаніе 799; текучесть 803.
Ледяной покровъ 649; ледяное поле 649.
Лена р. 385, 462.
Лёссовидная глина 143, 146.
Лёссъ 5, 133, 360; европейскій 142; материковый 137; озерный 137; образованіе 143.
Лесте 48.
Лидо 577.
Лиманы 478, 496, 521, 593.
Лимнологія 491.
Линія снѣговая 654—55.
Липецкъ, источники 292.
Литій, въ источн. 288; морской водѣ 542.
Литогенезисъ 364, 366.
Литориновое море 855.
Лишаи 154.
Лобъ бараній 774.
Лугъ 382.
Лякустро-гляц. отл. 773.
Лѣсная подстилка 215.
Лѣсъ—грунтовыя воды 231.

Маасъ р. 362.
Магній, ист. 288; морская вода 541.
Маниха 553.
Марганецъ, ист. 288; морская вода 541.
Маріенбадъ 290, 292.
Марино-гляц. отл. 773.
Маршъ 578.
Массовое движеніе 358, 365, 436.
Массовое перемѣщеніе (переносъ) 358, 365, 436.
Мгла 130.
Междуледниковый періодъ 827, 851.
Мезобары 32.
Мейобары 32.
Мекленбургская эпоха 851, 874.
Мексика, термы 284.
Мельница ледниковая 743.
Мергель вывѣтриваніе 172; валунный 833.
Мертвое море 499, 531.
Метаморфизмъ 364.
Метаморфическіе сланцы, формы вывѣтриванія 194.
Миндалины 313.
Мирабилитъ 530.
Миссисипи р. 380, 385, 390, 393, 395, 407, 456, 461.
Мистраль 47.
Мичиганъ оз., колебанія 406—407, 502.
Міазмы 232.
Міаскиты 169.
Моноклинальныя долины 419; смѣщеніе 381.

Моренная равнина 839, 842, 858; глина 855.
Моренный амфитеатръ 826.
» ландшафтъ 839, 858.
Морены береговыя 766; валообразныя 764; внутреннія 756; конечныя 766, 839, 861; краевыя 768, 769; мѣстныя, локальныя 777, 834, 838; напора 845, 847; насыпныя 846; нижнія 757, 759; основныя 763, 764, 766, 767, 837; особенныя 768; отложенныя 764; передовыя 766, 768, 769; перемѣщаемыя 754; подводныя 654; поддонныя 764, 766, 767; поверхностныя 754; поперечныя 762; продольныя 766; срединныя 755; Германіи 842; Россіи 846; Финляндіи 849.
Морозъ 153, 208.
Морская мельница 234.
Морфологія 478.
Моря скалъ 208, 368.
Моряны 46, 496.
Москва—колодцы 273.
Мосты снѣговые 705.
Моффетты 331.
Мука ледниковая 751.
Мурхабъ р. 395, 443, 453.
Муры 431—440.
Мусоны 38, 46, 55.
Мышьякъ, ист. 288; морская вода 542.
Мѣдь, морская вода 541.
Мѣлъ 614.
Мюнхенъ, грунтов. воды 228.

Наледи 647.
Намывной берегъ 572.
Насыпи 902.
Натрій, ист. 288; морская вода 542.
Нарова р. 407.
Наугеймъ 255, 291.
Національный паркъ 260.
Нева р. 224, 228, 390, 393, 395, 461, 465.
Непериодическія явленія 24.
Неритическая зона 617.
Нерунги 577.
Нефть 280, 633.
Никкель, морская вода 541.
Нилъ р. 362, 385, 395, 466.
Ніагара, водопадъ 405—407.
Н. Зеландія-гейзеры 258, 308; ледники 692.
Новосадка, соль 527.
Ноздреватые камни 70.
Нормальная кривая паденія рѣки 377, 415.
Нормальныя температуры 24.
Нунатаки 697.
Нѣманъ р. 442.
Нэвэ 703.

Обвалы 351, 790.
Облака, классификація 54.
Обсеквентныя рѣки 472.
Обтачиваніе 66, 364.
Обь р. 384, 488.
Овраги 231, 399.
Огивы 713.
Ожеледь 53.
Озъ 772, 839, 864, 866.
Озера, котловинныя 492, 497; материковыя 489; морскія 489; плотинныя 492, 867; подпорныя 867; временность существованія 533.
Ока р. 377, 380, 400.
Округленные холмы, скалы 774, 835.
Оледенѣніе, Азіи 869—872; Альпъ 827, 830; Америки 872—874; Кавказа 868; періоды 851; Пиреней 869; Скандинаво-Русское 832; Южнаго полушарія 875; площадь 702.
Оливинъ, вывѣтриваніе 161.
Ондоворалогія 6, 559.
Опади 349.
Оплывины 358, 432, 435, 436.
Ополани 351, 436, 905.
Ориноко р. 362, 384.
Орологія 478.
Ортштейнъ 107, 182.
Осадочныя породы, формы вывѣтриванія 195; скор. образованія 616.
Осередки 383.
Осыпи 206, 208.
Отливы 549.
Охрана источника 907.

Палеогеографія 879. — Палеотермальныя условія 879.
Парижъ—колодцы 273.
Параклястическая долина 426.
Пассаты 37, 55.
Пелагическія отложенія 607, 617.
Пелагозитъ 576.
Пенепленъ 476, 589.
Пенспльванія—ист. 255.
Перевалы 383.
Перекаты 383.
Переносъ 358, 364.
Перигелій 893.
Песокъ 382; валунный 834; крупный 151, оолитовый 105; раковинный 105; эоловый 104.
Пески, бугристые 119—121; материковые 108; верхне- и нижне валун. 855.
Песчаники, вывѣтриваніе 172.
Петербургъ, грунтовыя воды 226; источники 235.
Печора р. 462.
Пещеры 334; классификація 337; ледники 342.
Пикоть 527.
Пиренеи, источники 321.
Пирмонтъ 292.
Плейобары 32.
Плёсы 383.
Плинки 839.
Пломбьеръ 310.
Плывуны 901.
Плювіальный періодъ 876.
Пляжъ 594.
Пляйки 359.
По р. 393, 443, 463.
Поглощеніе, почвою 213, 217.
Подземные бассейны 227.
Подзолъ 182.
Подпесочныя озера 524.

Пойма 382.
Поле, флювіогляціальныхъ отложеній 826.
Полевые шпаты, вывѣтриваніе 162.
Полигалитъ 620.
Полихромовыя породы 151.
Полосчатость, элювіальная 177.
Поляндіанъ, эпоха 874.
Помоха 130.
Поноры 346.
Поророка 553.
Португалія, термы 284.
Постпліоценовыя отлож. 451.
Почвы, образ., классиф. 183—187.
Провинціи геол. 880.
Прецессія 893.
Прибой 549, 560.
Прибрежныя отложенія 596.
Приверхъ 383.
Прикладной часъ 552.
Приливы 549.
Провалы 344.
Промерзаніе почвы 220.
Проницаемость, пор. для воды 218.
Прораны 383, 496.
Пруды 100.
Птероподовый илъ 603.
Пунгахарью 864.
Пустыни 64; каменистыя 64, 84, 109; кремнистыя 84; окаменѣлыя 145; песчаныя 86, 109.
Пучины 350.
Пыль, красная 133; космическая, пассатная, теллурическая 128, 131; экзотическая 127; энтопическая 126.
Пыльный ураганъ 4, 50.
Пьезометрическій уровень 266.
Пятигорскъ 248, 287, 295, 296, 303, 307, 326.

Радіоляріевый илъ 604.
Развѣваніе 5, 64; бугры 135.
Размываніе 364, 369; въ глубину и боковое 375—376, 379.
Разрушеніе (Ablation) 364.
Рамль 110.
Рапа 522, 527.
Растворимость породъ 157.
Растительный покровъ, вліяніе на поглощеніе водъ 220.
Реакціи химическія въ природѣ 164.
Регрессія моря 891.
Регуляторъ климата 898.
Рейнъ р. 228, 362, 376, 390, 393, 395, 428, 441, 466, 484.
Реликтовыя озера 501.
Ріасъ 592.
Ріолитъ 169.
Рихкъ 839.
Розливъ 382.
Розсыпи, камней 206, 208; увальныя 178.
Рона р. 390, 393, 456, 462.
Роса 53.
Россія, артезіанскія воды 276; обвалы 354; пещеры 336; провалы 349; термы 283.
Рубидій, въ источникахъ 288; морская вода 542.
Рябь 596, 597; песчаная 88.
Рѣки, вскрытіе и замерз. 641; классификація 361; генетическая классификація 471—488.

Сайменское озеро 411, 849.
Саки оз. 496, 523, 574.
Саксаулъ 120.
Саксонская эпоха 851, 856, 874.
Сало 640.
Сальпаусселька 849, 856, 862.
С. Америка, пст. 260; термы 284; ледники 690.
Самумъ 48.
Сахара, колодцы 274.
Саргассово море 557.
Сбросы, отнош. къ нимъ источн. 316.
Свидѣтели 79.
Свинецъ, въ морской водѣ 541.
Свѣченіе моря 547.
Сдвиги 316.
Сейсмологія 912; гипотеза Таммана 807.
Сейшъ 510.
Селенъ—источники 287.
Сель (сейль, спль) 432.
Сельга 864.
Сена р. 362, 390, 393, 395, 485.
Серебро—морская вода 541.
Серія ледниковыхъ образованій 825.
Сермерсоакъ 697.
Сестрорѣцкъ—дюны 99, 102.
Сибирь—пещеры 341.
Сиваш 497.
Сильвинъ 621, 627.
Симптигматическая долина 422.
Синоптическія карты 30.
Сирокко 48.
Сіениты, вывѣтриваніе 169.
Скалы, курчавыя 774.
Скандинавія, ледники 693.
Сложеніе породъ, вліяніе на вывѣтриваніе 165.
Слоистость дюнъ 102; перекрещивающаяся 103; бархановъ 122.
Слюда, вывѣтриваніе 162.
Смерзаніе льда 799.
Смерчъ 50, 129.
Смываніе 366.
Сиѣгъ 56, 654, 703; красный 127.
Содовыя озера 515.
Соленое Большое озеро 532.
Соленыя озера 496, 516, 532.
Солнце, колебанія излученія 894; пятна 60.
Солонцы 186.
Солончаки 496, 524.
Соль, въ источникахъ 303; каменная, мѣсторожденія 631; самосадочная 527.
Соры 504, 524.
Спа 292.
Спелеологія 342.
Спишская соль 632.
Сифъ 118.
Сталагмиты 339.
Сталактиты 339.
Старая Русса 291, 304.
Старица 380.

Стержень рѣки 388.
Стокъ водъ 213, 216.
Столовыя горы 418.
Стронціанитъ 306.
Стронцій, морская вода 542.
Струйчатость, на отложен. пляжа 596.
Стрѣлки 577.
Субъаэральные агенты, отложенія 3, 63.
Субсеквентныя рѣки 472.
Суглинокъ, валунный 833, 901.
Сура р. 384.
Суффіони 256.
Суходолъ 403.
Сухой туманъ 54.
Сфероспдеритъ 178.
Сырные склоны 190.
Сыръ-Дарья 361, 443.
Сѣра, въ источникахъ 287; въ морской водѣ 541.
Сѣрнокислыя соединенія 157.
Сѣробактеріи 284.
Сѣроводородъ, источники 287.

Такыры 122, 504.
Тальвегъ 387.
Тамарискъ 120.
Таримъ р. 361, 375.
Тарыны 647.
Тахгидритъ 621.
Теббадъ 48.
Текучесть льда 803.
Теллурическій круговоротъ воды 233.
Тенардитъ 627.
Теплицъ, термы 283, 287, 299.
Теплоемкость породъ 149.
Теплопрозрачность атмосферы 18.
Терекъ р. 443, 466.
Термальный день 17.
Термы 252, 281.
Террасы 446—452.
Терригеновые осадки 597.
Теченія, морскія 554; отливныя 573.
Тироль, источники 323.
Тогракъ 120.
Торосъ 650.
Торфъ 106, 445.
Травертинъ 304.
Трансгрессія 891; отлож. 588; бореальная 853, 856, 868.
Трахитъ, вывѣтриваніе 169.
Трещины ледниковъ краевыя 730; основныя 735; поперечныя 734; продольныя 734.
Туманъ 53; сухой 130; пыльный 134.
Тундровыя почвы 185.
Туннели 910—11.
Туфы 302, 445.
Тянь-Шань, источники 236; ледники 685; древнее оледенѣніе 869.

Увальныя розсыпи 178.
Углекислыя соединенія 157.
Углеродъ, источники 288; морская вода 541.
Угольная кислота, источники 286.
Узбои 76, 396, 404.

Унгузы 76, 396, 404.
Уралъ р. 384.
Уфа, воронки 350.
Ухвостье 383.

Фаціи, различіе ихъ 617, 880—882.
Фёны 47, 144.
Фергана 370.
Фіельды 781.
Фіордовыя озера 497.
Фіорды 572, 590, 781.
Фирнъ 656, 702, 703, 704, 707, 735.
Фитогеновые осадки 14.
Флювіогляціальныя образ. 770, 826, 833, 863, 901.
Фонтаны 237.
Фосфоръ, въ источникахъ 288; въ морск. водѣ 541.
Франція, дислокація 317; термы 283.
Фторъ, въ источникахъ 287; морской водѣ 541.
Фульгуриты 146.
Фульджесъ 110.
Фумароллы 331.

Хаки 504, 524.
Хаманъ 121.
Хамсинъ 48.
Хлоръ, въ ист. 287; въ морской водѣ 541.
Холмикъ—коса 93, 94.
Христіанитъ 610.
Христіанія эпоха 874.
Худжуры 524.

Цезій, морская вода 542.
Цементація 632.
Цеолиты 163, 610.
Циклоны 40, 53.
Циклъ эрозіи 474.
Цинкъ, въ морской водѣ 541.
Циприновая глина 851.
Циркъ 665, 666, 828, 870.
Цѣхоцинскъ, ист. 291, 298, 631.

Черноземъ 133, 156, 185.
Чинки 85.
Чирчикъ р. 394.
Чэмпленъ эпоха 874.

Шалыги 383.
Швейцарія, термы 283; озера 479, 503, 776, 781.
Шельда р. 362.
Шенитъ 627.
Шлезвигъ, воды 224.
Шлифованіе, вѣтромъ 67.
Шрамы ледниковые 828.
Шратты 200, 368.
Штейермаркъ, ист. 241.
Штрихи ледниковые 774; Фореля 639, 773.
Шуга 640.
Шхеры 591.
Шыбиковая соль 632.

Щебневые холмы 863.
Щеки 198.
Щелочи 164.

Эйды 590.
Эксарація 13, 364, 749.
Экстрагляціальныя отлож. 832.
Эксцентриситетъ 29, 894.
Элювій 174.
Эльба р. 362, 415.
Эмсъ, источники 249, 290, 298.
Эоловые, агенты 3; бальмы 82; многогранники 71; пески 104; столбы 4, 68, 76, 81, 368; столы 82; шарики 71.
Эпигенетическія долины 424.
Эпициклоны 50.
Эпсомитъ 529.
Эрозія 13, 364; базисъ 379.
Эрратическіе валуны 822, 828.
Эссентуки 254, 290.
Эстляндія, водопады 407.
Эстуарій 457.

Ягнау р. 368.
Яръ 382.
Яуза р. 225.

Указатель иностранныхъ терминовъ.

Abdammungsee 492.
Abflusskanal 661.
Abflussmöglichkeit 819, 831.
Abîmes 339.
Ablagerung 5, 364.
Ablagerungsgebiet 352, 661.
Ablation 364, 742.
— swasser 743.
Abrasion 483.
Abrasionsfläche 422.
Abraumsalze 620.
Abri 338.
Abrissgebiet 352, 661.
Abschmelzung 661, 742.
Abspülung 366.
Abysmal deposits 597.
Ackerboden 167.
Aequa de livello 223.
Ajustés riv. 479.
Alios 107.
Alnus 871.
Altwasser 380.
Amphibische Bildung 578.
Anchor ice 638.
Anhydritihute 623.
Aperlinie 708.
Appareils littoraux 594.
Argile-morainique 833.
— rouge 601, 604.
As, asar 864.
Ascentra 866.
Asgräben 864.
Asgropar 864.
Aufeis 647.
Aufschüttungsterrassen 446.
Aufpressungs-kuppen 863.
Aufschüttungsmoräne 846.
Ausräumung 749.
Ausweichen 801.
Ausstrudelungsseen 866.
Avalanches 662.
Avenidas 690.

Balme 338.
Bänderung 713, 736, 759, 762.
Bänderthon 832, 835.
Bancs 443.
Bandes lactées 715.
Bandstruktur 714.
Banquette 651.
Banquise 650—51.
Baoyus 466.
Barme 338.
Baume 338.
Bas-névé 764.
Bassin de reception 371.
Beach 560, 594; reised 584.
Berg-bruch-rutsch-sturz 351.
Bergschrunde 705.
Bestrennungsgebiet 845, 903.
Beset 650.
Bétoires 328.
Bewegungslinien 725.
Biasar 864.
Binneneis 671, 697.
Blaublätterstruktur 714.
Blaubänderung 741.
Blocklehm 826, 833.
Blockpackung 834, 845, 903.
Blouse 101.
Bodeneis 636.
Bodenquelle 238.
Bol 171.
Bonneville Lk. 532.
Botn, botner 666.
Boue bleâtre 599.
Boue corallienne 600; rougeâtre 600; verdâtre 599; volcanique 600.
Brae 693.
Branderde 182.
Brocken 650.
Bodeneis 636.
Bottenmoräne 834.
Boulder clay 833, 857, 873.
Boulder pavement 838.
Bouzin 638.
Bühlstadium 827.
Calanques 592.
Calas 592.
Callina 130.
Calotte glaciaire 671.
Calve 748.
Canal d'écoulement 371.
Carnaules 633.
Carso 346.
Cavernes 338.
Champlain-period 874.
Chimney rocks 566.
Christiania-period 874.
Cirrus 54.
Cliff 560.
Cluses 422.
Complexes riv. 484.
Composites riv. 484.
Compound riv. 484.
Coom 666.
Cordon littoral 574.
Cornisches de neige 662.
Corrasion 5, 364.
Corrie 666.
Cotidal lines 552.
Couche aquifére libre 223.
Couloir 661.
Crevasses 730—734.
Crossasar 864.
Cumulus 54.
Curuna da nev 662.
Cuss 662.
Cycle d'érosion, d'activité, vital 474.

Daun stadium 827.
Deckenschotter 827.
Decksand 834, 850.
Deckthon 835.
Deflation 3.
Deflectograph 914.
Degradation 365.
Dejectionskegel 431.
Denudation 1.
— pluviale 365.

Dépression centrale 826.
Depressionsee 492.
Desquamation 151.
Destruction 1.
Diastrophism 478.
Diluvialmergel 833.
Dismembered rivers 478.
Död brae 636.
Dome arrondi 774.
Doux, daux 339.
Drehungsspalten 735.
Dreikanter 71.
Drifttarea 873.
Driftleesarea 873.
Driftice 650.
Drumlins 767, 862.
Dryas 851.
Dumpmoraines 861.
Durchragung 839, 846, 847; —skuppen 863.

Earth pillars 368.
l'Eau phréatique 223.
Eaux sauvages 366.
Ebbe 550.
Ecuelles de glace 647.
Eide 590.
Eisberg 649.
Eisblink 652.
Eisboden 636.
Eisbrei 649.
Eisenerde 182.
Eisfeld 650.
Eisgasch 640, 650.
Eismulden 647.
Eispressung 650.
Eisschranke 702.
Eisstrom, baltische 836, 852.
Eiszeit 822, 827, 835, 852.
Emersion 584.
Emposieux 339, 345.
Endmoräne 766.
Endouzoires 328.
Engrafted Rivers 477.
Entgazung 331.
l'Entonnoire 434.
Epeirogenic 478.
Epoque glaciaire 822.
Erdpyramiden 368.
Erosion 364, 752, 780; schleifende, splitternde 742
Erosionsterrassen 446.
Eskers 864.
Estero 590.
Etang 100, 578.
Evorsionsseen 866.
Exaration 749.

Faccettengeschiebe 896.
Falaise 560, 585.
Felder 826.
Felsschlipfe 352.
Felsenmeere 208.
Felsstürze 352.
Firn 665, 703; gebiet, mulde 665.
Firth 590.
Fjeld 693.
Flarden 650.
Flaserung 739.
Flinz 228.
Floeberg 651.
Floes 650.
Flodis 652.
Flowage 816.
Flow-flux 550.
Flut 550.
Flux 550.
Fons 233.
Forest beds 857.
Fountain 233.
Foux 339.
Fuchserde 182.
Fuldjes 110.

Geest 578.
Geschiebe-lehm, mergel 826, 833; sand 834, 850, 854, 874; streifen 845.
Geschiebedecksand 874.
Getrygg 864.
Gezeiten 549;—kolke 571.
Giess, giessbach 431.
Glaces 650.
Glacial formationen 768.
Glacialgeologie 635; physik 821; period 822; zeit 827.
Glacierets 666.
Glacier-reservoir 665; d'écoulement 665; encaissé 666; adolescent 794; corrie 666; handing 666; plateau 671, remanié 670; recemented 670; sénile 794; suspendu 666.
Glaciostatisch 813.
Glens 590.
Gletscher-kunde 635; mühlen 743; regenerierte 670; schächte 743; tisch 745; unentwickelte 670.
Gorge-goulot 434.
Goufla 662.
Gouffres 339.
Grandkuppen 863.
Gravitationshypothese 794.
Green mud 599.
Grundeis 638.
— lawinen 662.
— moränen 761, 763, 764, 842, 866.
— Decke 767.
Grundspalten 735.
— wasser 233.
Grus 151, 167.
Gschnitzstadium 827.
Günz-Vergletscherung 827.
Givechten 662.

Haidelandschaft 844.
Hagellawinen 662.
Haken 577.
Halopegen 297.
Haselgebirge 631.
Haut néve 704.
Heller 578.
Hochgebirgsformen 831.
— landeis 672, 699, 700, 740.
— firn 704.
— seen 828.
— schnee 703.
— terrassen 827.
Hummocks 650.
Hvarfiglera 835.
Hvitäbildungen 771.

Ice age 822.
— blink 652.
— dressed rocks 774.
— cap 671.
— field 650.
— flood 652.
— foot 651.
— speet 671.
Inherited rivers 474.
Inlandeis 671, 697.
Inlets 590, 592.
Innenmoräne 754.
Intermittirende Quellen 245.
Iroquois Lake 502.
Isfot 651.

Jattes de glace 647.
Jochgletscher 666.
Jökellera 833.
Jökull 695.

Kalbung 748.
Kames 863, 874.
Kanger 864.
Kar (Kahr) 666, 669.
— gletscher 666.
— treppe 829.
Katavothres 338.
Képhalovrysis 339.
Kettle-holes 866.
— range 874.
Kies 876.
Klamm 669.
Klifthöhlen 338.
Klippenbrunnen 337.
Knik 182.
Kobar 130.
Korrelation 882.
Kraulis 182.
Krostensgrus 850;—lera 833.
Krystallisationshof 807.
Kulen 571.
Kuppen 845.
Küstengletscher 672, 700.
— sone 594.

Lahontan Lk. 532.
Laminartheorie 388
Land-Löss 137.
Längsbanderung 739, 741.
— smoräne 766.
— spalten 734.
— structur 737.

Länsasar 865.
Lawinenzug 661;—kegel 661, 663.
Leeseite 774.
Lehmmergel 170.
— thon 170.
Letten 171.
Lit de déjection 371.
Lithogenesis 364.
Lochs 590.
Lokalmoränen 777, 834, 838.
Lössmänchen 140.
— pupchen 140.

Madenkies 312.
Maërl 590.
Marais-salants 618.
Marées 549.
Murlekor 835.
Marmites de géants 393, 565.
Meander 380.
Méandres encaissés 478.
Mindel-Vergletscherung 827.
Mittelgebirgsformen 831.
Mittelmoräne 755.
Monoklinalshifting 381.
Moränen 750; — gürtel 826; ebene 842; landschaft 841.
Moraines 750.
Moulins 743.
Mud-lumps spring 463.
Mud blue, green, red 599, 600.
Mur-gänge-brüche 431.

Nahrgebiet 665.
Nants sauvages 432.
Nappes d'infiltration 225; artesiennes 907; libres-captives 907.
Neck 193.
Neige poudreuse 703.
Névé 665, 703.
Nipped 650.
Niveau de base 379.

Obermoräne 754.
Ogiven 713.
Ooze 597.
Originelles riviers 484.
Orogenic 478.
Orterde 182.
Ortstein 107.
Oules 666.
Overroling-motions 764.
— movements 819.

Packeis 650.
Pancakes 650.
Patsch 650.
Peneplain 476, 589.
Perlsand 104.
Pfuhle 498, 842, 866, 902.
Pinnmo 850.
Pits 571.
Plage 560, 572, 594; soulevée 584.
Plaicken 359.
Plateau-glaciers-gletscher 671, 672.
Plateforme littorale 560.
Plattenkalken 625.
Plink 839.
les Poches 175.
Point 577.
Polder 578.
Poniqué 338.
Pot-holes 393.
Poudrin 650.
Präglazialzeit 851, 854.
Primitives riv. 484.
Profil d'équilibre 377.
Puits 175; à mareyage 230; absorbants 274.
Pyramides de terre 368.

Quelle 233.
— erz 308.
Querasar 865.
Quer-bänderung 739.
— moräne 762.
— spalten 734.
— structur 737.

Rand-moräne 766.
— seen 479.
— spalten 730.
— structur 737.
Ravins 434.
Rauchwacke 633.
Red clay 601.
Red mude 600.
Régime lagunaire 625.
Richk 839.
Rieseleis 640.
Riesenkessel 393, 565.
Rill-marks 596.
Rimayes 705.
Rinnen 842; see 842.
Rio 590.
Ripple-marks 88, 596, 597.
Riss-Vergletscherung 827.
Roches moutonnées 774, 828, 863.
Rohbodenarten 186.
Rollawinen 663.
Rollstenslera 833.
Rotures 705.
Ruff 431.
Ruisselement 143, 366.
Rullstensasar 864; grus 850.
Rundhöcker 774.
Rundling 828.

Salzthon 619.
Sammel-becken 434; gebiet 661.
Sand 826.
— asar 864.
Sandr 696.
Sanglöcher 338.
Schären 591.
Schearing 815.
Scherm 592.
Scheuerstein 751.
Schichtquelle 239.
Schichtung 715, 739.
— staffelland 404, 417.
Schirmriffhöhlen 338.
Schlamm 602.
Schliffgrenze 828.
Schluchtgletscher 669.
Schmutzbänder 739.
Schnee-grenze-linie-region 654, 659.
— brett-lager-schilder 662.
— wehengletscher 694.
Schnürre anhydr. 620.
Schoals 577.
Scholle 650.
Schore-deposits 594, 597.
Schotter 826.
Schulter 781.
Schutt-halden, kegel 430.
— rutschungen 352.
— quelle 241.
Schweissnath 759.
See-bär 511.
— eis 640.
— löss 137.
Seiches 510.
Seitenmoräne 754.
Séracs 734.
Shoals 577.
Sinks, sink holes 339, 345.
Sinterbrücken 338.
Sluggas 339.
Snow line 654.
Sol remanié 906.
Sölle 498, 842, 866.
Souffle 790.
Sources 233; carbonatés 297; indifferents - alpestres 297; ferrugineuses 297; salines 297; sodiques 297.
Spaltquelle 240.
Spatsand 834.
Spring 233.
Sprungschichte 512.
Stau-moränen 769, 845, 861.
— seen 793, 867.
Staublawinen 662.
Stehende Wellen 510.
Stein-eis 636.
— pflaster 833; sohle 834, 845.
Stirnmoräne 766.
Stosseite 774, 836.
Strand 572.
— Fluthregion 591.
Stratification entrecroisée 103.
Stratus 54
Stream 650.
— robbers 472.
Stromstrich 388.
Structur-lamellaire 714; riboned 714; rubanée 714.
Studge 649.
Stufenthal 829.

Sturz moräne 861.
— bahn 352.
Submarginale 861.
Submersion 585.
Sunds 591.
Superimposed riv. 474.
Surface structurale 473.
Swamps 443.

Tangue 596.
Terra sigillata 161.
Terre de Bri 576.
Thalgletscher 666.
— trog 780, 829.
— weg 387.
Thon 170.
Thrust planes 741, 763, 819.
Tiden 549.
Tief firn 704.
— seeablagerungen 594.
Till 833, 857, 873.
Tobel 434.
Toross 650.
Torrents 431.
Trade-windes 37.
Traëz 596.
Transgredirende Ablagarung 588.
Transport 364.
Transversalspalten 734.
Treibeis 650.
Trous de cascade 743.
Trümmerhöhlen 338.

Uebergangskegel 826.
Uebergusstaffelländer 416.
Uebersteil Gehänge 378.
Uebertiefung 781, 829.
Ufermoräne 766.
Untergrabungshöhlen 338.
Untermoränen 754.
Unzusammendruckbarkeit 812.
Ur 182.

Wackes 650.
Wadden 571.
Wallmoränen 764.
Wanne 489.
Walkthon 171.
Wasserrunsen 434.
Wasserschlingern 338.
— speiern 338.
Wasserhimmel 652.
Water level 223.
Wildbäder 297.
Wildbäche 431.
Warren Lake 502.
Waterplain 223.
Water-ringhes 571.
Watersky 652.
Welwater 223.
Wid-gaps 481.
Würm-Vergletscherung 827.

Vallone 593.
Vauclusiennes rourc. 339.
Verkarstung 347.
Verwitterungsrinde 167.
Vordüne 101.

Zeügen 79.
Zone 665.
Zungenbecken 767, 825.
Zwechta 662.

Указатель авторовъ.

Аберкромби 32, 54.
Абихъ 57, 146, 326, 328, 329, 334, 436, 530, 664, 718, 745, 791, 868.
Абботъ 464, 467.
Агассицъ 654, 710, 715, 716, 718, 720, 723, 724, 726, 728, 738, 743, 745, 747, 750, 794, 878.
Аленицынъ 503.
Альбертъ Монакскій 537.
Альтманъ 664, 797.
Амалицкій 856, 887.
Ampferer 830.
Андрусовъ 508, 520, 537, 634.
Анучинъ 498, 512.
Араго 641.
Аристотель 233.
Армашевскій 143, 367, 402, 856.
Арцтовскій 651, 660, 674, 875.
Арреніусъ 896, 99.
Arretin 433.
Архиповъ 116.

Бабинъ Я. А. 277.
Бабинэ 385.
Базэнъ 390.
Байнъ 386.
Балло 294.
Балль 776.
Бальцеръ 394, 752, 753, 783, 863.
Барботъ де Марни 524, 632.
Bargmann 434.
Baretti 913.
Бартлеръ 150.
Бауметръ 8.
Belar 913.
Beurath 874.
Бенъ-Акиба 897.
Берендтъ 98, 101, 386, 777, 846, 851, 860, 866.
Бергштрессеръ 524.
Бергъ 503, 505.
Бертенсонъ Л. Б 290, 296.
Бертень 794.
Берцеліусъ 287, 288.
Бессельсъ 698.
Beyschlag 906.
Бишофъ 531, 619, 625.
Біанкони 798.
Blandet 895.
Blanford 872.
Blanckenhorn 876.
Блиттъ 58, 62.
Блюмкэ 716, 718, 723, 728, 745, 786, 810.
Bobendey 641.
Богдановичъ 670, 847.
Богословскій 181, 905.
Богуславскій 381, 538, 545, 650.
Водмеръ 447.
Бомопъ, Эли де 90, 572, 582, 794.
Boem v. Bömersheim 750.
Бонженъ 339, 340.

Бопланъ 146.
Бордье 797.
Бори-де-Сенъ-Венсенъ 470.
Борхгревинкъ 701.
Браннеръ 152.
Браунсъ 628.
Бремонтье 98, 101, 580.
Бріаръ 103.
Брёггеръ 823, 874.
Broeck-van-den 906, 915.
Brooks 636.
Броуновъ 50.
Брюкнеръ 58, 60, 474, 679, 708, 759, 781, 788, 822, 824, 827, 829, 876, 877, 878.
Бугеръ 546.
Буке 290.
Бунге 636.
Бунзенъ 8, 262, 289, 650.
Буссенго 9.
Бушъ 789.
Бэкананъ 536, 543, 607.
Бэръ 384, 428, 508, 524.
Бэшъ (Bèche de la) 483, 904.
Бюнсъ 34.

Вагнеръ 902, 913.
Vallot 665, 705, 709, 712, 718, 725, 759, 783, 818.
Вальтманнъ 493.
Вальтеръ 5, 77, 79, 103, 104, 179, 337, 364, 532, 625, 882, 884.
Вальтерсгаузенъ-Сарторіусъ 900.
Wanner 910.
Вантъ-Гоффъ 533, 627.
Ваншаффэ 665, 777, 779, 822, 833, 837, 838, 846, 851, 859, 860, 861, 863, 866.
Ванъ-денъ-Брёкъ 172, 175, 187, 915.
Веберъ бр. 548.
Веберъ В. 869.
Вейпрехтъ 537, 650, 653.
Велеръ 150.
Венецъ 664, 791, 878.
Венюковъ 408.
Вертъ 337.
Вессель 98.
Вибель 234.
Вильдъ 546, 718.
Вильсонъ 295.
Виноградскій 294.
Витрувій 255, 307.
Владиміровъ 640—41.
Воейковъ 18, 27, 48, 361—62, 505, 511, 539, 636, 678, 680—81, 784, 876, 878, 894, 899.
Воллосовичъ 856.
Вольдрихъ 851.
Вольтцъ 898.
Вольфъ 664.
Врангель 537.
Вреденъ 291.
Wright 772, 865, 872.
Высоцкій 503.

Гаастъ 759.
Гаасъ 296.
Гагенъ 209, 548, 573.
Гай 698.
Гайденъ 82, 260.
Гамбергъ 670, 721, 724, 743, 783, 818.
Гаммеръ 652, 718, 723, 748.
Ганнъ 18, 27, 31, 45, 47, 545.
Garwood 665, 689, 762, 764, 818, 820.
Гардэ 698.
Гауеръ 340.
Гедройцъ 632, 901.
Гееръ 664, 836, 851, 856—57, 865—66, 868, 890, 900.
Геймъ (Heim) 146, 155, 189, 352, 433, 441, 447, 499, 656, 664—65, 672, 682, 703, 709—10, 712, 716, 718—20, 722—27, 735, 737—39, 747, 762, 776, 790, 793—96, 801, 911.
Гейнитцъ 665, 822—24, 842, 851—61, 867, 900, 907.
Гелландъ 652, 718, 723, 748, 770, 776, 851.
Гельманъ 114.
Гельмгольцъ 711, 800—01, 895.
Гельмерсенъ 408.
Гельмсъ 875.
Гельцеръ 403.
Гераснмовъ 871.
Hermann 908.
Герлахъ 537.
Герсевановъ 457, 466, 506.
Герцбергъ 580.
Гессъ (Hess) 665, 702, 713, 715—16, 718, 721—24, 726—30, 737—38, 742, 758—61, 767, 788, 793, 805, 810—11, 815, 820, 829—30, 874.
Гетнеръ 874.
Гёферъ 701.
Гики (Geikie Arch.) 586, 597, 670, 824.
Гики (Geikie, J.) 665, 776, 822, 824, 838, 851, 856, 862, 874.
Гильдебрандсонъ 54.
Гитчкокъ 863.
Глинка К. 845, 846.
Глинка С. 908.
Говардъ 54.
Голицынъ 913.
Головкинскій 159, 279, 280.
Гольмъ 698.
Гольстъ 824, 841—2, 851—2, 857, 865—6, 900.
Гоно 348.
Гопкинсъ 796, 899, 900.
Gotz 869.
Гохштеттеръ 180, 260, 548, 693, 875.
Градъ 664, 718, 723, 776, 794.
Гребенау 442, 457.
Gregory 665, 762, 764, 818, 820, 875.
Грюнеръ 664, 796.
Гудбергъ 34.
Гульельми 506.
Гумбольдтъ 25, 146, 335.
Гумфри 404, 407.
Гюнтеръ 649, 664, 780, 794, 891, 893.
Гуровъ 279, 614.
Güssfeldt 874.
Гутенбергъ 345.
Гэйесъ (Hayes) 480.
Гюмбель 142, 602, 607.
Гюнтеръ 344.
Гюттонъ 875, 877.

Dall 636.
Дальтонъ 235.
Дарвинъ 131, 156, 179, 337, 576, 874.
Дарси 390.
Дартонъ 472.
Даусонъ 872, 900.
Дезоръ 500, 664, 776, 826.
Делессъ 98, 613.
Дёлль 340.
Де-Лонэ 227, 315, 330, 333.
Джильбертъ (Gilbelt) 374, 381, 386, 406, 478, 665, 838, 876.
Джонсонъ 116.
Динеръ Diener 346, 689, 872.
Динникъ 664.
Дитмаръ 607, 648.
Дмитріевъ 789.
Добрэ 296, 310—11, 565.
Дове 28, 44, 679.
Докучаевъ 143, 383, 402, 440, 445.
Дольфусъ 664, 709.
Donny 292.
Доссъ Б. 862—64.
Дригальскій 639, 650, 665, 672, 681, 697—8, 701, 710, 713, 715—6, 718, 724, 735, 739—41, 743, 745, 747—9, 759, 761—3, 768—9, 783, 795, 799, 812—5, 817—20, 857, 863, 865, 875.

Duile 433.
Дэвисъ (Davis) 471, 472, 476, 482, 491, 863.
Дэнъ (Dane) 337, 896.
Дюбуа 886, 894—97.
Дюжарденъ 274.
Дюпрэ 718, 723.
Дюпюи 270.
Дюранъ-Фардель 297.
Дюттонъ 471, 477, 479.
Дюфоръ 743.
Дюфренуа 582.

Егуновъ 294.
Елпатьевскій 503.

Жансенъ 705.
Жаринцовъ 466.
Gérard 915.
Жиффаръ 234.

Залѣсскій 884.
Зандбергеръ 312.
Зеегенъ 289, 296.
Зенкевичъ 355.
Зенфтъ 170.
Зигеръ 876.
Зикенбергеръ 73.
Зонкляръ 433, 492.
Зонне 291.
Зонштадтъ 542.
Зупанъ 28, 45, 58, 470, 489, 491, 500, 670, 891.
Зюссъ 331, 333, 502, 617, 882, 892.

Ивановъ Д. Л. 664, 905.
Игнатовъ 503.
Игнатьевъ 665.
Иностранцевъ 162, 170, 632.
Ирвинъ 616.

Іенсенъ 698, 761, 896.
Іессенъ 739.

Johnaston 875.

Калешинскій 629.
Кальбаумъ 807.
Карпинскій 489, 886—7.
Карстенъ 310.
Katzer 884.
Каульбарсъ 664.
Кеннготъ 10.
Кейльгакъ 274, 770, 846, 851, 859—60, 903.
Кейтъ-Джонсонъ 362.
Кеппенъ 31, 60, 789.
Кернъ 403.
Керръ 153.
Керсновскій 37.
Кидъ 804.
Киліанъ 830.
Кингъ 876.
Кислаковскій 292.
Киттары 343.
Клаугіусъ 711.
Клеменцъ 66, 72.
Клоке 664, 709.
Клокманъ 385.
Клоссовскій 37, 57.
Книповичъ 880, 890.
Knutzen 628.
Коацъ 661.
Кобраль 555.
Кокенъ 889, 896, 899.
Коломбъ 743.
Кольдъ 517, 581.
Conway 665, 674, 688, 875.
Коніберъ 356.
Коннель 730, 804—5.
Коноваловъ 542.
Conze 906.
Коншинъ 114, 125, 296, 326, 328—9, 334.
Kornerup 698.
Корольковъ 121.
Кохъ 433, 436.
Крамеръ 344, 640, 665, 714, 737, 814—5.
Красновъ 665, 686.
Краусъ 337, 342, 344.
Креднеръ 358, 466, 468, 491, 501, 777, 891.
Krieg 640.
Криштафовичъ 855, 862.
Кровъ 16.
Кролль 555, 799, 893.
Кропоткинъ 774, 798, 813, 864, 871.
Кротовъ 867.
Крюммель 337, 558, 570, 900.
Кунъ 537.
Курнаковъ 509.
Куровскій 708.
Кэмпбелль 480.

Лаверье 29.
Ладамъ 794.
Лангъ О. 262.

Лапласъ 550, 893.
Лапшаранъ 143, 366, 392, 416, 471, 569, 571, 589, 593, 616, 882, 892, 895.
Лартэ 499.
Lauböck 908.
Лаутенбургъ 222.
Лахтинъ 442.
Лачиновъ 41, 58.
Лебединцевъ 508, 537.
Леваковскій 401, 575, 582, 586.
Леви 9.
Ле-Контъ 892.
Леманнъ 804.
Ленденфельдъ 692, 875, 877.
Le Chatelier 716, 806, 908—9.
Либертонъ 294.
Либихъ 295.
Либноръ 545.
Ливингстонъ 152.
Lindwall 858.
Линдгренъ 482.
Липскій 210, 665, 685, 789.
Листовъ 343—4, 512, 638.
Ловаль 580.
Liversidge 542.
Лёвль 397, 422, 427.
Лопатинъ 643—6.
Logy 911.
Лэнглей 16.
Люгеръ 222.
Людвигъ 290.
Лайэлль 2, 88, 356, 405, 460, 467, 566, 642, 776, 822, 879, 899.

Майдель 648.
Макаровъ 537, 554, 572.
Маккоуэнъ 131.
Максвелль 802.
Мальчевскій 291.
Маржери 321, 381.
Маріоттъ 233—5.
Марковниковъ 529.
Марковъ Е. 491.
Мартель 338, 342, 348—9.
de Martonne 869.
Мартэнъ 729.
de Marchi 808, 897.
Медликоттъ 427, 872.
Мейеръ 874, 875.
Меллеръ В. 355.
Меррей Д. 7, 536, 597, 609, 616, 618, 895.
Merrill 908.
Мерцбахеръ 684.
Meyer 693.
Миддендорфъ 47, 636, 642, 648, 663.
Миллеръ К. 569.
Мильнъ 536, 913, 919.
Миссуна 846—8, 856.
Михайловскій 684.
Михаэлисъ 908.
Michalski (Михальскій) 626, 632, 847.
Мичъ 17.
Мозели 795.
Монсей 131.
Мойсимовичъ 345—7, 776.
Мольденгауеръ 290, 299, 301.
Мольтке 739.
Монъ 34, 52, 536.
Моръ 127.
Монтескьё 101.
Мортилье 338, 776.
Мурчисонъ 339, 776.
Муссонъ 664—5, 742.
Мушкетовъ 326, 665, 670, 789, 868—9.
Мюггэ 639, 730, 804, 817.
Мюллеръ 262.
Мюнстеръ 542.
Мюнстеръ 664.
Мэкензи 262.

Надгорстъ 502, 896, 899.
Наливкинъ 115, 121.
Нансенъ 537, 650, 681, 696—8, 728, 740, 749, 759, 763, 823, 865, 900.
Недзвѣдскій 632.
Неймайръ 348, 358 433, 548, 617, 877—8, 880—1, 885, 887—80, 890.
Нельсонъ 337.
Никитинъ С. 214, 216, 269, 276, 278, 377, 384, 400, 444, 842, 846, 848, 851, 885—6, 859—60, 862, 887, 902.
Николе 704, 709, 794.
Никольскій 505.
Новакъ 235.
Нёггератъ 309.
Норденшёльдъ 128, 506, 649, 696, 698, 700, 735, 745, 776, 874—75, 877.
Нётлингъ 886, 895—6.
Ноэ 381.
Ньютонъ 550.
Нэрсъ 651—2.

Обручевъ В. 73—4, 114, 116, 123, 871.
Odin 808.
Ойэнъ 753.
Оксеніусъ 622—628, 633
Ольдгэмъ 872, 896.
Омбаки 776.
Омори 913—4.
Оствальдъ 806.
Остроумовъ 537.
Ошанинъ 664.

Павловъ, А. П. 204, 211, 367, 402, 419, 525, 905.
Павловъ, А. В. 905.
Пайеръ 537.
Палласъ 353.
Паллисси 233.
Парамель 222.
Partsch 869.
Паскье 790, 825—6.
Пенкъ 338, 358, 365, 378, 429, 452, 474, 491, 498, 656, 665, 672, 759, 769, 776, 777, 781, 822, 824—5, 827—32, 838, 851, 858, 869, 877—78, 896.
Песталоцци 392.
Петерсонъ 650.
Петтенкоферъ 232.
Пешель 362, 491.
Philippi 896.
Пири 698, 700.

Плиній 233, 255, 465.
Погенполь 789, 792.
Подъякоповъ 647—8.
Poynting 806.
Полибій 465.
Поморцевъ 20, 21, 36.
Поуэлль 427, 472, 478.
Пошепный 532.
Православлевъ 525, 526.
Пржевальскій 116.
Пулье 16.
Пуртале 546, 599.
Пфаффъ 730, 798.
Пфейфферъ 622.
Пятницкій 869.

Рабо 789—90.
Раманнъ 902.
Рамзай 482, 586, 665, 776, 856.
Рандю 664, 718, 797.
Раске 289.
Ратцель 490, 578, 591, 656.
Рауменсонъ 465.
Раунеръ 105, 438.
Reiss 690.
Рейеръ 331, 347.
Реклю 89, 100, 362, 543, 569, 577.
Rekstad 724.
Ренаръ 597, 609, 616.
Renevier 911.
Ретгерсъ 105.
Ржихъ 348.
Ryder 698.
Ридъ (Reid H. F.) 665, 691, 718, 736—8, 744, 748, 753, 769, 772—3, 820, 865, 900.
Ринкъ 749.
Риттеръ К. 361.
Рихтгофенъ 3, 180, 364, 371, 374, 404, 416, 451, 474, 482, 491, 509, 585, 592, 597, 611, 702, 776.
Рихтеръ 512, 656, 664, 666, 669, 672, 179, 683, 693, 694, 708, 718, 737—8, 780.
Роде 893.
Розенбергъ 43.
Розетти 512.
Романовскій 277.
Россиковъ 506, 789.
Ротъ 541.
Рёссель 548, 636, 665, 691, 772, 876.
Рыкачевъ 642.
Рютимейеръ 421, 428, 490, 776.

Савельевъ 16.
Сакко 776.
Саломонъ 780.
Сапожниковъ 665, 686, 789.
Сапорта 890.
Сарразенъ 546.
Сарсъ 536.
Свердрупъ 682.
Севе 718, 743, 759.
Sederholm 665, 849, 856, 862.
Секки 546, 895.
Семеновъ 664.
Семперъ 337, 899.
Сенека 233.
Cezanne 433.
Sexe 782.
Сибирцевъ 183, 187.
Сиверсъ 874.
Симони 433, 511, 759.
Симоновичъ 328.
Синцовъ 356.
Скоттъ 35.
Скропъ 1.
Соболевъ 116.
Сойка 8.
Соколовъ Н. А., 91, 487, 506, 520, 574, 579, 854, 877.
Сорби 123.
Sorge 907.
Соссюръ 146, 664, 718, 796.
Спенсеръ И. 406, 493.
Статковскій 439, 664, 791.
Стебницкій 664.
Стенструпъ 636, 652, 709, 718, 740, 747—8, 783, 857.
Стефановичъ 385.
Стефенсонъ 34, 549.
Стокуэлль 29.
Страбонъ 307, 567, 581.
Streifler 433.
Stübel 690.
Сѣверцовъ 665.
Сюррель 371, 433, 440.
Сэксби 6.
Сэльсбёри 665, 759, 764, 820, 858, 861, 866, 873.

Талькетъ 464.
Таммanъ 711, 805—7.
Тарамелли 776, 911.
Таргонскій 57.
Терляндэй 344.
Тилло 401.
Тиме И. 391.
Тиндаль 664, 718, 723—4, 729, 738, 776, 800—1, 806, 878.
Тиссандье 127.
Титце 345, 427.
Толмачевъ 636, 870—1.
Толль 636—7, 849, 865—6, 871.
Томсонъ 388, 536, 711—2, 799, 800, 806, 895.
Томсъ 295.
Тёрнебомъ 502.
Thoroddsen 695.
Торрель 770—1, 824, 836.
Тоттенъ 150.
Траутшольдъ 858.
Треска 801, 803, 813.
Trouton 639.
Туле 67, 650.
Туля 433.
Тутковскій 144, 146, 822, 856, 873.
Тэйлоръ 467.
Тэрръ 860, 863.

Uhlig, C. 693.
Уоллесъ 878.
Upham 851, 865, 874.
Усилio 619.
Уэвелль 551.

Фавръ 439, 776, 791.
Fairchild 863.
Фарадэй 711, 800.
Федоровъ 340, 867.
Федченко 524, 527, 665, 685, 789.
Фекалъ 8.
Феррель 28, 34, 48 9, 58.
Filippo de Filippi 692.
Финстервальдеръ 665, 718, 737, 745, 756, 758, 762, 770, 785, 786, 788, 792, 808, 810, 812, 815, 820.
Фишеръ 62.
Фогель 57.
Фольгеръ 234.
Фоль 546.
Фонтэ 386.
Форбсъ 27, 664, 718, 723, 729, 738, 783, 797.
Форгаммеръ 542.
Форель 439, 511, 533, 546, 664, 710, 715, 743, 759, 783—7, 790, 794—5.
Форесъ 263.
Форшей 456.
Фраасъ 62.
Франсуа 322.
Фрей 811.
Фрезеніусъ 289—92.
Фрехъ 98, 433, 437, 839, 882—6, 891—2, 895.
Freschfield 689.
Фридель 160.
Фрицъ 789.
Фробель 664.
Фуггеръ 344.
Фуксъ 291, 546.
Фукэ 331.

Hägbom 778.
Хагенбахъ 711—3, 715, 804—5.
Hamberg 718.
Harriman 691.
Hartman 654.
Хатисовъ 664.
Hauthal (Гауталь) 690—93, 861.
Хеліусъ 208.
Хогъ (Haug) 617, 891.
Хоменъ 640.
Хюги 664, 708—10, 715, 718—9, 794.

Zallinger 433.
Zeiller 890.
Ціонглинскій 640.
Циркель 10.
Циттель 73, 110, 759.
Цёпприцъ 557.

Чарномскій 908.
Чвижикъ 346, 869.
Чези 390.
Чермакъ 331.
Чернышевъ 487, 701, 789, 851, 856, 867, 886.
Чернявскій 586.
Черскій 341, 637, 871.
Черульфъ 424, 779.
Чихачевъ 306.
Чэмберленъ 665, 712, 715—7, 739, 759, 762—3, 795, 815, 818—20, 851, 860, 862—3, 866, 872—4, 897.

Schaler 863.
Schardt 911—2.
Шарпантье 794, 878.
Швальбе 343.
Шведовъ 58.
Швейнфуртъ 77, 85.
Шейхцеръ 664, 718, 794.
Шенкъ 884, 888.
Шепелевъ 664.
Шлагинтвейтъ 703, 709, 10, 718, 726, 743, 745—6.
Шмидтъ 338, 913.
Шмикъ 894.
Шоттъ 541.
Шпарре 348.
Шпиндлеръ 537, 541, 651, 653.
Шпиталеръ 27, 28.
Шпрингъ 803, 804, 807.
Шрадеръ 321, 684.
Шредеръ 845—6, 860.
Штапфъ 746, 910.
Штрандмаркъ 865.
Штудеръ 776.
Штюбель 334.
Шульцъ 505, 827, 8.
Шустеръ 670.

Щукинъ Н. 789.
Щуровскій 342.

Eberlin 698.
Эверестъ 456.
Ewing 913.
Эверсманъ 122.
Эйтельвейнъ 810.
Эйхвальдъ 642.
Экгольмъ 894, 899.
Элліотъ 875.
Эмденъ 804—5.
Энгстрёмъ 897.
Эренбергъ 128, 131, 132, 463.
Exner 908.
Эшеръ ф. деръ-Линтъ 709, 878.

Ядринцевъ 505.
Янишевскій 867.
Ячевскій 640, 641, 647.

Ѳеофилактовъ 354.
Ѳоминъ 290, 292, 295.

ЗАМѢЧЕННЫЯ ОПЕЧАТКИ.

Стр.	*Строка.*	*Напечатано.*	*Слѣдуетъ.*
5	18 сн.	Corrosion	Corrasion
52	16 сн.	Мёнъ	Монъ
140	10 св.	буравчиками	журавчиками
247	3 сн.	фиг. 161.	фиг. 162.
253	6 сн.	Катерэ	Котерэ
264	4 св.	[46])	[51])
264	7 сн.	[51])	[52])
264	6 сн.	Поротовицахъ	Порошовицахъ
267	22 сн.	сбросовъ,	сбросовъ [54]),
269	17 сн.	насосами,	насосами [56])
270	11 св.	Дюшои	Дюпюи
271	18 сн.	Парижѣ,	Парижѣ [57]),
279	19 сн.	Головкинскій	Головкинскій [83])
331	12 св.	729°. С.	72,9° С,
439	12 сн.	Вандаемъ-чю	Вандамъ-чаю
463	23, 24, 25 сн.	mund-lumps	mud-lumps
517	15 сн.	Кара-бугазомъ [32])	Кара-бугазомъ [33])
536	3 сн.	Talismaur	Talisman
586	12 сн.	Geiki	Geikie
599	17 сн. и 6 св.	mude	mud
600	4 св.	mude	mud
660	2 сн.	Арктовскій	Арцтовскій
674	2 сн.	Арктовскій	Арцтовскій
714	14 сн.	Полосчатости	Полосчатость и
773	13 сн.	Оза	Озъ
874	19 св.	Champlain-Periode	Champlain-Period
—	21 св.	Chistiania period	Christiania period
879	24 св.	палеографіей	палеогеографіей
883	21 сн.	Calceola sandelina	Calceola sandalina
886	20 св.	глосоптеріевой	глоссоптеріевой