Э. ОГЪ.
ПРОФЕССОРЪ ПАРИЖСКАГО УНИВЕРСИТЕТА.

ГЕОЛОГІЯ.

ПЕРЕВОДЪ СЪ ФРАНЦУЗСКАГО

ПОДЪ РЕДАКЦІЕЙ

проф. А. П. ПАВЛОВА.

ТОМЪ I.

(Геологическія явленія).

МОСКВА.
Типо-литографія В. Рихтеръ, Мамоновскій пер., соб. домъ.
1914.



S. Haug.

Предисловіе профессора Э. Ога къ русскому изданію.

Ce n'est pas sans un sentiment de légitime fierté que je trace ces quelques lignes destinées à servir de préface à l'édition russe de mon *Traité de Géologie,* publieé sous la direction de M. le Professeur A. P. Pavlow. Que la première traduction de ce livre soit faite en russe ceci n'est pas fait pour me déplaire, et je vois dans cette circonstance une nouvelle preuve des liens indissolubles qui unissent les deux nations amies et alliées.

On entend souvent dire que la science ne connait pas de frontières et c'est à peine si certains concèdent que les savants ont une patrie. Si la science n'était faite que d'efforts individuels, une pareille conception serait peut-être défendable; mais à une époque où, comme à la notre, le travail scientifique est fait de la coopération de toutes les forces intellectuelles, des écoles s'organisent dans chaque pays et affectent, par leurs méthodes, par leurs tendances, un caractère national. Souvent une école se dresse contre l'autre, des controverses éclatent, les idées s'entrechoquent et, comme dans les batailles, la victoire n'appartient pas toujours au nombre.

En géologie, l'Ecole Francaise et l'Ecole Russe ne doivent pas entrer en lutte, leur devoir est de marcher unies. Mais ce n'est que par une connaissance intime des ressources de l'allié que l'effort commun est possible. Aussi est-ce avec une joie intense que j'ai accueilli, dans les premiers jours de 1912, l'offre flatteuse de M. le Professeur A. P. Pavlow de publier une traduction russe de mon Traité. J'ai été profondement touché de l'honneur qui m'était fait. N'était-ce pas, pour l'Ecole Francaise, une nouvelle victoire?

E. Haug.

Paris,
le 15 février 1913.

Курсъ Геологіи профессора Э. Ога, еще недавно появившійся, уже пріобрѣлъ выдающееся значеніе въ геологической литературѣ, т. к. онъ является не только отличнымъ пособіемъ для ознакомленія съ основами науки, но и представляетъ большой интересъ для спеціалистовъ, давая оригинальное освѣщеніе нѣкоторымъ изъ труднѣйшихъ проблемъ геологіи.

Благодаря принятому авторомъ плану изложенія и включенію въ него множества фактовъ изъ области физической географіи и біогеографіи, книга Ога представляетъ интересъ не только для лицъ интересующихся геологіей, но также и для географовъ и біологовъ.

Списки литературныхъ источниковъ, сопровождающіе каждую главу, даютъ читателю, заинтересовавшемуся тѣмъ или другимъ вопросомъ, возможность легко отыскать тѣ сочиненія, въ которыхъ этотъ вопросъ излагается подробнѣе.

Русскій переводъ сочиненія сдѣланъ возможно близко къ подлиннику безъ пропусковъ и дополненій, только списки литературы пополнены указаніемъ нѣкоторыхъ русскихъ сочиненій, не вошедшихъ въ списки приводимые Огомъ.

Рисунки въ текстѣ воспроизведены съ клише полученныхъ отъ издателей книги изъ Парижа, поэтому нѣкоторые изъ нихъ, преимущественно карты и профиля, имѣютъ французскія названія, что впрочемъ не мѣшаетъ пользоваться рисунками, т. к. наиболѣе существенныя надписи воспроизведены на русскомъ языкѣ въ объясненіяхъ рисунковъ.

Картинки на отдѣльныхъ таблицахъ были заказаны въ Парижѣ и не отличаются отъ тѣхъ, которыя украшаютъ французское изданіе.

Ред.

Введеніе.

Подъ именемъ геологіи мы разумѣемъ науку о землѣ.

Изученіе нашей планеты можетъ быть предпринято съ самыхъ различныхъ точекъ зрѣнія и поэтому немного найдется наукъ, которыя имѣли бы такое обширное содержаніе; вотъ почему прежде всего является необходимымъ выяснить ту точку зрѣнія, съ которой мы приступимъ къ настоящей работѣ.

Изученіе земли съ цѣлью ея *описанія* можетъ заключаться въ *разсмотрѣніи* элементовъ, которые входятъ въ составъ земной коры. Это будетъ физическое и химическое изслѣдованіе простыхъ и сложныхъ тѣлъ встрѣчающихся въ природѣ, извѣстныхъ подъ именемъ минераловъ. При этомъ изученіе минераловъ, какъ таковыхъ, составляетъ предметъ минералогіи, а изученіемъ сочетанія минераловъ, образующихъ горныя породы, занимается петрографія или литологія.

Съ другой стороны наука о землѣ можетъ изучать самое расположеніе различныхъ составныхъ элементовъ, смотря потому, являются ли они въ видѣ правильно лежащихъ слоевъ или въ формѣ потоковъ, или сплошными массами.

Эта наука, изучающая строеніе земной коры, называется архитектоникой или тектоникой.

Въ третьихъ, наконецъ, изученіе земли можетъ заключаться въ выясненіи очертанія морей и суши, формы поверхности, направленія водныхъ потоковъ. Такое изученіе составляетъ задачу географіи, и сравнительно еще недавно этимъ перечнемъ исчерпывалось все содержаніе физической географіи.

Далѣе можно приступить къ изученію земли съ точки зрѣнія *динамической*, имѣя въ виду тѣ силы, которыя дѣйствуютъ на нашу планету, и тѣ явленія, которыя имѣютъ мѣсто на земной поверхности. Эту область разсматриваетъ физика земного шара или геофизика, — наука, которая получила также названіе земной динамики или геодинамики и въ болѣе уз-

комъ смыслѣ, какъ это будетъ видно изъ дальнѣйшаго, динамической геологіи. Эта отрасль знанія относится къ описательной геологіи такъ же, какъ физіологія къ прежней описательной зоологіи.

Къ геологіи можно подойти также и съ точки зрѣнія экономической. Въ такомъ случаѣ, предметомъ изученія будутъ составъ и условія залеганія полезныхъ человѣку минеральныхъ веществъ: рудъ, ископаемыхъ углей, строительныхъ матеріаловъ и т. д. Этотъ отдѣлъ въ настоящее время носитъ названіе прикладной геологіи. Въ постепенномъ же развитіи наукъ послѣдняя предшествовала чистой геологіи, которая возникла лишь въ концѣ XVIII в. и выросла изъ практическихъ наблюденій лицъ, работавшихъ въ рудникахъ Саксоніи и Великобританіи.

Гораздо позднѣе геологія вступила на путь историческаго изученія, поставивъ себѣ цѣлью начертать *исторію послѣдовательныхъ измѣненій земного шара въ его развитіи*. Историческая геологія обычно почти отождествляется съ другой наукой стратиграфіей въ силу слѣдующихъ причинъ.

Земная кора состоитъ, главнымъ образомъ, изъ *слоевъ [strata]*, налегающихъ другъ на друга, разграниченныхъ параллельными плоскостями. Легко убѣдиться, что эти слои отложились въ горизонтальномъ направленіи въ водныхъ бассейнахъ и, очевидно, что нижніе слои являются болѣе древними, а верхніе болѣе поздними. Такъ, напримѣръ, въ окрестностяхъ Парижа особенно въ каменоломняхъ Исси, можно видѣть, какъ слои *грубаго известняка* лежатъ на *пластичной глинѣ*. Конечно, грубый известнякъ является болѣе позднимъ наслоеніемъ, чѣмъ пластичная глина; но въ свою очередь онъ является болѣе древнимъ, чѣмъ пески, извѣстные подъ названіемъ *Бошанскихъ песковъ*, которые его покрываютъ во многихъ мѣстахъ. Уже само по себѣ, изученіе послѣдовательности слоевъ даетъ намъ основу для хронологіи. Но кромѣ этого мы имѣемъ еще возможность выяснить условія образованія каждаго изъ этихъ указанныхъ послѣдовательныхъ наслоеній и мы можемъ сказать съ увѣренностью, что эти условія для каждаго опредѣленнаго мѣста были неодинаковы въ различныя времена.

Въ самомъ дѣлѣ, слои, изъ которыхъ главнымъ образомъ сложена земная кора, состоятъ не только изъ минераловъ, т.-е. неорганическихъ веществъ, но въ нихъ мы встрѣчаемъ также и такія вещества, органическое происхожденіе которыхъ не подлежитъ сомнѣнію. Такъ, среди глинистыхъ и кремнистыхъ

слоевъ встрѣчаются прослойки угля, при чемъ съ помощью микроскопа мы можемъ распознать въ немъ остатки растительныхъ тканей; а на поверхности слоевъ нерѣдко встрѣчаются отпечатки листьевъ и стеблей. Въ другихъ слояхъ мы находимъ раковины, чрезвычайно близкія современнымъ морскимъ моллюскамъ; напримѣръ, въ вышеупомянутыхъ Бошанскихъ пескахъ мы иногда встрѣчаемъ раковины брюхоногихъ моллюскъ съ полосками, сохранившими первоначальную окраску. Въ грубомъ известнякѣ также содержатся морскія раковины, но здѣсь онѣ большею частью сохранились гораздо хуже, а въ каменоломняхъ Иссн въ массѣ известняка мы находимъ лишь внутреннія ядра (слѣпки) или внѣшніе отпечатки раковинъ. Слѣдовательно, грубый известнякъ и Бошанскіе пески являются осадками отложившимися на днѣ морей. То же самое можно сказать и о большей части слоевъ, которые образуютъ основу континентовъ. Отсюда можно сдѣлать тотъ выводъ, что распространеніе морей и суши въ древнія эпохи было иное, чѣмъ въ настоящее время. Такое толкованіе дано было еще въ концѣ XV в. Леонардо-да-Винчи, который первый сталъ разсматривать „окаменѣлости“ не какъ „игру природы“, а какъ раковины животныхъ, оставленныхъ моремъ еще въ тѣ времена, когда оно простиралось за предѣлы своихъ современныхъ границъ.

Нѣкоторые слои образовались въ озерахъ и въ руслахъ рѣкъ и содержатъ въ себѣ раковины прѣсноводныхъ моллюскъ. Есть еще слои, какъ напримѣръ, слои лежащіе въ основаніи пластичной глины, въ которыхъ находятъ кости пресмыкающихся, птицъ и млекопитающихъ, обитавшихъ на сушѣ.

При этомъ обнаруживается, что всѣ эти „ископаемыя (это слово теперь замѣняетъ ранѣе употреблявшееся слово „окаменѣлости“) оказываются тѣмъ менѣе похожими на современныхъ животныхъ, чѣмъ глубже лежитъ тотъ слой въ которомъ они находятся. Эти различные организмы смѣняются не безъ опредѣленнаго порядка, но напротивъ, послѣдовательность флоры и фауны въ общемъ является постоянной для различныхъ областей земного шара, нерѣдко значительно удаленныхъ одна отъ другой. Такимъ образомъ, по ископаемымъ можно охарактеризовать слои, опредѣлить ихъ возрастъ и установить ихъ хронологію. Ископаемыя являются для геолога тѣмъ же, чѣмъ медали и монеты для историка.

Долгое время научныя изслѣдованія ограничивались описаніемъ послѣдовательности наслоеній въ данной области, указа-

ніемъ ихъ литологическихъ признаковъ и ископаемыхъ, которыя въ нихъ встрѣчаются, и стратиграфія представляла только простой перечень слоевъ, а палеонтологія, имѣющая задачей изученіе вымершихъ организмовъ, ограничивалась только описаніемъ „медалей Творенія“. Но мало-по-малу задачи стратиграфической геологіи дѣлались болѣе возвышенными, она стала стремиться къ тому чтобы *возстановить физическое состояніе земного шара въ различные періоды его исторіи*; въ то же самое время и палеонтологія, подъ живительнымъ вліяніемъ эволюціоннаго ученія, стала стремиться къ изученію *развитія живыхъ существъ въ различные геологическіе періоды*. Но въ то время какъ палеонтологи изучаютъ отдѣльныя вѣтви животнаго и растительнаго царствъ, геологи задаются цѣлью *представить измѣненія, которыя претерпѣвала въ послѣдовательныя эпохи вся фауна и флора* и они пытаются опредѣлить *условія существованія живыхъ существъ* для каждой эпохи, для каждой области.

Эту сложную задачу и должна разрѣшить историческая геологія (1—9); для выполненія ея она опирается на нѣсколько вспомогательныхъ наукъ на петрографію, на палеонтологію и особенно на динамическую геологію. Петрографія и палеонтологія излагаются въ спеціальныхъ курсахъ (10—30, 14—17), однако, и въ сочиненіи о геологическихъ періодахъ необходимо помѣстить вначалѣ нѣсколько главъ, посвященныхъ изученію законовъ, управляющихъ безпрерывными измѣненіями земной поверхности.

Что касается динамической геологіи, то она изучаетъ геологическія явленія. Въ сущности она представляетъ лишь отдѣлъ земной динамики или физики земли, науки изучающей силы дѣйствующія на каждую изъ составныхъ частей нашей планеты.

Въ настоящее время различаютъ четыре сферическія оболочки, окружающія концентрически центральную часть земного шара: первая—внѣшняя газообразная оболочка, *атмосфера*, вторая—несплошная жидкая оболочка, *гидросфера*, третья—твердая оболочка извѣстная подъ именемъ земной коры или *литосферы*, четвертый болѣе глубокій слой, состоитъ изъ каменныхъ породъ съ состояніи огненнаго плавленія это—*пиросфера*; существованіе пиросферы намъ доказываютъ вулканическія изверженія. Предполагаютъ, что пиросфера незамѣтно переходитъ въ центральное чрезвычайно плотное ядро земли, называемое иногда *баригферой*.

Явленія, происходящія въ атмосферѣ, изслѣдуетъ метеорологія, тѣ же явленія, которыя совершаются въ гидросферѣ изучаются океанографіей и гидрографіей.

Динамическая геологія или геодинамика изучаетъ литосферу и ея отношенія къ другимъ земнымъ оболочкамъ. Можно еще изучать геологическія явленія, которыя оказываютъ вліяніе на литосферу, измѣняя такъ или иначе ея внѣшній видъ или внутреннее строеніе. Дѣйствія атмосферы и гидросферы на литосферу изучаетъ внѣшняя геодинамика, а изученіе движеній литосферы и отношеніе литосферы къ пиросферѣ составляетъ предметъ внутренней геодинамики.

Содержаніе внѣшней геодинамики совпадаетъ съ содержаніемъ одного изъ отдѣловъ физической географіи (18—21), которому американскіе географы дали названіе геоморфогеніи. Но въ то время какъ географъ нѣсколько односторонне изучаетъ современныя формы земной поверхности, геологъ прежде всего стремится прослѣдить ту постепенную смѣну явленій, которая привела къ современнымъ формамъ и часто слишкомъ мало обращаетъ вниманія на морфологическіе признаки. Надо, впрочемъ, замѣтить, что обѣ эти науки въ настоящее время стремятся къ сліянію, такъ какъ изученіе физической географіи все болѣе и болѣе принимаетъ геологическое направленіе, а геологія, благодаря энергичному вліянію Зюсса (22), стала обращать вниманіе на изученіе отдѣльныхъ областей.

Въ настоящей работѣ историческая точка зрѣнія будетъ преобладающей, поэтому въ первой части нашего труда посвященной изученію геологическихъ явленій, мы не будемъ пріурочивать наше изученіе къ опредѣленнымъ мѣстностямъ, но будемъ изучать ихъ въ хронологической послѣдовательности.

Также какъ исторія человѣчества, исторія земли естественно раздѣляется на періоды, которые являются фазами этой исторіи. Каждому изъ этихъ періодовъ, соотвѣтствуетъ извѣстный комплексъ явленій совершающихся обыкновенно въ опредѣленномъ порядкѣ и какъ бы слагающихся въ циклъ. Мы и начнемъ съ того, что изложимъ въ общихъ чертахъ этотъ циклъ геологическихъ явленій.

1.—A. de Lapparent. Traité de Géologie. 5e édit., 3 vol. in-8°, 2015 p. 833 fig., Paris, 1906.

2.—Herm. Credner. Elemente der Geologie. 8te Aufl., 1 vol. 797 p., 107 fig., Leipzig, 1897.

3.—Neumayr. Erdgeschichte. 2te Aufl., neubearbeitet von V. Uhlig. 2 vol in-8°, 693 + 706 p., 378 + 495 fig., 20 + 18 pl. Leipzig u. Wien, 1895.

4.—Em. Kayser. Lehrbuch der Geologie. 2te Aufl. 2 vol., 725 + 626 p., 483 + 134 fig., 82 pl. Stuttgart, 1902-1905.

5.—Charles Lyell. Principles of Geology : being an inquiry how far the former changes of the Earth's surface are referable to causes now in operation. 4 vol. in-12, xviii+406+463+455+456 p., 15 pl., 164 fig. 4th edit. London, 1835.

6.—Sir Archibald Geikie. Text-book of Geology. 4th edit., 2 vol. in 8°. xvii + ix + 1472 p., 508 fig. London, 1903.

7.—C. F. Parona. Trattato di Geologia, con speciale rigardo alla Geologia d'Italia. 1 vol. in-8°, xv + 731 p., 406 fig., 18 pl., 2 cartes. Milano, 1901-1903.

8.—James D. Dana. Manual of Geology, 4th edit. 1 vol. in-8°, 1088 p., 1570 fig., 2 cartes. New-York, 1895.

9.—Th. C. Chamberlin and R. D. Salisbury. Geology. 3 vol in 8°, xix + xxvi + xi + 654 + 692 + 624 p., 471 + 576 gif., 24 pl. New-York, 1904 1906.

10.—Ferd. Zirkel, Lehrbuch der Petrographie. 2te Aufl. 3 vol. in-8°, 845 + 941 + p. 833. Leipzig, 1893-94.

11.—H. Rosenbusch. Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine. 2 vol. in-8° (en cours). Stuttgart, 1904-1907.

12.—Id. Elemente der Gesteinslehre. 1 vol. in-8°, 543 p., 96 fig. Stuttgart. 1898,

13.—F. Rinne. Étude pratique des roches. Traduit et adapté par L. Pervinbuière. avec une préface de A. Lacroix. 1 vol. in-32, 674 p., 257 fig Paris, 1905.

14.—Alcide d'Orbigny. Cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphiques. 2 vol. in-18, 299 + 848 p., 628 fig., 17 tabl. Paris, 1849-1852.

15. Karl A. Zittel. Traité de Paléontologie, Trad. Ch. Barrois. 5 vol. in-8°, viii + 764 + 897 + 894 + 806 + 949 p.; 563 + 1109 + 719 + 590 + 432 fig. Paris, Munich et Leipzic, 1883-1894.

16.—Félix Bernard. Éléments de Paléontologie. 1 vol. in-8°, 1168 p., 606 fig. Paris, 1895.

17.—G. Steinmann. Einführung in die Paläontologie. 1 vol. in-8°, 466 p, 818 fig. Leipztg, 1903.

18.—F. von Richthofen. Führer fürForschungsreisende. Anleitung zu Beobachtungen üder Gegenstände der physischen Geographie und Geologie. 1 vol. in-8°, 745 p., 110 fig. Berlin, 1886.

19.—Albrecht Penck. Morphologie der Erdoberfläche. 2 vol. in-8°, xiv + 471 + 696 p., 38 + 29 fig. Stuttgart, 1894.

20.—A. Supan. Grundzüge der physischen Erdkunde. 2te Aufl. 1 vol. in 8°, 706 p., 203 fig., 20 cartes. Leipzig, 1896.

21.—A. de Lapparent. Leçons de Géographie physique. 3e édit., 1 vol. in-8° 728 p., 203 fig., 1 pl. Paris, 1907.

22.—Ed. Suess. La Face de la Terre. Trad. E. de Margerie. 3 vol. in-8°, xv + 835 + 878 + 530 p., 122 + 128 + 194 fig., 2 + 2 + 3 cartes en couleurs. Paris, 1897-1920 (en cours).

23.—L. De Launay. La Science géologique. 1 vol. in-8°, 751 p., 53 fig. 5 pl. Paris, 1905.

Изъ числа указанныхъ здѣсь сочиненій на русскомъ языкѣ имѣются:

3.—М. Неймайръ. Исторія земли. Перев. со 2-го изд. подъ ред. проф. А. А. Иностранцева. С.-Петербургъ, 1898.

5.—Чарльзъ Ляйэлль. Основныя начала геологіи. Перев. Андрей Минъ. Москва, 1866.

17.—Г. Штейнманнъ. Введеніе въ палеонтологію. Пер. проф. Яншевскаго и П. Казанскаго. Томскъ, 1909.

20.—Ал. Зупанъ. Основы физической географіи. Перев. подъ ред. проф. Д. Н. Анучина. (Готовится новое изданіе).

Нѣкоторыя изъ указанныхъ иностранныхъ книгъ могутъ быть замѣнены русскими:

П. В. Мушкетовъ. Физическая геологія т. I и II. 2 изд. С.-Петербургъ, 1899—1905.

А. А. Иностранцевъ. Геологія т. I и II. 4 изд. 1905 г.

В. И. Лучицкій. Курсъ петрографіи. С.-Петербургъ-Кіевъ, 1910.

П. И. Броуновъ. Курсъ физической географіи. С.-Петербургъ, 1910.

І. Лагузенъ. Краткій курсъ палеонтологіи. С.-Петербургъ, 1895.

А. Борисякъ. Курсъ палеонтологіи. Москва, 1905.

Н. Н. Яковлевъ. Учебникъ палеонтологіи. С.-Петербургъ, 1910.

ПЕРВАЯ ЧАСТЬ.

ГЕОЛОГИЧЕСКІЯ ЯВЛЕНІЯ.

ГЛАВА I.

Циклъ геологическихъ явленій.

Примѣры геологическихъ явленій. Литогенезисъ. Орогенезисъ. Глиптогенезисъ. Послѣдовательность цикловъ.

Нѣкоторыя геологическія явленія всегда поражали воображеніе народовъ или по крайней мѣрѣ не ускользали отъ глазъ наблюдателя. Таковы вулканическія изверженія, землетрясенія, переносъ ила рѣками, движеніе дюнъ и т. д. Но многія изъ этихъ явленій сосредоточены въ опредѣленныхъ областяхъ, какъ бы привилегированныхъ въ этомъ отношеніи. Наоборотъ, въ другихъ мѣстностяхъ—въ районахъ земледѣльческой культуры, въ сосѣдствѣ большихъ городовъ, расположенныхъ внутри страны, вдали отъ морскихъ береговъ, подверженныхъ ударамъ волнъ, вдали отъ горныхъ хребтовъ съ ихъ ледниками, вдали отъ вулкановъ—геологическія явленія не останавливаютъ на себѣ вниманія населенія.

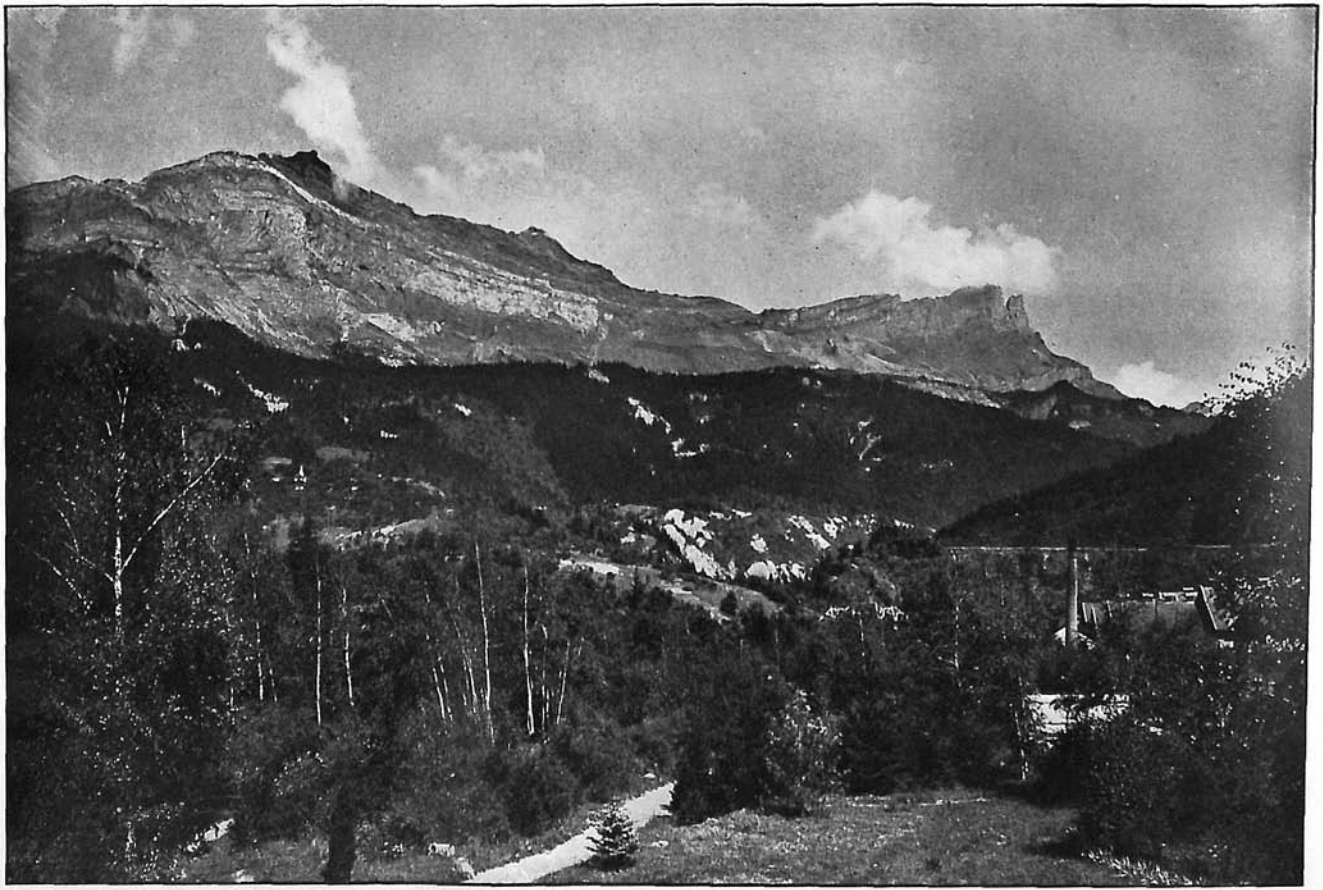
Совсѣмъ другое дѣло, если мы перенесемся на высокія горы, напримѣръ, въ нѣкоторыя области Альпъ; тамъ мы невольно поддаемся грандіозному впечатлѣнію, которое на насъ производятъ самыя величественныя проявленія силъ природы. Повсюду мы видимъ слѣды геологическихъ явленій и непосредственно можемъ уловить ихъ результаты.

Почти на всѣхъ склонахъ мы замѣчаемъ громадныя осыпи каменныхъ обломковъ, которыя постоянно пополняются новыми паденіями камней; въ другихъ мѣстахъ мы видимъ огромныя скопленія отдѣльныхъ каменныхъ глыбъ, часто достигающихъ гигантскихъ размѣровъ. Причина этого явленія заключается въ томъ, что отъ крутыхъ склоновъ долины внезапно оторвались значительныя каменныя массы, даже цѣлыя горы и въ нѣсколько минутъ скрыли подъ покровомъ своихъ обломковъ обширныя пространства съ ихъ растительностью и даже съ домами жителей; такъ было, напримѣръ, при обвалахъ у Сервоза, въ Савойѣ (1751) (табл. I) въ Гольдау (1806) и въ Эльмѣ (1881) въ Швейцаріи.

Видимое геологическое дѣйствіе этихъ катастрофъ состоитъ въ перенесеніи матеріала изъ высокихъ горныхъ областей на склоны и на дно долинъ. Въ только что приведенномъ случаѣ обвалившіяся части скалъ были перемѣщены просто лишь дѣйствіемъ тяжести. Само собою очевидно, что эта работа переноса выразится результатами еще болѣе значительными, если въ ней примутъ участіе многочисленные потоки, струящіеся по склонамъ горъ и низвергающіеся водопадами во время сильнаго дождя или обильнаго снѣга. Эти явленія бываютъ особенно величественны, въ тѣхъ бассейнахъ, въ которые стекаютъ горные потоки, и гдѣ можно наблюдать могучую атаку горъ бушующими водами. Мы можемъ также видѣть, какъ послѣ грозовыхъ дождей шумный потокъ несетъ обломочный матеріалъ по выносящему каналу горныхъ потоковъ, и, наконецъ, мы видимъ, какъ этотъ матеріалъ располагается на склонѣ долины образуя обширный вѣерообразный конусъ выноса. Ледники тоже переносятъ, но очень медленно, каменныя глыбы, отдѣлившіяся отъ окружающихъ горныхъ высотъ; они ихъ несутъ впередъ и сгружаютъ у своего нижняго конца, образуя такъ называемыя конечныя морены. Во всѣхъ этихъ трехъ явленіяхъ, которыя мы въ общихъ чертахъ описали—въ горныхъ обвалахъ, въ работѣ горныхъ потоковъ и ледниковъ—конечный результатъ будетъ одинъ и тотъ же, а именно это будетъ *переносъ* въ равнины обломочнаго матеріала изъ высокихъ горныхъ областей и его *отложеніе* въ видѣ осадковъ.

Далѣе, вода, протекающая по долинѣ, уноситъ внизъ каменные обломки, нанесенныя сюда обвалами, потоками и ледниками; она несетъ ихъ перекатывая и округляя въ прилегающую къ горамъ равнину, оставляя по дорогѣ лишь слишкомъ объемистые и захватывая съ береговъ потока новый минеральный матеріалъ. Если мы прослѣдимъ движеніе этого потока по равнинѣ, то мы увидимъ, какъ лѣниво онъ здѣсь течетъ, описывая излучины и отлагая здѣсь значительныя массы наносовъ или аллювія, во время сильныхъ разливовъ. Въ то же время потокъ несетъ во взвѣшенномъ состояніи очень тонкій илъ, который образуется при перетираніи не особенно крѣпкихъ каменныхъ породъ, и этотъ илъ отлагается въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ быстрота теченія становится слабѣе.

При впаденіи въ море потокъ, обратившійся въ рѣку, тотчасъ же отлагаетъ гальки и песокъ, которые принесъ своимъ теченіемъ, и образуетъ *дельту*. Въ тѣхъ же случаяхъ когда



Негат. Павла Корбенъ.

Гребень Физъ и перевалъ Дерошуаръ,
видъ отъ завода Шедде (Верхняя Савойя).

берега круты и бываютъ морскіе приливы и отливы, устье рѣки принимаетъ форму эстуарія, при чемъ часть ила, который рѣка несла взвѣшеннымъ, быстро отлагается впереди эстуарія, а остальная его часть уносится на значительное разстояніе отъ устья и медленно осаждается на морское дно.

Такимъ образомъ, низовье и устье рѣки является мѣстомъ, гдѣ происходитъ обильное *отложеніе осадковъ*.

Если же мы перенесемся въ какую нибудь пустыню, мы увидимъ, что и тамъ три геологическія явленія — разрушеніе, переносъ и отложеніе осадковъ—совершаются въ большомъ масштабѣ. Здѣсь, въ пустыняхъ, гдѣ холодъ ночи смѣняется солнечнымъ зноемъ, камни подвергаются чрезвычайно рѣзкимъ колебаніямъ температуры, чѣмъ и объясняется ихъ растрескиваніе.

Послѣ того какъ произошло отслоеніе или десквамація верхняго слоя камня, самыя плотныя породы, какъ известнякъ, базальтъ, кремень, распадаются на угловатые обломки, а песчаники и гранитъ превращаются въ песокъ. Вѣтеръ тотчасъ же завладѣваетъ результатами этого распада; песокъ приводится имъ въ движеніе и начинаетъ свою работу полировки и вытачиванія (коррозія); онъ превращаетъ отдѣльно лежащіе камни въ ограненные валуны и вытачиваетъ глубокія борозды въ бокахъ утесовъ. Въ это же время, вѣтеръ совершаетъ другую работу— работу переноса; онъ гонитъ впередъ кучи песка, подобныя приморскимъ дюнамъ, а это явленіе необходимо приводитъ къ образованію отложеній, которыя можно назвать „эоловыми“.

Перенесемся теперь на крутой морской берегъ. При приливѣ волны съ силою обрушиваются на скалы и подтачиваютъ ихъ основанія; лишенные опоры снизу скалистые выступы обваливаются слой за слоемъ, и берегъ медленно отступаетъ, а немного ниже уровня отлива образуется береговая платформа. Волны овладѣваютъ обвалившимися глыбами, бросаютъ ихъ о берегъ, какъ картечь, и мало-по-малу превращаютъ ихъ, смотря по ихъ природѣ, то въ округленныя гальки, то въ песокъ, то въ илъ. Морскія теченія несутъ вмѣстѣ гальки и пески вдоль берега и отлагаютъ ихъ въ видѣ галечныхъ валовъ или песчаныхъ отмелей въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ это допускаетъ рельефъ морского дна. Что же касается ила, то онъ остается нѣкоторое время взвѣшеннымъ въ морской водѣ, а затѣмъ отлагается или въ открытомъ морѣ, или въ какой нибудь защищенной бухтѣ, часто при этомъ смѣшиваясь съ иломъ который прино-

сятъ рѣки. Такимъ образомъ, мы и на морскомъ берегу наблюдаемъ явленія разрушенія, переноса и отложенія.

Наконецъ, обратимся къ разсказамъ прежнихъ мореплавателей, путешествовавшихъ по морямъ Океаніи, къ трудамъ современныхъ изслѣдователей, какъ Дарвинъ, Ж. Дэна, Агассицъ, изучавшихъ береговую полосу Флориды или сѣверо-восточный берегъ Австраліи, или острова Полинезіи. Мы узнаемъ, что берега этихъ странъ окаймлены коралловыми рифами, которые иногда образуютъ барьеръ на нѣкоторомъ разстояніи отъ берега. Эти рифы воздвигнуты мадрепорами (и другими кораллами), которые образуютъ колоніи полиповъ, выдѣляющихъ углекислую известь. Во время бурь волны разбиваются объ эти рифы, отрываютъ наиболѣе выдающіяся ихъ части, растираютъ ихъ и превращаютъ въ коралловый песокъ, а наиболѣе мелкія частицы остаются нѣкоторое время взвѣшенными въ водѣ, подобно илу минеральнаго происхожденія онѣ окрашиваютъ море около рифовъ въ бѣлый цвѣтъ, такъ что прежде давали поводъ говорить о коралловомъ молокѣ. Опускаясь на дно моря, эти частицы отлагаютъ впереди коралловыхъ рифовъ чрезвычайно тонкій и однородный осадокъ известковаго ила. Здѣсь мы имѣемъ примѣръ наслоенія, элементы котораго являются результатомъ жизнедѣятельности организмовъ.

Литогенезисъ (происхожденіе горныхъ породъ). Совершается ли осадочный процессъ въ морѣ въ связи съ жизнедѣятельностью организмовъ или онъ является результатомъ дѣйствія волнъ на прибрежныя скалы, или матеріалъ приносится рѣками и ледниками, доходящими до самаго моря, или доставляется вулканическими изверженіями, или космической пылью, или, наконецъ, онъ вызывается химическимъ осадкомъ солей, растворенныхъ въ морской водѣ—во всѣхъ этихъ случаяхъ онъ завершается образованіемъ на днѣ моря отложенія или осадка. Точно также и осадочный процессъ, совершающійся на континентахъ, каково бы ни было первоначальное происхожденіе участвующихъ въ немъ веществъ, проявляется въ образованіи осадковъ, которые покрываютъ равнины, загромождаютъ русла водныхъ потоковъ, облегаютъ склоны горъ или устилаютъ дно озеръ.

Морскіе осадочные слои не всѣ доступны непосредственному наблюденію, а лишь тѣ, которые образуются на морскомъ побережьѣ ниже уровня отлива. Съ отложеніями же открытаго моря мы можемъ познакомиться лишь при изслѣдованіи дна драгировкой, и только въ послѣдніе 40 лѣтъ экспедиціи, организованныя правительствами всѣхъ цивилизованныхъ странъ и въ

особенности экспедиція Челленджера (1873—1874 гг.) познакомила насъ, по крайней мѣрѣ въ общихъ чертахъ, съ характеромъ и распредѣленіемъ осадковъ, находящихся на днѣ океановъ. Такимъ образомъ, удалось констатировать существованіе полосы илистыхъ осадковъ, которая окаймляетъ всѣ континенты не всегда на одинаковомъ разстояніи отъ берега, и обнаружилось большое сходство этихъ осадковъ съ глинами и мергелями, породами наиболѣе распространенными на поверхности земли.

Известковый илъ и коралловыя брекчіи, окружающія рифы, также очень сходны съ нѣкоторыми видами мѣла и рыхлыми известковыми породами. Геологи давно пришли къ тому выводу, что песчаники ничто иное какъ сцементированные пески, а конгломераты—скопленія цементированной гальки. Въ морскомъ происхожденіи большинства этихъ горныхъ породъ можно убѣдиться изъ ихъ сходства съ отложеніями современныхъ морей; и, дѣйствительно, нахожденіе въ осадочныхъ породахъ *морскихъ ископаемыхъ*, каковы: раковины моллюскъ, скелеты рыбъ, панцыри морскихъ ежей и т. п., дѣлаетъ для насъ это происхожденіе несомнѣннымъ. Конечно, существуютъ глины, песчаники и известняки озернаго происхожденія и конгломераты рѣчного, но ихъ значеніе совершенно ничтожно, сравнительно съ морскими отложеніями, и можно сказать съ увѣренностью, что большая часть минеральныхъ толщъ, образующихъ основу континентовъ, состоитъ изъ осадочныхъ породъ морского происхожденія.

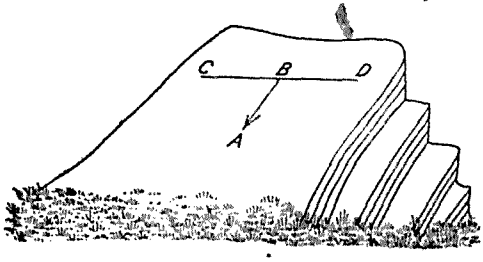
Если осадочныя породы и не вполнѣ тождественны съ современными водными осадками и если эти породы отличаются главнымъ образомъ большею твердостью, это обусловливается тѣмъ, что онѣ послѣ ихъ отложенія претерпѣли сильныя физическія и химическія измѣненія подъ дѣйствіемъ сильныхъ давленій, которымъ онѣ подвергались или же вслѣдствіе того, что въ нихъ проникали горячія воды, богатыя минерализующими веществами. Такимъ образомъ, известняки были превращены въ въ мраморы, а глины въ глинистые или въ кристаллическіе сланцы. Подобныя измѣненія породъ носятъ названіе *метаморфизма*. Метаморфическія породы занимаютъ на земной поверхности пространство приблизительно равное пространству, занимаемому неизмѣненными осадочными породами.

Измѣненныя или неизмѣненыя горныя породы морского происхожденія встрѣчаются не только въ равнинахъ, которыя могли быть подняты надъ водой слабыми колебаніями земной коры, но также, и въ высокихъ горныхъ цѣпяхъ, гдѣ остатки

морскихъ животныхъ находятъ на высотѣ нѣсколькихъ тысячъ метровъ надъ уровнемъ моря. Напр., въ гребнѣ горъ Діаблереть въ Альпахъ кантона Во, были найдены раковины морскихъ моллюскъ и нуммулитовъ на высотѣ отъ 3200 до 3300 метровъ. Очевидно, что осадочныя породы, образовавшіяся на днѣ моря были потомъ подняты на весьма значительную высоту движеніями земной коры и образовали горные массивы.

Теперь мы перейдемъ къ явленіямъ совершенно иного характера.

Орогенезисъ (горообразованіе). Время, въ теченіе котораго отлагаются слои на днѣ моря, можно разсматривать какъ періодъ во время котораго подготовляются матеріалы для будущихъ горныхъ цѣпей. Ему было дано названіе фазы *литогенезиса*, въ отличіе отъ послѣдующей фазы *орогенезиса*, въ теченіе которой образуется рельефъ земной коры.



Фиг. 1.—Наклоненные или падающіе слои. AB, линія наибольшаго наклона, указывающая *паденіе* слоевъ; CD, простираніе слоевъ.

Для того, чтобы понять природу тѣхъ явленій, благодаря которымъ слои были подняты на высоту горныхъ хребтовъ, необходимо познакомиться съ нѣкоторыми особенностями осадковъ отложившихся въ спокойной водѣ. Легко убѣдиться въ томъ, что они расположены горизонтальными слоями, отдѣленными другъ отъ друга параллельными между собою *плоскостями наслоенія*. Такія отложенія называются слоистыми. Слоистость особенно бросается въ глаза, когда характеръ осадковъ измѣняется въ вертикальномъ направленіи и въ особенности когда эти измѣненія рѣзки, когда, напримѣръ, извѣстковый слой лежитъ непосредственно на глинистомъ [1]). Каждый разъ, когда слои обнаруживаютъ извѣтный наклонъ и когда нельзя объяснить этотъ наклонъ тѣмъ, что они отложены воднымъ потокомъ,—мы необходимо должны притти къ заключенію, что эти слои уже послѣ ихъ образованія были приподняты какимъ либо механическимъ дѣйствіемъ [2]).

[1]) Толщина слоя, конечно, измѣряется по перпендикуляру къ плоскости наслоенія.

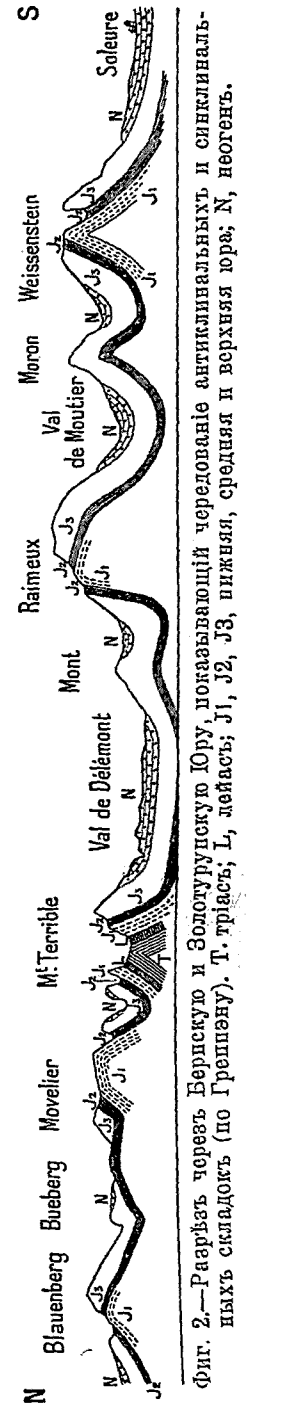
[2]) Установленіемъ понятія о первоначальной горизонтальности осадковъ мы обязаны Стенону, который въ 1669 г. приписывалъ измѣненія въ наклонѣ слоевъ „подземному огню

Часто наклонъ слоевъ [1]) бываетъ очень значителенъ (фиг. 1), они могутъ принимать вертикальное положеніе и даже переходитъ черезъ него. Въ послѣднихъ случаяхъ слои называются опрокинутыми. Есть обширныя пространства земной поверхности, гдѣ слои сильно изогнуты или смяты въ складки, при чемъ вогнутыя складки называются синклинальными, а выпуклыя антиклинальными.

Цѣпь Юрскихъ горъ даетъ намъ классическій примѣръ складчатой области (фиг. 2); такъ какъ здѣсь во многихъ мѣстахъ поверхность слоевъ совпадаетъ съ земной поверхностью, то синклинальныя складки соотвѣтствуютъ продольнымъ долинамъ, какъ напримѣръ, долина Траверъ, а антиклинали обозначаются параллельными сводообразными гребнями.

До сихъ поръ еще никогда не удавалось непосредственно наблюдать такія движенія почвы, результатомъ которыхъ было бы поднятіе слоевъ или ихъ сгибаніе въ складки; мы видимъ передъ собой извѣстный механическій результатъ, но мы не можемъ непосредственно наблюдать, какъ онъ создается. Поэтому, чтобы объяснить механизмъ сгибанія слоевъ въ складки, необходимо было прибѣгнуть къ экспериментальному методу. Этимъ путемъ удалось получить антикликальныя и синкликальныя складки изъ пластическихъ веществъ расположенныхъ параллельными слоями, подвергая ихъ боковому давленію. Это привело къ тому, что складчатыя горныя цѣпи стали разсматриваться какъ результатъ бокового давленія.

Но вернемся къ тому что даютъ наблюденія. Въ областяхъ складчатаго строенія мы рѣдко можемъ видѣть, чтобы слои вездѣ сохранили



Фиг. 2.—Разрѣзъ черезъ Бернскую и Солотурунскую Юру, показывающій чередованіе антиклинальныхъ и синклинальныхъ складокъ (по Грепшану). T, триасъ; L, лейасъ; J1, J2, J3, нижняя, средняя и верхняя юра; N, неогенъ.

[1]) *Наклонъ* или *паденіе слоя*—это уголъ, который линія наибольшаго наклона слоя (фиг. 1, AB) образуетъ съ горизонтальной плоскостью; эта линія наибольшаго *наклона* сама перпендикулярна къ линіи *простиранія* слоя (фиг. 1, CD).

свою непрерывность, наоборотъ, тамъ часто встрѣчаются трещины и разрывы, происшедшія отъ недостаточной пластичности слоевъ; или иногда подъ вліяніемъ силы тяжести происходитъ осѣданіе сводовъ по вертикальнымъ трещинамъ; эти явленія называются сбросами.

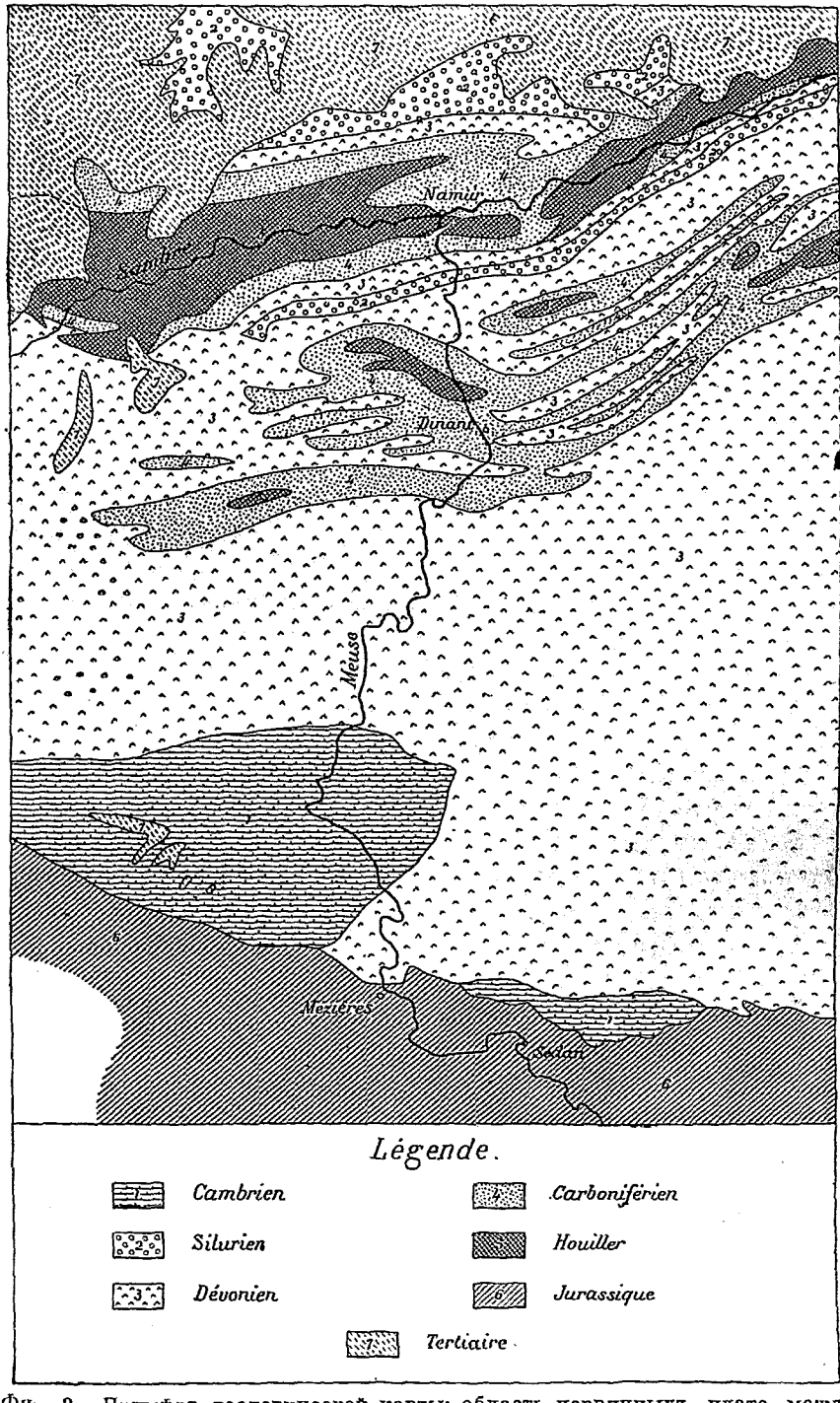
Сѣти трещинъ образуютъ пояса наименьшаго сопротивленія, и именно вдоль большихъ прямолинейныхъ сбросовъ или по краямъ круговыхъ трещинъ, и бываютъ очень часто расположены мѣста выходовъ жидкихъ веществъ изъ внутреннихъ областей земли, т. е. *вулканы*. Въ то же время области трещинъ являются мѣстомъ колебаній почвы, которыя происходятъ черезъ неопредѣленные промежутки и извѣстны подъ именемъ *землетрясеній*.

Вулканическія явленія, которыя заключаются въ выдѣленіи газообразныхъ веществъ, выбрасываніи твердыхъ матеріаловъ и въ изліяніи расплавленныхъ каменныхъ массъ въ видѣ потоковъ лавы, представляютъ послѣднюю стадію въ серіи явленій, изъ которыхъ слагается фаза орогенезиса.

Глиптогенезисъ. Какъ только подъ дѣйствіемъ внутреннихъ динамическихъ причинъ на поверхности континента образуется рельефъ, онъ тотчасъ же подвергается дѣйствію внѣшнихъ динамическихъ агентовъ въ частности вліянію атмосферы. Колебанія температуры разрушаютъ горныя породы; воды содержащія угольную кислоту, растворяютъ ихъ; вода стекающая съ горъ уноситъ продукты разрушенія и растворенныя вещества; потоки и рѣки глубоко прорѣзываютъ склоны горъ; и всѣ эти силы, дѣйствуя сообща, совершенно измѣняютъ видъ рельефа и придаютъ земной поверхности иную форму. Здѣсь начинается уже новая фаза въ послѣдовательности геологическихъ явленій—фаза *глиптогенеза* (9). Такимъ образомъ, мы пришли къ нашей исходной точкѣ—мы снова сталкиваемся съ дѣйствіемъ тѣхъ же силъ, которыя въ началѣ цикла заготовляли матеріалы для образованія осадковъ. Циклъ такимъ образомъ замыкается.

Въ умѣренныхъ поясахъ форма рельефа является результатомъ совмѣстнаго дѣйствія атмосферныхъ агентовъ и текучихъ водъ.

Водные потоки, какъ это мы увидимъ дальше, стремятся урегулировать свое русло, углубляя его отъ верховьевъ къ устьямъ и все болѣе и болѣе подтачивая склоны горъ. Если два водныхъ потока работаютъ такимъ образомъ въ противоположныхъ направленіяхъ на двухъ склонахъ, раздѣленныхъ гребнемъ,



Фиг. 3.—Примѣръ геологической карты: область первичныхъ плато между Намюромъ и Мезьеръ, по Геологической картѣ Франціи масшт. 1: 1.000.000. (Рисунокъ заимствованъ изъ O Barré, L'Architecture du sol de la France.). На картѣ обозначены системы: 1 кембрійская, 2 силурская, 3 девонская, 4 каменноугольная, 5 угленосная, 6 юрская, 7, третичная.

ихъ верховья скоро придутъ въ соприкосновеніе, линія водораздѣла будетъ постепенно понижаться, образуется ущелье, позже останется только порогъ, и обѣ долины соединятся.

Сложная сѣть потоковъ и рѣкъ расчленяетъ, наконецъ, весь горный массивъ на группу отдѣльныхъ холмовъ, раздѣленныхъ между собой плоскими долинами.

Уцѣлѣвшіе холмы, свидѣтели прежняго рельефа, называемые поэтому просто свидѣтелями, будутъ въ свою очередь подвергаться разрушительному дѣйствію стекающихъ съ горъ водъ и потоковъ: ихъ масса будетъ безпрерывно уменьшаться, благодаря тому, что отдѣлившіяся части ихъ будутъ уносится въ долины. Рельефъ будетъ все сглаживаться и область постепенно сдѣлается почти ровной и превратится въ *пенеплень*, какъ говорятъ американскіе ученые [1]). Здѣсь конечный пунктъ геологической работы текучихъ водъ.

Въ пустыняхъ ихъ работу выполняютъ пески, гонимые вѣтромъ. Явленія коррозіи такъ же, какъ и явленія эрозіи приводятъ къ одному и тому же, т. е. къ разрушенію рельефа.

Наоборотъ, въ полярныхъ странахъ и на высокихъ горахъ, ледники хотя и углубляютъ мѣстами дно долинъ, но въ то же время и защищаютъ отъ дѣйствія текучихъ водъ то пространство, которое они покрываютъ.

Благодаря дѣйствію многочисленныхъ агентовъ денудаціи, обнажаются глубоколежащіе слои и этимъ путемъ обнажаются пояса породъ различнаго геологическаго возраста, что часто придаетъ геологическимъ картамъ крайне пестрый видъ. (фиг. 3).

Послѣдовательность цикловъ. Предположимъ теперь, что такая предѣльная равнина подвергается опусканію, что она заливается моремъ и что, употребляя принятое выраженіе, она становится театромъ морской трансгрессіи; такимъ образомъ на днѣ предѣльной равнины, ставшей моремъ, опять происходитъ отложеніе осадковъ, начинается новая фаза литогенезиса, и новый циклъ смѣнитъ предыдущій.

Геологическая исторія нашей планеты есть ничто иное, какъ исторія слѣдующихъ другъ за другомъ цикловъ. Каждый большой циклъ соотвѣтствуетъ крупному подраздѣленію въ серіи геологическихъ эпохъ.

---

[1]) Или въ предѣлную равнину, какъ намъ кажется всего удобнѣе передать этотъ терминъ по-русски.

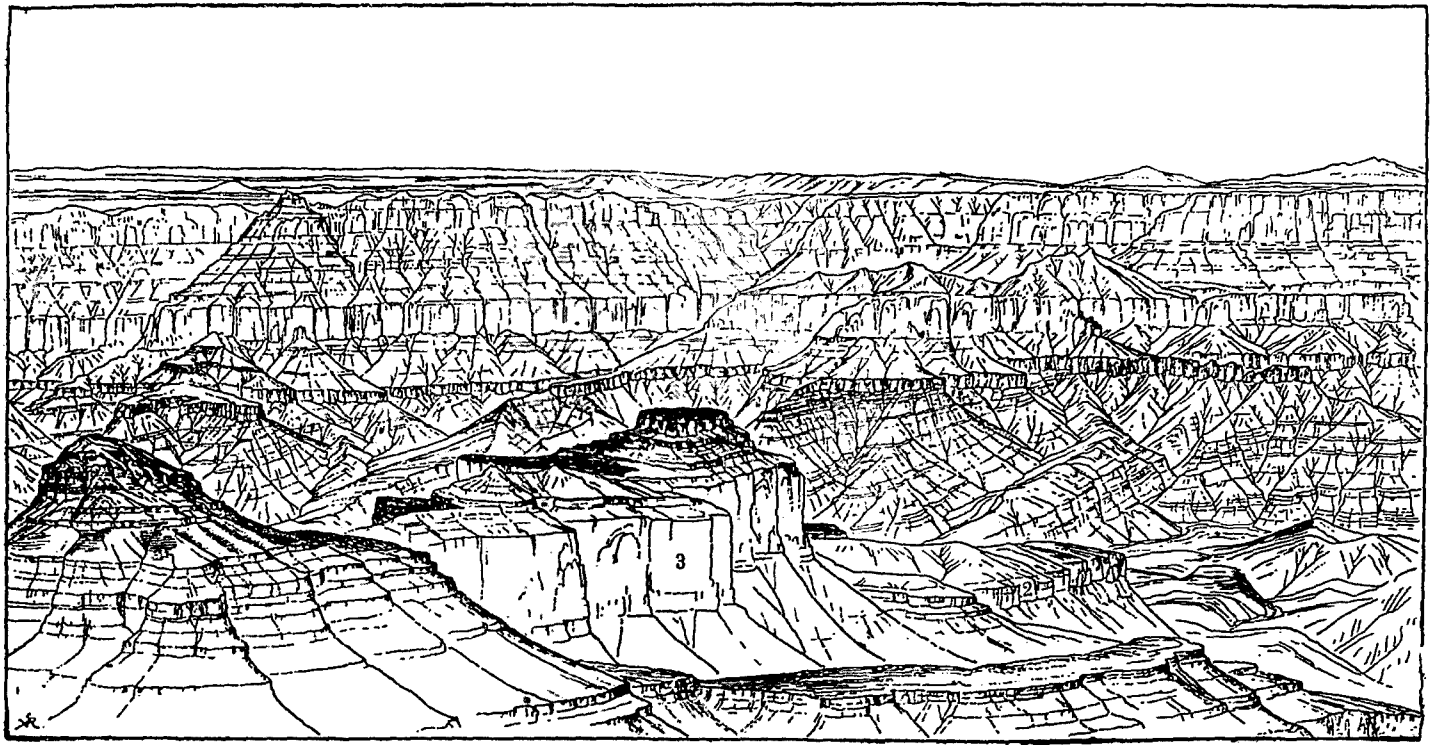
Примѣч. ред.

Такъ, *первичная* эра была отмѣчена въ большей части Европы энергичнымъ образованіемъ осадковъ, за которымъ послѣдовали сильныя горообразовательныя движенія и затѣмъ періодъ денудаціи. Въ началѣ *вторичной* эры, море залило области уже принявшія складчатое строеніе, и громадныя толщи осадковъ отложились *несогласно* на первичныя породы (табл. II, I). Время между вторичной и *третичной* эрами ознаменовалось временнымъ поднятіемъ тѣхъ же областей. Такимъ образомъ, три главнѣйшихъ цикла послѣдовательно прошли въ Европѣ, начиная со времени когда отложились первые слои, содержащіе опредѣлимыя ископаемыя, кромѣ того теперь установлено, что нѣсколько цикловъ такой же продолжительности предшествовали первичной эрѣ (табл. II, 2). Нѣтъ никакого основанія утверждать, что самый древній изъ извѣстныхъ намъ цикловъ является дѣйствительно первымъ, какъ съ другой стороны ничто намъ не даетъ права предполагать, что современный циклъ является послѣднимъ въ исторіи Земли.

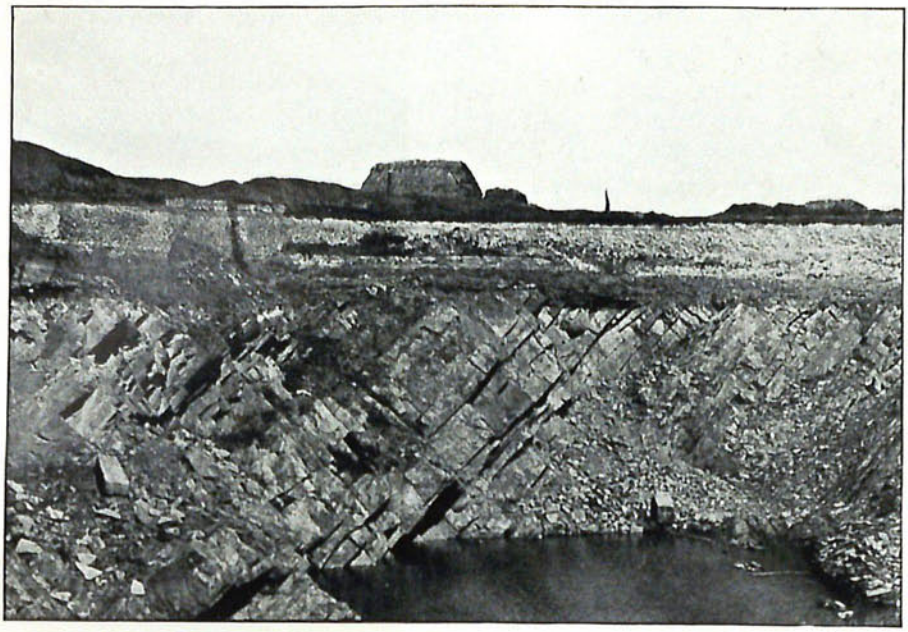
Это ученіе о безпрерывномъ возобновленіи, о „вѣчномъ возвращеніи“ (Ницше), которое кажется такимъ новымъ, было высказано еще въ концѣ 18 вѣка шотландскимъ геологомъ Джемсомъ Геттономъ, авторомъ „Теоріи Земли“, появившейся въ 1799 году. (2)

Но попытка обобщенія сдѣланная Геттономъ была преждевременна, поэтому его выводы не были приняты ближайшими поколѣніями, которыя были болѣе склонны къ аналитическому мышленію. Доводя до крайности раздѣленіе геологическихъ слоевъ, ученые стратиграфы XIX вѣка очень часто упускали изъ вида генетическія условія. Но когда подъ вліяніемъ теоріи Дарвина и его послѣдователей, теорія разрушеній и послѣдовательныхъ твореній уступила мѣсто эволюціоннымъ идеямъ, ученіе о циклѣ возродилось, опираясь на этотъ разъ уже на данныя палеонтологіи, которыхъ не было въ распоряженіи Геттона.

Прежде господствовало мнѣніе, что каждому большому геологическому періоду соотвѣтствовалъ извѣстный комплексъ фаунъ и флоръ, отличавшихся болѣе или менѣе полно отъ фаунъ и флоръ и предшествовавшаго и послѣдующаго періодовъ. Ученые вмѣстѣ съ Кювье (5) думали, что происходившія въ концѣ каждаго періода на Земномъ Шарѣ катастрофы уничтожали всякую жизнь. Появленіе новыхъ организмовъ въ началѣ послѣдующаго періода приписывалось повторнымъ творческимъ актамъ. Въ настоящее время, особенно послѣ блестящихъ тру-



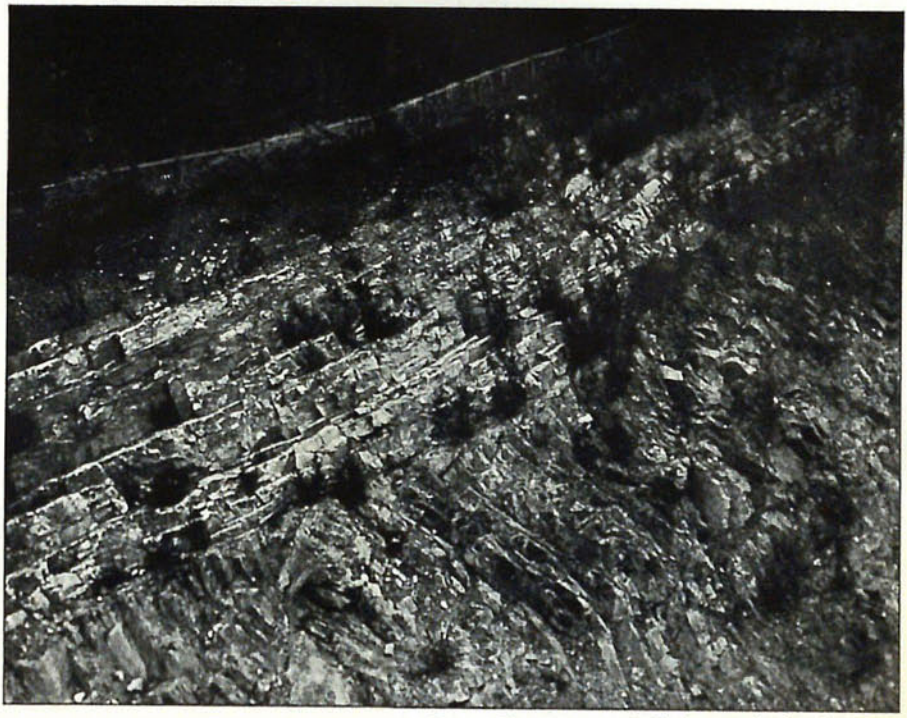
Фиг. 4.—Несогласное напластованіе палезойныхъ отложеній на болѣе древнихъ формаціяхъ. Большой Каньонъ Колорадо по В. Х. Холмсу изъ соч. Деттона (Рисунокъ взятъ изъ книги Зюсса, Ликъ Земли. т. II).
Видъ снятъ съ Капъ Финаль на Ю. В. углу плато Кайбабъ по направленію на В. Слѣва мѣсто сліянія съ Малой Колорадо; на горизонтѣ (справа) вулканическія горы Центральной Аризоны. Системы: 1, альгонкская; 2, кембрійская; 3, нижне-каменноугольная; 4, верхне-каменноугольная.



Негат. А. Биго.

Несогласное напластованіе горизонтальныхъ слоевъ средней юры на поднятыхъ песчаникахъ Мей ордовицкаго возраста.

Мей (Кальвадосъ).



Негат. Геологической Лабораторіи Сорбонны.

Несогласное напластованіе арморикскихъ песчаниковъ (ордовицкихъ) на филлитахъ Сенъ-Ло (альгонкскихъ).

Мортенъ (Маншъ).

довъ Неймайра, (6) появленіе новыхъ организмовъ относятъ на счетъ иммиграціи новыхъ *криптогенныхъ* типовъ т. е. возникшихъ въ моряхъ, отложенія которыхъ недоступны нашему изслѣдованію.

Каждая большая морская трансгрессія, намѣчающая начало новаго цикла, совпадаетъ съ появленіемъ криптогенныхъ типовъ съ обновленіемъ морской фауны, и такимъ образомъ, дѣленіе геологическаго времени на періоды все болѣе и болѣе теряетъ свой мѣстный и произвольный характеръ и пріобрѣтаетъ истинное философское значеніе. (9).

Приводимая здѣсь таблица даетъ въ общихъ чертахъ дѣленіе геологическаго времени на эры, періоды, эпохи и проч. Правила же номенклатуры будутъ даны въ одной изъ слѣдующихъ главъ.

Общая таблица геологическихъ періодовъ.

Эра четвертичная.	Періодъ современный. Періодъ ледниковый (плейстоценъ 1).
Эра третичная или кенозойная.	Періодъ средиземноморскій или неогенъ (міоценъ и піоценъ). Періодъ нуммулитовый или палеогенъ (эогенъ; эоценъ и олигоценъ).
Эра вторичная или мезозойная.	Періодъ мѣловой. Періодъ юрскій: подпериодъ оолитовый. подпериодъ лейасовый. Періодъ тріасовый (тріасъ).
Эра первичная или палеозойная.	Періодъ пермскій (діасъ). Періодъ каменноугольный. Періодъ девонскій. Періодъ силурскій: подпериодъ готландскій. подпериодъ ордовицкій. Періодъ кембрійскій.
Эра агнотозойная.	Періодъ альгонкскій (докембрійскій). Періодъ архейскій (лаврентьевскій и онтаріевскій).

---

1) Названія въ скобкахъ указываютъ главные синонимы. Совокупность отложеній, соотвѣтствующая періоду, составляетъ *систему*. Системы и подсистемы подраздѣляются на *серіи*, обозначаемыя приставками ЭО, МЕЗО и НЕО (эодевонская, мезодевонская, неодевонская), которыя въ свою очередь раздѣляются на *ярусы*.

1. Steno. De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus. 1 vol. in-4⁰, Florentiæ, 1669.

2. James Hutton. Theory of the Earth with proofs and illustrations. In-8⁰. Vol I, II, 620 + 567 p., 6 pl. Edinburgh, 1795. Vol. III, XXIX + 278 p., 10 fig. London, 1899.

3. J. B. Lamarck. Hydrogéologie ou Recherches sur l'influence qu'ont les eaux sur la surface du globe terrestre; sur les causes de l'existence du bassin des mers, de son déplacement et de son transport successif sur les différents points de la surface du globe; enfin sur les changements que les corps vivants exercent sur la nature et l'état de cette surface. 1 vol. in-8⁰, 268 p., Paris, an X.

4. Playfair. Explication de — sur la théorie de la Terre par Hutton. Trad. de l'anglais par C. A. Basset. 1 vol. in-8⁰, 424 p., 2 pl. Paris, 1815.

5. G. Guvier. Discours sur les révolutions de la surface du Globe et sur les changements qu'elles ont produits dans le régne animal, 3e édit., 1 vol. in-8⁰, 400 p., 6 pl. Paris, 1825.

6. M. Neumayr. Ueber unvermittelt auftretende Cephalopodentypen im. Jura Mittel-Europa's. *Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanst.*, XXVIII, p. 37-80, 1878.

7. J. S. Newberry. Circles of Deposition in American Sedimentary Rocks, *Proc. Amer. Assoc. for the Advancement of Science*, XXII, 2, p. 185-196. Salem, 1874

S. W. M. Davis. The Geographical Cycle. *The Geograph. Journ.*, XIV. p. 481-504, 3 fig. 1899.

9. Ê. Haug. Le cycle des phénomènes géologiques. *La Science au XXe siècle*, 1re année, p. 343-349, 5 fig., 1903, 2e année, p. 17-19, 1904.

ГЛАВА II.

Общая морфологія земли.

Современное распредѣленіе морей и суши.—Распредѣленіе большихъ глубинъ и большихъ возвышенностей.

Обычно въ началѣ учебниковъ геологіи помѣщаются общія свѣдѣнія о землѣ, заимствованныя изъ астрономіи и геодезіи; свѣдѣнія о земной орбитѣ, объ наклонѣ ея оси къ эклиптикѣ, объ измѣненіяхъ эксцентриситета, о предваренiи равноденствій, о сжатіи земного сфероида, плотности земного шара, объ измѣненіяхъ силы тяжести и пр. Такъ какъ всѣ эти данныя изложены въ прекрасныхъ классическихъ сочиненіяхъ, то можно будетъ ссылаться на нихъ, когда знакомство съ ними будетъ необходимо для объясненія какого-либо геологическаго явленія. Кромѣ того, ихъ обсужденіе можетъ быть полезно лишь въ качествѣ заключенія къ подробному изученію геологическихъ періодовъ, когда будетъ необходимо найти рѣшеніе какой-либо важной проблемы по исторической геологіи.

Предполагая, что эти свѣдѣнія извѣстны въ общихъ чертахъ, разсмотримъ болѣе выдающіяся особенности въ морфологіи земного шара.

Современное распредѣленіе суши и морей. При первомъ же взглядѣ на глобусъ сразу бросается въ глаза, что пространство, занятое водой, несравненно больше пространства, занятого сушей. Моря занимаютъ около 72% общей поверхности земного шара, а суша только 28%. Если же мы будемъ разсматривать каждое полушаріе въ отдѣльности, то соотношеніе не будетъ одинаковымъ, разница будетъ не въ пользу суши въ южномъ полушаріи, гдѣ на сушу приходится лишь 17% всей поверхности; соотношеніе нѣсколько уравновѣшивается въ сѣверномъ полушаріи, гдѣ суша доходитъ до 40% поверхности. Можно разграничить два полушарія такимъ образомъ, что на одномъ будетъ преобладать суша, а на другомъ вода. Полюсъ континентальнаго полушарія находится немного

юго-западнѣе Парижа, а полюсъ океаническаго полушарія вблизи одного изъ острововъ у Новой Зеландіи, который въ виду своего положенія названъ островомъ Антиподъ.

Старый Свѣтъ состоитъ въ сущности изъ 2-хъ отдѣльныхъ континентовъ: съ одной стороны Евразіи съ примыкающими къ ней Шпицбергеномъ, Землей Франца Іосифа и Малайскимъ Архипелагомъ; съ другой стороны Африки съ Мадагаскаромъ, который, какъ мы увидимъ ниже, можетъ претендовать на самостоятельное значеніе.

Новый Свѣтъ также состоитъ изъ 2-хъ отдѣльныхъ континентальныхъ единицъ: во-первыхъ изъ Сѣверной Америки съ примыкающими къ ней Гренландіей и полярнымъ Архипелагомъ; во-вторыхъ изъ Южной Америки. Австралія съ Тасманіей и Антарктическій континентъ или Антарктида—образуютъ кромѣ того независимыя континентальныя единицы.

Гораздо труднѣе опредѣлить границы современныхъ океановъ, чѣмъ современныхъ континентовъ. Только Тихій океанъ окруженъ со всѣхъ сторонъ континентами или рядами острововъ, расположенныхъ гирляндами. Атлантическій и Индійскій океаны на югѣ ничѣмъ опредѣленно не разграничены отъ Антарктическаго океана. Точно также и Арктическій (Сѣверный Ледовитый) океанъ можно разсматривать какъ естественное продолженіе Атлантическаго.

Индивидуальность континентовъ и океановъ выступаетъ еще рѣзче, если не принимать во вниманіе такъ называемыхъ континентальныхъ морей, отдѣленныхъ отъ большихъ океановъ прибрежными архипелагами и заливовъ, глубоко врѣзывающихся въ континенты.

Если мы въ своемъ воображеніи представимъ себѣ, что общій уровень воды опустился приблизительно на 200 метр., тогда всѣ изгибы береговъ уничтожатся и всѣ континенты, за исключеніемъ Антарктиды, Австраліи и Мадагаскара, соединятся въ одну общую массу, которой дали названіе континентальной массы.

При этомъ допущеніи Ла-Маншъ, Нѣмецкое море и Балтійское совершенно исчезли бы; Новая Земля и острова Новой Сибири соединились бы съ Азіей, точно такъ же, какъ и Борнео, Суматра и Ява. Персидскій Заливъ и Желтое море также исчезли бы. Сѣверная Америка, отдѣленная отъ Евразіи Беринговымъ проливомъ шириной всего въ 111 километровъ, соединилась бы съ Азіей широкой полосой, идущей отъ восточной

Сибири къ Аляскѣ. Гудзоновъ заливъ превратился бы въ небольшое озеро. Фальклавдскіе острова соединились бы съ Южной Америкой. Тасманія и Новая Гвинея стали бы частью Австраліи. Континенты сдѣлались бы болѣе обширными, но не обнаружилось бы ни одной новой континентальной единицы.

То же самое получилось бы, если бы мы предположили, что уровень океана понизился не на 200 метровъ, но на 2000 метр. Въ такомъ случаѣ, размѣры континентальной массы еще бы увеличились, и она стала бы еще болѣе компактной. Шпицбергенъ и Земля Франца Іосифа соединились бы съ Евразіей, Гренландія образовала бы одно цѣлое съ Сѣверной Америкой и кромѣ того соединилась бы съ Европой двумя узкими полосами, одной, идущей черезъ Исландію, Фарерскіе острова, къ Шотландіи, и другой, идущей черезъ Шпицбергенъ. (ф. 6). Благодаря существованію этихъ двухъ барьеровъ, Сѣверный Ледовитый океанъ раздѣленъ на 2 большихъ бассейна, совершенно отдѣльныхъ отъ другихъ океановъ; эти бассейны отдѣлились бы южнымъ барьеромъ, если бы общій уровень моря понизился на 500 м. и сѣвернымъ барьеромъ, если бы море понизилось на 800 м. Кромѣ того, Красное море исчезло бы и Австралія слилась бы съ остальной континентальной массой. Однако, вопреки прежде высказаннымъ мнѣніямъ, Антарктическій континентъ остался бы отдѣленнымъ какъ отъ Южной Америки, такъ и отъ Новой Зеландіи, такъ что 3 большихъ океана сообщались бы между собой въ южныхъ широтахъ.

Мадагаскаръ, наконецъ, увеличился бы путемъ соединенія съ Коморскими островами, но тѣмъ не менѣе, оставался бы отдѣленнымъ отъ Африки очень узкимъ проливомъ. Между тѣмъ нѣсколько глубокихъ впадинъ образовали какъ бы вырѣзки въ громадной континентальной массѣ. На мѣстѣ теперешняго Средиземнаго моря остались бы 3 глубокихъ впадины, соотвѣтствующія западной части Средиземнаго моря (3000 м.) [1]). Тирренскому морю (3731 м.) и восточной части Средиземнаго моря (4404 м.), куда можно присоединить и Черное море (2000 м.). Мексиканскій заливъ (3875 м.), Юкатанская впадина (6270 м.) и Антильское море (5201 м.) легли бы такими же тремя углубленіями между Сѣверной и Южной Америкой, какъ и три впадины Средиземнаго моря между Европой и Африкой. Точно также впадины Зулу (4663 м.), Целебеса (5024 м.) и Банда

[1]) Цыфры въ скобкахъ указываютъ нынѣшнія максимальныя глубины.

(5684 м.) сохранились бы въ Малайскомъ Архипелагѣ между Азіей и Австраліей. Въ настоящей книгѣ мы постараемся отвѣтить на вопросъ, не имѣютъ ли общаго происхожденія эти три группы внутреннихъ впадинъ. Еще другія впадины были бы расположены на периферіи континентальнаго массива, и согласно съ нашей гипотезой были бы отдѣлены отъ сосѣдняго океана узкимъ гребнемъ, представляющимъ нынѣ гирлянду острововъ. Въ такомъ положеніи были бы моря Китайское (4347 м.), Японское (3730 м.), Охотское (3370 м.) и Берингово (5700 м.).

Распространеніе большихъ глубинъ и большихъ высотъ. Въ океанахъ встрѣчаются глубины гораздо большія, чѣмъ во внутреннихъ моряхъ. Посмотримъ подчиняется ли какому-либо закону ихъ распредѣленіе.

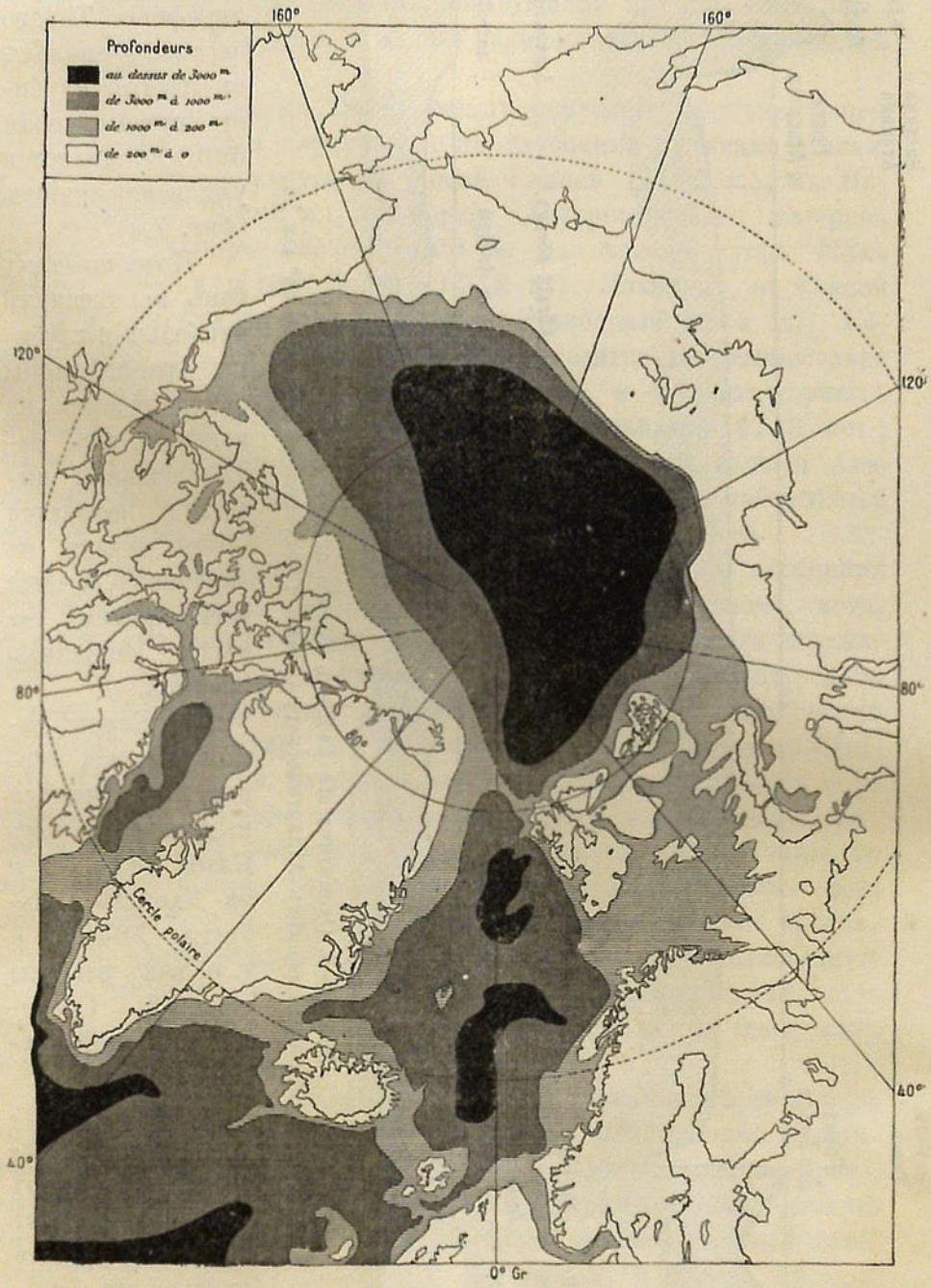
Въ Атлантическомъ океанѣ наибольшая извѣстная глубина находится на океанической сторонѣ Порто-Рико, на днѣ небольшой по занимаемому пространству впадины, извѣстной подъ именемъ впадины Св. Дѣвы (8341 м.). Глубина около 6000 м. встрѣчается во многихъ мѣстахъ, удаленныхъ отъ береговъ, но надо замѣтить, что глубина становится меньше вдоль средней полосы океана.

Въ Сѣверномъ Ледовитомъ океанѣ (фиг. 6) Фр. Нансенъ (5) также открылъ вопреки ожиданіямъ очень значительныя глубины, достигающія 3700 метровъ.

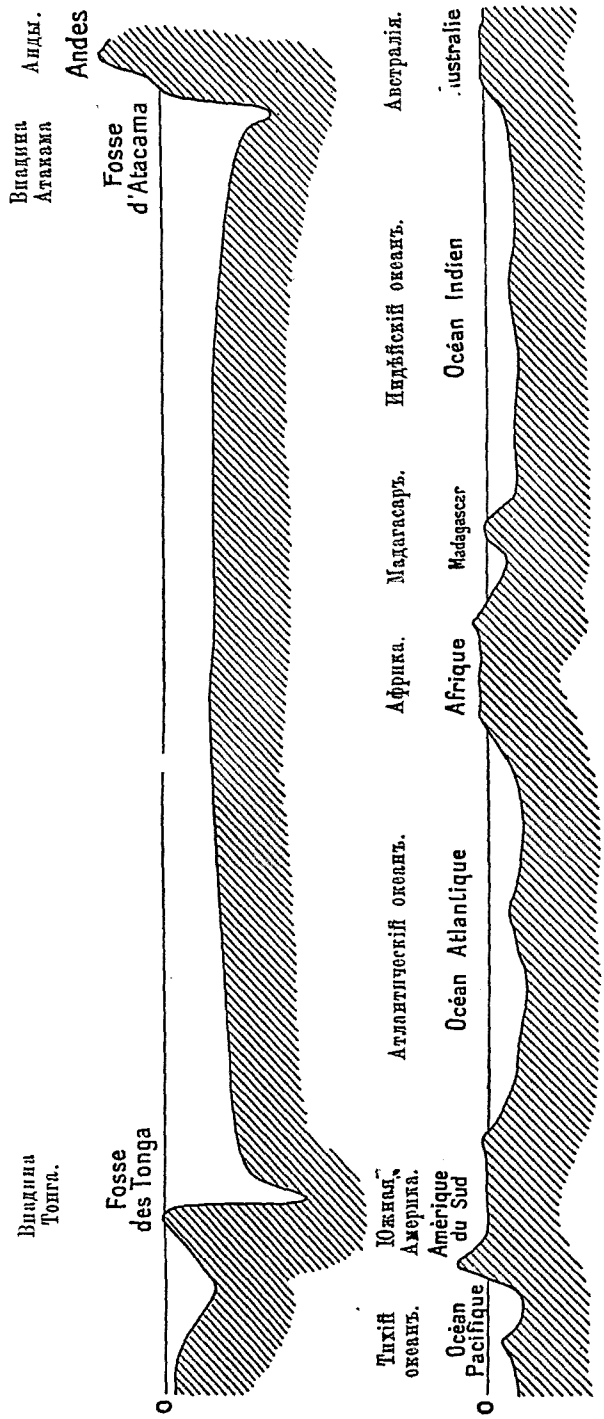
Въ Индійскомъ океанѣ также какъ и въ Атлантическомъ, мѣста наибольшей глубины встрѣчаются на периферіи, недалеко отъ Зондскихъ острововъ. Напр., южнѣе Ломбока дно оказалось лишь на глубинѣ 6205 м.

Расположеніе мѣстъ наибольшей глубины морского дна по периферіи еще болѣе ясно обозначается въ Тихомъ океанѣ. Въ теченіе долгаго времени впадина Курильскихъ острововъ или Тускарора, считалась самой глубокой впадиной Земного Шара: въ одномъ мѣстѣ тамъ дно оказалось на глубинѣ 8500 м.: но съ 1895 г. стало извѣстно, что еще бо́льшія глубины находятся во впадинѣ Тонга и Кермадекъ, у внѣшняго края тѣхъ двухъ архипелаговъ, въ которые продолжается на NNE ось Новой Зеландіи. Лотъ „*Пингвина*“ достигъ тамъ дна на глубинѣ 9427 м., а лотъ „*Nero*, открылъ глубину даже въ 9600 м. Наконецъ, недавно предпринятое измѣреніе открыло глубину въ 9633 м. въ Каролинской впадинѣ около Маріанскихъ острововъ.

Впадины Алеутская (7383 м.) и Атакамская (7635 м.) на-



Фиг. 6.—Батиметрическая карта Сѣвернаго Ледовитаго океана (по Нансену). Сплошной черный цвѣтъ—глубина свыше 3000 метровъ; штриховка въ клѣтку—отъ 3000 м. до 1000 м.; горизонтальная штриховка—отъ 1000 м. до 300 м.; безъ штриховки—отъ 200 м. до 0.



Фиг. 7.—*a*. Схематическій разрѣзъ Тихаго океана по 20° юж. ш.;
b. Схематическій разрѣзъ Атлантическаго океана и Индѣйскаго океана по 24° юж. ш.

ходятся также на перифериі Тихаго океана, тогда какъ въ центрѣ глубины превышающія 6000 м. является уже исключеніемъ (фиг. 7,а).

Подобно тому какъ въ океанахъ наибольшія глубины расположены около береговъ, на континентахъ самыя большія высоты находятся почти всегда на окраинахъ, и чаще всего противъ самыхъ большихъ впадинъ.

Въ Европѣ самыя высокія вершины встрѣчаются въ Альпахъ (Монъ Бланъ 4810 м.) и на Кавказѣ (Эльбрусъ 5646 м.), т. е. какъ разъ на окраинѣ Средиземноморской впадины.

То же самое и въ Азіи, гиганты Гималайскихъ горъ (вершина Эверестъ 8840 м.) расположены на склонѣ къ Индійскому океану, а высокіе вулканы Японіи

(3800 м.) и Камчатки возвышаются какъ разъ у Курильской впадины. Но горы Тянь-Шань, достигающія высоты 7300 мет., составляютъ исключеніе, т. к. онѣ расположены почти въ центрѣ континента.

Со всѣхъ сторонъ Тихій океанъ окруженъ высокими горами, идущими почти параллельно съ глубокими пучинами океана; такъ, горы поднимаются на Новой Гвинеѣ (5100 м.), въ Новой Зеландіи (3800 м.), на берегу Антарктическаго материка (Эребъ и Терроръ около 5000 м. въ Аляскѣ (гора Макъ Кинли 6240 м. и гора Логанъ 5948 м.)., Наконецъ, въ Южной Америкѣ гигантскія вершины Андъ (Чимборазо 6254 м., Сората 6550 м., Аконкагуа 7040 м.) находятся на сравнительно недалекомъ разстояніи отъ Тихаго океана, а одна изъ горныхъ вершинъ Чили-Аргентинской группы (Лулайлако 6170 мет.) расположена почти какъ разъ на той же широтѣ какъ и Атакамская впадина (7635 м.), такъ что здѣсь у берега наблюдается рѣзкая смѣна рельефа почти на 14000 м. (фиг. 7,а).

Такимъ образомъ, контрасты высокихъ горъ съ глубокими впадинами довольно частое явленіе на берегу океановъ, хотя, конечно, не повсемѣстное, такъ какъ материки иногда спускаются къ морю очень пологимъ склономъ, и въ этихъ случаяхъ, горныя области бываютъ отдѣлены отъ побережья береговымъ склономъ, какъ напр., въ восточной части Соединенныхъ Штатовъ, или громадной равниной, какъ въ Сибири. Въ такихъ случаяхъ уклонъ очень полого продолжается и подъ водой, незамѣтно достигая большихъ океаническихъ глубинъ. Иногда же морское дно быстро понижается только на значительномъ разстояніи отъ берега, образуя болѣе или менѣе крутой откосъ, который отграничиваетъ отъ открытаго океана мелководную область моря извѣстную подъ именемъ континентальной платформы, которая въ сущности представляетъ ничто иное, какъ подводное продолженіе самаго континента.

Такимъ образомъ, Азіатскій континентъ окаймленъ на сѣверѣ громадной подводной платформой, которая простирается въ ширину мѣстами на 7°. Точно также и Европейскій материкъ имѣетъ свою настоящую западную границу на океанской сторонѣ Британскихъ острововъ, гдѣ поверхность континентальной платформы простирается до изобаты въ 200 м. и затѣмъ переходитъ въ уклонъ дна, который быстро приводитъ къ глубинамъ свыше 2000 м. Но въ Гасконскомъ заливѣ рѣзкая разница въ уровнѣ начинается лишь съ изобаты въ 500 метровъ.

Континентъ, который съ одной стороны заканчивается цѣпью высокихъ горъ, а съ другой стороны полого спускается къ мелкому морю, является совершенно асимметричнымъ. Азія, Австралія и Южная Америка подходятъ подъ эту характеристику. Другіе материки, какъ Африка и Сѣверная Америка не представляетъ такого контраста между своими склонами, но и здѣсь также самыя высокіе горы расположены по окраинамъ, сравнительно съ которыми центральная часть имѣетъ видъ впадины. Такимъ образомъ, на материкахъ наблюдается сравнительно съ океанами полная противоположность (въ распредѣленіи высоты и глубины); тамъ глубочайшія пучины тянутся по периферіи, а подводныя плоскогорія довольно большія по занимаемому пространству, расположены въ центральныхъ частяхъ.

Въ центрѣ сѣверной части Тихаго океана, въ серединѣ обширнаго пространства, имѣющаго глубины свыше 5000 м., поднимается громадная подводная возвышенность въ предѣлахъ, который глубины не свыше 4000 м. и которая служитъ какъ бы фундаментомъ для вулканическаго Архипелага Сандвичевыхъ острововъ. Въ южной части Тихаго океана простирается такая же подводная возвышенность отъ острововъ Галапагосъ къ острову Пасхи и еще далѣе къ югу съ глубинами отъ 2000 до 4000 м. и раздѣляетъ Атакамскую впадину на востокъ отъ глубокой впадины, которая на западѣ доходитъ до пучинъ Тонга и Кермадека (фиг. 7,а).

Въ Индійскомъ океанѣ къ востоку отъ Мадагаскара среди глубинъ достигающихъ 4000 м., имѣется подводная возвышенность, на которой находятся острова Амирантскіе, Сейшельскіе и Маскаренскіе (фиг. 7,в). Въ южной части Индійскаго океана подводныя возвышенности Крозетъ и Кергуэленъ также окружены глубокими пониженіями дна. Но самый замѣчательный примѣръ возвышенія въ центральной части, представляетъ Атлантическій океанъ. Если мы будемъ разсматривать Атлантическій океанъ въ собственномъ смыслѣ слова, оставивъ въ сторонѣ его естественное продолженіе, океанъ Антарктическій и Сѣверный Ледовитый океанъ, то мы увидимъ, что его окраины, американская и европейско-африканская имѣютъ видъ грубо нарисованной буквы S, верхній изгибъ которой въ обоихъ случаяхъ имѣетъ вогнутость къ востоку, а нижній—къ западу. Посерединѣ океана проходитъ кряжъ, который хотя и не является вполнѣ параллельнымъ съ берегами, но все же описываетъ тотъ же изгибъ въ формѣ S (фиг. 5), этотъ хребетъ представляетъ

съ одного конца до другого на довольно широкомъ пространствѣ глубины меньшія 4000 м. Глубины большія 4000 м. и иногда превышающія 6000 м., сосредоточены на западѣ и на востокѣ отъ этого срединнаго кряжа (фиг. 7,в). Такимъ образомъ Атлантическій океанъ раздѣленъ по всей своей длинѣ [1]) на два длинные болѣе или менѣе симметричные бассейна, восточный и западный. Срединный кряжъ служитъ фундаментомъ для острововъ Азорскихъ, Святого Павла, Вознесенія, Тристанъ да Кунья, Гугъ и Буве [2]).

Вслѣдствіе этого не будетъ парадоксомъ, если мы скажемъ, что дно океановъ выпукло, при чемъ надо замѣтить, что мы не принимаемъ во вниманіе шарообразности земли. Если же мы введемъ этотъ элементъ, то наблюдаемое явленіе будетъ еще болѣе поразительно. Почти всѣ пониженія дна тогда получатъ видъ выпуклостей, и только самыя глубокія впадины представятся вогнутостями и то только вслѣдствіе ихъ малаго горизонтальнаго протяженія.

Уровень морей и внѣшняя поверхность земной коры являются въ дѣйствительности двумя особыми поверхностями: одна имѣетъ довольно правильную эллипсоидальную форму, другая очень неправильна съ неодинаковой выпуклостью; обѣ эти поверхности пересѣкаются по очень извилистымъ береговымъ линіямъ. Въ послѣдующихъ главахъ этой книги мы узнаемъ, что материки безпрерывно мѣняютъ свою форму, что имѣетъ слѣдствіемъ постоянное измѣненіе формы береговъ, хотя почти всегда очень медленное. Намъ теперь придется освѣтить вопросъ остается ли при всѣхъ этихъ измѣненіяхъ общее распредѣленіе морей и суши въ его главныхъ чертахъ неизмѣннымъ въ теченіе геологическихъ періодовъ, какъ этого требуетъ теорія постоянства большихъ океанскихъ впадинъ, или, наоборотъ, не подвергается ли распредѣленіе континентовъ и океановъ очень большимъ измѣненіямъ.

Кромѣ того мы разсмотримъ причины совершенно особеннаго размѣщенія наибольшихъ высотъ и глубинъ.

---

[1]) Точнѣе не южнѣе острова Буве (Gerh. Schott.).

[2]) Островъ Св. Елены совершенно изолированъ въ восточномъ бассейнѣ и возвышается прямо изъ глубинъ въ 4000 м.

1. James D. Dana. On the Origin of the deep troughs of the Oceanic depressions. *Amer Journ. of Science*, 3d ser., XXXVII, p. 192-202, pl. VII, 1889.

2. Albrecht Penck. Morphologie der Erdoberfläche. 2 vol., 8°, 471 et 696 p., 29 et 38 fig. Stuttgart, 1894.

3. Alex. Supan. Die Bodenformen des Weltmeeres. *Peterm. Mitt.*, XLV, p. 177-188, pl. XII (carte: Tiefenkarte des Weltmeeres, 1 : 80.000.000), 1899.

4. John Murray. Address to the Geographical Section of the British Association. *Scottish Georg. Magaz.*, XV, p. 505-522, 1 carte, 1899.

5. Fridtjof Nansen. The Bathymetrical Features of the North Polar Seas with a Discussion of the Continental Shelves and Previous Oscillations of the Shore-Line. *The Norwegian North Polar Expedition, 1893-1896, Scientific Results*, IV, p. 1-232, 29 pl., 1904.

6. Gerh. Schott. Die Bodenformen und Bodentemperaturen des südlichen Eismeeres, nach dem Stande der Kenntnisse bis 1905 bearbeitet. *Peterm. Mitt.*, LI, p. 241-247, pl. XIX, 1905.

7. S. A. S. le Prince de Monaco. Carte générale bathymétrique des océans dressée par ordre de—. 26 feuilles, 1 : 10.000.000. Monaco, 1905.

V. aussi : 0,1; 0,9; 0,18-21.

Sir John Murray and Dr. Johan Hjort. The Depths of the Ocean. London. (XX+821 стр., IX картъ и таблицъ) London 1912.

Science of. the Sea. Prepared by the Challenger Society, edited by G. Herbert Fowler. (16+452 стр., VIII картъ). London 1912.

Tiefenkarten der Ozeane. Bearb. von Dr. Max Groll. Weröffentlichungen d. Instituts f. Meereskunde, Neue Folge: A. Heft. 2. Berlin 1912.

ГЛАВА III.

Жизнь на континентахъ.

Среда и жизнь.—Жизнь въ прѣсной водѣ.—Жизнь на морскомъ побережьѣ.—Жизнь на материкѣ.—Факторы географическаго распредѣленія живыхъ существъ на континентахъ.

Среда и жизнь.—Однимъ изъ характерныхъ признаковъ нашей планеты является присутствіе на ней живыхъ существъ. Мы не имѣемъ никакого основанія отрицать присутствіе жизни на другихъ небесныхъ тѣлахъ, особенно на планетахъ [1]), но у насъ нѣтъ и доказательствъ, чтобы утверждать, что небесныя свѣтила, дѣйствительно, обитаемы.

Животныя, населяющія землю, обыкновенно дѣлятся на 3 группы: живущія на сушѣ, въ водѣ и въ воздухѣ. Это подраздѣленіе является искусственнымъ, такъ какъ животныя, называемыя воздушными, представляютъ, если не считать микроорганизмовъ воздуха, формы наземныя или рѣже водяныя приспособленныя для летанія [2]); но какъ тѣ такъ и другія непремѣнно связаны съ землей въ какой-либо моментъ ихъ существованія, хотя бы не болѣе какъ на время кладки яицъ.

Такимъ образомъ, остаются только 2 категоріи: животныя морскія и материковыя, конечно, причисляя къ послѣднимъ и животныхъ находящихся на островахъ.

---

[1]) Конечно, отсутствіе атмосферы вокругъ луны дѣлаетъ невозможнымъ на поверхности спутника Земли существованіе живыхъ организмовъ подобныхъ тѣмъ, которые живутъ на Землѣ. Что же касается Солнца, то крайне высокая температура всѣхъ его частей несовмѣстима съ какимъ-либо проявленіемъ жизни.

[2]) Окаменѣлые остатки этихъ населяющихъ воздухъ животныхъ очень рѣдки, и удавалось находить остатки только тѣхъ изъ нихъ, которыя случайно упали въ море, или трупы которыхъ были унесены какимъ-нибудь потокомъ и погребены въ осадочныхъ слояхъ. Что касается ископаемыхъ насѣкомыхъ, то они встрѣчаются въ очень немногихъ формаціяхъ, и лишь ископаемые остатки водныхъ птицъ встрѣчаются болѣе или менѣе часто въ нѣкоторыхъ озерныхъ отложеніяхъ.

Въ этой главѣ мы будемъ исключительно заниматься изученіемъ живыхъ существъ, населяющихъ сушу, а изученіе морскихъ организмовъ будетъ предметомъ одной изъ слѣдующихъ главъ.

Существа, живущія на континентахъ, приспособлены къ различнымъ біологическимъ условіямъ. Животныя, которыя проводятъ часть своей жизни въ воздушной средѣ, приспособлены къ летанію; животныя, свойственныя прѣсной водѣ или организованы для плаванія, или приспособлены къ неподвижной жизни на днѣ; животныя, населяющія сушу, могутъ или ходить, или ползать, или жить на деревьяхъ. Ни одно изъ наземныхъ животныхъ не является прикрѣпленнымъ, но всѣ растенія прикрѣплены къ почвѣ корнями или какимъ либо инымъ способомъ; среди же водныхъ растеній есть блуждающія.

Животныя, живущія въ воздухѣ и на сушѣ, дышатъ легкими или трахеями, водяныя животныя дышатъ большею частью жабрами и въ рѣдкихъ случаяхъ легкими и трахеями. Извѣстно, что амфибіи (земноводныя) имѣютъ жабры въ личиночномъ состояніи, а легкія во взросломъ. Нѣкоторыя рыбы дышатъ—въ зависимости отъ времени года—то жабрами, то легкими и поэтому называются двойнодышащими, каковы, напр., *Ceratodus* или вѣрнѣе *Epiceratodus* въ Тасманіи (фиг. 10), проводящій часть года въ высохшихъ болотахъ.

Существуютъ нѣкоторыя животныя или растенія приспособленныя къ жизни на морскомъ берегу. Есть также живущія въ пещерахъ.

Разсмотримъ теперь послѣдовательно эти различные организмы и постараемся опредѣлить условія ихъ существованія.

Жизнь въ прѣсныхъ водахъ. Въ морской водѣ водоросли по своему количеству и разнообразію превосходятъ всѣ другіе виды растеній, а въ прѣсной водѣ преобладаютъ явнобрачныя растенія, если не считать микроорганизмовъ, нѣкоторыя семейства которыхъ, какъ напр., десмидіевыя, пріурочены къ прѣснымъ водамъ, тогда какъ другіе, напр., синезеленыя водоросли и бактеріи встрѣчаются здѣсь въ большемъ изобиліи, чѣмъ въ моряхъ.

Прѣсноводныя явнобрачныя растенія принадлежатъ къ самымъ разнообразнымъ семействамъ покрытосѣмянныхъ. Совершенно не нужно приводить здѣсь примѣры [1]), тѣмъ болѣе, что

[1]) См. A. F. W. Schimper. (9) стр. 845 и слѣд.

приспособленіе этихъ растеній къ теперешней средѣ относится, повидимому, къ недавнему времени и что палеонтологія не даетъ намъ никакихъ свѣдѣній о времени ихъ перемѣщенія съ суши въ воду. Въ противоположность этому прѣсноводная фауна почти вся именно морского происхожденія, она гораздо однообразнѣе, гораздо бѣднѣе видами, чѣмъ фауна океановъ и въ этомъ отношеніи ближе подходитъ къ фаунѣ внутреннихъ морей.

Были указаны многочисленные примѣры превращенія морскихъ впадинъ въ озера путемъ постепеннаго опрѣснѣнія и соотвѣтствующаго измѣненія фауны. Мы считаемъ вполнѣ вѣроятнымъ, что подобныя явленія приспособленія случались неоднократно въ продолженіе многихъ геологическихъ періодовъ, и намъ не разъ представится случай изучать примѣры этого явленія.

Но обыкновенный способъ появленія жизни въ прѣсной водѣ совершается путемъ иммиграціи черезъ водные потоки. Что касается рыбъ, которыя приходятъ метать икру въ рѣки, здѣсь приспособленіе совершается, можно сказать, на нашихъ глазахъ. У другихъ морскихъ животныхъ это приспособленіе совершается при посредствѣ плавающихъ личинокъ, а такъ какъ онѣ встрѣчаютъ очень большія затрудненія при преодолѣніи воднаго теченія, то этому обстоятельству, по мнѣнію Солласа (1), слѣдуетъ приписать бѣдность прѣсноводной фауны. Другіе же ученые видятъ не безъ основанія главную причину этой бѣдности прѣсноводной фауны въ колебаніяхъ температуры, болѣе значительныхъ въ озерахъ и рѣкахъ, чѣмъ въ моряхъ, особенно въ умѣренномъ поясѣ. Ч. Дарвинъ былъ пораженъ чрезвычайно обширнымъ географическимъ распространеніемъ многихъ видовъ прѣсноводныхъ животныхъ и растеній [1]). Нѣкоторыя семейства и многіе виды, дѣйствительно, являются космополитами. Даже нѣкоторые виды имѣютъ громадное распространеніе. По мнѣнію Дарвина причина этого явленія заключается въ переносѣ личинокъ плавающими птицами, напр., утками, которыя ихъ переносятъ на своихъ лапахъ изъ одного болота въ другое, изъ одного гидрографическаго бассейна въ бассейнъ другой рѣки.

Слѣдуетъ замѣтить, что прѣсноводная фауна не заключаетъ въ себѣ ни фораминиферъ, ни радіолярій, ни плеченогихъ, ни иглокожихъ, ни головоногихъ, ни оболочниковъ. Губки встрѣ-

---

[1]) Ч. Дарвинъ. Происхожденіе видовъ, гл. XII.

чаются только въ видѣ незначительной группы *бодягъ*. Гидромедузы выражены всего нѣсколькими родами. Мшанки встрѣчаются довольно рѣдко. Пластинчатожаберныя представлены семействами *Unionidae* (перловицы) *Ateriidae*, *Cyrenidae*, которыя живутъ исключительно въ прѣсной водѣ, и нѣсколько тропическихъ *Veneridae*, далѣе родомъ *Dreissensia* и нѣкоторыми другими; что же касается брюхоногихъ моллюскъ, то ни двупредсердные (Diotocardia), ни разносерцевые (Heterocardia) не свойственны прѣснымъ водамъ. Изъ однопредсердныхъ (Monotocardia) свойственны прѣсной водѣ только лентоязычные (Taenioglossa), принадлежащіе къ семействамъ *Ampullariidae*, *Valvatidae*, *Paludinidae*, *Melaniidae*, между которыми есть тоже типы, живущіе въ солоноватой водѣ. Изъ легочныхъ моллюскъ въ прѣсной водѣ живутъ сидячеглазые (Basommatophora), принадлежащіе къ родамъ *Limnaeus*, *Planorbis*, *Physa*. Перечисленіе прѣсноводныхъ ракообразныхъ не представляетъ геологическаго интереса; впрочемъ, можно упомянуть изъ десятиногихъ: *Atyidae*, *Palaemonidae*, *Potamobidae*, *Parastacidae*, *Aegleidae* и *Potamonidae*, такъ какъ, основываясь на географическомъ распредѣленіи этихъ семействъ, Ортманъ высказалъ рядъ интересныхъ геологическихъ соображеній, къ которымъ мы еще вернемся.

Общее число видовъ прѣсноводныхъ рыбъ, вѣроятно, больше 2500, если основываться на уже давнишнихъ вычисленіяхъ Гюнтера. Современныя Dipnoi, Ganoidei, Crossopterygii исключительно водятся въ прѣсной водѣ. Selachii живутъ въ моряхъ, но акулы часто поднимаются противъ теченія на нѣсколько сотъ километровъ отъ устья рѣки[1]).

Около трети прѣсноводныхъ костистыхъ рыбъ принадлежатъ къ Cyprinidae; Siluridae и Cichlidae также очень многочисленны.

Многія группы рыбъ, которыя прежде жили въ моряхъ и геологическая исторія которыхъ ведетъ свое начало отъ очень отдаленныхъ періодовъ, въ настоящее время относятся къ прѣсноводнымъ; этотъ и многіе другіе примѣры указываютъ намъ на древность прѣсноводной фауны.

---

[1]) Эрнестъ Огъ видѣлъ какъ ловили пилу-рыбу (Pristis antiquorum не только въ Огоуэ (Габонъ, французская колонія въ Африкѣ), но также и въ озерѣ Онанге, которое съ нею соединено и находится приблизительно въ 120 километрахъ отъ устья. (Устное сообщеніе).

Безхвостыя амфибіи всѣ относятся къ прѣсноводнымъ, по крайней мѣрѣ въ личиночномъ состояніи.

Изъ пресмыкающихся—черепахи частью живутъ на сушѣ, другія въ водѣ прѣсной или морской. Крокодилы живутъ въ прѣсной водѣ, но ихъ морское происхожденіе установлено палеонтологическими данными; наоборотъ, змѣи, изъ которыхъ нѣкоторыя живутъ въ прѣсной водѣ, заключаютъ въ себѣ семейство *Hydrophidae* которое приспособилось къ морской водѣ.

Между морскими млекопитающими надо упомянуть Platanistidae, которыя происходятъ отъ морскихъ китообразныхъ животныхъ, и теперь живутъ въ эстуаріяхъ и дельтахъ большихъ рѣкъ, а также и о сиренахъ, которыя часто появляются въ тѣхъ же областяхъ. Наконецъ, среди наземныхъ млекопитающихъ, есть такія (напр., выдра и гиппопотамъ), которыя совершенно приспособились къ жизни въ прѣсной водѣ.

Жизнь на побережьѣ.—На побережьѣ живутъ такіе морскіе организмы, которые могутъ вынесть ежедневное двукратное удаленіе моря при отливѣ, а также и организмы, свойственные сушѣ, но которымъ не вредитъ соленая почва и воздухъ и которые могутъ выносить полное или частичное погруженіе въ воду при приливѣ.

Сейчасъ мы будемъ говорить лишь объ наземныхъ организмахъ, приспособленныхъ къ жизни на побережьѣ, а изученіе распространенія морскихъ организмовъ отложимъ до слѣдующихъ главъ.

Дальше, особо мы будемъ говорить о солончаковыхъ растеніяхъ, такъ какъ солончаковая почва встрѣчается не только на морскомъ побережьѣ. Въ тропическихъ областяхъ существуетъ цѣлая категорія древовидныхъ растеній, которыя растутъ въ полосѣ, затопляемой приливомъ, и образуютъ цѣлые лѣса, такъ называемыя *мангровыя* заросли. Тамъ можно видѣть особенно часто Rizophoraceae, Combretaceae, Lithraceae (*Sonneratia*) Verbenaceae (*Avicennia*) и пальмы (*Nipas*). Лиственныя кроны этихъ растеній однѣ только выступаютъ надъ водою при приливѣ, при отливѣ же мы можемъ видѣть не только короткіе стволы, но и развѣтвленія корней, которыя имѣютъ видъ безконечнаго числа подпорокъ. Эти корни обыкновенно погружены въ черный или синій илъ, всегда пропитанный соленой водой. Даже на вѣткахъ часто находятся добавочные корни. Пнейматофоры (дыхательные корни) запа-

саютъ кислородъ и проводятъ его въ подземныя части растенія. Въ мангровахъ идетъ и дѣятельная животная жизнь. Рыбы и крабы кишатъ на поверхности ила. Устрицы и усоногіе раки живутъ прикрѣпившись къ корнямъ. Потамиды висятъ на своихъ волоконцахъ. Неритины ползаютъ по вѣтвямъ.

Въ умѣренныхъ поясахъ нѣтъ ничего подобнаго мангровымъ зарослямъ, но и тамъ есть своя особая фауна, населяющая области, которыя заливаются водой лишь при большихъ приливахъ. Литторины могутъ жить цѣлыми недѣлями внѣ воды. Auriculae встрѣчаются въ еще болѣе отдаленныхъ областяхъ, но кажется, что соленый воздухъ побережья необходимъ для ихъ существованія.

Пещерная фауна.—Въ пещерахъ встрѣчается довольно разнообразная и богатая фауна, представители которой имѣютъ очень большое сходство съ обыкновенными животными, населяющими землю, но претерпѣли большія измѣненія вслѣдствіе приспособленія къ жизни въ темнотѣ (2—5). Эта фауна поэтому носитъ названіе потемочной (*obscuricole*). Внѣшніе покровы этихъ пещерныхъ обитателей обезцвѣчены, глаза обыкновенно утрачены почти совершенно, наоборотъ, другіе органы чувствъ чрезвычайно развиты.

Высшія животныя встрѣчаются здѣсь рѣдко, и можно только назвать слѣпую крысу, которая водится въ нѣкоторыхъ пещерахъ Сѣверной Америки и протея—слѣпую безхвостую амфибію, водящуюся въ гротахъ Краины. Рыбы встрѣчаются здѣсь не такъ рѣдко. Насѣкомыя же, моллюски и особенно ракообразныя водятся въ изобиліи.

Среди послѣднихъ *Isopoda* претерпѣли самыя интересныя измѣненія (A. Dollfus). Пещеры еще болѣе чѣмъ прѣсныя воды являются какъ бы убѣжищемъ для очень архаическихъ формъ. Многіе изъ пещерныхъ обитателей имѣютъ замѣчательное сходство съ древними, нынѣ исчезнувшими типами.

Такимъ образомъ приспособленіе къ жизни въ темнотѣ относится къ очень отдаленной эпохѣ, но оно продолжается и теперь, такъ какъ для многихъ пещерныхъ животныхъ путь ихъ постепенныхъ измѣненій еще не законченъ.

Жизнь на сушѣ.—Виды животныхъ и растеній, свойственныхъ сушѣ, относятся къ самымъ различнымъ группамъ животнаго и растительнаго царства. Большая часть растеній

живетъ на землѣ, лишь водоросли являются единственнымъ большимъ подраздѣленіемъ растительнаго царства, исключительно воднымъ.

Наоборотъ, низшія животныя (простѣйшія, губки, кишечнополостныя, иглокожія, плеченогія, мшанки) водятся исключительно въ водной средѣ. Черви живутъ и въ моряхъ, и въ прѣсной водѣ, и на сушѣ. Изъ моллюскъ на сушѣ водятся легочные брюхоногіе моллюски (*Helix*, *Testacella*, *Pupa*, *Succinea*, *Clausilia Carychium* и пр.) и однопредсердные, лентоязычные (Monotocardia, Taenioglossa (*Truncatellidae*, *Aciculidae*, *Cyclostomatidae*, *Cyclophoridae*). Рыбы появляются на сушѣ только въ видѣ исключенія. Безхвостыя амфибіи въ сущности всѣ по образу жизни земноводны. Среди пресмыкающихся на сушѣ живутъ главнымъ образомъ ящерицы (Lacertilia) и змѣи (Ophidia). Млекопитающія являются преимущественными обитателями суши; только 3 вида изъ ихъ многочисленныхъ отрядовъ приспособлены къ жизни въ морѣ (китообразныя, сирены, ластоногія). Рукокрылыя млекопитающія приспособлены къ летанію, и, наоборотъ, нѣкоторыя птицы, образующія особый нѣсколько разнородный подклассъ *Ratitae* (или бѣгающихъ), потеряли возможность летать и стали бѣгунами.

Факторы географическаго распредѣленія животныхъ, свойственныхъ сушѣ.—Географическое распредѣленіе животныхъ, свойственныхъ сушѣ, опредѣляется рядомъ факторовъ, къ послѣдовательному разсмотрѣнію которыхъ мы сейчасъ и приступимъ.

1) *Эдафическіе факторы.*—Въ своей замѣчательной работѣ о географическомъ распредѣленіи растеній ботаникъ Шимперъ (9), котораго такъ рано лишилась наука, предложилъ называть *Эдафическими факторами*[1]) условія существованія растеній въ зависимости отъ характера почвы. Зависимость культуры растеній отъ почвы хорошо извѣстна лицамъ, занятымъ земледѣліемъ; съ своей стороны и ботаническая географія также уже установила связь между нѣкоторыми растеніями и опредѣленнымъ химическимъ составомъ почвы. Всѣмъ извѣстно, что каштановыя деревья, простой верескъ и дикій тернъ любятъ кремнистую почву, тогда какъ другія растенія, каковы: *Prunus spinosa*, *Hellebourus foetidus*, *Teucrium montanum* ра-

[1]) τὸ ἔδαφος почва.

стутъ преимущественно на известковой почвѣ. Поэтому первыя получили названіе кремнелюбныхъ (*silicicoles*), а вторыя известелюбныхъ (*calcicoles*). Было также отмѣчено, что нѣкоторые виды, каковы: *Viola calaminaria. Thlaspi calaminare*, живутъ исключительно на почвѣ богатой каламиномъ (углекислый цинкъ и кремнекислый цинкъ). Присутствіе же въ почвѣ серпентина (змѣевика)—очень мало растворимаго кремнекислаго магнія—до такой степени измѣняетъ формы листьевъ двухъ видовъ папоротника, *Asplenium viride* и *Asplenium adiantum nigrum*, что долгое время эти измѣненія формы разсматривались какъ 2 различныхъ вида.

Особенно замѣтныя измѣненія въ растеніяхъ вызываетъ присутствіе въ почвѣ хлористаго натрія, морской соли. Измѣненія эти, впрочемъ, подобны тѣмъ, какія вырабатываются у другихъ растеній какъ средство защиты отъ засухи. Было замѣчено, что *солончаковыя* растенія или *галофиты* могутъ легко расти и на обыкновенной почвѣ. Если они и отсутствуютъ на почвѣ не содержащей соли, то только потому, что ихъ вытѣсняютъ болѣе сильныя растенія, которыя не даютъ имъ развиваться. На соленой же почвѣ, наоборотъ, галофиты процвѣтаютъ, такъ какъ здѣсь имъ не приходится вести борьбу за мѣсто съ растеніями не приспособленными къ этимъ спеціальнымъ условіямъ.

Было также установлено, что такъ называемыя кремнепочвенныя растенія живутъ на кремнистой почвѣ, потому что они не могутъ жить на почвѣ, изобилующей известнякомъ. Углекислая известь въ большомъ количествѣ дѣйствуетъ на нихъ какъ ядъ, поэтому они *известефобы*. Флишъ и Грандо доказали, что деревья, растущія въ мѣстностяхъ съ кремнистой почвой, содержатъ больше кали и меньше извести, чѣмъ деревья выросшія на известковой почвѣ. Богатство почвы известнякомъ препятствуетъ ассимиляціи кали растеніями и такимъ образомъ вредитъ ихъ нормальному развитію. Кромѣ того затрудняется усвоеніе желѣза, что ведетъ къ уменьшенію выработки хлорофилла.

Географическое распредѣленіе растеній обусловлено не только химическимъ составомъ почвы, но и не въ меньшей степени ея физической природой, въ особенности той или иной ея проницаемостью, опредѣляющей степень ея влажности.

На химическомъ и физическомъ изученіи почвы основывается раціональная культура земли. Это изученіе составляетъ предметъ особой науки, которая называется *педологіей*. Это одна изъ самыхъ важныхъ отраслей прикладной геологіи.

Гораздо менѣе важную роль играютъ эдафическіе факторы въ распредѣленіи животныхъ. Хотя, конечно, является очевиднымъ, что наземные моллюски нуждаются для сооруженія своей раковины въ углекислой извести, которую они могутъ найти только въ почвѣ.

По этой причинѣ ихъ гораздо меньше въ областяхъ съ кремнистой почвой, чѣмъ въ областяхъ съ известковой. При этомъ въ областяхъ первой категоріи, раковина ихъ становится тонка и прозрачна, и у нѣкоторыхъ родовъ она не доразвивается до такой степени, что можетъ и совершенно исчезнуть. Кромѣ того, вполнѣ установленъ фактъ, что богатство почвы фосфоромъ благопріятствуетъ образованію костей у позвоночныхъ.

2) *Климатическіе факторы.*—Всѣмъ извѣстно, что метеорологическія условія являются однимъ изъ важнѣйшихъ факторовъ въ распространеніи жизни на поверхности земного шара. Извѣстно, что флора жаркихъ странъ иная, чѣмъ флора умѣренныхъ широтъ (6); что страны съ влажнымъ климатомъ имѣютъ иную растительность чѣмъ страны сухія; что въ полярныхъ странахъ живутъ другія животныя, чѣмъ въ тропическихъ. Здѣсь не мѣсто описывать тѣ анатомическія измѣненія, которыя совершились въ связи съ присобленіемъ растеній къ климатическимъ перемѣнамъ (7 — 10), но будетъ умѣстно напомнить, что, напримѣръ, растенія сухолюбныя или *ксерофилы*, приспособленныя для жизни въ сухой атмосферѣ, обладаютъ и такимъ растительнымъ аппаратомъ, который можетъ бороться съ усиленнымъ испареніемъ путемъ уменьшенія внѣшнихъ поверхностей и межклѣточныхъ пространствъ, что достигается крайнимъ развитіемъ склеренхимы, появленіемъ покрова изъ волосковъ или черезъ превращеніе паренхимы въ ткань, поглощающую много воды. Эти измѣненія ведутъ такимъ образомъ съ одной стороны къ появленію сухихъ растеній съ кожистыми тканями, съ другой—растеній сочныхъ и мясистыхъ.

Растенія *гидрофильныя* (водолюбныя), напротивъ, приспособлены къ влажной атмосферѣ; ихъ корни мало развиты; ихъ стебли удлинены; листья тонки, но имѣютъ большую поверхность.

Тропофильными называетъ Шимперъ тѣ растенія, которыя такъ устроены, чтобы жить одну половину года въ очень влажномъ климатѣ, а другую въ очень сухомъ, что осуществляется въ тропическихъ странахъ; въ этомъ случаѣ въ одномъ растеніи

соединяются двоякаго рода структуры. Паденіе листьевъ можно также разсматривать какъ приспособленіе растенія къ сухому или къ холодному времени года.

Температура ведетъ къ несравненно меньшимъ измѣненіямъ въ организаціи растеній, чѣмъ измѣненія влажности. Она дѣйствуетъ скорѣе въ качествѣ ограничительнаго фактора, такъ какъ всякое растеніе живетъ только въ предѣлахъ опредѣленнаго максимума или минимума и имѣетъ опредѣленный оптимумъ температуры. Эти критическія точки, впрочемъ, неодинаковы для разныхъ органовъ растенія, онѣ также измѣняются въ зависимости отъ возраста.

Наоборотъ, свѣтъ является самымъ существеннымъ факторомъ въ жизни растеній. Измѣненія освѣщенія имѣютъ очень важное физіологическое значеніе для растеній, такъ какъ они регулируютъ дѣятельность хлорофилла. Растенія, живущія на полномъ солнечномъ свѣтѣ, имѣютъ анатомическую структуру отличную отъ структуры растеній, живущихъ въ тѣни; даже части одного и того же растенія, наиболѣе подвергающіяся инсоляціи, представляютъ нѣкоторыя измѣненія въ структурѣ, которыя можно разсматривать какъ способы защиты организма. Очевидно, что всѣ эти климатическіе факторы обусловливаютъ въ широкой степени географическое распредѣленіе растеній. Легко опредѣлить по особенностямъ, вызваннымъ приспособленіемъ, живетъ ли растеніе въ холодныхъ, умѣренныхъ или тропическихъ широтахъ. Если *широта* имѣетъ такое вліяніе на формированіе растительныхъ формацій, то и *высота* надъ уровнемъ моря имѣетъ вліяніе не менѣе важное, такъ какъ въ одной и той же области, съ одинаковыми физическими условіями, но въ поясахъ различной высоты, наблюдается та же послѣдовательность флоры, съ тѣми же особенностями, вызванными приспособленіемъ, что и въ климатическихъ поясахъ послѣдовательно смѣняющихся по мѣрѣ приближенія отъ экватора къ полюсу (7).

Климатическіе факторы играютъ видимо меньшую роль въ жизни материковыхъ животныхъ (10). Высшія животныя, въ особенности птицы и млекопитающія, могутъ бороться съ колебаніями температуры какъ ежедневными, такъ и зависящими отъ смѣны временъ года, благодаря постоянной температурѣ ихъ тѣла, покрытаго шерстью или перьями. Хорошо извѣстно, что мѣхъ сѣверныхъ животныхъ болѣе пушистъ, чѣмъ мѣхъ животныхъ умѣренныхъ и жаркихъ поясовъ. Шкура мамонта

ледниковаго періода была покрыта длинной шерстью, тогда какъ шкура современныхъ слоновъ почти что голая. Фауна полярныхъ странъ, часто количественно очень богатая, гораздо бѣднѣе видами, чѣмъ тропическая. Кромѣ того температура еще косвенно вліяетъ на географическое распредѣленіе животныхъ, обусловливая ихъ растительную пищу. Лишь немногія млекопитающія, какъ олень, могутъ довольствоваться тою пищей, какую представляютъ лишаи; большая часть обезьянъ сосредоточены въ тропическихъ лѣсахъ, гдѣ онѣ въ любое время года находятъ плоды, которыми питаются; то же самое можно сказать и о многихъ птицахъ. Самая близкая біологическая связь существуетъ между насѣкомыми и растеніями; извѣстно, что оплодотвореніе нѣкоторыхъ явнобрачныхъ растеній возможно лишь при содѣйствіи насѣкомыхъ, которыя въ обмѣнъ за эту услугу находятъ свою пищу въ нектарникахъ цвѣтовъ.

Но можно также привести многочисленные факты, показывающіе, насколько географическое разселеніе многихъ животныхъ совершенно не зависитъ отъ климата. Напр., тигръ, котораго часто считаютъ за жителя тропиковъ, часто встрѣчается въ Манчжуріи и въ нѣкоторыхъ областяхъ Сибири. Джонстонъ видѣлъ слоновъ, буйволовъ, антилопъ Куду на склонахъ Килиманджаро, на высотѣ болѣе чѣмъ въ 4.000 метровъ. Колибри, будучи преимущественно американскимъ семействомъ, извѣстны въ то же время отъ Аляски до Магеланова пролива. Многія особенности въ распространеніи животныхъ были бы совершенно непонятны, если бы ихъ пытались объяснить только климатическими условіями. Почему фауна большихъ Зондскихъ острововъ совершенно другая, чѣмъ фауна Новой Гвинеи, расположенной на той же широтѣ. Почему клоачныя млекопитающія (Monotremata) встрѣчаются и въ тропической области, какъ напр., въ Новой Гвинеѣ, и въ умѣренной, какова Тасманія, и почему ихъ совершенно нѣтъ внѣ австралійскихъ странъ.

Чтобы отвѣтить на подобные вопросы, необходимо искать причины географическаго распространенія многихъ организмовъ не въ климатическихъ, а въ другихъ условіяхъ.

Факторы распредѣленія. Растенія, благодаря особенностямъ формы и строенія своихъ сѣмянъ, обладаютъ средствомъ распространенія, котораго не имѣютъ животныя и которое до извѣстной степени восполняетъ пріуроченность растеній къ опредѣленному мѣсту въ силу эдафическихъ и климатичес-

кихъ факторовъ. Зато животныя снабжены средствами перемѣщенія, которыя имъ позволяютъ переходить довольно большія пространства, но лишь въ видѣ исключенія даютъ возможность преодолѣвать нѣкоторыя препятствія, каковы, напр., моря, высокія цѣпи горъ или пустыни. Такъ, большія млекопитающія Африки не могли перейти черезъ Мозамбикскій каналъ и не встрѣчаются поэтому на Мадагаскарѣ, несмотря на большую близость и одинаковыя климатическія условія [1]). Даже птицы, за исключеніемъ морскихъ—превосходныхъ летуновъ—и перелетныхъ, являются гораздо болѣе прикрѣпленными къ одному мѣсту, чѣмъ это кажется на первый взглядъ. Число птицъ общихъ и Европѣ и Сѣверной Америкѣ крайне ограниченно. На Мадагаскарѣ живутъ совершенно особыя птицы, а многія породы, въ изобиліи водящіяся въ восточной Африкѣ, тамъ совершенно отсутствуютъ.

Количество космополитическихъ *видовъ* животныхъ очень невелико. Можно назвать лишь нѣкоторыхъ чешуйчатокрылыхъ, напр., видъ *Vanessa cardui*, встрѣчающійся какъ въ Европѣ, такъ и на островахъ Тихаго океана, но совершенно отсутствующій въ западной Индіи и въ нѣкоторыхъ областяхъ Южной Америки. Повсюду мы встрѣчаемъ сову, обыкновеннаго сокола и нѣкоторыхъ земляныхъ червей. Возможно, впрочемъ, что распространеніе нѣкоторыхъ животныхъ произошло при участіи человѣка. Общераспространенные *роды* животныхъ уже болѣе многочисленны, но и они встрѣчаются чаще всего среди чешуйчатокрылыхъ и среди птицъ. Наконецъ, существуетъ довольно много *семействъ*, которыя водятся повсемѣстно на землѣ, исключая полярныхъ странъ, и здѣсь умѣстно упомянуть единственное семейство наземныхъ моллюскъ Helicidae, которое является космополитичнымъ.

Наоборотъ, можно привести многочисленные примѣры видовъ, родовъ и семействъ, даже отрядовъ, которые сосредоточены въ очень небольшихъ областяхъ. Отрядъ пресмыкающихся Rhynchocephalia, очень распространенный во вторичную эпоху, теперь представленъ единственнымъ родомъ *Hatteria*, живущимъ исключительно въ Новой Зеландіи. Райскія птицы встрѣчаются только въ Новой Гвинеѣ и на нѣкоторыхъ сосѣд-

[1]) Только одинъ недавно вымершій видъ гиппопотома и одинъ представитель семейства свиней (Potamochoerus)—животныя хорошо плавающія—могли переплыть проливъ, когда онъ, быть можетъ въ довольно далекую отъ насъ эпоху, былъ менѣе широкъ.

нихъ островахъ. Гориллы водятся только въ области Огоее. Безрогая косуля (*Hydropotes inermis*) извѣстна только въ дельтѣ Янъ-цзы-цзяна и въ Кореѣ: какой нибудь видъ колибри встрѣчается только въ одной отдаленной долинѣ Перувіанскихъ Андъ, родъ *Laminifera*, представитель Clausiliae живетъ только на горѣ Ля-Рюнъ въ Западныхъ Пиренеяхъ; изъ растеній прекрасная Vulfenia carinthiaca изъ Scrophulariaceae растетъ только въ Альпахъ Краины.

Но самые замѣчательные примѣры родовой и видовой локализаціи можно наблюдать на островахъ. Новая Зеландія обладаетъ совершенно особой фауной, которая характеризуется, съ одной стороны присутствіемъ родовъ нигдѣ болѣе не встрѣчающихся, съ другой стороны полнымъ отсутствіемъ многихъ большихъ подраздѣленій животнаго царства, и въ особенности млекопитающихъ. Дронтъ, недавно исчезнувшая птица, водилась только на островахъ Св. Маврикія. Всѣ виды наземныхъ моллюскъ, живущихъ на Сандвичевыхъ островахъ, нигдѣ больше не встрѣчаются. Драцена свойственна только острову Тенерифа: *Araucaria excelsa* извѣстна только на островѣ Норфолькъ. Нѣкоторые острова замѣчательны малорослыми лошадьми, а одинъ малорослый быкъ водится на Азорскихъ островахъ. Кромѣ того, въ ископаемомъ состояніи былъ найденъ малорослый слонъ на островѣ Мальтѣ.

На архипелагахъ различные роды часто представлены на каждомъ островѣ отдѣльнымъ видомъ. Это относится, напр., къ растеніямъ и птицамъ Сандвичевыхъ острововъ, къ гекко (ящерица) Сейшельскихъ острововъ, къ попугаямъ Антильскихъ острововъ. Особенный интересъ въ этомъ отношеніи представляютъ острова Галапагосъ. Тамъ одинъ родъ ящерицъ *Tropidurus* представленъ по Г. Бауру (11) на каждомъ островѣ отдѣльнымъ видомъ, который не повторяется на сосѣднихъ островахъ; наземныя же гигантскія черепахи имѣются тамъ въ трехъ видахъ, при чемъ одинъ видъ встрѣчается на большинствѣ острововъ архипелага, а каждый изъ двухъ другихъ пріуроченъ только къ одному острову. Многіе роды птицъ обнаруживаютъ такія же особенности въ распространеніи видовъ.

Г. Бауръ объясняетъ эти факты слѣдующимъ образомъ. Нѣкогда острова Галапагосъ составляли довольно обширную континентальную массу, фауна которой была совершенно отличной отъ фауны Южной Америки. Впослѣдствіи эта масса раздѣлилась на острова, и на каждомъ изъ нихъ ея элементы по-

степенно измѣнялись и, вслѣдствіе того что скрещиваніе обитателей различныхъ острововъ было невозможно, на каждомъ изъ нихъ виды измѣнялись параллельно и изъ нихъ мало-помалу вырабатывались особыя формы, которыя намъ теперь представляются отдѣльными видами. Кромѣ того къ этимъ мѣстнымъ элементамъ примѣшались еще новые съ сосѣдняго материка. Если бы вся фауна по своему происхожденію принадлежала Южной Америкѣ, то всѣ отдѣльные острова имѣли бы почти одинаковую фауну.

Такимъ образомъ, по отношенію къ островамъ Галапагосъ и въ другихъ подобныхъ случаяхъ образованіе острововъ изъ общей континентальной массы и ихъ позднѣйшее *раздѣленіе* явились факторами, объясняющими намъ не только различіе фауны, но и самое происхожденіе особыхъ видовъ. *Изоляція* такимъ образомъ является существеннымъ условіемъ для того, чтобы эволюція привела къ закрѣпленію новыхъ формъ, которыя являются результатомъ только измѣняемости видовъ. Изоляція дѣлаетъ невозможными скрещиванія, которыя постоянно возвращаютъ возникающія измѣненія къ первоначальному типу. Такова теорія образованія видовъ, къ которой пришелъ Морицъ Вагнеръ еще въ 1869 г. и которая съ тѣхъ поръ привлекла довольно много послѣдователей (10).

Исходя изъ этой теоріи, легко объяснить незначительность распространенія нѣкоторыхъ видовъ, и, наоборотъ, широкое географическое разселеніе другихъ; нетрудно тогда понять, почему фауна острововъ отличается отъ фауны сосѣдняго континента, почему въ Старомъ Свѣтѣ фауна различныхъ его частей имѣетъ такъ много общихъ чертъ.

Но уже гораздо труднѣе объяснить громадную разницу, которая существуетъ между австралійской фауной, характернымъ признакомъ которой является изобиліе сумчатыхъ животныхъ (Marsupialia) и полное отсутствіе плацентныхъ млекопитающихъ, и между фауной Стараго Свѣта, гдѣ сумчатыя совершенно отсутствуютъ. Является также вопросъ, почему въ Австраліи и въ Полинезіи существуютъ только тѣ виды прѣсноводныхъ моллюскъ, происхожденіе которыхъ относится ко вторичной эпохѣ и почему до сихъ поръ не удавалось тамъ найти ни сулейницъ (Ampullaria), ни беззубокъ (Anodonta). Нельзя объяснить ни климатическими условіями, ни простой дифференціаціей вслѣдствіе изоляціи, почему тапиры встрѣчаются только въ Южной Америкѣ и въ Малайскомъ архи-

пелагѣ [1]) и совершенно не водятся въ Африкѣ; почему странный родъ рукокрылыхъ (*Pteropus*) живетъ только на Мадагаскарѣ и въ Индіи и совершенно отсутствуютъ въ Африкѣ; почему фауна Мадагаскара имѣетъ такое замѣчательное сходство съ фауной Южной Америки и Антильскихъ острововъ. Точно также остается совершенно непонятнымъ, почему прѣсноводныя фауны Южной Америки и Африки имѣютъ такъ много общаго между собой.

Всѣ эти проблемы зоологической географіи абсолютно неразрѣшимы, если мы къ нимъ будемъ подходить только съ точки зрѣнія современнаго порядка вещей. Но какъ только мы допустимъ, что распредѣленіе суши и морей въ предыдущія геологическія эпохи было другое, чѣмъ теперь, эти явленія получаютъ совершенно новое освѣщеніе. Если мы допустимъ, что прежде Южная Америка и Африка соединялись тамъ, гдѣ теперъ находится Атлантическій океанъ, то мы уже не будемъ поражены сходствомъ фауны обоихъ континентовъ. Если мы допустимъ, что Индостанъ, Сейшельскіе острова и Мадагаскаръ представляютъ собой остатки стараго континента, занимавшаго мѣсто теперешняго Индійскаго океана, то мы поймемъ причину близости фаунъ этихъ странъ, теперь отдѣленныхъ другъ отъ друга. Если мы предположимъ, что Австралія была отдѣлена отъ Стараго Свѣта въ ту эпоху, когда плацентныя млекопитающія еще не появились въ Азіи, то намъ будетъ ясно, что въ Австраліи продолжаютъ существовать безъ значительныхъ измѣненій животныя вторичной эры, которымъ не приходилось бороться съ новыми пришельцами, лучше ихъ приспособленными къ жизни.

Самая интересная проблема, которая стоитъ на очереди передъ исторической геологіей и заключается именно, какъ мы уже говорили, въ изученіи послѣдовательныхъ измѣненій размѣровъ материковъ и въ изученіи миграцій, являвшихся результатомъ этихъ измѣненій. Въ настоящее время намъ остается лишь дать общій обзоръ естественныхъ подраздѣленій къ которымъ приводитъ раціональное изученіе географическаго распредѣленія живыхъ существъ.

---

[1]) Въ такомъ случаѣ мы говоримъ, что виды рода Tapirus являются разобщенными.

1. Sollas. On the Origin of Freshwater Faunas: A. Studyin Evolution. *Trans Roy. Dublin Soc.*, N. S., III, p. 87-118, 1884.

2. A. S. Packard. The Cave Fauna of North America, with remarks on the Anatomy of the Brain and Origin of the Blind Species. *National Acad. of Sc. Washington*, IV. 156 p., 27 pl., 1887.

3. C. Chilton. The Subterreanean Grustacea of New Zealand, with some remarks on the fauna of Caves and Wells. *Trans. Linn. Soc. London*, VI, pt. 2d, p. 153-284, 6 pl., 1894.

4. Otto Hamann. Europäische Höhlenfauna. Eine Darstellung der in. den Höhlen Europas lebenden Thierwelt mit besonderer Berücksichtigung der Höhlen. Krains: 1 vot. in-8⁰, XIII + 296 p., 5 pl. Jena, 1896.

5. Armand Viré. Essai sur la faune obscuricole de France. Thèse Fac. Sc. Paris. 1 vol in-8⁰, 157 p., 1899.

5 *bis*. E. G. Racowitza. Essai sur les problèmes biospéologiques. *Arch. zool expèrim.*, 4⁰ sér., VI, p. 371-488 1907.

6. O. Drude. Atlas der Pflanzenverbreitung. Berghaus Physikalischer Atlas, Abth. V, 6 p., 8 cartes. Gotha, 1887.

7. Gaston Bonnier. Les plantes arctiques comparées aux mêmes espèces des Alpes et des Pyrénées. *Rev. gén. de Botan.*, VI, p. 505-577, pl. XVIII-XXI. 1894.

8. Oscar Drude. Manuel de Géographie botanique. Trad. par. Geogres Poirault. 1 vol. in 8⁰, 552 p., 4 cartes, 3 fig. Paris. 1897.

9. A. F. W. Schimper. Pflanzen-Geographie auf physiologischer Grundlage 1 vol. in-8⁰, 877 p., 502 fig., 5 pl., 4 cartes. Jenna, 1898.

10. Arnold Jacobi. Lage und Form biogeographischer Gebiete. *Zeilschr. d Ges. f. Erdk. zu Berlin*, XXXV, p. 147-238, pl. VII, VIII, 1900.

11. G. Baur. New observations on the origin of the Galápagos Islands, with remarks on the geological age of the Pacific Ocean. *The American Naturalist*, XXXI, p. 661-680, 864-896, 1897.

ГЛАВА IV.

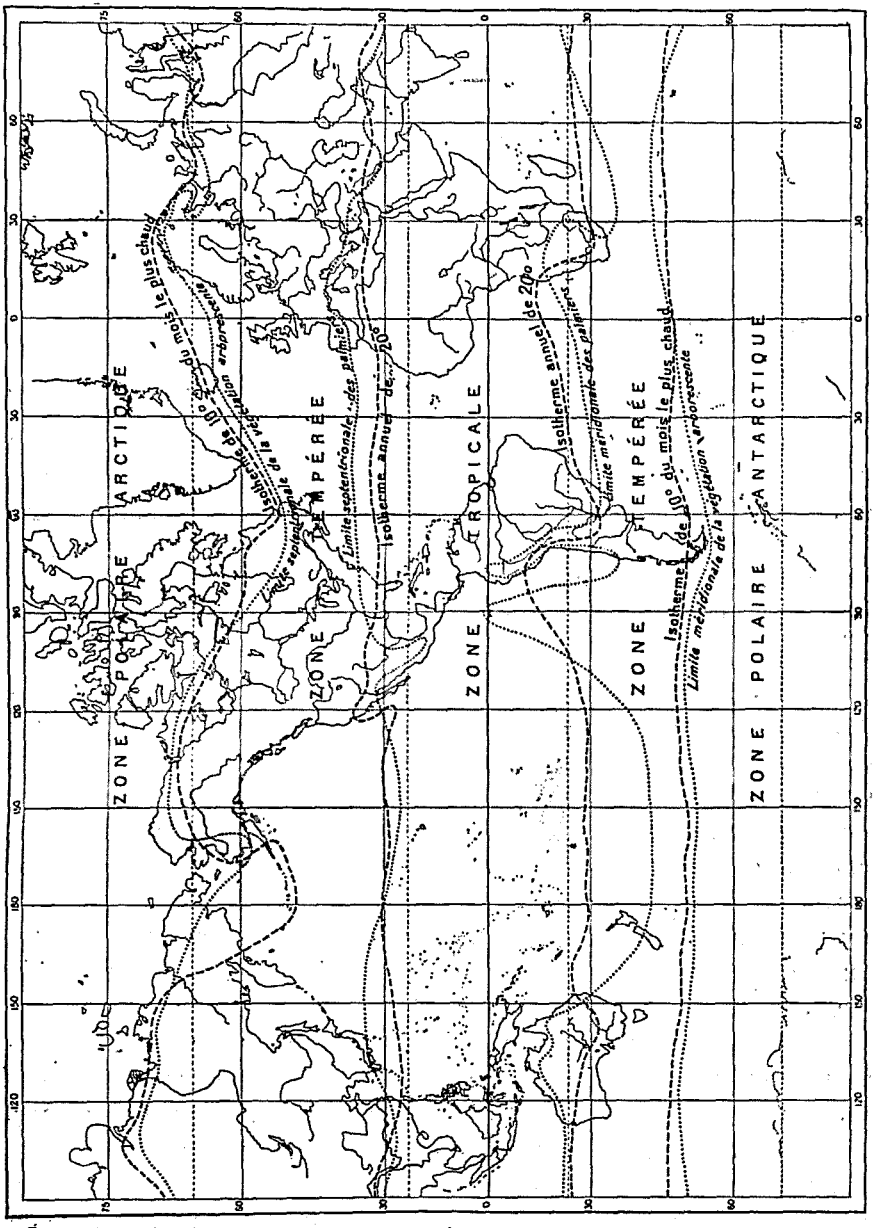
Ботаническія и зоологическія области.

Климатическіе пояса.—Зоологическія области.

Климатическіе пояса. — Какъ выше было указано климатъ является существеннымъ факторомъ при распространеніи растеній на землѣ, а потому намѣченные метеорологами климатическіе пояса, должны также обозначить тѣ границы, въ которыя могутъ быть включены ботаническія области. И дѣйствительно, приложеніе этого принципа на практикѣ дало блестящіе результаты.

Такъ, напр., изотерма въ 10^0 самаго теплаго мѣсяца въ году, которая отграничиваетъ южный и сѣверный полярные пояса отъ обоихъ умѣренныхъ поясовъ, совпадаетъ въ каждомъ полушаріи болѣе или менѣе точно съ крайней границей древесной растительности; годовая изотерма въ 20^0 почти совпадаетъ съ сѣвернымъ и южнымъ предѣломъ распредѣленія пальмъ. Такимъ образомъ, установленные метеорологіей полярные, умѣренные и тропическій пояса имѣютъ приблизительно тѣ же границы, что и соотвѣтствующіе пояса ботанической географіи (фиг. 8).

Какъ мы уже указывали выше, физическія условія, характерныя для пяти климатическихъ поясовъ, повторяются въ поясахъ различной высоты надъ уровнемъ моря, расположенныхъ на склонахъ горъ. Въ каждомъ изъ пяти климатическихъ поясовъ, климатъ опредѣляетъ также естественныя подраздѣленія, характеризующіяся преобладаніемъ одной и той же растительной формаціи (1), т.-е. извѣстной группировки растеній, приспособленныхъ къ одинаковымъ физическимъ условіямъ существованія. Каждое изъ этихъ естественныхъ подраздѣленій, изъ этихъ формацій, имѣетъ кромѣ того особую фауну, общій характеръ которой опредѣляется соотвѣтствующей растительной пищей.



Фиг. 8.— Приблизительное совпаденіе растительныхъ и климатическихъ зонъ (по Зупану).

Въ верхней части карты { ---- изотерма 10° самаго теплаго мѣсяца. ..... сѣверн. граница древесн. растительности.

Въ средней части карты. { ---- годовая изотерма 20°. ..... сѣверная граница пальмъ.

Въ нижней половинѣ карты. { ---- годовая изотерма 20°. ..... южная граница пальмъ.

Въ самой нижн. части карты. { ---- изотерма 10° самаго теплаго мѣсяца. ..... южная граница древесной растительности.

Кромѣ того, въ предѣлахъ одной и той же формаціи можно различить значительное количество второстепенныхъ подраздѣленій, тѣмъ болѣе многочисленныхъ, чѣмъ разнообразнѣе топографія страны и чѣмъ сложнѣе ея геологическое строеніе и чѣмъ, слѣдовательно, условія существованія измѣняются чаще какъ въ горизонтальномъ направленіи, такъ и въ вертикальномъ. Въ странахъ, гдѣ физическія условія такъ же разнообразны какъ во Франціи, пришлось установить цѣлую іерархію фитографическихъ территорій (2), въ подробное разсмотрѣніе которыхъ намъ сейчасъ незачѣмъ входить [1]). Гораздо интереснѣе опредѣлить самую мелкую единицу въ группировкѣ, которую было бы полезно различать въ работахъ по ботанической географіи.

Растительная ассоціація, говоритъ Фліо (Flahault), есть послѣднее выраженіе жизненной борьбы и приспособленія къ средѣ въ группировкѣ видовъ. Растенія одной и той же станціи связаны другъ съ другомъ не только условіями совмѣстнаго существованія, но и взаимными выгодами, которыя по крайней мѣрѣ нѣкоторыя изъ нихъ извлекаютъ изъ совмѣстной жизни съ другими растеніями.

Обыкновенно эти ассоціаціи получаютъ названіе по тому растенію, которое является самымъ обильнымъ, самымъ характернымъ, присутствіе котораго тотчасъ же вызываетъ у ботаника представленіе о цѣломъ рядѣ сопутствующихъ ему другихъ растеній [2]).

Когда удается собрать въ одномъ мѣстонахожденіи цѣлую серію ископаемыхъ остатковъ растеній, принадлежащихъ къ различнымъ видамъ, то бываетъ очень интересно возстановить ту растительную ассоціацію, которую образуютъ найденные элементы. Иногда случается найти по сосѣдству другіе остатки и возстановить другую ассоціацію. Познакомившись съ нѣсколькими ассоціаціями, относящимися къ одной эпохѣ, можно будетъ возстановить и всю растительную формацію и уяснить себѣ климатическія условія, отъ которыхъ зависѣло ея существованіе.

---

[1]) Область, подъ-область, секторъ округъ, подъ-округъ, станція (Ch. Flahault).

[2]) Такъ, напр., въ южномъ Лангедокѣ и въ Русильонѣ, ботаническую карту которыхъ далъ Фліо, можно различить ассоціаціи, обусловленныя слѣдующими деревьями: горная сосна, ель, лѣсная сосна, Pinus laricio, морская сосна, букъ, каштановое дерево, зимній дубъ, пробковый дубъ, каменный дубъ. Площадь распространенія каждаго изъ нихъ оказалось возможнымъ обозначить на картѣ условными красками.

Не стоитъ болѣе останавливаться на значеніи подобныхъ реконструкцій.

Перейдемъ теперь къ общему обзору различныхъ климатическихъ поясовъ и главнѣйшихъ естественныхъ подраздѣленій.

Полярный поясъ. Мы можемъ здѣсь не принимать въ разсчетъ южный полярный поясъ, такъ какъ Антарктическій континентъ покрытъ громаднымъ ледянымъ, покровомъ и даже большинство острововъ его окружающихъ находятся подъ льдомъ, такъ что вся флора тамъ представлена почти только тайнобрачными. Мѣстная же фауна заключаетъ въ себѣ лишь морскихъ птицъ.

Наоборотъ, въ сѣверномъ полярномъ поясѣ громадныя пространства покрываются лѣтомъ растительностью, которую мѣстами можно назвать даже роскошной. Впрочемъ, въ мѣстностяхъ наименѣе благопріятно расположенныхъ, т. е. въ равнинахъ преобладаютъ лишаи и лиственные мхи (*Polytrichum*), образующіе на поверхности почвы какъ бы шерстяной коверъ. Независимо отъ того, является ли этотъ покровъ сухимъ или влажнымъ, этотъ типъ растительности называется *тундрой*. Деревья въ ней совершенно отсутствуютъ, мѣстами есть заросли кустарника, ихъ образуютъ *Betula nana*, *Salix herbacea*, *Dryas octopetala*.

Почти совершенно аналогичная растительность встрѣчается на извѣстной высотѣ горъ въ умѣренныхъ поясахъ между верхней границей древесной растительности и нижней границей вѣчныхъ снѣговъ.

Тундра покрываетъ широкую полосу на сѣверѣ Стараго Свѣта отъ Варангеръ Фіорда до Берингова пролива и часть Сѣверной Америки. Почва тамъ вѣчно мерзлая на глубинѣ и лѣтомъ оттаиваетъ только съ поверхности.

Фауна тундры очень характерна; виды въ ней встрѣчающіеся одни и тѣ же и въ Старомъ и въ Новомъ Свѣтѣ. Главнѣйшими ея представителями являются бѣлый медвѣдь (*Ursus maritimus*), росомаха (*Gulo luscus*), лемингъ (*Myodes torquatus*), пищуха (*Lagomys arcticus*), бизонъ, мускусный быкъ (*Ovibos moschatus*), лось (*Alces machlis*), сѣверный олень (*Rangifer tarandus*). Изъ птицъ большинство относится къ плавающимъ и многія изъ нихъ принадлежатъ къ категріи перелетныхъ. Окраска шерсти у большинства животныхъ, въ силу приспособленія къ средѣ, бѣлая. То же самое наблюдается въ альпійскихъ областяхъ, гдѣ многія животныя зимой принимаютъ бѣлую окраску.

Пресмыкающіяся почти отсутствуютъ. Насѣкомыя представлены незначительнымъ количествомъ видовъ, то же можно сказать и о наземныхъ моллюскахъ.

Умѣренные поясы. Въ умѣренныхъ поясахъ мы находимъ мѣстности съ самыми разнообразными климатическими условіями, начиная съ пустынь и кончая лѣсами гигрофильныхъ или влаголюбныхъ вѣчно зеленыхъ деревьевъ, растущихъ въ мѣстахъ съ морскимъ климатомъ, гдѣ дожди бываютъ круглый годъ. Между этими

крайними точками можно помѣстить съ одной стороны лѣса съ опадающей листвой, лѣса хвойныхъ деревьевъ, растущихъ въ областяхъ съ болѣе или менѣе суровой зимой, и съ другой стороны безлѣсныя степи, покрытыя травой или камнями; области этихъ двухъ типовъ опять таки представляютъ рядъ ступеней, такъ какъ онѣ, по словамъ Шимпера, борются другъ съ другомъ „какъ два враждебныхъ, но одинаково могущественныхъ племени“. Въ результатѣ этой борьбы появляются области смѣшаннаго типа: *парки* или пространства покрытыя высокими травовидными растеніями и злаками, чередующимися съ рощицами деревьевъ или съ настоящими лѣсами [1]); *саванны*, т.-е. луга съ ксерофильной или сухолюбной растительностью, на которыхъ разсѣяны одинокія деревья.

Хвойные лѣса и лѣса съ опадающими листьями очень распространены въ умѣренномъ поясѣ лишь сѣвернаго полушарія и занимаютъ какъ въ Старомъ, такъ и въ Новомъ Свѣтѣ большое пространство, примыкающее къ полярному поясу. Въ этихъ лѣсахъ, въ зависимости отъ ихъ мѣстоположенія, преобладаетъ обыкновенно какой-либо одинъ родъ растительности: такъ сережкоцвѣтныя занимаютъ равнины и холмы, хвойныя обильнѣе въ гористыхъ мѣстностяхъ, при чемъ и здѣсь эдафическій факторъ имѣетъ большое значеніе.

Фауна лѣсовъ умѣреннаго пояса извѣстна всѣмъ—это наши дикія животныя [2]): волкъ, лисица, дикая кошка, барсукъ, бурый медвѣдь, бѣлка, заяцъ, кроликъ, кабанъ, олень, лань, косуля; бобръ и выдра живутъ въ текучихъ водахъ; ежъ, землеройка, куницы и мыши живутъ также и въ безлѣсныхъ мѣстностяхъ.

Эти же самые виды или виды имъ чрезвычайно близкіе встрѣчаются въ Сѣверной Америкѣ и въ Азіи.

Деревья съ плотными листьями растутъ въ изобиліи въ странахъ, расположенныхъ около Средиземнаго моря; изъ животныхъ этихъ мѣстностей мы назовемъ лишь двухъ типичныхъ представителей дикобраза и безхвостую мартышку (*Inuus ecaudatus*), локализованную теперь въ Европѣ на Гибралтарской скалѣ. Тотъ же типъ растительности встрѣчается въ Калифорніи и въ западной Австраліи.

Лѣса влаголюбныхъ вѣчно зеленыхъ деревьевъ преобладаютъ въ прибрежныхъ областяхъ на юго-востокѣ Соединенныхъ Штатовъ, въ южной Японіи, на востокѣ Австраліи, въ Новой Зеландіи, и на югѣ Чили. Особенно многочисленны тамъ древовидные папоротники.

Фауна же этихъ странъ имѣетъ между собою мало общаго, что лишній разъ доказываетъ слабое вліяніе климатическаго фактора въ разселеніи млекопитающихъ.

Травянистыя *степи*, занимаютъ большое пространство на юго-востокѣ Россіи, на югѣ Сибири, въ Монголіи, въ центрѣ Сѣверной Америки, гдѣ ихъ называютъ „преріями“, въ Аргентинской республикѣ (такъ называемые „пампасы“) и въ умѣренно-влажныхъ областяхъ Австраліи.

---

[1]) Въ русской литературѣ чаще употребляется названіе *островные лѣса* (*примѣч. ред*).

[2]) Мы здѣсь ограничимся перечисленіемъ лишь главнѣйшихъ видовъ млекопитающихъ.

Фауна европейскихъ и азіатскихъ степей представлена многочисленными спеціально для нихъ характерными грызунами, каковы: байбакъ, тушканчикъ, хомякъ, тамъ же водятся джигетай и сайгаки (Antilope saiga).

Нахожденіе подобной фауны въ ископаемомъ видѣ въ нѣкоторыхъ отложеніяхъ четвертичнаго періода доказываетъ, что во всей Западной Европѣ въ продолженіе опредѣленной фазы этого періода, господствовалъ сухой чисто континентальный климатъ, сходный, напр., съ климатомъ степей центральной Азіи.

Многія области съ сухимъ климатомъ въ умѣренномъ южномъ поясѣ отличаются сильнымъ распространеніемъ низкихъ ксерофильныхъ зарослей и безлистенныхъ часто колючихъ кустовъ. Сюда относятся австралійскій скрубъ „scrub“ съ его *эвкалиптами*, акаціями, Proteaceae и южно-африканскіе „bosjes“.

Всѣ эти ботаническіе комплексы представляютъ изъ себя какъ бы эквивалентъ кустарниковыхъ зарослей и пустырей южныхъ областей сѣвернаго полушарія. Они являются переходомъ *къ пустынямъ*, расположеннымъ главнымъ образомъ на границахъ тропическаго пояса. Такъ, Сахара и Аравійская пустыня заходятъ всего на нѣсколько градусовъ за тропикъ рака: пустыни Иранскаго плоскогорья, центральной Азіи, Скалистыхъ горъ, Патагоніи расположены цѣликомъ въ умѣренномъ поясѣ; пустыни южной Африки, южнаго Мадагаскара и Австраліи захватываютъ тропическій поясъ.

Рѣдкая, не образующая сплошного покрова, растительность пустынь состоитъ преимущественно изъ ксерофильныхъ кустарниковъ съ кожистыми листьями (*Retama, Leptadenia*), изъ колючихъ кустовъ (*Alhagi, Zilla, Cornulaca*), изъ сочныхъ растеній (*Opuntia, Cereus, Agave*), изъ растеній съ осевыми корнями (*Welwitschia, Harpagophytum*) и съ разстилающимися корнями (*Cucumis colocinthis*—дикая тыква).

Фауна не отсутствуетъ въ пустынѣ вопреки распространенному мнѣнію, она лишь здѣсь не такъ многочисленна, какъ въ степяхъ и саваннахъ. Изслѣдователь Фуро во время своего замѣчательнаго путешествія изъ Алжира въ Конго мимо озера Тсадъ [1]) встрѣтилъ въ сѣверной и центральной Сахарѣ три вида газелей, нѣсколько антилопъ, между которыми была и адда (Addax), муфлона арни (Ovis tragelaphus), гепарда, шакала, феннека, лисицу, гіенъ, тушканчика, много ящерицъ и змѣй, пауковъ, скорпіоновъ и различныхъ насѣкомыхъ. Птицы водятся тамъ преимущественно хищныя и перелетныя. Львы и обезьяны появляются южнѣе, въ области Иферуанъ, тамъ же, гдѣ начинаютъ встрѣчаться и первыя деревья.

Верблюдъ, такъ хорошо приспособленный для жизни въ пустынѣ, извѣстенъ въ дикомъ состояніи лишь въ пустыняхъ центральной Азіи около Кашгара. Другія мозоленогія, ламы и альпака, живутъ въ пустыняхъ Южной Америки.

Страусъ тоже житель пустынь и саваннъ, такъ же, какъ и другія большія бѣгающія птицы; онъ водится лишь въ Африкѣ и въ Аравіи;

---

[1]) Documents scientifiques de la Mission Saharienne. t. II p. 997 — 1001. Paris, 1905.

небольшой страусъ нанду (Rhea) локализованъ въ Южной Америкѣ, эму въ Австраліи, а казуаръ въ Новой Гвинеѣ и на сѣверѣ Австраліи.

Тропическій поясъ. Въ тропическомъ поясѣ такъ же, какъ и въ умѣренныхъ, встрѣчаются самыя крайнія климатическія формаціи.

Одну крайность представляютъ лѣса вѣчнозеленыхъ влаголюбныхъ растеній, растущихъ въ странахъ, гдѣ дожди распредѣлены по всѣмъ временамъ года.

Дальше же идутъ настоящіе тропическіе лѣса съ тропофильными растеніями теряющими свою листву и приспособленными къ смѣнѣ двухъ періодовъ: періода дождей и засухи.

Обыкновенно обѣ эти формаціи объединяютъ однимъ словомъ, называя ихъ,—„*дѣвственнымъ*“ или „*тропическимъ*“ лѣсомъ. На картѣ трудно очертить ихъ взаимныя границы; что же касается тропическаго лѣса вообще, то онъ простирается широкой полосой на западномъ берегу Африки отъ Гамбіи до Конго, по восточному берегу Мадагаскара, въ Бирмѣ, на Малайскомъ полуостровѣ, въ Восточной Индіи, въ Филиппинахъ. Мы также можемъ его видѣть въ Новой Гвинеѣ, на сѣверѣ Австраліи, въ Колумбіи, въ низменныхъ мѣстностяхъ Венецуэлы, Гвіаны, Бразиліи и, наконецъ, на большинствѣ океанскихъ острововъ тропическаго пояса.

Тропическій лѣсъ отличается отъ лѣсовъ умѣреннаго пояса чрезвычайнымъ разнообразіемъ составляющихъ его элементовъ: потребовались бы цѣлыя страницы, чтобы его описать. Слѣдуетъ, впрочемъ, упомянуть объ обиліи древовидныхъ ліанъ и паразитныхъ растеній.

Фауна тропическихъ лѣсовъ менѣе разнообразна. Тропическіе лѣса это родина большихъ и въ частности антропоморфныхъ обезьянъ. Крупныя четвероногія рѣдки и преимущественно сосредоточены вдоль рѣкъ.

Только слоны, носороги и буйволы могутъ прокладывать себѣ дорогу черезъ непроходимую чащу тропическаго подлѣска. Птицы очень многочисленны и блещутъ яркостью красокъ. Не менѣе часто встрѣчаются змѣи, большія ящерицы и амфибіи, насѣкомыя столь же разнообразны, какъ и флора.

Болѣе сухія области образуютъ *тропическую саванну*, которая принимаетъ видъ *парка*, когда на ней находятся въ значительномъ количествѣ или одинокостоящія большія деревья или рощи деревьевъ съ опадающей листвой: или переходитъ въ *степь*, когда деревья совершенно изчезаютъ. Ксерофильныя растенія являются часто преобладающими. Вдоль рѣкъ растутъ прекрасные *галерейные лѣса.*

Саванна занимаетъ громадныя площади въ центрѣ Африки, гдѣ ее часто называютъ *бруссъ* (*brousse*), а также и на высокихъ плоскогорьяхъ Бразиліи и Гвіаны, гдѣ области занятые саванной называются *карраскосъ* („*carrascos*“). Аналогичной ботанической формаціей являются индійскія *джунгли* очень богатыя бамбуками.

Фауна тропической саванны въ особенности разнообразна. Тамъ имѣются и обезьяны; крупные хищники водятся тамъ во множествѣ, благодаря обилію травоядныхъ; африканскіе слоны еще встрѣчаются

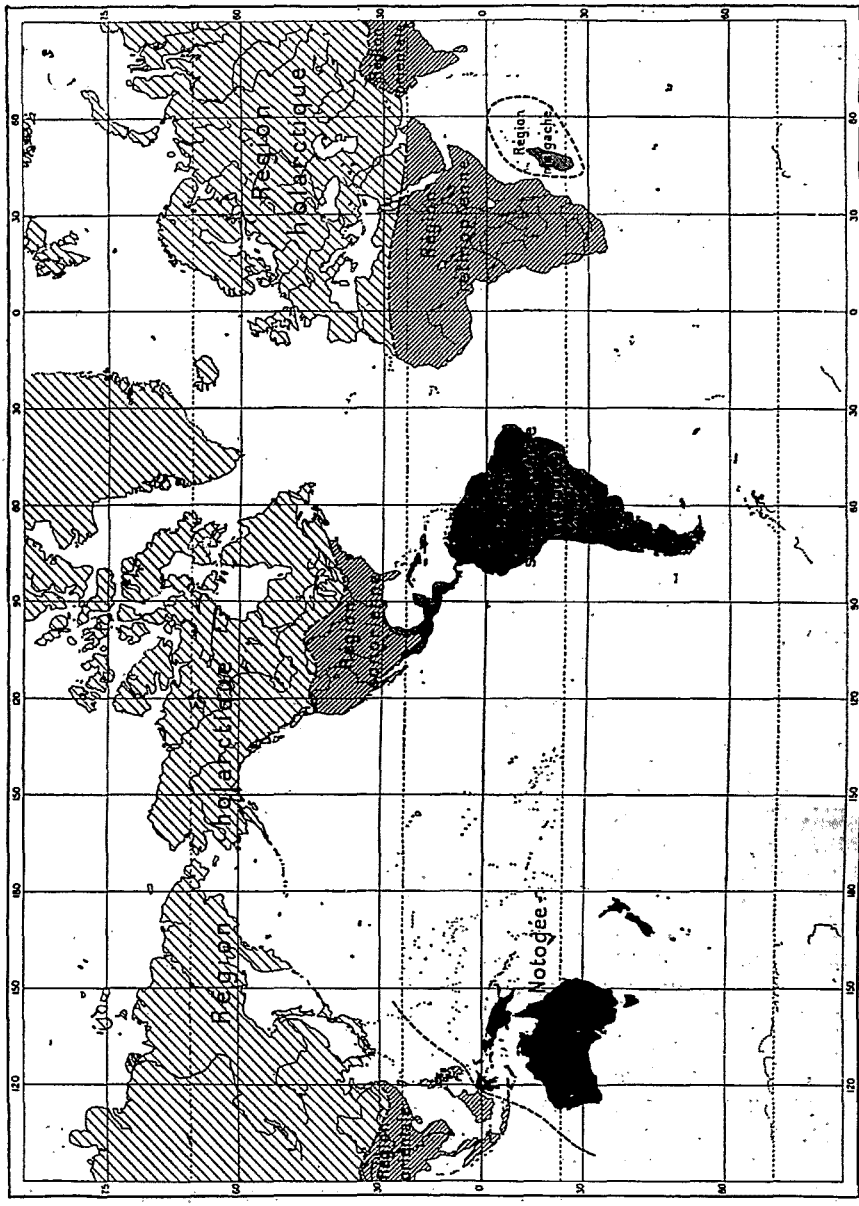
цѣлыми стадами; саванны можно считать родиной жирафъ, антилопъ, зебръ; различные муравьѣды находятъ тамъ себѣ обильную пищу, такъ какъ ботаническія условія какъ нельзя больше подходятъ для жизни муравьевъ.

Наконецъ, тропическій поясъ не лишенъ пустынь. Южно-Индійская пустыня цѣликомъ расположена въ тропическомъ поясѣ. Прибрежная полоса Перу и сѣверной Чили являются областями съ наименьшимъ количествомъ дождей на всемъ земномъ шарѣ.

Высокія плоскогорія Андъ также имѣютъ климатъ пустыни. О характерѣ же пустынной флоры и фауны мы уже говорили выше.

Палеонтологія растительнаго царства несомнѣнно позволитъ намъ въ будущемъ возстановить для большинства геологическихъ періодовъ ихъ ботаническія формаціи, очертить границы распространенія послѣднихъ и опредѣлить ихъ связь съ фауной, и эти результаты дадутъ возможность построить на серьезныхъ основаніяхъ соображенія о климатѣ прошедшихъ эпохъ. Въ настоящее же время мы видимъ, лишь первыя попытки въ этомъ направленіи.

Зоологическія области. — Выше мы уже указывали на какихъ основаніяхъ мы подраздѣлили поверхность земного шара на естественныя зоологическія области. Пользуясь статистическимъ методомъ, можно было бы опредѣлить для каждой категоріи животныхъ площадь ихъ распространенія, а отсюда перейти и къ отграниченію зоологическихъ областей. Но эти области имѣли бы значеніе лишь для одной группы животныхъ и едва ли бы подходили для другихъ животныхъ; однако, было установлено, что географическія подраздѣленія, основанныя на распространеніи млекопитающихъ, дали сравнительно удовлетворительные результаты: во всякомъ случаѣ не противорѣчащіе выводамъ полученнымъ при изученіи другихъ наземныхъ и прѣсноводныхъ животныхъ. Съ другоой стороны мы можемъ во многихъ случаяхъ понять причину современнаго разселенія млекопитающихъ, благодаря тому обстоятельству, что намъ извѣстна, хотя бы въ общихъ чертахъ, ихъ палеонтологическая исторія. Такимъ образомъ, самое распространенное зоогеографическое подраздѣленіе основано на разселеніи млекопитающихъ (фиг. 9). Мы дадимъ краткій обзоръ этихъ подраздѣленій, указывая для каждаго изъ нихъ самые характерные типы. Лишь на послѣднихъ страницахъ этой книги можно будетъ подробно и съ пользою остановиться на палеонтологическихъ данныхъ, которыя освѣтятъ намъ геологическую исторію каждой изъ этихъ областей. Номенклатура, которой мы будемъ придерживаться, будетъ



Фиг. 9.—Нынѣшнія зоологическія области (по Р. Лэйдеккеру).

Рѣдкая косая штриховка—область Голарктическая; средняя кос. штр.—область Восточная (въ южн. Азіи), обл. Сонорская въ Сѣв. Америкѣ и обл. Эфіопская въ Африкѣ; мелкая кос. штр.—область Южно-американская (Неогеа) и обл. Мадагаскарская; штриховка въ клѣтку—обл. Австралійская (Нотогеа).

та, которой пользовался Р. Ляйдеккеръ въ своей прекрасной книгѣ по географической исторіи млекопитающихъ (11); она, впрочемъ, опирается и на предыдущія работы Склетера, Уоллеса (4), Гексли, Гейльприна.

Голарктическая или кругополярная область. — Вся сѣверная и умѣренная часть сѣвернаго полушарія населена замѣчательно однородной фауной. Прежнее различіе между „палеарктическою“ областью Стараго Свѣта и „неоарктическою“ Новаго Свѣта не имѣетъ основанія, потому что въ бореальныхъ областяхъ обоихъ континентовъ млекопитающія почти тождественно схожи между собой, какъ это уже было выше указано; и такъ какъ фауны умѣренныхъ поясовъ обнаруживаютъ также очень близкое сходство между собою; вслѣдствіе этого для зоологической области, охватывающей оба пояса обоихъ континентовъ, прекрасно подходитъ названіе *„голарктической“* или *„кругополярной“*. Совершенно безполезно останавливаться здѣсь на перечисленіи самыхъ характерныхъ видовъ животныхъ этой обширной области; для этой цѣли вполнѣ будетъ достаточно соединить перечень животныхъ бореальнаго климатическаго пояса съ животными лѣсовъ и степей умѣреннаго пояса въ сѣверномъ полушаріи.

Голарктическая область не содержитъ ни приматовъ, ни неполнозубыхъ, ни сумчатыхъ, ни однопроходныхъ. Изъ семействъ, встрѣчающихся по всей области, можно назвать слѣдующія: *Soricidae*, *Talpidae*, *Felidae*, *Mustelidae*, *Sciuridae*, *Castoridae*, *Muridae*, *Lagomyidae*, *Leporidae*, *Ovidae*, *Bovidae*, (землеройки, кроты, кошки, куницы, бѣлки, бобры, мыши, пищухи, зайцы, овцы, быки). Изъ всѣхъ этихъ семействъ только *Lagomyidae* не имѣютъ представителей за предѣлами голарктической области.

Границы этой области трудно очертить съ точностью, такъ какъ почти повсюду замѣчаются незамѣтные переходы къ болѣе южнымъ областямъ. Во всякомъ случаѣ на югѣ Европы Средиземное море представляетъ прекрасную демаркаціонную линію, такъ какъ сѣверноафриканская фауна приближается гораздо болѣе къ фаунѣ Эѳіопской области, чѣмъ къ Голарктической.

Эѳіопская область. — Африка вмѣстѣ съ Аравіей до Сиріи и не включая Мадагаскара даетъ наиболѣе естественное подраздѣленіе, которое Склетеръ назвалъ *эѳіопской* областью.

Здѣсь представлены за исключеніемъ сумчатыхъ и однопроходныхъ всѣ отряды наземныхъ млекопитающихъ при чемъ подотряды дамановыхъ (*Hyracoidea*) и трубкозубыхъ (*Tubulidentata*) напр. *Orycteropus* водятся исключительно въ этой области. Наоборотъ, олени, медвѣди и кроты здѣсь совершенно отсутствуютъ. Въ качествѣ спеціально мѣстныхъ породъ слѣдуетъ назвать: гориллу, шимпанзе, гиппопотама, жирафа, недавно найденнаго окапи, многочисленныхъ антилопъ, африканскую кабаргу (*Hyaemoschus*) и пр.

Мартышки, лемуры, носороги, слоны, панголины живутъ также въ Южной Азіи.

Восточная или Индо-Малайская область.— Индія вмѣстѣ съ Гималайской подобластью, Индо Китай, Южный Китай, Малайскіе острова образуютъ зоологическую область со спеціальной фауной,— которая, впрочемъ, имѣетъ много общаго съ фауной Эѳіопской области, несмотря на то, что отъ послѣдней она отдѣлена Иранскимъ плоскогоріемъ съ голарктической фауной.

Характерныя для этой области семейства можно указать только среди насѣкомоядныхъ. Тапиры, правда, отсутствуютъ въ Африкѣ, но они водятся въ Южной Америкѣ. Количество же характерныхъ родовъ болѣе значительно (Орангутангъ, гиббонъ, различные лемуры, насѣкомоядныя и т. д.).

Если же принять во вниманіе ископаемую фауну конца третичнаго періода, черты сходства между Индо-Малайской и Эѳіопской областью еще усилятся, потому что нѣкоторыя исключительно Африканскіе типы, какъ гиппопотамъ, теперь не встрѣчающіеся въ Индо-Малайской области, извѣстны, какъ ископаемые въ неогеновыхъ отложеніяхъ Сиваликскихъ горъ; и наоборотъ, азіатскіе типы, теперь неизвѣстныя въ Африкѣ, находятся тамъ въ третичныхъ отложеніяхъ сѣверо-восточной части континента. Мало того, эта Индо-Африканская фауна очень однородная въ своихъ наиболѣе существенныхъ элементахъ существовала также въ Европѣ въ неогеновую эпоху и была представлена тѣми же элементами. Лишь въ четвертичный періодъ, она была отодвинута къ югу вторженіемъ Голарктической фауны, сѣверной по своему происхожденію.

Подробное разсмотрѣніе этихъ событій можетъ быть дано лишь въ послѣдныхъ главахъ настоящей книги; теперь же мы ограничиваемся указаніемъ на ихъ общіе результаты, безъ знанія которыхъ намъ была бы непонятна общность происхожденія Эѳіопской и Индо-Малайской фауны и ихъ послѣдующая дифференція.

Сонорская область. Голарктическая фауна завоевала почти одновременно сѣверныя страны Стараго и Новаго Свѣта. Въ Сѣверной Америкѣ она оттѣснила къ югу фауну, имѣвшую извѣстное сходство съ Индо-Африканской. Прямые потомки этой третичной фауны живутъ и теперь въ особой мѣстности, которую мы называемъ *Сонорской* [1]) зоологической областью и котарая занимаетъ значительную часть Соединенныхъ Штатовъ и высокое Мексиканское плоскогорье.

Эта фауна состоитъ изъ довольно разнообразныхъ элементовъ. Нѣкоторыя животныя ясно выраженнаго голарктическаго происхожденія, какъ хорекъ, медвѣдь, бобръ и др.; нѣкоторыя, какъ напримѣръ, панцырники, иммигрировали изъ Южной Америки въ сравнительно недавнія времена. Двуутробка (*Didelphys*) теперь исключительно американское животное, имѣетъ своихъ предшественниковъ не только въ третичныхъ отложеніяхъ Америки, но и въ европейскихъ (Парижскій гипсъ). Но есть и довольно значительное количество спеціальныхъ для этой области типовъ животныхъ. Главнѣйшія изъ нихъ слѣдующія: [2]) изъ насѣкомыхъ роды *Notisorex* и *Scalops*,

[1]) Отъ имени провинціи „Сонора“ въ сѣверной Мексикѣ.

[2]) По перечисленію, данному Ляйдеккеромъ.

изъ хищныхъ *Rassariscus* и *Spilogale*, изъ грызуновъ *Rhithrodontomys Sigmodon*, *Neofiber* и многочисленныя представители семейства *Geomyidae*; изъ копытныхъ роды *Antilocapra*, *Cariacus* и *Dicotyles* (*пекари*). Кромѣ того, многіе представители этихъ родовъ, распространены до Южной Америки, но они несомнѣнно сонорскаго происхожденія.

Такъ какъ палеонтологическая исторія млекопитающихъ Сѣверной Америки въ эпоху третичной эры довольно хорошо изучена, то можно опредѣлить, какіе типы являются автохтонными дѣйствительно американскими предшествовавшими вторженію Голарктической фауны; этимъ путемъ удалось установить, что типичныя животныя Сонорской фауны являются прямыми потомками послѣднихъ третичныхъ фаунъ Сѣверной Америки. Такимъ образомъ, Сонорская фауна по отношенію къ третичной Сѣверо-Американской занимаетъ то же мѣсто, что Эфіопская и Индо-Малайская по отношенію къ неогеновой Евразіатской фаунѣ.

Южно-Американская область или Неогея. Фауны тѣхъ областей, которыя мы до сихъ поръ разсмотрѣли, имѣли между собой черты сходства. Палеонтологія намъ доказала, что они произошли отъ неогеновыхъ фаунъ Стараго Свѣта и Сѣверной Америки, между которыми неоднократно во время третичной эры происходилъ обмѣнъ формъ. Въ силу этихъ причинъ тѣ страны, которыя связаны между собою этими древними связями всѣ вмѣстѣ получили названіе *Арктогея*, а южная Америка, гдѣ эволюція млекопитающихъ шла совершенно особымъ путемъ называется *Неогея*. Въ общихъ чертахъ намъ извѣстна исторія южно-американскихъ млекопитающихъ третичной эры; благодаря этому удалось установить существованіе многихъ отрядовъ и подотрядовъ, пріуроченныхъ къ этой мѣстности земного шара и ихъ полное отсутствіе въ Арктогеѣ. Современная южно-американская фауна состоитъ частью изъ прямыхъ потомковъ животныхъ третичной и четвертичной фаунъ Неогеи; въ началѣ четвертичной эры, Америка перестала быть раздѣленной на двѣ половины, между ними устанавилось сообщеніе, и произошелъ обмѣнъ фаунъ между двумя америками; южно-американскіе типы встрѣчаются впервые въ четвертичныхъ отложеніяхъ Сѣверной Америки, и наоборотъ, сѣверо-американскіе животныя появляются въ отложеніяхъ той же эпохи въ пампасахъ и въ Андахъ. Это прекрасный примѣръ миграціи фаунъ данный намъ палеонтологіей. Само собой понятно, что подробное разсмотрѣніе этихъ замѣчательныхъ явленій можетъ быть дано лишь позже.

— Сейчасъ будетъ достаточно указать въ общихъ чертахъ группы животныхъ, которыя въ настоящее время даютъ намъ возможность отличить южно-американскую область (включая сюда Центральную Америку и Антильскіе острова) отъ другихъ областей земного шара.

Южно-американскія обезьяны изъ семействъ *Cebidae* и *Hapalidae*, существенно отличаются отъ всѣхъ обезьянъ Стараго континента своимъ цѣпкимъ хвостомъ и крупными анатомическими особенностями. *Solenodontidae* представляютъ собою семейство насѣкомоядныхъ, свойственное Антильскимъ островамъ и имѣютъ сходство лишь съ ма-

дагаскарскимъ тенрекомъ. Грызуны представлены совершенно особыми семействами. Отрядъ неполнозубыхъ коренной южно-американскій и представители этого отряда появляются въ Сѣверной Америкѣ лишь въ четвертичный періодъ. Изъ числа сумчатыхъ *Didelphydae* встрѣчаются и въ Сонорской области, а родъ *Caenolestes*, открытый Ольдфильдомъ Томасомъ въ Экуадарѣ, является своеобразнымъ типомъ, соединяющимъ *Diprotodontia* съ *Polyprotodontia*.

Если принять во вниманіе нынѣ вымершія формы, то надо было бы упомянуть еще о бо́льшемъ количествѣ исключительно южно-американскихъ типовъ и особенно о многихъ подотрядахъ копытныхъ. Съ другой стороны изученіе третичныхъ фаунъ показываетъ, что семейство кошекъ, теперь представленное здѣсь пумой и ягуаромъ, также собаки, медвѣди, олени, пекари, *Camelidae* (ламы), тапиры, которые составляютъ теперь замѣтную часть южно-американской фауны, иммигрировали туда надавно изъ Сѣверной Америки, гдѣ жили ихъ предки.

Наконецъ, южно-американская фауна отличается и отрицательными чертами: отсутствіемъ узконосыхъ обезьянъ, лемуровъ, антилопъ, быковъ, трубкозубовъ (*Orycteropodidae*), жуковъ-носороговъ, ящеровъ (*Manidae*) и всѣхъ группъ насѣкомоядныхъ встрѣчающихся въ Арктогеѣ.

Изученіе классовъ безпозвоночныхъ и позвоночныхъ, кромѣ млекопитающихъ, показало бы, что и изъ нихъ въ Южной Америкѣ водятся главнымъ образомъ спеціально мѣстные типы, къ которымъ примѣшались въ небольшомъ числѣ и лишь въ самое недавнее время животныя сѣвернаго полушарія; это изученіе указало бы намъ также родственныя черты, которыя соединяютъ многіе мѣстные типы съ африканскими. Изъ рыбъ двойнодышащія даютъ намъ любопытный примѣръ этихъ отношеній, которыя не выясняются изученіемъ млекопитающихъ. Родъ *Protopterus* западной Африки, является родственнымъ роду *Lepidosiren*, живущему въ Бразиліи и въ Парагваѣ. Пресмыкающіяся, пластинчатожаберныя, муравьи и флора даютъ намъ тѣ же данныя и позволяютъ намъ предположить вмѣстѣ съ фонъ-Іерингомъ (15—19), Неймайромъ (0,3), Пфеффероиъ (21), Энглеромъ (20), что Южная Америка и Африка въ очень древній геологическій періодъ, о времени котораго мы постараемся дать въ дальнѣйшемъ болѣе точныя свѣдѣнія, соединялись между собой на мѣстѣ Атлантическаго океана.

Мадагаскарская область. Зоологи всегда считали Мадагаскаръ очень спеціальной областью, отличающейся присутствіемъ нѣсколькихъ совершенно особенныхъ типовъ и полнымъ отсутствіемъ животныхъ самыхъ характерныхъ для Африканскаго континента. Новѣйшія открытія еще болѣе подчеркнули эту особенность. Изученіе субфоссильной (полуископаемой) фауны—особенно увеличило число загадочныхъ фактовъ (22).

Именемъ субфоссильныхъ или полуископаемыхъ фаунъ, обозначаютъ такую совокупность животныхъ, въ которой рядомъ съ еще живущими формами встрѣчаются формы исчезнувшія, но существовавшія еще въ очень недавнее время. Что касается Мадагаскара,

то дѣло идетъ о млекопитающихъ и птицахъ, которыя не только видѣли прибытіе человѣка, но исчезновеніе которыхъ, можетъ быть, такъ сказать, датировано, такъ какъ вмѣстѣ съ костями позвоночныхъ находятъ предметы служившіе украшеніемъ и „ружейные кремни совершенно такой же обдѣлки и такой же формы какъ употребляютъ теперь туземцы для караванныхъ ружей, которыя ввели на островѣ арабы и первые европейцы.

Эти кости были найдены въ торфяникахъ, пещерахъ и въ вулканическихъ пеплахъ. Вотъ наиболѣе выдающіяся черты фауны позвоночныхъ Мадагаскара какъ нынѣ живущихъ, такъ и субфоссильныхъ. Лемуры являются болѣе многочисленными, чѣмъ въ какой бы то ни было области земного шара; нынѣ живущія формы маленькихъ размѣровъ; между исчезнувшими формами встрѣчаются гиганты. Они представлены девятью семействами, изъ которыхъ нѣкоторыя спеціальны для Мадагаскара и сосѣднихъ острововъ и обнаруживаютъ близость съ ископаемыми лемурами Европы.

Мадагаскарскія насѣкомоядныя принадлежатъ или къ семейству *Centetidae*, т. е. къ тенрекамъ, стоящимъ близко только къ *Solenodontidae* Антильскихъ острововъ, или къ нѣкоторымъ родамъ близкимъ къ Эфіопскихъ типамъ, но все таки спеціальнымъ.

Большая часть грызуновъ принадлежитъ *Nesomyidae*, семейству исключительно малайскому.

Между хищниками *Cryptoprocta* и *Eupleres* являются единственными представителями двухъ группъ характерныхъ для острова, тогда какъ *Viverrinae* и *Herpestinae* приближаются къ африканскимъ типамъ и къ ископаемымъ европейскимъ формамъ.

Субфоссильныя Мадагаскарскія фауны доставили остатки двухъ животныхъ, принадлежащихъ къ неполнозубымъ въ самомъ широкомъ смыслѣ: одно изъ нихъ — *Plesiorycteropus* близокъ къ африканскимъ *Orycteropus*, ископаемые остатки которыхъ извѣстны также въ Европѣ и Азіи; другое, которое Гильомъ Грандидье назвалъ *Bradytherium*, настоящее неполнозубое, близкое къ нѣкоторымъ южно-американскимъ формамъ. Это единственное настоящее неполнозубое извѣстное за предѣлами Американскаго континента. Только два рода копытныхъ были найдены въ субфоссильномъ состояніи на Мадаскарѣ *Hippopotamus* и *Potamochaerus*, африканскіе роды, но представленные видами различными отъ видовъ извѣстныхъ на континентѣ.

Итакъ, на Мадаскарѣ нѣтъ ни обезьянъ, ни кошекъ, ни собакъ, ни медвѣдей, ни жвачныхъ, ни слоновъ, ни сумчатыхъ, а семейства грызуновъ и насѣкомоядныхъ характерныя для Арктогеи здѣсь почти отсутствуютъ.

Не менѣе особенностей представляли птицы. А. Мильнъ-Эдвардсъ и А. Грандидье замѣтили, что онѣ гораздо ближе къ типамъ Крайняго Востока, чѣмъ въ африканскимъ. Что касается замѣчательныхъ гигантскихъ субфоссильныхъ птицъ, изъ которыхъ самая извѣстная *Aepyornis*, то онѣ одинаково приближаются къ *Dinornis* Новой Зеландіи, къ нынѣшнимъ страусамъ и къ эоценовымъ птицамъ Европы.

Остается еще сказать нѣсколько словъ объ исполинскихъ черепахахъ, остатки которыхъ находятся въ тѣхъ же отложеніяхъ, въ которыхъ найдены полуископаемыя млекопитающія и *Aepyornis*. Виды этой же группы водились въ изобиліи на Мадагаскарѣ, на островахъ Родригецъ, св. Маврикія, Соединенія и на Сейшельскихъ островахъ въ эпоху ихъ открытія; но теперь даже схожіе виды встрѣчаются только на островахъ Галапагосъ; ископаемые остатки находятся въ египетскихъ третичныхъ отложеніяхъ.

Что же касается остальныхъ позвоночныхъ и безпозвоночныхъ, то мы здѣсь дадимъ лишь тѣ выводы, къ которымъ пришелъ Поль Лемуанъ (23) въ своей замѣчательной критической работѣ о фаунѣ Мадагаскара.

Самымъ интереснымъ факторомъ, выяснившимся въ результатѣ изученія, было то, что „почти во всѣхъ группахъ животныхъ Мадагаскара есть типы, имѣющіе сходство съ южно американскими формами". Поэтому нахожденіе на Мадагаскарѣ настоящаго неполнозубаго не представляетъ исключенія. Вообще мадагаскарская фауна имѣетъ больше аналогій съ южно-американской, чѣмъ фауна эѳіопская.

Съ другой стороны нельзя отрицать извѣстную зоологическую близость между Мадагаскаромъ и Африкой, но сообщеніе между обѣими областями должно быть было прервано въ очень отдаленную эпоху, когда Африку населяла фауна близкая къ южно-американской, и когда характерные для Арктогеи типы (узконосыя обезьяны, слоны, жвачныя и др.) не завладѣли ею [1]).

Присутствіе *Potamochoerus* и гиппопотама въ полуископаемой фаунѣ Мадагаскара объясняется земноводнымъ образомъ жизни этихъ животныхъ. Въ сравнительно недавнее время Мозамбикскій проливъ былъ, вѣроятно, усѣянъ островами, благодаря чему вышеупомянутыя хорошо плавающія животныя могли его переплыть, что не въ состояніи были сдѣлать другія животныя.

Наконецъ, довольно многочисленны черты сходства Мадагаскара съ Индіей (*Pteropus*, *Emballonura*. *Calophrinus*, *Phelsuma*, *Mystrium* и др.) при чемъ слѣдуетъ отмѣтить, что наземные и прѣсноводные моллюски Мадагаскара и Сейшельскихъ острововъ имѣютъ большее сходство съ индійскими, чѣмъ съ африканскими. Сейшельскіе острова образуютъ какъ бы переходъ отъ Мадагаскара къ Индіи, и, какъ уже было указано выше, существуетъ предположеніе, что полуостровъ Индостанъ, Сейшельскіе острова и Мадагаскаръ представляютъ собой обломки континента, который занималъ мѣсто теперешняго Индійскаго океана (или части его). На этомъ континентѣ особенно сильно развились лемуры, чѣмъ и объясняется названіе „*Лемурія*", которое прежде давали континенту.

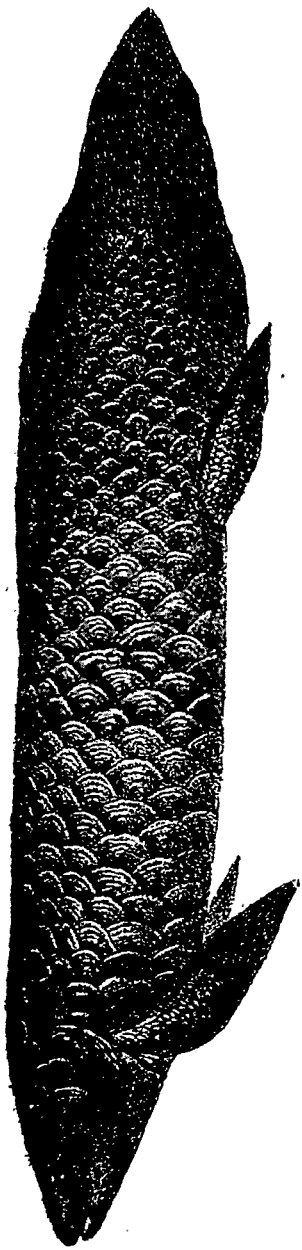
Въ дальнѣйшемъ у насъ будетъ случай привести аргументы геологическаго характера, въ пользу существованія этого древняго Индій-

---

[1]) Родъ *Hyrax* (даманъ) является, повидимому, одной изъ этихъ древнихъ формъ животныхъ, населявшихъ Африку до появленія фауны Арктогеи. Въ міоценѣ Патагоніи были найдены ископаемые остатки одного семейства копытныхъ, близкаго къ этому африканскому роду.

ского континента. Также представится случай возвратиться къ генетической связи нѣкоторыхъ элементовъ Мадагаскарской фауны съ ископаемой фауной фосфоритовъ Керси.

Австралійская область. Нѣтъ другой области, кромѣ Австралійской, млекопитающія которой въ такой же степени отличались бы отъ млекопитающихъ Арктогеи. На этомъ континентѣ живетъ своя особая фауна, которая, кромѣ континента, встрѣчается только на нѣсколькихъ маленькихъ островахъ и на двухъ большихъ сосѣднихъ островахъ, въ Тасманіи и Новой Гвинеѣ. Что же касается Новой Зеландіи, то млекопитающія тамъ совершенно отсутствуютъ, исключая родъ *Mus* (мышь). вѣроятно, завезеннаго человѣкомъ, и нѣсколькихъ рукокрылыхъ. То же самое можно сказать и объ островахъ Полинезіи. Всѣ эти области вмѣстѣ получили названіе Нотогеа.



Фиг. 10. *Epiceratodus Forsteri*. Двоякодышащая рыба изъ Тасманіи 1/8 натур. величины (по Гюнтеру).

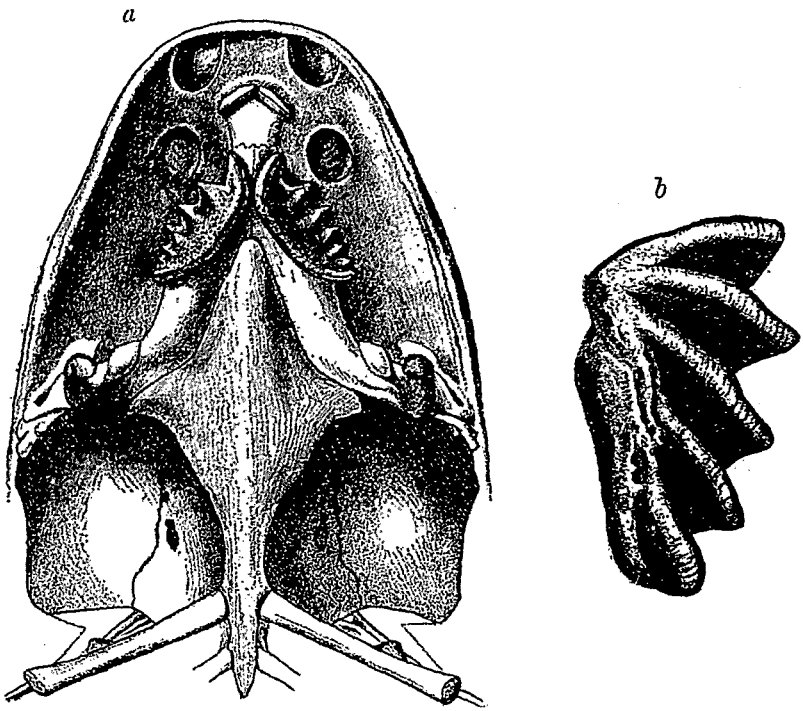
Австралійскія млекопитающія почти исключительно однопроходныя и сумчатыя, т. е. безплацентныя. Плацентныя представлены всего одной собакой (*Canis Dingo*), вѣроятно, прибывшей вмѣстѣ съ человѣкомъ, и нѣсколькими родами грызуновъ, изъ которыхъ нѣкоторые распространены по всему свѣту, а другіе локализованы въ Австраліи и на сосѣднихъ островахъ и, вѣроятно, являются очень древнимъ элементомъ Австрлійской фауны.

Однопроходныя, представленныя тремя родами: *Ornithorhynchus* (утконосъ), *Echidna* (ехидна) и *Proechidna*, являются самыми примитивными изъ современныхъ млекопитающихъ; они имѣютъ сходство лишь съ млекопитающими вторичной эры, которыя Винге разсматриваетъ, какъ однопроходныя ископаемыя.

Сумчатыя также очень схожи съ нѣкоторыми мезозойными животными, но въ настоящее время они значительно дифференцировались и приспособились къ различнымъ условіямъ жизни. Всѣ семейства современныхъ сумчатыхъ живутъ исключительно въ Австралійской области, кромѣ *Didelphyidae* и *Epanorthidae*, имѣющихъ представителей только въ Америкѣ и извѣстныхъ также въ третичныхъ

отложеніяхъ. Наоборотъ, намъ почти неизвѣстна палеонтологическая исторія австралійскихъ сумчатыхъ, такъ какъ австралійская четвертичная фауна, остатки которой были найдены въ ископаемомъ видѣ, несмотря на свое богатство исполинскими видами, заключаетъ въ себѣ лишь типы близкіе къ современнымъ. До сихъ поръ удалось найти лишь одно сумчатое въ третичныхъ отложеніяхъ Австраліи и оно еще плохо изучено.

Очевидно, что отдѣленіе Австраліи произошло очень давно приблизительно въ то время, когда Европу и Азію еще не населяли плацентныя млекопитающія, т.-е. въ дотретичный періодъ. И дѣй-



Фиг. 11—*a*. Epiceratodus Forsteri. Нижняя сторона черепа. Тасманія $^1/_2$ нат. велич. (по Гюнтеру).—*b*. Ceratodus runcinatus. Небный зубъ, $^4/_5$ нат. велич. (по Цитгелю). Тріасъ Вюртемберга.

ствительно, родство съ мезозойной фауной обнаруживаютъ не одни только однопроходныя и сумчатыя. Родъ *Epiceradotus* (фиг. 10 и 11, a.)— двойнодышащая рыба, живущая теперь въ Квинслендѣ, весьма мало отличается отъ Европейскаго *Ceratodus* тріасовой эпохи (фиг. 11, *b*.). Ново-Зеландскій родъ *Hatteria* есть единственный современный представитель пресмыкающихся отряда *Rhynchocephalu* очень распространеннаго въ пермскій, тріасовый и юрскій періоды. У береговъ Австраліи и сосѣднихъ острововъ еще и теперь живутъ морскія животныя, которыя, подобно одному роду двустворчатаго моллюска *Trigonia*, водились въ изобиліи въ сѣверномъ полушаріи во вторичную эру и которыя теперь имѣютъ очень небольшую площадь распространенія.

Подобно тому какъ Мадагаскаръ содержитъ въ своей нынѣшней фаунѣ животныхъ, являющихся какъ бы дожившими донынѣ представителями европейской фауны средины третичной эры, и Австралія сохранила до нашихъ дней извѣстное число животныхъ лишь слегка отличающихся отъ ихъ четвертичныхъ предковъ. Та и другая область остались незатронутыми послѣдовательными иммиграціями, глубоко измѣнившими фауны Арктоген.

Въ теченіе долгаго времени вмѣстѣ съ великимъ англійскимъ натуралистомъ Уоллесомъ ученые предполагали, что граница, отдѣляющая Австралійскую область отъ Индо-Малайской, очень рѣзка и проходитъ между Борнео и Целебесомъ по Макассарскому проливу и между островами Бали и Ломбокомъ. Эту границу даже назвали „линіей Уоллеса“. Теперь, особенно благодаря трудамъ Макса Вебера (12) извѣстно, что между обѣими областями нѣтъ опредѣленной границы, что между ними находится поясъ постепеннаго перехода; такъ какъ целебесъ населенъ чисто Индо-Малайской фауной, къ которой примѣшиваются немногочисленныя сумчатыя (*Phalanger*). Эти австралійскіе элементы все усиливаются отъ острова къ острову по мѣрѣ приближенія къ Новой Гвинеѣ и соотвѣтственно исчезаютъ лемуры и другіе представители Индійской фауны. Такимъ образомъ, Малайскіе острова, послѣ ихъ появленія изъ воды, повидимому, были захвачены и съ запада и съ востока и обѣ фауны, первоначально болѣе рѣзко разграниченныя, чѣмъ теперь, смѣшались здѣсь.

Эти факты на ряду съ явленіями, выше разсмотрѣнными, дѣлаютъ для насъ очевиднымъ громадное значеніе *переселеній* въ зоогеографіи. Изученіе геологическихъ періодовъ дастъ намъ еще много подобныхъ примѣровъ.

---

1. Eug. Warming. Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie, eine Einführung in die Kenntniss der Pflanzenvereine. Deutsche Ausgabe von E. Knoblauch. 1 vol. in-8°, 412 p. Berlin, 1896.

2. Ch. Flahault. La flore et la végétation de la France. Introduction de la Flore descriptive et illustrée de la France par l'abbé H. Coste. 1 бр. in-8°, 52 стр., 1 карта. Paris, 1901.

3. Id. La nomenclature de la Géographie Botanique. *Annales de Géogr.*, X, p. 260-265, 1901.

4. Alfred Russel Wallace. The Geographical Distribution of Animals. 2 vol. in-8°, 503+607 стр., 20 таб., карты. New-York, 1876.

5. J. A. Allen. The Geographical Distribution of Mammalia considered in relation to the principal Ontological Regions of the Earth, and the Laws that govern the Distribution of Animal Life. *Bull. U. S. Geol. a. Geogr. Surv. of the Territories*, IV, стр. 313-378, 1873.

6. Will. Marshall. Atlas der Tierverbreitung. Berghaus' Physikalischer Atlas, Abth. VI, 10 стр., 9 картъ. Gotha, 1887.

7. K. Möbius. Die Tiergebiete der Erde, ihre kartographische Abgrenzung und museologische Bezeichnung. *Archiv für Naturg.*, LVII, 1, стр. 277-291, 1 карта, 1891.

8. Merriam. Laws of temperature control of the geographical distribution of terrestrial animals and plants. *The National Geogr. Mag.*, VI, стр. 229-238, таб. XII, XIII, 1894.

9. Angelo Heilprin. The geographical and geological distribution of Animals. *The International Scientific Series*, LVIII, 2d edit, 1 vol. in-16, 435 стр., 1 карта. London, 1894.

10. Frank E. Beddard. A text-book of Zoogeography. *Cambridge Natural Science Manuals*, 1 vol. in-16, 246 стр., фиг. Cambridge, 1895.

11. Lydekker. A. Geographical History of Mammals. 1 vol. in-8°, 400 стр., 82 фиг., 1 карта Cambridge, 1896.

12. Max Weber. Der indo-australische Archipel und die Geschichte seiner Tierwelt. 1 бр. in-8°, 46 стр., 1 таб., Jena, 1902.

13. A. E. Ortmann. The geographical distribution of freshwater Decapods and its bearing upon ancient geography. *Proc. Amer. Philos. Soc.*, XLI, n° 171, стр 267-400, 1902.

14. Max Weber. Die Säugethiere, 1 vol. in-8°, 866 стр., 567 фиг. Jena, 1904.

15. H. von Jhering. Die geographische Verbreitung der Flussmuscheln. *Das Ausland*, Stuttgart, 1890, nos 48, 46.

16. Id. Die Palaeo-Geographie Südamerikas. *Ibid.*, Stuttgart, 1893, nos 1 4.

17. Id. Najaden von S. Paulo und die geographische Verbreitung der Süsswasserfaunen von Südamerika. *Arch f. Naturg.*, 1893, стр., 45-140, таб. III, IV.

18. Id. Das neotropische Florengebiet und seine Geschichte. *Engler's Botanische Jahrbücher*, XVII, p. 1-54, 1893.

19. Id. The History of the Neotropical Region. *Science*, XII, 7 déc. 1900, стр. 857-864.

20. A. Engler. Ueber floristische Verwandtschaft zwischen dem tropischen Afrika und Amerika, sowie über die Annanme eines versunkenen brasilianisch-äthiopischen Continents. *Sitzungsber. d. k. preuss. Akad. d. Wiss.*, 9. Febr. 1905, n° VI, стр. 180 231.

21. G. Pfeffer. Die zoogeographischen Beziehungen Südamerikas, betrachtet an den Klassen der Reptilien, Amphibien und Fische. *Zool. Jahrdücher*, Suppl. VIII, стр. 407-433. Jena, 1905.

22. Guillaume Grandidier. Recherches sur les Lémuriens disparus et en particulier sur ceux qui vivaient à Madagascar. *Nouv. Arch. du Mus. d'Hist. Nat.*, 4e sér., VII, 144 стр., 27 фиг., 12 таб. 1905.

23. Paul Lemoine. Etudes géologiques dans le Nord de Madagascar. Contributions à l'histoire géologique de l'océan Indien. Chap. XXV. Relations biogéographiques de Madagascar. *Annales Hébert*, III, стр. 330-455, Paris, 1906.

V. aussi : III, 6; III, 8: III, 10; XII, 12.

Bartholomew's. Physical Atlas Volume V.—Atlas of Zoogeography. XI+67 стр. 36 таб. folio. Edinburgh, 1911.

На русскомъ языкѣ.

Д-ръ Варшингъ. Распредѣленіе растеній. Выпуски XI, XXVI и XXVII изъ Библіотеки естествознанія „Брокгауза и Ефрона. Перев. А. Г. Генкеля. Выпускъ XXVII представляетъ работу проф. Танфильева„ „Главнѣйшія черты растительности Россіи".

Проф. М. А. Мензбиръ. Зоогеографическій атласъ съ объяснительнымъ текстомъ. Рисунки художника В. А. Ватагина. Москва 1912 г.

ГЛАВА V.

Физическій характеръ морской среды.

Соленость морской воды.—Растворенный газъ.—Температура.—Движеніе на поверхности.

Изученіе физическаго характера морской среды составляетъ главную часть особой дисциплины—океанографіи. Съ нашей стороны было бы тщетной попыткой на нѣсколькихъ страницахъ дать понятіе о физическихъ особенностяхъ этой среды; мы хотимъ лишь въ общихъ чертахъ указать тѣ общіе результаты океанографіи, которые могутъ имѣть непосредственное приложеніе къ геологіи.

Соленость морской воды. — Наиболѣе характерной особенностью морской воды является ея соленость, т. е. присутствіе въ ней извѣстнаго количества растворенныхъ солей. Содержаніе растворенныхъ солей колеблется; въ среднемъ онѣ составляютъ 3,5 % всей массы; эти колебанія [1]) зависятъ отъ степени испаренія и отъ количества прѣсной воды, приносимой рѣками, ледниками и дождями. Испареніе происходитъ въ тропическихъ странахъ интенсивнѣе, чѣмъ въ умѣренныхъ и холодныхъ, а потому въ тропическихъ странахъ вода болѣе соленая. Вѣтеръ также способствуетъ испаренію, и въ областяхъ пассатныхъ вѣтровъ, соленость воды очень значительна (около 3,76 %), между тѣмъ, какъ въ экваторіальныхъ безвѣтренныхъ областяхъ степень солености замѣтно опускается ниже средней. Во внутреннихъ моряхъ соленость выше средней, если только вліяніе сильнаго испаренія не парализуется большимъ количествомъ прѣсной воды, приносимой рѣками. Количество солей въ Средиземномъ морѣ равняется 3,9 %, а въ Красномъ морѣ достигаетъ даже 4,3 %. Наоборотъ, въ тѣхъ моряхъ, въ которыя впадаютъ большія рѣки и въ которыхъ испареніе воды

[1]) Въ Petermann's Mitteilungen мы находимъ, прекрасную карту, изображающую измѣненіе солености воды на поверхности моря, по нашимъ современнымъ научнымъ представленіямъ.

незначительно, какъ, напр., въ Черномъ и Балтійскомъ морѣ, содержаніе соли очень невелико и опрѣснѣніе морей все усиливается. Въ западной части Балтійскаго моря степень солености приближается къ нормальной, но она постепенно уменьшается съ запада на востокъ, равняясь 1,27% въ Большомъ Бельтѣ, 0,92% въ Зундѣ и падаетъ до 0,35% въ Финскомъ заливѣ. Степень солености также уменьшается постепенно по направленію отъ береговъ къ открытому морю, хотя въ меньшей степени.

Въ полярныхъ моряхъ количество соли меньше, ввиду незначительности испаренія и массы прѣсной воды, приносимой ледниками въ формѣ льдинъ.

Каковы бы ни были колебанія въ степени солености морской воды, поразительно, что соотношеніе различныхъ растворенныхъ солей между собой остается неизмѣннымъ. Такимъ образомъ, минеральный составъ воды Средиземнаго моря и Атлантическаго океана, по даннымъ Шлезинга (10), почти тождествененъ, и она отличается лишь степенью солености. Ниже мы приводимъ списокъ солей наиболѣе часто встрѣчающихся въ морской водѣ, составленный В. Дитмаромъ при изслѣдованіи образцовъ морской воды, взятыхъ во время экспедиціи *Челленжера* (I).

Хлористый натрій	77,758
Хлористый магній . . .	10,878
Сѣрнокислый магній. . .	4,737
Сѣрнокислый кальцій . . .	3,600
Сѣрнокислый калій. . . .	2,465
Углекислый кальцій . . .	0,345
Бромистый магній . . .	0,217
	100,000

Эти цифры, впрочемъ, носятъ скорѣе теоретическій характеръ, такъ какъ не всегда легко установить какимъ образомъ сгруппированы кислоты съ основаніями [1]).

Кромѣ того, не принято во вниманіе присутствіе въ морской водѣ въ ничтожныхъ количествахъ разныхъ другихъ солей,

[1]) Кромѣ того, нѣкоторые авторы указываютъ на значительное количество хлористаго калія. По мнѣнію Вантъ-Гоффа, соотношеніе составныхъ частей, не принимая въ разсчетъ солей кальція, можетъ быть выражено слѣдующимъ образомъ: 100 $NaCl$+2,2 KCl+7,8 $MgCl^2$+3,8 $MgSo^4$.

а между тѣмъ анализъ обнаружилъ въ ней присутствіе очень большого количества элементовъ. Нѣсколько лѣтъ тому назадъ ихъ уже насчитывали до 32.

Единственныя соли, количество которыхъ измѣнчиво въ морской водѣ — известковыя соли. Въ прѣсной водѣ углекислой соли гораздо больше, чѣмъ сѣрнокислой, тогда какъ въ морской водѣ соотношеніе обратное. Въ одной изъ послѣдующихъ главъ, мы постараемся разобраться въ причинахъ этой особенности.

Колебанія въ степени солености обусловливаютъ, особенно въ проливахъ, соединяющихъ внутреннія моря съ океаномъ, различныя водныя теченія, происходящія въ силу большой плотности соленой воды. Болѣе тяжелая соленая вода опускается на дно, вытѣсняя менѣе соленую воду, которая поднимается на поверхность и постоянно замѣщаетъ воду опустившуюся на дно и испарившуюся. Поэтому на извѣстной глубинѣ образуется теченіе отъ болѣе соленаго моря къ менѣе соленому, а на поверхности идетъ, наоборотъ, теченіе отъ менѣе соленаго моря къ болѣе соленому. Такимъ образомъ, Средиземное море черезъ Гибралтарскій и Босфорскій проливы получаетъ верхними теченіями менѣе соленую воду изъ Атлантическаго океана и Чернаго моря, тогда какъ на глубинѣ идутъ изъ Средиземнаго моря теченія болѣе соленой воды. Точно также прѣсная вода Балтійскаго моря течетъ по поверхности къ Сѣверному морю, тогда какъ ближе ко дну проливовъ степень солености приближается къ нормальной.

Въ среднемъ плотность воды въ океанахъ равняется 1,026, а въ Средиземномъ морѣ достигаетъ 1,03, но она зависитъ не только отъ степени солености, но также, какъ мы увидимъ въ дальнѣйшемъ, и отъ температуры.

Растворенный газъ.—Кромѣ солей морская вода содержитъ также въ растворенномъ состояніи извѣстное количество газовъ, именно азотъ и кислородъ, получаемые изъ воздуха, и углекислоту. Соотношеніе между азотомъ и кислородомъ въ воздухѣ выражается отношеніемъ 79 къ 21, въ морской же водѣ оно будетъ иное, измѣняясь вмѣстѣ съ температурой и равняясь въ среднемъ 65 къ 35.

---

[1]) Georges Bohn Des. mécanismes respiratoires chez les Crustacés Décapodes. Essai de physiologie évolutive, éthologique et phylogenique. Thèse, Paris. 1909 p. 8.

Количество свободной углекислоты очень незначительно въ морской водѣ; обыкновенно этотъ газъ соединяется съ углекислыми солями и образуетъ двууглекислыя соли. Содержаніе газовъ, выясненное анализомъ, не увеличивается пропорціонально глубинѣ, какъ это предполагали раньше (Туле); газовъ меньше въ теплыхъ моряхъ, чѣмъ въ холодныхъ и, повидимому, ихъ количество стоитъ въ непосредственной связи съ интенсивностью животной жизни, такъ какъ, согласно даннымъ Г. Бона, вода, гдѣ наиболѣе сильны проявленія животной жизни, въ особенности около побережья, слегка кислая, тогда какъ вода открытаго моря обыкновенно щелочная. Кромѣ того, въ морской водѣ находится во взвѣшенномъ состояніи опредѣленное количество минеральныхъ веществъ. Цвѣтъ моря стоитъ въ связи съ ихъ присутствіемъ. Объ этомъ мы еще будемъ говорить въ главѣ объ отложеніи осадковъ.

Температура.—Температура морской воды является важнымъ факторомъ въ распространеніи живыхъ существъ; въ виду этого является необходимымъ выяснить тѣ законы, которымъ подчинено ея распредѣленіе.

Вода, обладая высокой удѣльной теплоемкостью, лишь очень медленно нагрѣвается подъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей, такъ что температура поверхностныхъ слоевъ моря подвержена меньшимъ колебаніямъ, чѣмъ температура суши.

Самая высокая температура морской воды какая только наблюдалась не превышала + 32°. Суточныя колебанія температуры уже не ощущаются въ Средиземномъ морѣ на глубинѣ 18 метровъ, а колебанія температуры по временамъ года—на глубинѣ 450 метровъ; глубже этого температура остается постоянной для даннаго пункта.

Морская вода замерзаетъ при—3,6°, это и есть самая низкая установленная температура.

Морская вода не имѣетъ максимальной плотности при + 4, въ виду того, что плотность ея обусловливается степенью ея солености. Поэтому температура воды въ пучинахъ океана можетъ падать ниже 0°. Холодная вода, будучи болѣе плотной, чѣмъ теплая, опускается на дно по мѣрѣ своего охлажденія на поверхности; такимъ образомъ, океаны представляютъ рядъ болѣе или менѣе горизонтально лежащихъ слоевъ воды съ все понижающейся температурой по мѣрѣ приближенія отъ поверхности ко дну. Въ океаническихъ пучинахъ тропическихъ странъ мы находимъ такую низкую температуру, которая наблюдается на

поверхности лишь въ арктическихъ и антарктическихъ широтахъ. Это обстоятельство обусловливается тѣмъ, что холодная и теплая вода, которая въ полярныхъ странахъ безпрерывно опускается на дно, спускается по океаническому дну слѣдуя незначительному его наклону до тѣхъ поръ пока не достигнетъ глубокихъ впадинъ экваторіальныхъ областей, откуда она мало-по-малу вытѣсняетъ болѣе теплую воду, которая поднимается къ поверхности.

Въ результатѣ этой разницы въ температурѣ, въ океанахъ происходитъ крайне медленная циркуляція воды, настолько медленная, что ее невозможно измѣрить, такъ что даже многіе ученые отрицали ея наличность; но лишь этимъ путемъ можно объяснить происходящій глубоко на днѣ притокъ кислорода, необходимаго для органической жизни, которая тамъ, какъ мы увидимъ въ дальнѣйшемъ, весьма дѣятельна.

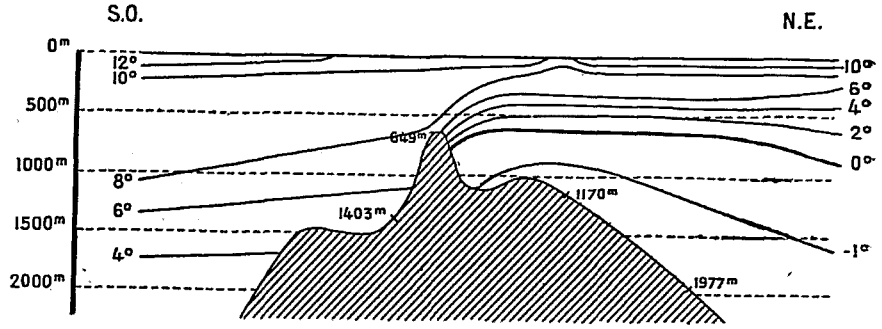
Глубокія области внутреннихъ морей, отдѣленныхъ отъ океановъ возвышеннымъ барьеромъ, уже не имѣютъ температуры полярныхъ областей; холодная вода океаническаго дна не проникаетъ черезъ барьеръ. Въ замѣнъ этого вода, находящаяся на поверхности внутреннихъ морей, охлаждается зимой и опускается на дно, такъ что на извѣстной глубинѣ температура воды остается постоянной и равняется приблизительно средней температурѣ воды на поверхности въ зимніе мѣсяцы. Такъ, напр., въ Средиземномъ морѣ, начиная съ глубины въ 350 метр. (глубина Гибралтарскаго пролива), температура воды 12,7°. Въ силу этой же причины Тихій океанъ получаетъ холодную воду лишь изъ Антарктическаго океана, такъ какъ съ Сѣвернымъ Ледовитымъ океаномъ происходитъ обмѣнъ лишь поверхностными слоями воды, въ виду незначительной глубины Берингова пролива.

Но самый любопытный примѣръ вліянія подводныхъ барьеровъ на распредѣленіе температуры, представляетъ кряжъ Айвиля Томсона, который соединяетъ Исландію черезъ Фарёрскіе острова съ Великобританіей и раздѣляетъ сѣверную часть Атлантическаго океана на два бассейна. Барьеръ, идущій отъ С.З. къ Ю.В., поднимается въ среднемъ на 600 метр. ниже уровня моря (фиг. 12). Въ сѣверо-восточномъ бассейнѣ температура быстро падаетъ по мѣрѣ опусканія на дно: на глубинѣ 500 метр. она равняется + 2°, а на глубинѣ въ 1000 м. она уже приближается — 1°, тогда какъ въ бассейнѣ, расположенномъ на югозападъ отъ барьера, она на такой же глубинѣ равняется приблизительно + 8°.

Движенія на поверхности.—Равновѣсіе морской воды нарушается не только разницей въ температурѣ и солености, но также и вмѣшательствомъ внѣшнихъ силъ. Главнѣйшія изъ этихъ силъ, вызывающія динамическія явленія на поверхности моря, будутъ лунное и солнечное притяженіе и вѣтра.

Сюда можно было бы причислить и землетрясенія, о чемъ мы будемъ еще говорить въ одной изъ дальнѣйшихъ главъ.

Притяженіе небесныхъ тѣлъ (солнца и луны) вызываетъ явленія приливовъ и отливовъ. Причину и природу этихъ явленій мы можемъ считать извѣстными.



Фиг. 12.—Поперечный разрѣзъ подводнаго барьера Айвиля Томсона въ сѣв. части Атлантическаго океана, показывающій распредѣленіе температуръ на двухъ склонахъ (рисунокъ взятъ у Прюво).

Какъ во внутреннихъ моряхъ, такъ и въ океанахъ далеко отъ береговъ, это явленіе очень слабо. Наоборотъ, въ заливахъ и въ неглубокихъ проливахъ, отливы и приливы очень значительны. Они достигаютъ на берегахъ Бретани 11 метр., въ Гранвиллѣ 15 метр. и въ заливѣ Фунди на Атлантическомъ берегу Соединенныхъ Штатовъ 21 метра. Въ эстуаріяхъ они часто ощущаются на порядочномъ разстояніи отъ устья. Благодаря этому многіе изъ французскихъ западныхъ городовъ, довольно удаленныхъ отъ моря, при приливахъ имѣютъ видъ настоящихъ морскихъ портовъ. Въ Янъ-цзы-цзянѣ приливъ и отливъ замѣтенъ еще въ 800 километрахъ отъ устья, а въ Амазонкѣ въ 1000 килом. Приливы и отливы обусловливаютъ мѣстныя теченія, которыя на большихъ пространствахъ въ неглубокихъ моряхъ совершенно маскируютъ дѣйствіе теченій, происходящихъ отъ другихъ причинъ.

Вѣтеръ мѣстами является причиной динамическаго дѣйствія, вызывая волны, т.-е. волнообразныя движенія, часто обладающія большою быстротою распространенія (до 36 м. въ секунду), но

никогда не сопровождающіяся горизонтальнымъ перемѣщеніемъ массы волнующейся воды. Движеніе волнъ ощущается на значительной глубинѣ, которая по нѣкоторымъ исчисленіямъ должна превосходить въ 350 разъ высоту волны, но намъ эта цифра кажется преувеличенной. Во время сильныхъ бурь возможно, что волненіе достигаетъ предѣльной глубины приблизительно въ 1000 м, но вообще говоря движеніе волнъ еще ясно обнаруживается на глубинѣ 200 м., на это указываютъ поверхностная волнистность песчанаго дна или волноприбойные знаки (ripple-marks) еще наблюдаемая на этой глубинѣ [1]).

Въ настоящее время, благодаря трудамъ нѣмецкаго океанографа Цёпритца, извѣстно, что *водныя теченія* по поверхности океановъ вызываются преобладающими вѣтрами, а не различіемъ температуры, какъ это прежде предполагали. Вѣтеръ, дующій постоянно въ одномъ направленіи, гонитъ верхніе слои воды въ океанѣ въ одну сторону. Чѣмъ продолжительнѣе періодъ, въ теченіе котораго вѣтеръ безпрерывно дуетъ въ одномъ и томъ же направленіи, тѣмъ глубже будетъ простираться его дѣйствіе, тѣмъ толще будетъ слой воды, приведенной въ движеніе. Такъ какъ дѣйствіе гольфъ-штрома ощущается до глубины 800 м., то мы можемъ предполагать, что метеорологическія причины, опредѣляющія это теченіе, существуютъ съ очень давнихъ временъ.

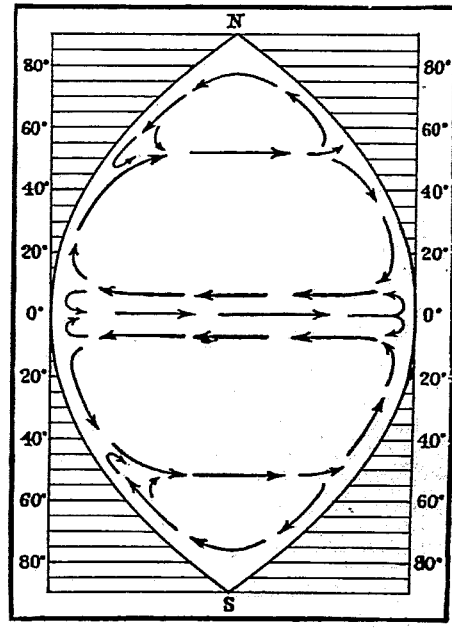
Теченія Индійскаго океана позволяютъ намъ установить очевидное дѣйствіе вѣтра на поверхность моря. Дующіе тамъ муссоны имѣютъ противоположное направленіе лѣтомъ и зимой, вслѣдствіе чего и теченія измѣняютъ свое направленіе также въ зависимости отъ времени года, въ противоположность большинству теченій Атлантическаго и Тихаго океановъ. Схема на стр. 77 (фиг. 13) изображаетъ намъ теченія въ этихъ двухъ океанахъ. На сѣверъ и на югъ отъ экватора пассатные вѣтра дуютъ въ направленіи съ В. на З., вслѣдствіе чего и существуютъ экваторіальныя теченія имѣющія это направленіе, а также и возмѣщающее теченіе противоположнаго направленія. Сѣвернѣе пассатные вѣтра вслѣдствіе вращенія земли принимаютъ направленіе отъ Ю.З. къ С.В.; теченія, которыя они вызываютъ, гольфъ-штромъ въ Атлантическомъ океанѣ и Куро-Шіо въ Тихомъ встрѣчаютъ въ почти перпендикулярномъ направленіи восточный берегъ океана и раздваиваются. Вѣтвь,

---

[1]) Ernest. Bertololy Rippelmarken. Бр. in-8°, 108, стр. Frankenthal 1894. Диссертація философскаго факультета Гиссенскаго университета. 1893 г.

идущая къ сѣверу, согрѣваетъ сѣверныя области, сама постепенно охлаждается и въ то же время направляется къ Ю.З. вѣтрами, которые господствуютъ въ этихъ широтахъ. Наоборотъ, южная вѣтвь охлаждаетъ берега экваторіальныхъ странъ, но постепенно согрѣвается и затѣмъ усиливаетъ В З. теченіе. Въ центрѣ круга, возникшаго вслѣдствіе такого распредѣленія теченій, находится область болѣе или менѣе спокойныхъ водъ, получившая названіе *галистазы*. Въ южномъ полушаріи наблюдаются тѣ же движенія но въ обратномъ направленіи.

Быстрота теченій бываетъ иногда очень значительна Гольфъ-штромъ при выходѣ изъ Мексиканскаго залива, имѣетъ 55 км. ширины и его быстрота колеблется отъ 134 до 220 км. въ день и доходитъ даже до 2,50 м. въ секунду, что превосходитъ быстроту Рейна во время его разлива.



Фиг. 13.—Схема изображающая направленіе морскихъ теченій въ океанѣ (по Крюммелю).

Когда рядомъ идутъ два теченія различной температуры, то обыкновенно отчетливо проведенная граница раздѣляетъ горячую воду отъ холодной и выражается различіемъ ихъ цвѣта, прозрачности, солености, плотности, и какъ мы увидимъ ниже, ихъ фауны и флоры. Существуетъ еще одинъ замѣчательный случай, когда непосредственно подъ дѣйствіемъ вѣтра измѣняется равновѣсіе морской воды. Такъ, въ экваторіальныхъ странахъ на западныхъ берегахъ материковъ пассатные вѣтра дуютъ въ продолженіе значительной части года по направленію извнутри континентовъ къ морю. Вѣтеръ гонитъ въ открытое море отъ береговъ воду, согрѣтую солнцемъ. Эта удаленная съ поверхности вода мало-по-малу замѣняется холодной водой, подымающейся со дна и охлаждающей берегъ.

1.—William Dittmar. Report on Researches into the Composition of Ocean-Water. *Report on the Scientific Results of the Voyage of H. M. S. Challenger during the years 1873-76. Physics and Chemistry*, vol. I, 1, 251 стр., 3 таб., 1884.

2.—J. Y. Buchanan. Report on the Specific Gravity of Samples of Ocean Water, *Ibid.*, vol. I, 2, 46 стр., 12 таб. 1884.

3.—G. von Boguslawski und O. Krümmel. Handbuch der Ozeanographie. *Biblioth. geogr. Handbücher v. Ratzel*, 2 vol. in-8°, 400+592 стр., 15+60 фиг., 1 карта. Stuttgart, 1884—87.

4.—J. Thoulet. Océanographie. I. Statique. II. Dynamique. 2 vol. in-8°, 492+131 стр., 101+62 фиг., 2 карты. Paris, 1890-96.

5.—Johannes Walther. Allgemeine Meerskunde. *Webers Naturwiss. Biblioth.*, n° 6, 1 vol. in-18, 296 стр., 70 фиг., 1 карта. Leipzig, 1893.

6.—Gerhard Schott. Physische Meereskunde. *Sammlung Göschen*, n° 112. 1 vol. in-16, 162 стр., 36 фиг. Leipzig, 1903.

7.—Alex. Buchan. Report on Oceanic Circulation. *The Voyage of H. M. S. Challenger. A Summary of the Scientific Results. Appendix (Physics and Chemistry)*. Part. VIII, 38 стр., 16 картъ, 1895.

8.—Fridtjof Nansen. Die Ursachen der Meeresströmungen. *Peterm. Mitt.* LI, стр. 1-4, 25-31, 62-63, 5 фиг. 1905.

9.—Gerhardt Schott. Die Verteilung des Salzgehalts im Oberflächenwasser der Ozeane. *Ibid.*, X, стр. 217 223, таб. IX, карта въ масшт. 1 : 80 000 000, 1902.

10.—Th. Schloesing. Contribution à l'étude chimique des eaux marines. *C. R. Ac. Sc.*, CXLII, p. 320-324, 5 févr. 1906.

Voir aussi : 0.20; VI, 4.

П. П. Броуновъ. Курсъ физической географіи. С.-Петербургъ. 1910 г.

ГЛАВА VI.

Условія существованія морскихъ животныхъ.

Присутствіе или отсутствіе твердаго субстрата (морского дна) въ жизни морскихъ растеній и животныхъ.—Механическія вліянія.—Соленость.—Давленіе.—Температура.—Свѣтъ.—Пища.—Природа дна.

Географическое распространеніе морскихъ животныхъ опредѣляется еще въ большей степени, чѣмъ распространеніе континентальной фауны, физическими условіями окружающей среды (1—7).

Существованіе или отсутствіе доступныхъ условій сообщенія играетъ здѣсь далеко не такую важную роль, такъ какъ всѣ океаны сообщаются между собою и съ большинствомъ внутреннихъ морей. Поэтому при изученіи условій существованія морской фауны умѣстно использовать свѣдѣнія о физическихъ условіяхъ морской среды, кратко изложенныя въ предшествующей главѣ.

Многіе физическіе факторы имѣютъ значеніе при локализаціи морскихъ животныхъ (4); къ этимъ факторамъ относятся слѣдующіе:

1) Присутствіе или отсутствіе твердаго субстрата (морского дна) въ жизни морскихъ растеній и животныхъ.

2) Механическія явленія и въ частности движеніе волнъ.

3) Соленость воды.

4) Давленіе.

5) Температура и океаническія теченія.

6) Свѣтъ и обусловленный имъ характеръ пищи.

7) Природа дна.

Измѣненіе того или другого изъ этихъ факторовъ ведетъ къ измѣненіямъ въ этой мѣстности фауны (или флоры), или вслѣдствіе того, что вызываетъ переселеніе, или ведетъ къ постепенному приспособленію хотя бы части прежней фауны (или флоры) къ новымъ условіямъ существованія.

Присутствіе или отсутствіе твердаго субстрата (морского дна) въ жизни морскихъ растеній и животныхъ. — Въ прежнее время ученые различали въ морской фаунѣ „*прибрежные организмы*“, живущіе на берегу или въ непосредственной съ нимъ близости и „*пелагическіе организмы*“, свойственные открытому морю. Эти ученые ничего не знали о существахъ, населяющихъ океаническія глубины, такъ что Форбсъ еще 1844 г. считалъ невозможнымъ проявленіе какой-либо жизни на глубинѣ свыше 550 м. Но уже первыя драгировки въ глубокихъ водахъ показали, что глубины не только не лишены жизни, но что, наоборотъ, фауна ихъ довольно богата. Кромѣ того, такъ же, какъ и въ прибрежной области, была установлена тѣсная связь донной фауны съ природой дна, и ея измѣненія въ связи съ измѣненіемъ этой природы. Вмѣстѣ съ Геккелемъ мы теперь называемъ животныхъ живущихъ на днѣ словомъ *бентосъ* (*Βένθος* морское дно) или бентальными организмами. На ряду съ ними существуютъ организмы, которые лишь иногда соприкасаются съ морскимъ дномъ, совершенно отъ него не завися, а живутъ въ самой водной средѣ или около поверхности воды, или на извѣстной глубинѣ. К. Семперъ (1) и еще раньше его Іоганъ Мюллеръ уже установили, что среди организмовъ одни свободно и произвольно плаваютъ, будучи въ состояніи активно предпринимать болѣе или менѣе значительныя переселенія, тогда какъ другія пассивно переносятся различными водными теченіями; эту вторую категорію животныхъ Генсенъ въ 1887 г. назвалъ *планктономъ* (*πλαγκτός* блуждающій), а немного позднѣе Геккель первой категоріи далъ названіе *нектонъ* (*νήχω* плавать).

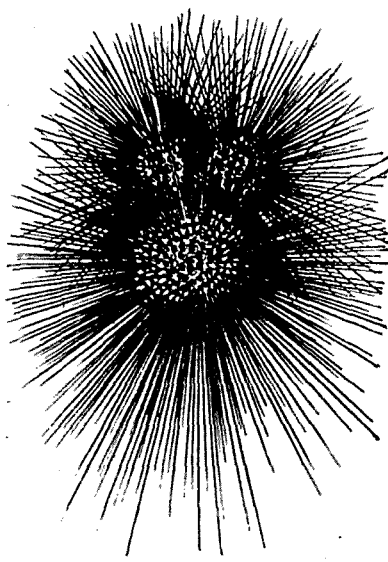
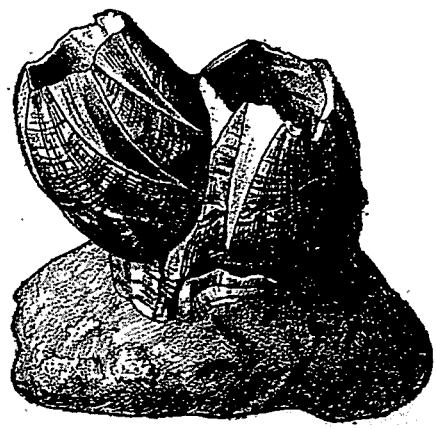


Рис. 14 — *Globigerina bulloides*, планктонная продыравленная корненожка (по Джону Меррею).

Бентальные организмы, такъ или иначе пріуроченные къ морскому дну, являются „*прикрѣпленными*“ или „*свободными*“, „*сидячими*“ или „*блуждающими*“. Многочисленныя морскія водоросли, въ частности фукусовыя (*Fucaceae*) и багряныя

(*Florideae*), являются прикрѣпленными, точно такъ же, какъ и рѣдкія морскія явнобранныя каковы, напр., *Zosteraceae*. Изъ представителей животнаго міра прикрѣплены къ морскому дну губки, большинство коралловъ, морскихъ лилій, плеченогихъ, всѣ мшанки, многіе пластинчатожабренные, усоногія ракообразныя (фиг. 15), туникаты. Очень многія изъ нихъ живутъ на каменистомъ днѣ, но многія также связаны корнемъ съ илистымъ или песчанымъ дномъ. Ихъ прикрѣпленіе совершается при помощи особыхъ выростовъ, основныхъ дисковъ корней стебельковъ, биссуса или, какъ напр. у нѣкоторыхъ плеченогихъ и пластинчатожаберныхъ, при помощи одной изъ створокъ. Зрительные органы обыкновенно мало развиты, наоборотъ, органы осязанія и хватательныя органы очень усовершенствованы. Гермафродитизмъ весьма обыкновенное явленіе или еще чаще преобладаетъ безполое размноженіе. Вслѣдствіе этого многіе прикрѣпленные бентальные организмы живутъ колоніями. Лучевая симметрія встрѣчается очень часто.



Фиг. 15.—Морской жолудь (*Balanus*). Типъ прикрѣпленнаго рокообразнаго Ля Маншъ. $^1/_2$ нат. величины.

Въ составъ бентальныхъ блуждающихъ организмовъ входятъ исключительно животныя: каковы, корненожки, черви, пластинчатожабренные, брюхоногіе, нѣкоторые головоногіе, десятиногіе раки и др. Въ эту же категорію входятъ и всѣ морскіе ежи, морскія звѣзды, офіуры, голотуріи (за исключеніемъ *Pelagothuria*). У всѣхъ этихъ животныхъ очень развиты двигательные органы, раковина или панцырь служатъ для защиты тѣла такъ же, какъ и иглы. Тѣло ихъ почти всегда имѣетъ двусторонне симметричное строеніе (исключеніе въ данномъ отношеніи представляютъ морскія звѣзды и офіуры); при чемъ ротовое и анальное отверстія обычно находятся на противоположныхъ концахъ тѣла. Среди этихъ животныхъ не встрѣчается ни вѣтвистыхъ животныхъ, ни живущихъ колоніями. Многія свободныя донныя животныя живутъ на песчаномъ и илистомъ днѣ, и изъ нихъ многія могутъ зарываться; но на ряду съ ними есть много животныхъ, живущихъ на каменистомъ днѣ.

Въ сущности нѣтъ рѣзкаго различія между блуждающими бентальными организмами и нектонными (свободноплавающими), кромѣ ясно выраженной приспособленности къ плаванію въ строеніи тѣлъ послѣднихъ: ихъ органы передвиженія, къ которымъ относится и хвостъ, настолько сильны, что позволяютъ имъ плыть противъ теченія; формы тѣла ихъ чрезвычайно разнообразны; онѣ бываютъ то веретенообразны, то плоски, то снабжены килемъ или гладки. Ничѣмъ инымъ какъ приспособленіемъ къ одинаковымъ условіямъ жизни можно объяснить громадное сходство между китами и рыбами, между дельфинами и ихтіозаврами, между сепіями и нѣкоторыми рыбами.

Изъ раковъ, многіе длиннохвостые, десятиногіе, также *Schizopoda* и *Isopoda* хорошо плаваютъ и живутъ далеко отъ дна. Изъ ископаемыхъ головоногихъ белемниты (чертовы пальцы) были, вѣроятно, свободноплавающими, а наутилиды были безъ сомнѣнія въ большинствѣ случаевъ бентальными. Что же касается аммонитовъ, то, можетъ быть, одни изъ нихъ вели донный, а другіе плавающій образъ жизни.

Многія изъ плавающихъ животныхъ, благодаря хорошо развитымъ плавательнымъ органамъ, могли широко распространяться, поэтому они являются космополитами и живутъ какъ около поверхности воды, такъ и на различныхъ глубинахъ. Но есть среди нихъ и локализованныя какъ въ извѣстной мѣстности, такъ и на извѣстной глубинѣ.

Планктонные организмы — и животныя и растенія — очень малы и водятся въ чрезвычайномъ изобиліи въ океанахъ, главнымъ образомъ, у поверхности, но встрѣчаются также и на глубинахъ.

Планктонныя растенія принадлежатъ къ различнымъ семействамъ водорослей, главнѣйшія изъ нихъ будутъ: *Chromaceae*, *Calcocyteae* (коккосферы и рабдосферы), *Diatomeae*, *Peridineae*, *Oscillariae* и др.

Они встрѣчаются въ изобиліи до глубины приблизительно 80 м. отъ поверхности, а на глубинѣ 300—400 м. исчезаютъ совершенно, по причинѣ, о которой мы еще будемъ говорить.

Въ категорію планктонныхъ животныхъ входятъ инфузоріи, радіоляріи, нѣкоторыя корненожки (Globigerinidae, фиг. 14), медузы, сифонофоры, крылоногіе, киленогіе, извѣстное число заднежаберныхъ моллюсковъ (Opistobranchiata), изъ ракообразныхъ Copepoda и Ostracoda, далѣе сальпы и др. Кромѣ того, личинки многихъ бентальныхъ животныхъ ведутъ планктонный образъ жизни (*meroplankton*).

Большинство изъ этихъ животныхъ имѣютъ очень спеціальныя приспособленія. Ихъ тѣло прозрачно, голубовато или лиловато и часто содержитъ до 98% воды. Многія изъ нихъ снабжены гидростатическими органами, вслѣдствіе чего они могутъ перемѣщаться въ вертикальномъ направленіи. Скелетъ часто совершенно отсутствуетъ, или очень плохо развитъ, тонокъ и прозраченъ, тогда какъ у родственныхъ имъ бентальныхъ формъ онъ хорошо развитъ. Очевидно, что въ силу этой особенности планктонная фауна имѣетъ мало представителей среди ископаемыхъ. Поэтому въ геологическихъ формаціяхъ мы находимъ лишь ничтожное количество ископаемыхъ остатковъ, которые съ увѣренностью могутъ быть причисленны къ планктонной фаунѣ. Мы можемъ указать лишь на скорлупки діатомовыхъ, на скелеты лучевиковъ, на раковины крылоногихъ третичнаго періода.

Признаніе нѣкоторыхъ родовъ (*Conularia*, *Tentaculites*, *Styliolina* и др.), находимыхъ въ палеозойныхъ отложеніяхъ, за представителей крылоногихъ является недостаточно обоснованнымъ, и лишь часть ихъ, повидимому, относится къ планктону. Наоборотъ, граптолиты силурскаго періода, несмотря на то, что обладали хитиннымъ скелетомъ, были плавающими, такъ какъ въ настоящее время намъ извѣстны ихъ пнейматофоры. Современные головоногіе, каковы: аргонавтъ и кальмаръ имѣютъ редуцированный скелетъ подобный скелету крылоногихъ, но, въ виду значительной величины самихъ животныхъ, ихъ правильнѣе считать за нектонныхъ.

Въ современныхъ моряхъ планктонная фауна встрѣчается на глубинѣ до 2000 метровъ, глубже количество ея представителей быстро уменьшается; но нигдѣ между поверхностью моря и дномъ нѣтъ настоящихъ безжизненныхъ слоевъ [1]).

Механическія вліянія.—Механическая работа волнъ отражается главнымъ образомъ на бентальныхъ организмахъ побережья и на планктонной фаунѣ и флорѣ сосредоточенной около поверхности. Волны, вспѣнивая воду, способствуютъ обмѣну въ ней воздуха и этимъ создаютъ болѣе благопріятныя условія для развитія жизни. Въ прибрежныхъ же областяхъ приспособленіе животныхъ къ постоянному прибою волнъ въ цѣляхъ защиты своего тѣла, является необходимымъ: тѣло ихъ становится эла-

[1]) Die Deutsche Tiefsee-Expedition. A. Berichte des Leiters der Expedition Prof. D-r Chun an das Reichs-Amt des Innern. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin*, XXXIV, 1899, стр. 114 и слѣдующія.

стичнымъ, а скелетъ или исчезаетъ, или, наоборотъ, дѣлается болѣе крѣпкимъ.

Такъ, моллюски, живущіе въ коралловыхъ рифахъ, каковы: напр., тридакны, багрянки и др., имѣютъ очень толстую раковину. То же самое мы находимъ и у нѣкоторыхъ ископаемыхъ, у *Pachycardium*, *Megalodus*, у рудистовыхъ, у нериней (фиг. 16). Другія животныя защищаются отъ ударовъ волнъ присасываніемъ къ скаламъ или замыкаясь, каковы: блюдца (*Patella*) и морскіе желуди (*Balanus*, фиг. 15); третьи зарываются въ песокъ, какъ кольчатые черви и многіе пластинчатожаберные; четвертыя скрываются въ просверленныхъ въ камнѣ углубленіяхъ, въ которыхъ они живутъ, какъ это дѣлаютъ фолады, Gastrochaenidae, Clavagellidae и нѣкоторые морскіе ежи. Но быть можетъ также, что эти приспособленія выработались вслѣдствіе того, что эта береговая полоса ежедневно обнажается отъ воды при отливахъ.



Фиг. 16. *Itieria Cabanetiana* (изъ Неринеевыхъ). Разрѣзъ раковины по большой оси. Средніе оолитовые слои. $^2/_3$ нат. вел. (по Дорбиньи).

Соленость.—Давно извѣстно, что одни животныя живутъ только въ соленой водѣ, другія только въ прѣсной, наконецъ, третьи (въ частности многія рыбы) присущи и той и другой средѣ. Кромѣ того, было установлено, что нѣкоторые организмы переносятъ лишь нормальную соленость морской воды, наоборотъ, другіе могутъ приспособляться и къ болѣе соленой водѣ, и къ водѣ болѣе или менѣе опрѣсненной. Животныя, населяющія эстуаріи и нѣкоторыя лагуны, гдѣ соленость воды ниже средней, часто называются солоноватоводными, но въ дѣйствительности многія изъ этихъ животныхъ могутъ жить и въ болѣе соленой водѣ и поэтому правильнѣе было бы сказать, что они могутъ приспособляться къ водѣ различной солености, чѣмъ утверждать, что они переносятъ лишь мало соленую воду. Мебіусъ назвалъ *stenohalina* организмы, свойственные водѣ опредѣленной солености, и *eurihalina* организмы, способныя переносить большія измѣненія въ степени солености воды [1]).

[1]) Въ русскомъ языкѣ нѣтъ соотвѣтствующихъ терминовъ. При нежеланіи пользоваться иностранными словами пришлось бы употребить названіе тѣсносоляные и широкосоляные организмы.

Многія животныя живутъ только въ водѣ приблизительно нормальной степени солености, напр., радіоляріи, иглокожія, плеченогія, головоногія; другія животныя мало чувствительны даже въ очень значительныхъ измѣненіяхъ степени солености. Это можно сказать о многихъ моллюскахъ, ракахъ, рыбахъ. Изъ пластинчатожаберныхъ здѣсь можно назвать *Arca*, нѣкоторые виды *Cardium*, *Cyrena*, *Psammobia Lucina*; изъ брюхоногихъ *Paludinidae*, *Neritinidae*, *Melaniidae*, нѣкоторые *Cerithidae* (*Potamides*, *Lampania*). Опытъ намъ показалъ, что многіе морскіе виды прекрасно переносятъ пребываніе въ прѣсной водѣ, напр., *Balanus striatus*, *Patella vulgata*, *Purpura lapillus*, *Cardium edule*, *Ostrea edulis* и въ особенности *Mytilus edulis*. Другія животныя именно *Haliotis tuberculata*, *Buccinum undatum Tellina incarnata*, *Pecten varius*, не перенесли измѣненія въ степени солености воды. (Беданъ по цитатѣ Фредерика (2 стр. 27). *Hydrobiae* живутъ на сушѣ, но имъ необходимъ соленый воздухъ морского побережья; въ такихъ же условіяхъ находятся многія растенія.

Приспособленіе морской фауны къ прѣсной водѣ совершается, повидимому, довольно легко, если опрѣсненіе воды совершается въ теченіе долгаго времени. Озерныя фауны, происшедшія отъ морской, путемъ постепеннаго обѣднѣнія и измѣненія послѣдней, принято называть *реликтовыми*. Фауна озера Танганаика является классическимъ примѣромъ подобной фауны.

Наоборотъ, въ случаѣ быстраго опрѣсненія, многіе элементы фауны совершенно исчезаютъ, а животныя, пережившія эту перемѣну условій, отличаются малымъ ростомъ и крайней тонициной своей раковины. Подобныя рѣзкія измѣненія условій среды пришлось перенести моллюскамъ Балтійскаго моря.

Давленіе.—Морскія животныя, которыя могутъ передвигаться по вертикальному направленіи, должны подвергаться измѣняющимся давленіямъ; каждому столбу воды въ 10 м. соотвѣтствуетъ давленіе одной атмосферы, поэтому когда организмъ изъ пучинъ поднимается на поверхность, эти измѣненія выражаются въ сотняхъ атмосферъ.

Животныя, имѣющія гидростатическіе органы, напр., пнейматофоры и плавательные пузырьки, могутъ перемѣщаться по вертикальному направленію, но ихъ организація не позволяетъ имъ переносить измѣненія глубины слишкомъ значительныя, особенно, если эти измѣненія совершаются внезапно. Кромѣ того, сильное увеличеніе давленія ведетъ къ чрезмѣрному введенію

воды въ организмы, что часто ведетъ къ ихъ гибели. Впрочемъ, П. Рейнаръ (3) установилъ экспериментальнымъ путемъ, что многія животныя могутъ переносить безъ всякаго вреда для себя измѣненія давленія отъ 200 до 600 атмосферъ, т. е. перемѣщенія по вертикальному направленію отъ 2000 до 6000 м.

Долгое время думали, что внезапное уменьшеніе давленія убиваетъ животныхъ, которыхъ извлекали при драгировкахъ изъ океаническихъ глубинъ на поверхность. Въ настоящее же время намъ извѣстно, что это мнѣніе невѣрно, и что давленію приписывали преувеличенное значеніе среди факторовъ, опредѣляющихъ существованіе морскихъ животныхъ.

Температура.—Главнѣйшимъ факторомъ въ распредѣленіи морскихъ организмовъ является температура, а не давленіе. Принцъ Монакскій далъ намъ такое подтвержденіе этому взгляду, что больше не остается никакихъ сомнѣній по этому вопросу. Имъ было установлено, что животныя, взятыя изъ Атлантическаго океана съ глубины только въ 1400 м., умираютъ какъ только попадаютъ на поверхность воды, животныя же Средиземнаго моря, взятыя съ большей глубины, совершенно свободно переносятъ уменьшеніе давленія. Дѣло тутъ въ томъ, что въ Атлантическомъ океанѣ температура воды на глубинѣ 1400 м. почти 3°, и слѣдовательно, сильно отличается отъ температуры воды на поверхности. Въ Средиземномъ же морѣ температура, какъ мы уже указывали въ одной изъ предшествующихъ главъ, начиная съ глубины въ 350 м., постоянна и равняется 12,7° т. е. не особенно уклоняется отъ средней годовой температуры поверхности. Такимъ образомъ очевидно, что животныхъ, взятыхъ съ глубины Атлантическаго океана, убиваетъ рѣзкая перемѣна температуры, а не уменьшеніе давленія.

При этомъ надо замѣтить, что не всѣ морскія животныя одинаково чувствительны къ перемѣнамъ температуры. Одни, называемыя Мебіусомъ *эвритермами*, переносятъ значительныя уклоненія объ обычной температуры, наоборотъ, другія—*стенотермы*—требуютъ болѣе или менѣе одинаковой температуры. Животныя, сосредоточенныя на побережьѣ и около поверхности, непремѣнно должны быть эвритермами, стенотермами же являются животныя, населяющія такія глубины, гдѣ не чувствуются колебанія температуры какъ суточныя, такъ и по временамъ года; къ низкой же температурѣ океаническихъ пучинъ они прекрасно приспособились. Въ виду постоянства температуры полярныхъ морей, жизнь въ водахъ этихъ широтъ очень

богато представлена, она бѣдна лишь на самомъ побережьѣ, которое часто бываетъ загромождено льдинами.

Низкая и малоизмѣняющаяся температура полярныхъ областей господствуетъ и на океаническихъ глубинахъ экваторіальныхъ широтъ; легко отсюда понять почему ихъ фауна имѣетъ такое сходство съ арктической и антарктической фауной. Такимъ образомъ, изслѣдованіе дна экспедиціей „*Талисмана*“ обнаружило, по даннымъ П. Фишера (9), что многіе арктическіе моллюски *Fusus berniciensis*, *Fusus islandicus*, *Scaphander puncto-striatus*, *Lima excavata*, *Pecten vitreus* и др. встрѣчаются на ряду съ мѣстными видами въ фаунѣ океаническихъ глубинъ вблизи береговъ Сахары, Сенегамбіи, острововъ Зеленаго мыса.

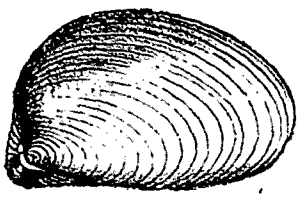
По даннымъ же Агассица многія породы морскихъ ежей (*Dorocidaris papillata*, *Strongylocentrotus Dröbachiensis*, *Echinus norvegicus*, *Brissopsis lyrifera*, *Schizaster fragilis*) часто встрѣчаются у береговъ Норвегіи и у береговъ Патагоніи, и на значительныхъ глубинахъ около полуострова Флориды и отсутствуютъ среди прибрежной фауны Тропическихъ странъ. Ученые пытались такъ или иначе объяснить сходство между арктической и антарктической фауной; его приписывали то совпаденію или параллелизму развитія обѣихъ фаунъ вслѣдствіе одинаковыхъ условій жизни, то сосредоточенію на двухъ полюсахъ видовъ животныхъ, нѣкогда распространенныхъ повсюду; легче же всего объяснить это сходство связью между Антарктическимъ и Арктическимъ океанами черезъ глубины экваторіальныхъ морей. Экспедиція „*Вальдивіи*“ [1]) еще разъ доказала намъ космополитичность многихъ видовъ животныхъ, населяющихъ океаническія глубины и разнообразіе фауны различныхъ странъ, населяющей поверхностныя воды.

Трудно указать такія подраздѣленія животнаго царства которыя можно было бы разсматривать или какъ эвритермы, или какъ стенотермы. Большое разнообразіе въ этомъ отношеніи встрѣчается въ одномъ классѣ, въ одномъ семействѣ, даже въ одномъ и томъ же родѣ. Раздѣленіе на эти двѣ категоріи чисто эмпирическое, особенно въ отношеніи ископаемыхъ формъ. Въ дальнѣйшемъ мы увидимъ, что роды аммонитовъ юрскаго и мѣлового періодовъ *Phylloceres* и *Lytoceras* можно отнести не къ животнымъ теплыхъ морей, какъ это дѣлаютъ обыкновенно, а къ

[1]) Carl Chun. Aus den Tiefen des Weltmeeres. Jena. 1900, p. 526.

исключительно стенотермнымъ формамъ. Другіе роды аммонитовъ, которые населяли море на меньшей глубинѣ, повидимому, относились къ эвритермамъ, такъ какъ встрѣчаются во всѣхъ широтахъ.

Нѣкоторые бентальные моллюски современныхъ морей живутъ преимущественно въ холодныхъ водахъ; поэтому, если мы встрѣчаемъ эти виды или виды имъ близкіе въ третичныхъ или четвертичныхъ отложеніяхъ, то мы въ правѣ сказать, что эти слои отложились въ холодныхъ моряхъ. Поэтому же присутствіе въ неогеновыхъ и четвертичныхъ отложеніяхъ раковинъ *Cyprina islandica*, *Astarte borealis*, *Joldia arctica*, *Mya truncata*, *Buccinum undatum* заставляетъ насъ разсматривать эти слои, какъ отложенія холодныхъ водъ поверхности моря, если ископаемые остатки находятся въ высокихъ широтахъ, или какъ отложенія морскихъ глубинъ, если мѣстонахожденіе ископаемыхъ находится въ умѣренномъ поясѣ. Обыкновенно такое же значеніе приписывается нахожденію въ глинистыхъ слояхъ родовъ *Dentalium*, *Pleurotoma*, *Nucula*. Родъ *Aucella* (фиг. 17) юрскаго періода, повидимому, водился лишь въ холодной водѣ независимо отъ ея глубины. Другія безпозвоночныя встрѣчаются теперь исключительно въ неглубокихъ моряхъ тропическаго пояса. Кораллы, образующіе колоніи и воздвигающіе рифы, не переносятъ температуры ниже 20°, моллюски съ толстой раковиной, которые живутъ съ кораллами, кажется, также не выдерживаютъ температуры ниже этой. Для насъ уже теперь интересно констатировать, что въ юрскомъ періодѣ эти организмы не встрѣчаются въ полярныхъ широтахъ. Кромѣ того, рудистовыя мѣлового періода, а также нуммулиты, альвеолины и другія крупныя корненожки эоценовой эпохи не удалялись далеко изъ тропическихъ областей. Въ слѣдующей главѣ мы увидимъ, что болѣе или менѣе обильное выдѣленіе организмами извести также связано съ температурой.



Фиг. 17.—*Aucella mosquensis*, двухстворчатый моллюскъ изъ верхнеюрскихъ слоевъ бореальной области. Москва. Нат. вел. (по Циттелю).[1])

На поверхности воды, какъ извѣстно, распредѣленіе температуры обусловливается морскими теченіями, вслѣдствіе чего

[1]) Болѣе точное видовое опредѣленіе этой раковины *Aucella Fischeri* (Ред.)

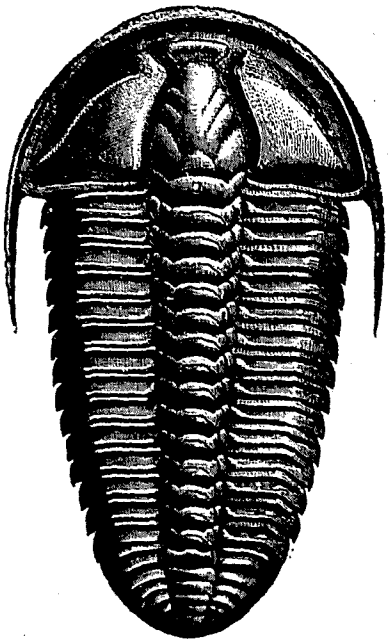
они оказываютъ большое вліяніе на географическое распространеніе животныхъ. Мы уже видѣли, что когда рядомъ идутъ два теченія различной температуры, физическій характеръ ихъ водъ рѣзко разграничиваетъ ихъ между собой и тѣмъ самымъ опредѣляетъ значительное различіе ихъ фаунъ. „*Челленжеръ*“ констатировалъ два замѣчательныхъ примѣра распредѣленія фауны, обусловленнаго теченіями: около береговъ Чили въ прибрежномъ холодномъ теченіи, отличающемся зеленымъ цвѣтомъ воды, изобилуютъ діатомовыя, инфузоріи, гидромедузы, теплыя же синія воды открытаго моря богаты глобигеринами; около береговъ Японіи тотъ же корабль нашелъ холодное теченіе, изобилующее діатомовыми, гидромедузами, а рядомъ съ нимъ шло теплое теченіе, гдѣ преобладали радіоляріи и глобигерины.

Распредѣленіе планктонныхъ организмовъ въ поверхностныхъ водахъ прежде всего обусловливается теченіями; то же самое можно сказать и о распространеніи личинокъ многочисленныхъ бентальныхъ организмовъ. Кромѣ того, всѣ плавучія тѣла, каковы: водоросли оторванныя отъ дна, деревья, разные обломки, перегородчатыя раковины головоногихъ (*Nautilus, Spirula*, аммониты), часто переносятся теченіями, идущими по поверхности, на большое разстояніе и могутъ быть выброшены волнами на берега, очень удаленныя отъ мѣста ихъ происхожденія.

Свѣтъ. — Солнечные лучи проникаютъ въ поверхностныя слои морской воды и освѣщаютъ ее до извѣстнаго предѣла, глубже котораго царитъ (по крайней мѣрѣ для нашего глаза) вѣчный мракъ. Фолю и Саразэну (10) удалось установить въ Виллафранкѣ въ полдень апрѣльскаго солнечнаго дня, что крайне свѣточувствительныя фотографическія пластинки переставали обнаруживать дѣйствіе на нихъ свѣта на глубинѣ въ 390—400 м. На основаніи этого опыта морская среда была раздѣлена на двѣ области: *свѣтопрозрачную* (*diaphane*) *и темнотную* (*aphotique*) отдѣленную отъ первой изобатой въ 400. м.

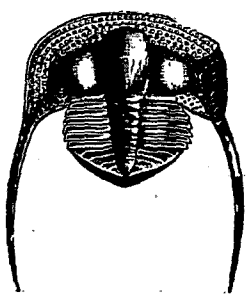
Вслѣдствіе отсутствія свѣта на океаническихъ глубинахъ у многихъ животныхъ наблюдается тамъ болѣе или менѣе значительный регрессъ зрительныхъ органовъ, подобно тому, что наблюдается у живущихъ въ темнотѣ пещерныхъ животныхъ. Наоборотъ, органы осязанія у бентальныхъ и нектонныхъ организмовъ часто чрезвычайно развиты. Однако, многія глубоководныя животныя, каковы: рыбы, десятиногіе раки, головоногіе, наоборотъ, имѣютъ громадные глаза. Эту аномалію въ развитіи

зрительныхъ органовъ нетрудно объяснить, если примемъ во вниманіе, что многія изъ этихъ животныхъ фосфоресцируютъ и сами по себѣ освѣщаютъ путь при преслѣдованіи добычи. Въ дальнѣйшемъ мы постараемся отвѣтить на вопросъ можно ли объяснить мракомъ, царящимъ на океаническихъ глубинахъ, отсутствіе глазъ, которое является характернымъ признакомъ нѣкоторыхъ трилобитовъ кембрійскаго и силурскаго періодовъ (*Conocoryphe* фиг. 18), *Ellypsocephalus Trinucleus* фиг. 19) или, наоборотъ, чрезмѣрное развитіе зрительныхъ органовъ у другихъ животныхъ (*Aeglina* фиг. 20).



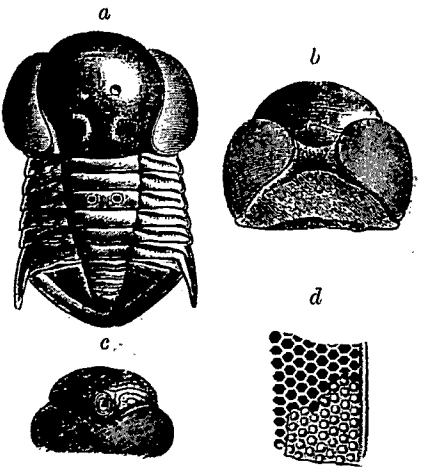
Фиг. 18 — *Conocoryphe Sulzeri* Schloth. Средній Кембрій, Гинецъ, Богемія; слѣпой (по Барранду). Рисунокъ взятъ изъ E. Suess, La Face de la Terre, т. II).

Вліяніе свѣта на распредѣленіе морскихъ растеній особенно бросается въ глаза и оно объясняется невозможностью выработки хлорофилла на извѣстной глубинѣ. Хотя свѣтъ проникаетъ въ массу воды до 400 м. глубины, но фактически солнечные лучи гораздо раньше перестаютъ дѣйствовать на хлорофиллъ. Впрочемъ, граница глубины, на которой встрѣчаются большія бентальныя растенія (*Potamogetonaceae, Hydrocharitaceae*, водоросли) (III, 9, стр. 822—844), измѣняется въ зависимости отъ широты, отъ времени года и чистоты воды. Въ тропическихъ широтахъ верхніе слои воды освѣщаются слишкомъ сильно, такъ что морскія растенія появляются въ изобиліи лишь нѣсколькими метрами ниже уровня моря при отливѣ. Наоборотъ, въ умѣренныхъ широтахъ многіе представители бентальной флоры находятся въ тѣхъ мѣстахъ, которыя обнажаются при отливахъ; при этомъ они растутъ въ изобиліи приблизительно до 40 м. глубины и совершенно исчезаютъ ниже 100—150 м.



Фиг. 19. — *Trinucleus ornatus* Sternb. Ордовицкіе слои; Трубинъ, Богемія; слѣпой (по Барранду. Рисунокъ взятъ изъ E. Suess, La Face de la Terre, т. II).

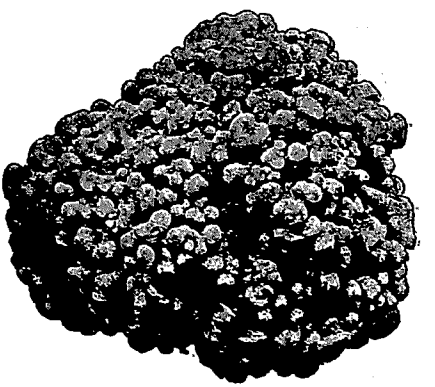
Зелеиыя водоросли встрѣчаются главнымъ образомъ въ верхнихъ слояхъ, коричневыя водоросли на средней глубинѣ, красныя водоросли — еще ниже; но надо сказать, что это распредѣленіе не является абсолютнымъ и глубиноизмѣрительныя подраздѣленія, нѣкогда установленныя на этомъ основаніи Эрстедомъ, теперь не имѣютъ значенія. Нѣкоторыя водоросли, именно литотамніевыя (фиг. 21) сифонники, выдѣляютъ известь, и прежде предполагали, что это выдѣленіе, быть можетъ, предохраняло ихъ слоевища отъ слишкомъ сильнаго дѣйствія солнечныхъ лучей.



Фиг. 20. — Циклопическіе глаза, *a* *Aeglina prisca* Barr, Ордовицкіе слои; Санкта Бенигна, Богемія; *b*, тоже, Возекъ; *c*. д. *Aeglina armata* Barr, окрестности Лейскова (по Барранду, Рис. взяты изъ E. Suess, La Face de la Terre, т. II).

Планктонныя водоросли по наблюденіямъ, сдѣланнымъ во время экспедиціи „*Вальдивіи*“ въ Антарктическій океанъ, рѣдко встрѣчаются на глубинахъ отъ 0 до 20 м., глубже ихъ число постепенно увеличивается и достигаетъ максимума на 80 м. глубины. Затѣмъ идетъ быстрое ихъ уменьшеніе, такъ что, ихъ число очень невелико начиная съ 200 и даже со 100 м. глубины и сводится на нуль на глубинѣ 300 или 400 м., что является границей проникновенія свѣта.

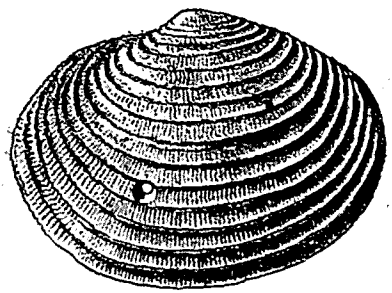
Незначительность планктонныхъ растеній въ поверхностныхъ водахъ моря, объясняется скорѣе высокой температурой чѣмъ избыткомъ свѣта.



Фиг. 21.—*Lithothamnium racemus.* $^1/_2$ нат. вел. Современныя моря (по Вальтеру).

Пища.—Характеръ пищи морскихъ животныхъ непосредственно обусловленъ распространеніемъ свѣта. Въ верхнихъ слояхъ, хорошо освѣщенныхъ солнцемъ, мы встрѣчаемъ богатую живую флору и потому только въ этихъ слояхъ водятся *тра-*

воядныя. Глубже границы ассимиляціи хролофилла мы находимъ только разлагающіяся растенія, попадающія туда съ поверхности, и особенно много остатковъ планктонныхъ растеній и животныхъ, которыя падаютъ на дно, смѣшиваются съ отлагающимися осадками и образуютъ илъ, богатый органическими веществами, который служитъ пищей для илоядныхъ животныхъ. Плотоядными являются хищныя морскія животныя, которыя питаются мясомъ, сокомъ или кровью травоядныхъ и илоядныхъ. Они водятся на всѣхъ глубинахъ независимо отъ того, ведутъ ли они бентальный или нектонный образъ жизни. Плотоядныя брюхоногія пробуравливаютъ своею теркой (radula) раковины другихъ моллюскъ и оставляютъ послѣ себя слѣдъ въ видѣ круглаго отверстія, которое часто можно видѣть также и на ископаемыхъ экземплярахъ, находимыхъ въ ракушечномъ отложеніи въ Турэни и особенно часто въ грубомъ известнякѣ окрестностей Парижа (карт. 22).



Фиг. 22.—*Corbis lamellosa*. Раковина просверленная хищнымъ моллюскомъ. Грубый известнякъ, Ліанкуръ (Уазъ). Нат. вел.

Если въ опредѣленныхъ слояхъ воды мы встрѣчаемъ лишь травоядныхъ, то нахожденіе представителей этой породы въ какомъ-либо геологическомъ слоѣ даетъ намъ вѣрный ключъ для опредѣленія глубины, на которой происходило отложеніе, если, конечно, ископаемыя не даютъ повода предполагать, что они были откуда-либо занесены, брюхоногіе хотя и не служатъ въ данномъ отношеніи безошибочнымъ указателемъ, но тѣмъ не менѣе очень цѣнны въ этомъ отношеніи. Всѣ двупредсердныя (*Diotocardia—Pleurotomariidae, Trochidae Nerineae*), всѣ *Hetcrocardia* (*Patellidae*), большинство однопредсердныхъ лентоязычныхъ (*Monotocardia Taenioglossa rostrifera* и легочные моллюски являются травоядными. Наоборотъ, другіе *Taenioglossa*, и всѣ *Stenoglossa*, а также и *Opistobranchiata* принадлежатъ къ плотоядным.

Природа морского дна.—Наконецъ, есть еще факторъ, существенно вліяющій на распространеніе морскихъ животныхъ; измѣненія въ характерѣ морского дна ведутъ къ соотвѣтствующимъ измѣненіямъ фауны и флоры.

Морское дно бываетъ или каменистое, или песчаное, или илистое. Каменистое дно благопріятствуетъ развитію фукусовъ

и ляминарій. Каменистое или по крайней мѣрѣ болѣе, или менѣе твердое дно, необходимо для прикрѣпленныхъ животныхъ и особенно для организмовъ, образующихъ колоніи, въ частности для коралловъ. Моллюски, съ толстыми раковинами многіе морскіе ежи также охотнѣе всего поселяются на каменистомъ днѣ.

Песчаное дно можно считать царствомъ зостеръ, посидоній и известковыхъ водорослей. Мшанки также часто водятся здѣсь въ изобиліи. Кольчатые черви роютъ здѣсь свои ходы. Изъ рыбъ тутъ живутъ, лежа на одномъ боку, камбалы.

На илистомъ днѣ мы находимъ сады водорослей, но ихъ виды обильно выдѣляющія известь здѣсь не встрѣчаются. Сифонныя пластинчатожаберныя живутъ здѣсь, зарывшись въ илъ, и ихъ вертикально расположенные сифоны открываются въ морскую воду и обезпечиваютъ поступленіе ея въ мантійную полость.

---

1. Karl Semper. Die natürlichen Existenzbedingungen der Thiere. *Intern. Wissensch. Biblioth*, XL, 2 vol. in-18, 299 стр., 106 фиг., 2 карты. Leipzig, 1880.

2. Léon Fredericq. La lutte pour l'existence chez les animaux marins. *Bibl. scient. contempor.*, 1 vol. in-18, 303 стр., 37 фиг. Paris, 1879.

3. P. Regnard. Recherches expérimentales sur les conditions physiques de la vie dans les eaux. 1 vol. in-8⁰, VII + 501 стр., 236 фиг. Paris, 1891.

4. Johannes Walther. Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. I. Bionomie des Meeres. II. Die Lebensweise der Meeresthiere. 1 vol in-8⁰, 531 стр. Jena 1893.

5. G. Pruvot. Conditions générales de la vie dans les mers et principes de distribution des organismes marins. *Année biologique*, II, chap. XVIII, стр. 559-587, 1896.

6. Johannes Walther. Ueber die Lebensweise fossiler Meeresthiere. *Zeitschr. d. D. geol. Ges.*, XLIX, стр. 209-273, 1897.

7. John Murray. The General Condition of Existence and Distribution of Marine Animals. *Ann. Rep. Smithson. Inst.* to July 1896, 1898, стр. 397-409.

8. Ernst Haeckel. Plankton-Studien. *Jenaische Zeitschr. f. Naturwiss.*, XXV, стр., 232-336, 1891.

9. P. Fischer. Sur les espèces de Mollusques arctiques trouvés dans les grandes profondeurs de l'océan Atlantique intertropical. *C. R. Ac. Sc.*, XCVII, стр. 1497-1499, 1883.

10. H. Fol et E. Sarasin. Sur la pénétration de la lumière dans la profondeur de la mer à diverses heures du jour. *C. R. Ac. Sc.*, CII, стр. 1014-1017. 1886.

11. Sir John Murray and. Dr. Johan Hjort. The Depths of the ocean London 1912. (*добав. ред.*).

ГЛАВА VII.

Географическое распространеніе морскихъ животныхъ.

Біономическія подраздѣленія морской среды.—Второстепенные факторы, опредѣляющіе распространеніе морскихъ животныхъ.—Морскія зоологическія провинціи.

Географическое распредѣленіе морскихъ животныхъ и растеній еще болѣе, чѣмъ распространеніе континентальныхъ формъ, опредѣляется физическими условіями среды. *Біономическіе факторы* были нами уже разсмотрѣны въ предшествующей главѣ, теперь намъ нужно использовать эти свѣдѣнія для установленія правильныхъ подраздѣленій морской среды. Мы сейчасъ увидимъ, на какихъ основаніяхъ можно раздѣлить море на зоологическія области, подобныя тѣмъ, на которыя мы раздѣлили сушу.

Біономическія подраздѣленія морской среды.—Многіе океанографы и зоологи дѣлятъ морскую среду лишь на двѣ области: область *мелкаго моря* (англійскій терминъ *shallow water*, нѣмецкій—*Seichtwasser*, *Flachsee*) и область *глубокаго моря* (*deap see*, *Tiefsee*), граница между которыми опредѣляется различными учеными неодинаково и колеблется отъ 90 м. (Т. Фуксъ) до 900 (І. Вальтеръ) и даже 1200 м. (Гюнтеръ).

Чаще же всего принято считать верхнюю границу глубокаго моря равной изобатѣ въ 100 фатомовъ или въ 200 м. Эта же изобата будетъ и нижней границей континентальнаго плато; ей часто соотвѣтствуетъ быстрое пониженіе морского дна, такъ что она имѣетъ большое географическое значеніе; кромѣ того, въ виду ея важности для мореплавателей, она отмѣчается на всѣхъ морскихъ картахъ и поэтому является наиболѣе удобной границей. Но болѣе или менѣе абсолютное значеніе она имѣетъ лишь для современныхъ морей; въ теченіе же прошедшихъ геологическихъ періодовъ, непосредственно предшествовавшихъ нынѣшнему; моря въ нашихъ широтахъ то поднимались выше теперешняго уровня и въ большей степени

заливали континентальныя плато, то опускались ниже и обнажали большее, чѣмъ теперь, пространство суши.

Съ другой стороны и нижняя граница континентальнаго плато далеко не вездѣ совпадаетъ съ изобатой въ 100 фатомовъ; во время непродолжительной экспедиціи „*Caudan*“ въ августѣ и сентябрѣ 1895 г. было установлено, что въ Гасконскомъ заливѣ быстрое пониженіе дна соотвѣтствуетъ изобатѣ въ 500 м., и тамъ же, слѣдовательно, находится морфологическая граница глубокаго моря.

Вполнѣ понятно, что прибрежная фауна стремится захватить все континентальное плато, какова бы ни была глубина на которой находится его край. Граница между прибрежной фауной и фауной глубокаго моря сильно измѣняется въ зависимости отъ положенія этого края и отъ силы теченій и колеблется между 500 м. и 25 м., такъ что въ концѣ концовъ изобата въ 200 м. является хорошей *средней* границей между областями мелкаго и грубокаго морей. Кромѣ того, эта граница принята Маріономъ, Агассицомъ и другими учеными.

Очень часто „область мелкаго моря“ называютъ „прибрежной областью“, но это неправильно, особенно въ отношеніи внутреннихъ морей, такъ какъ характеръ среды, обусловленный ея глубиной, часто простирается тамъ отъ берега въ открытое море на разстояніе въ нѣсколько сотъ километровъ. Ввиду отсутствія на французскомъ языкѣ термина, соотвѣтствующаго нѣмецкому „*Flachsee*“ и англійскому (*shallow water*) [1]), мы можемъ называть область мелкаго моря *неритовою* [2]).

Но въ предѣлахъ этихъ двухъ большихъ областей морской среды океанографы и зоологи установили еще рядъ подраздѣленій.

Нѣкоторые ученые выдѣляютъ въ качествѣ независимой области *интеркотидальную* (или по терминологіи Меррея „литоральную“) зону, ограниченную крайними предѣлами прилива и отлива [3]). Прюво доказалъ, что это ограниченіе, несмотря на удобство которое оно представляетъ, далеко не имѣетъ того

---

[1]) На французскомъ языкѣ не существуетъ прилагательнаго для обозначенія качества противоположнаго „*глубокому*“.

[2]) Русскій языкъ болѣе богатъ въ этомъ отношеніи, и мы не только можемъ употреблять термины соотвѣтствующіе нѣмецкому или англійскому (мелкое море, мелкая вода), но и обозначить эту мелководную область однимъ словомъ „*мелкоморье*“. *Прим. ред.*

[3]) По русски было бы удобно обозначить эту зону словомъ „*приливная*“ *Прим. ред.*

біономическаго значенія, которое ему приписывали. „Нѣтъ ничего общаго, говоритъ онъ, (2, стр. 567) между областями, обнажающимися на нѣсколько моментовъ только при большихъ отливахъ разъ или два въ году и даже рѣже, и болѣе высокой мѣстностью, которая въ продолженіе каждыхъ двухъ недѣль остается на нѣсколько дней не залитой моремъ. Животныя, живущія въ первыхъ условіяхъ, если ихъ развитіе совершается быстро, а жизнь непродолжительна, какъ у большинства безпозвоночныхъ, могутъ развиться, вырасти и умереть въ промежутокъ между двумя отливами; за все это время вода ни разу не отхлынетъ и не обнажитъ ихъ мѣстопребываніе. Всѣ представители растительнаго и животнаго царства, живущіе здѣсь, встрѣчаются также и глубже въ одинаковомъ изобиліи; и наоборотъ, нѣтъ, кажется, ни одного вида изъ животныхъ и растеній взятыхъ съ помощью драги или иного снаряда съ глубины въ 10—15 м. и даже болѣе, которыхъ не встрѣчалось бы на побережьѣ, хотя бы во время наинизшихъ отливовъ. Даже для животныхъ, которыя непосредственно на себѣ испытываютъ дѣйствіе приливовъ и отливовъ, послѣдніе, несмотря на свой періодическій характеръ, являются случайностью, кратковременнымъ неудобствомъ; животныя спасаются отъ нихъ какъ могутъ, ища или постояннаго или временнаго убѣжища, или въ крайнемъ случаѣ, подчиняясь обстоятельствамъ. Пояса въ полномъ смыслѣ естественные опредѣляются не относительной или абсолютной своей высотой, но извѣстнымъ соотношеніемъ физическаго состава почвы съ растительными и животными комплексами, которые тамъ находятся".

Отрицая существованіе литоральной зоны, Прюво намѣчаетъ слѣдующія подраздѣленія морей, покрывающихъ континентальный массивъ, включая сюда и Ла-Маншъ и Средиземное море, которыя не подвергаются дѣйствію приливовъ и отливовъ.

1. „Прибрежная морская подобласть" (*district littoral*) въ собственномъ смыслѣ слова съ неровнымъ и измѣнчивымъ дномъ, съ рѣзкими колебаніями температуры, съ прибоемъ волнъ.

2. „Околобережная подобласть" (*district côtier*) съ ровнымъ дномъ, рѣдкими прикрѣпленными растеніями, съ незначительнымъ движеніемъ волнъ, съ колебаніями температуры большого періода, обусловленными лишь смѣной временъ года.

Границы между этими областями, названія которыхъ, къ сожалѣнію, почти совпадаютъ, Прюво опредѣляетъ въ 40—50 м. Но чтобы провѣрить его обобщенія необходимо было бы, про-

извести новыя изысканія и въ другихъ мѣстахъ, кромѣ Ла-Манша и Ліонскаго залива. У насъ нѣтъ также никакого критерія, чтобы установить эту границу въ древнихъ моряхъ, поэтому геологу незачѣмъ входить въ спеціальныя подраздѣленія „области мелкаго моря“.

Иногда граница между глубокимъ и мелкимъ моремъ устанавливалась по предѣлу проникновенія свѣта. Но въ предшествующей главѣ мы видѣли, что дѣйствіе свѣта на хлорофиллъ прекращается выше изобаты въ 400 м. и что изобата въ 200 м., ограничивающая континентальную ступень, практически является и границей распространенія растительнаго царства. Такимъ образомъ, нельзя согласиться съ Ортманномъ, что изобата въ 400 м. совпадаетъ съ границей естественной области.

Іог. Вальтеръ относитъ еще глубже, чѣмъ Ортманнъ, границу между глубокимъ и мелкимъ моремъ, при чемъ главнѣйшимъ основаніемъ въ его подраздѣленіи является температура. Такъ какъ обыкновенно въ океанахъ температура выше 4° находится надъ изобатой въ 900 м., то онъ эту линію считаетъ за границу, и, дѣйствительно, есть вѣскія основанія въ пользу этого. Съ другой стороны намъ кажется умѣстнымъ, слѣдуя примѣру Ал. Агассица [1]), ввести переходный поясъ, который бы отдѣлялъ область мелкоморья (неритовую) отъ *области наибольшихъ морскихъ глубинъ*, за которой можно удержать названіе *абиссальной*. Эту переходную область мы будемъ называть—*батіальной*, заимствуя этотъ терминъ у Реневье и отграничимъ его изобатами въ 200 и 900 м. или въ круглой цифрѣ въ 1000 м.

Теперь мы въ общихъ чертахъ познакомимся съ біономическимъ характеромъ трехъ областей—неритовой, батіальной, и абиссальной (фиг. 23).

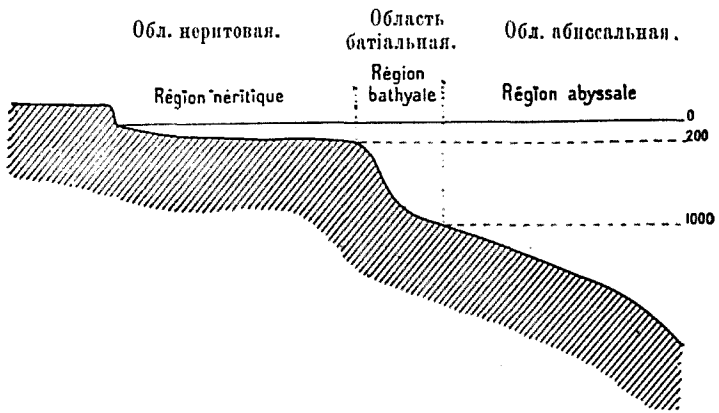
Мелкоморье или неритовая область простирается въ среднемъ на глубину въ 200 м. Постоянное болѣе или менѣе сильное движеніе водъ, измѣнчивая температура и хорошее освѣщеніе—вотъ отличительныя черты этой области. Животныя, населяющія эту зону, должны были выработать средства самозащиты отъ ударовъ волнъ они или присасываются къ скаламъ, или пробуравливаютъ углубленія въ камняхъ, или зарываются въ песокъ.

---

[1]) Терминъ, употребленный Агассицомъ—*континентальная область* (4 стр. 222)—для обозначенія этой переходной области неудаченъ, такъ какъ онъ можетъ вызвать путаницу съ названіемъ области мелкаго моря.

Благодаря чистотѣ своихъ водъ область мелкаго моря изобилуетъ колоніями кораллovъ и мшанокъ. Всѣ животныя неритовой области являются эвритермными, вслѣдствіе суточныхъ изнѣненій температуры въ верхнихъ слояхъ воды и сезонныхъ измѣненій въ болѣе глубокихъ слояхъ.

Обиліе зеленыхъ водорослей—фукусовъ и зостеръ — въ верхнихъ слояхъ воды и красныхъ водорослей преимущественно въ болѣе глубокихъ слояхъ объясняется обильнымъ проникновеніемъ свѣта. Растенія даютъ пищу многочисленнымъ травоядным гастроподамъ, каковы: *Nerita*, *Hydrobia*, *Cerithium*, которыя въ свою очередь становятся добычей хищныхъ брюхоногихъ, каковы: *Strombus*, *Natica*, *Cypraea*, *Triton*, *Buccinum* и др., такимъ образомъ, присутствіе здѣсь этихъ формъ тѣсно связано съ существованіемъ травоядныхъ.



Фиг. 23.—Схематическій разрѣзъ біокомическихъ областей моря.

Свободное проникновеніе свѣта обусловливаетъ яркую и разнообразную окраску животныхъ этой зоны.

Глубокая или *батіальная область*, приблизительно ограниченная изобатами въ 200 и 1000 м., отличается слѣдующими физическими особенностями.

Волны тамъ нарушаютъ спокойствіе водъ лишь во время самыхъ сильныхъ бурь, морскія же теченія тамъ чувствуются на всей глубинѣ. Температура довольно постоянна и на ней не отражается даже перемѣна временъ года, вслѣдствіе чего всѣ животныя относятся къ стенотермнымъ. Свѣтъ весьма слабо проникаетъ въ верхніе слои воды и совершенно не достигаетъ болѣе глубокихъ слоевъ; поэтому въ фаунѣ весьма мало травоядныхъ животныхъ; преобладающими же являются илоядныя,

такъ какъ они находятъ себѣ соотвѣтствующую пищу въ илу, обильномъ органическими веществами, которыя накопляются вслѣдствіе того, что животныя умирающія въ верхнихъ слояхъ воды, падаютъ на дно. Главнѣйшіе представители илоядныхъ— головоногіе, длиннохвостые десятиногіе раки, рыбы.

Окраска животныхъ здѣсь уже не такая яркая и разнообразная, какъ въ неритовой области; преобладаютъ однотонные, желтые, коричневые и красные цвѣта.

Пучинная или абиссальная область простирается отъ изобаты въ 1000 м. и ниже до самыхъ глубокихъ океаническихъ пучинъ какія только извѣстны. Если не принимать во вниманіе крайне медленнаго теченія, безпрерывно переносящаго холодную полярную воду въ океаническія пучины тропическихъ странъ, то можно сказать, что тамъ царитъ абсолютный покой. Температура тамъ въ каждой опредѣленный мѣстности постоянна и приближается къ 0^0, исключая континентальныхъ морей, отдѣленныхъ отъ океановъ высокимъ барьеромъ, каково, напр., Средиземное море.

Солнечный свѣтъ туда совершенно не доходитъ, и только свѣтовые лучи, испускаемые свѣтящимися органами нѣкоторыхъ животныхъ, освѣщаютъ тьму этихъ глубинъ.

Результатомъ этихъ физическихъ условій является чрезвычайное однообразіе фауны, изобиліе слѣпыхъ животныхъ и полное отсутствіе растительности [1]). Пищу доставляютъ исключительно растенія и животныя планктона. Это дало поводъ Іог. Вальтеру (V, 5 стр. 199) сравнить жизнь океаническихъ глубинъ съ такимъ промышленнымъ состояніемъ страны, когда послѣдняя не производитъ сама питательныхъ продуктовъ и принуждена прибѣгать для снабженія населенія съѣстными припасами къ ввозу продуктовъ изъ земледѣльческихъ странъ.

Фауна океаническихъ глубинъ имѣетъ мало зоогеографическихъ особенностей и заключаетъ въ себѣ много космополитическихъ родовъ; но съ другой стороны, она представлена очень разнообразными типами, что видно изъ того, что количество видовъ относится къ количеству родовъ какъ 5 къ 4, тогда какъ ближе къ поверхности разница между этими цифрами гораздо больше. Отсюда былъ сдѣланъ тотъ выводъ (VI, 7), что фауна океаническихъ пучинъ состоитъ изъ животныхъ, недавно эмигрировавшихъ изъ неритовой и батіальной зонъ

---

[1]) Конечно, не принимая во вниманіе бактерій.

и приспособившихся къ новымъ условіямъ существованія; прежде, наоборотъ, предполагали, что фауна океаническихъ пучинъ очень древняя и сохранилась почти безъ измѣненій отъ вторичной эры до нашихъ дней. Признаки обнаруживающіе приспособленіе этой фауны даютъ намъ вѣское доказательство въ пользу недавняго происхожденія глубокихъ океаническихъ впадинъ.

Подраздѣленія морской среды, которыя мы только что охарактеризовали, относятся только къ морскому дну или къ близкимъ къ нему слоямъ воды, но громадныя пространства водной стихіи населены растеніями и животными, совершенно несвязанными съ твердымъ субстратомъ. Эта масса воды, которая населена планктономъ и въ которой плаваютъ также нектонные организмы, образуетъ *пелагіальную или пелагическую область*. Въ ней мы также можемъ выдѣлить *под-область мелкаго моря*, которая какъ разъ расположена надъ донной неритовой областью и под-область *океаническую*, соотвѣтствующую областямъ батіальной и абиссальной.

Второстепенные факторы, опредѣляющіе распространеніе морскихъ животныхъ.—Если бы температура была распредѣлена равномѣрно по всей поверхности земли, и если бы сообщеніе между морями совершалось свободно, то жизнь, вѣроятно, очень однообразно проявлялась бы въ различныхъ біономическихъ областяхъ. Фауна каждой морской области имѣла бы одинаковый составъ, если не считать незначительныхъ измѣненій, обусловленныхъ природой дна. Планктонъ былъ бы одинаковъ во всѣхъ океанахъ, на днѣ пучинныхъ областей жили бы вездѣ одинаковыя животныя, точно такъ же, какъ и прибрежныя области всѣхъ странъ имѣли бы одинаковыхъ обитателей. Если принять еще во вниманіе, что морскія животныя обладаютъ возможностью широкаго распространенія потомства (что объясняется главнымъ образомъ пелагическимъ образомъ жизни большинства изъ нихъ), то станетъ понятно, что новыя формы, появившіяся гдѣ либо вслѣдствіе измѣненія и расхожденія признаковъ предшествовавшихъ типовъ, не замедлили бы мало-по-малу распространиться по всѣмъ морямъ.

Быть можетъ подобное однообразіе и имѣло мѣсто въ продолженіе очень древняго геологическаго періода еще до того времени, когда произошло охлажденіе полюсовъ; но послѣ того какъ обособились климаты ничего подобнаго не могло быть. Съ этого времени установились правильныя атмосферныя тече-

нія, и какъ ихъ послѣдствіе поверхностныя морскія теченія и одновременно съ этимъ медленная циркуляція холодныхъ и тяжелыхъ полярныхъ водъ въ глубины тропическихъ морей.

Въ силу этихъ явленій должно было прекратиться повсемѣстное географическое распредѣленіе однихъ и тѣхъ же живыхъ существъ и, такимъ образомъ, различія температуры встали первымъ препятствіемъ на пути распредѣленія животныхъ. Поэтому теперь неритовая фауна имѣетъ большія различія въ предѣлахъ своего подраздѣленія на климатическіе пояса. Распространеніе планктона также начало опредѣляться морскими теченіями, такъ что теперь мы можемъ наблюдать рѣзкое соприкосновеніе двухъ фаунъ различнаго состава, когда эти фауны живутъ въ двухъ рядомъ идущихъ теченіяхъ, изъ которыхъ одно холодное, другое теплое.

Кромѣ того, суша, возвышающаяся надъ водной поверхностью и раздѣляющая два океана часто въ видѣ узкаго перешейка, всегда бываетъ непреодолимымъ препятствіемъ въ распространеніи морскихъ животныхъ.

Но и существованіе подводнаго барьера является при распространеніи абиссальной фауны препятствіемъ, тѣмъ болѣе значительнымъ, что температура бываетъ неодинакова по обѣимъ сторонамъ барьера и эта разница, какъ это мы видѣли въ предыдущей главѣ, бываетъ иногда очень значительна. Лишь пелагическая фауна можетъ переходить за эти подводные барьеры.

Что же касается животныхъ неритовой зоны, то для нихъ глубокая океаническая депрессія съ ея низкой температурой является такимъ же труднопреодолимымъ препятствіемъ, какъ и суша, особенно для тѣхъ животныхъ, личинки которыхъ ведутъ не пелагическій образъ жизни. Этимъ обстоятельствомъ объясняется глубокое различіе прибрежныхъ фаунъ, противоположныхъ границъ океана расположенныхъ въ одномъ и томъ же климатическомъ поясѣ, какъ напр., прибрежная тропическая фауна у береговъ Бразиліи и Гвинеи. Распространеніе этой фауны по всему океану бываетъ возможно лишь въ томъ случаѣ, когда неритовая область простирается безпрерывно, какъ напр., въ Индійскомъ океанѣ отъ Портъ-Наталя до Австраліи. Точно также можно объяснить сходство, наблюдавшееся въ нѣкоторыя геологическія эпохи, между сѣверо-американской неритовой фауной и западно-европейской; оно даетъ намъ основаніе предполагать, что нѣкогда на мѣстѣ современной

сѣверной части Атлантическаго океана существовало континентальное сообщеніе между обѣими областями.

Морскія зоологическія провинціи. — Всѣ эти препятствія, вставшія на пути распространенія видовъ животныхъ, явились причиной раздѣленія морской среды на большое количество *зоологическихъ* (и ботаническихъ) *провинцій*, отличающихся между собой особенностями своей фауны. Одной изъ самыхъ интересныхъ проблемъ исторической геологіи, является вопросъ, существовали ли на протяженіи всѣхъ геологическихъ періодовъ морскія зоологическія провинціи и каковы были въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ ихъ географическія границы. Конечное рѣшеніе этого вопроса мы увидимъ, вѣроятно, еще не скоро. Даже къ изученію зоологическихъ провинцій современныхъ морей приступили еще недавно. Большинство трудовъ по этому вопросу основаны на чисто эмпирическихъ и относительныхъ данныхъ, и въ большинствѣ случаевъ на изученіи какой-либо опредѣленной группы животнаго царства. Единственная дѣйствительно научная работа Ортманна является въ сущности краткимъ очеркомъ (3) и тоже основывается на изученіи лишь одной группы животныхъ, именно десятиногихъ раковъ.

Географическое распредѣленіе абиссальныхъ животныхъ и планктона еще мало изучено и поэтому морскія зоологическія провинціи при современномъ состояніи нашихъ знаній могутъ быть намѣчены лишь для неритовой фауны.

Мы сейчасъ въ общихъ чертахъ приведемъ раздѣленіе морской среды на зоологическія провинціи, установленное С. П. Вудвордомъ (1,5), основывавшемся на распространеніи моллюскъ. Это раздѣленіе носитъ исключительно статистическій характеръ, но сдѣлалось классическимъ. Кромѣ того, оно во многихъ пунктахъ совпадаетъ съ подраздѣленіями Агассица, основанными на распространеніи морскихъ ежей (4). Вудвордъ намѣчаетъ слѣдующія подраздѣленія морской среды.

1. *Арктическая провинція* (по Агассицу Сѣверная Кругополярная область) заключаетъ въ себѣ Арктическія моря на сѣверѣ Азіи и Америки, сѣверную часть Атлантическаго океана до Новой Земли, Исландіи и Нордъ-Капа, далѣе Берингово море до Алеутскихъ острововъ.

2. *Бореальная провинція* (по Агассицу Сѣверо-Американская бореальная область): воды близъ западныхъ береговъ Скандинавскаго полуострова, Сѣверной Америки до мыса Кодъ. Она раздѣляется на двѣ подпровинціи, бореальную американскую и бореальную европей-

скую; изъ которыхъ каждой свойственны чисто мѣстные виды, на ряду съ формами общими обоимъ побережьямъ Атлантическаго океана.

3. *Кельтская провинція* прибрежная область Великобританіи, Сѣверное море, Балтійское море.

4. *Лузитанская провинція*: океаническое побережье Франціи, Испаніи, Португаліи, Марокко, Азорскихъ острововъ, Мадейры, Канарскихъ острововъ, Средиземное море, Черное море.

5. *Арало-Каспійская провинція*: Каспійское море, Аральское море.

6. *Западно-Африканская провинція:* океанъ у западнаго берега Африки, между двумя тропиками.

7. *Южно-Африканская провинція* (соотвѣтствуетъ вмѣстѣ съ 9-ой и 15-й Южной Околополюсной области Агассица).

8. *Индо-Тихоокеанская провинція:* побережье Индійскаго океана, Китайское и Малайское моря, архипелаги Тихаго океана, расположенныя между тропиками (соотвѣтствуетъ 4-мъ областямъ Агассица: Индо-Тихоокеанской, Индо-Африканской, Восточно-Индійской, Индійской).

9. *Австралійско-Зеландская провинція*, раздѣляющаяся на двѣ подобласти: Австралія (къ югу отъ тропика) и Новая Зеландія.

10. *Японская провинція.*

11. *Алеутская провинція:* (по Агассицу Сѣверо-Тихоокеанская область).

12. *Калифорнская провинція.*

13. *Панамская провинція:* (отъ Калифорнскаго залива до Перу).

14. *Перуанская провинція*: (по Агассицу Юго-западная Южно-Американская область.

15. *Магелланская провинція*: Чили, Патагонія, Огненная Земля, Малуинскіе острова.

16. *Патагонская провинція*: побережье Аргентинской республики и Бразиліи, южнѣе тропика.

17. *Карибская провинція*: (по Агассицу тропическая Атлантическая область).

18. *Заатлантическая провинція*: Атлантическое побережье Соединенныхъ Штатовъ (по Агассицу вмѣстѣ съ Кельтской провинціей составляетъ сѣверо-американскій округъ).

Подраздѣленія А. Ортманна (3), основанныя главнымъ образомъ на распространеніи десятиногихъ раковъ, далеко не такъ многочисленны, но зато построены на данныхъ морской біономіи. Ниже мы приводимъ, его подраздѣленіе „литторальной“ морской среды, или по нашей терминологіи, неритовой области моря.

1. *Арктическая область*, раздѣляющаяся на три подобласти: Арктическую Кругополярную, Сѣверо-Атлантическую, Сѣверно-Тихоокеанскую.

2. *Индо-Тихоокеанская область.*

3. *Западно-Американская.*
4. *Восточно-Американская.*
5. *Западно-Африканская*, распадающая на двѣ подобласти: *Средиземную* и *Гвинейскую.*
6. Антарктическая область (распространяющаяся въ Америкѣ на сѣверъ до Перу и до устья Ріо-де-ла-Плата.

Объединеніе Ортманномъ въ одну Сѣверо-Атлантическую подобласть морей, омывающихъ берега и сѣверо-американскіе, и европейскіе, и въ одну область береговъ австралійскихъ, новозеландскихъ, южно-американскихъ и южно-африканскихъ объясняется распространеніемъ, ведущихъ пелагическій образъ жизни, личинокъ десятиногихъ раковъ. На распространеніе моллюскъ сильнѣе сказываются факторы разъединенія, поэтому подраздѣленія Вудворда больше соотвѣтствуютъ географическимъ условіямъ.

---

1. S. P. Woodward. A. Manual of the Mollusca; or, Rudimentary Treatise of Recent and Fossil Shells. 1 vol. in-24, xvi+486 стр., 272 фиг., 24 таб., 1 карта. Part. III, chap. II, p. 349-407.

2. Georges Pruvot. Essai sur les fonds et la faune de la Manche occidentale (côte de Bretagne) comparés à ceux du golfe du Lion. *Arch. Zool. expér.*, 3e sér., V, стр. 511-616, таб. XXI-XXVI, 1897.

3. Arnold E. Ortmann. Grundzüge der marinen Thiergeographie. Anleitung zur Untersuchung der geographischen Verbeitung mariner Thiere, mit besonderer Berücksichtigung der Dekapodenkrebse. In-8°, 96 стр., 1 карта. Jena, 1896.

4. Alex. Agassiz. Revision of the Echini. 1 vol. in-4°, 762 стр., 94 таб., 69 фиг. Cambridge, 1872-74.

5. Paul Fischer. Manuel de Conchyliologie et de Paléontologie conchyliologique. 1 vol. in-8°, Paris, 1887. Chap. II, IV, V, Distribution géographique des Mollusques, стр. 117-286, 1 карта.

ГЛАВА VIII.

Образованіе отложеній.

Общія замѣчанія. — Протогенныя горныя породы химическаго происхожденія.—Протогенныя горныя породы органическаго происхожденія.—Дейтогенныя горныя породы.

Общія замѣчанія.—Познакомившись въ общихъ чертахъ съ физическими условіями той или иной среды, мы теперь можемъ приступить къ изученію геологическихъ явленій, совершающихся въ ея предѣлахъ. Прежде всего, мы должны остановиться на явленіяхъ литогенезиса, такъ какъ онъ является первой фазой геологическаго цикла, описаннаго въ первой главѣ т. е. на явленіяхъ отложенія осадковъ (*седиментаціи*). Намъ уже извѣстно, что въ геологіи подъ именемъ *осадковъ* или *осадочныхъ горныхъ породъ*, разумѣютъ всѣ отложенія, всѣ горныя породы, образовавшіяся при участіи внѣшнихъ динамическихъ агентовъ. Эти горныя породы, часто называютъ *экзогенными*, въ противоположность *эндогеннымъ породамъ*, т. е. породамъ внутренняго происхожденія или эруптивнымъ.

Одной изъ характерныхъ особенностей большинства осадочныхъ породъ, является ихъ слоистость, т. е. расположеніе слоями налегающими одинъ на другой, и указывающими на извѣстную періодичность осадочнаго процесса. Но эта особенность не является абсолютной, такъ какъ нѣкоторыя экзогенныя горныя породы, тѣмъ не менѣе имѣютъ форму массивныхъ однородныхъ породъ и не обнаруживаютъ даже въ значительныхъ массахъ никакого намека на слоистость; съ другой же стороны существуютъ изверженныя горныя породы, расположенныя слоистыми потоками.

Въ осадочныхъ горныхъ породахъ часто встрѣчаются ископаемыя, наоборотъ, ихъ никогда не бываетъ въ изверженныхъ породахъ [1]).

---

[1]) Исключеніе въ данномъ отношеніи представляетъ вулканическій пепелъ, гдѣ мы часто находимъ отпечатки растеній и кости животныхъ, погибшихъ во время изверженія.

Надо отличать неизмѣненныя осадочныя породы отъ породъ измѣненныхъ, которыя уже послѣ своего отложенія, претерпѣли рядъ физическихъ и химическихъ измѣненій подъ вліяніемъ давленія или подъ дѣйствіемъ атмосферныхъ агентовъ. Примѣрами главнѣйшихъ изъ этихъ измѣненій будутъ: образованіе сланцеватости, цементація составныхъ частей, раствореніе нѣкоторыхъ элементовъ породы, ихъ окисленіе, ихъ гидратація и т. д. Эти внѣшнія измѣненія, о которыхъ мы еще будемъ говорить, объединяются однимъ названіемъ *метасоматозъ*, а измѣненія породъ, обусловленныя внутренними динамическими агентами, называютъ *метаморфизмомъ*.

Въ настоящей главѣ мы обратимъ вниманіе лишь на неизмѣненныя осадочныя породы, не касаясь тѣхъ измѣненій, которыя они претерпѣли впослѣдствіи. Процессъ отложенія совершается не только въ моряхъ, но также въ озерахъ, лагунахъ, въ водныхъ потокахъ и даже на сушѣ, гдѣ онъ можетъ совершаться безъ участія воды, такъ какъ намъ извѣстны отложенія, образованныя дѣятельностью вѣтра. Сейчасъ мы главнымъ образомъ займемся морскими отложеніями, не игнорируя однако и отложеній иного происхожденія.

Можно дать слѣдующую классификацію морскихъ осадковъ, основанную *на происхожденіи* образующихъ ихъ матеріаловъ. Происхожденіе ихъ составныхъ элементовъ бываетъ слѣдующее:

1) Химическій осадокъ;
2) Накопленіе органическихъ остатковъ;
3) Механическое дѣйствіе волнъ на побережье;
4) Отложеніе осадковъ рѣками и ледниками;
5) Перенесеніе осадковъ плавающими льдами, плавающими растеніями и большими плавающими животными (въ ихъ желудкѣ);
6) Атмосферное происхожденіе осадковъ, т. е. вулканическія изверженія, разнесеніе осадковъ вѣтрами, паденіе космической пыли.

Обыкновенно въ курсѣ петрографіи изучаютъ горныя породы, распредѣляя ихъ по ихъ химическому составу, по природѣ элементовъ ихъ составляющихъ, по ихъ структурѣ. Кромѣ того, различаютъ *простыя* и *сложныя горныя породы*. При изученіи простыхъ горныхъ породъ, сначала изучаются входящія въ ихъ составъ тѣла: окиси хлориды, сульфаты; и другія двойныя соединенія: соли, группируемыя или по основанію или по кислотѣ. Классификація сложныхъ горныхъ породъ примѣняется главнымъ образомъ къ изверженнымъ породамъ.

При изученіи осадковъ мы обратимъ особое вниманіе на ихъ происхожденіе и раздѣлимъ ихъ прежде всего на осадки первичнаго происхожденія или *протогенныя*, отложившіе непосредственно въ водной средѣ, и отложенія вторичнаго происхожденія или *дейтогенныя* (называемыя также *обломочными* или *кластическими* отложеніями), являющіяся уже результатомъ дальнѣйшей переработки породъ или протогенныхъ, или изверженныхъ, или (метаморфическихъ), или, наконецъ, самихъ же обломочныхъ породъ.

Протогенныя породы бываютъ или *химическаго*, или *органическаго происхожденія*.

Протогенныя горныя породы химическаго происхожденія.—Протогенныя горныя породы химическаго происхожденія образуются благодаря непосредственному выпаденію веществъ, содержащихся въ растворенномъ состояніи въ водѣ, каковы: углекислыя соли, сѣрнокислыя соли, хлористыя соединенія щелочныхъ и щелочно-земельныхъ металловъ и др. Химическое осажденіе этихъ веществъ происходитъ благодаря испаренію воды подъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей. Обыкновенно принимаютъ, что тотъ порядокъ, въ которомъ вещества выдѣляются изъ раствора, соотвѣтствуетъ степени растворимости элементовъ, такъ что тѣла наиболѣе растворимыя выдѣляются послѣдними.

Въ *пръсныхъ водахъ* прежде всего поэтому отлагается углекислый кальцій. Въ одной изъ слѣдующихъ главъ мы разсмотримъ тѣ условія, при которыхъ источники, стекающіе по склонамъ, струйки и почвенныя воды могутъ образовать известковыя отложенія. Въ озерахъ испареніе воды вызываетъ отложенія мельчайшихъ частицъ углекислаго кальція, которыя образуютъ родъ рѣчного мѣла или имѣютъ видъ инструкціи, устилающей дно. Иногда, въ озерахъ такъ же, какъ и въ нѣкоторыхъ источникахъ образуются *известковые оолиты*, состоящіе изъ округлыхъ зеренъ, въ которыхъ известнякъ расположенъ концентрическими слоями вокругъ инороднаго органическаго или неорганическаго тѣла.

Въ настоящее время намъ еще не извѣстно, какую роль въ образованіи оолитовъ играютъ нѣкоторые организмы, въ частности, напр., водоросли.

Оолитовыя известковыя отложенія образуются иногда и въ *морской водѣ*. Въ современныхъ моряхъ эти отложенія были обнаружены: въ Суэцкомъ заливѣ и около береговъ Флориды.

Вообще говоря, они сосредоточены въ прибрежной области и въ неглубокихъ моряхъ. Повидимому, необходимымъ условіемъ образованія оолитовъ является сильное движеніе воды; поэтому надо полагать, они изобилуютъ теперь около коралловыхъ рифовъ и въ геологическихъ формаціяхъ встрѣчаются вмѣстѣ съ коралловыми отложеніями.

Конечно, однимъ испареніемъ нельзя объяснить отложеніе такихъ веществъ какъ углекислый кальцій, и соли металловъ, въ виду крайне ничтожнаго количества ихъ въ морской водѣ.

Но намъ уже извѣстно, что морская вода содержитъ въ значительномъ количествѣ, кромѣ хлористаго натрія еще щелочныя и щелочно-земельныя, хлористыя и сѣрнокислыя соединенія.

Если бы мы пожелали перечислить эти соли по степени ихъ растворимости, то на первое мѣсто мы должны были помѣстить различныя соединенія, такъ называемыхъ „расплывчатыхъ солей“, которыя очень легко растворяются, а на послѣднее мѣсто сѣрнокислый кальцій, который труднѣе растворимъ, чѣмъ поваренная соль. Такимъ образомъ, при концентраціи раствора, хотя бы вслѣдствіе испаренія, прежде всего выдѣлится сѣрнокислый кальцій, затѣмъ поваренная соль и самыми послѣдними расплывчатыя соли. Но въ виду того, что поваренной соли въ морской водѣ всегда избытокъ, она часто отлагается совмѣстно съ другими соединеніями.

Сѣрнокислый кальцій кристаллизуется двояко: безводно, образуя *ангидритъ*, и въ соединеніи съ водой, образуя *гипсъ* ($CaSO^4+2H^2O$). Условія осажденія этихъ минераловъ будутъ различны. По общепринятому мнѣнію гипсъ отлагается при нормальномъ давленіи, при давленіи же свыше 10 атмосферъ отлагается ангидритъ; это условіе осуществляется на днѣ всякаго бассейна, глубина котораго превосходитъ 107 м. Но въ своихъ послѣднихъ трудахъ Вантъ Гоффъ (1) доказалъ, что образованіе гипса или ангидрита обусловливается температурой и количественнымъ соотношеніемъ другихъ солей растворенныхъ совмѣстно съ сѣрнокислымъ кальціемъ. Въ прѣсной водѣ гипсъ отлагается до максимальной температуры въ 60^0; въ водѣ же, содержащей хлористыя соединенія, при температурѣ только въ 25^0 отлагается уже не гипсъ, а ангидритъ.

Условіемъ кристаллизаціи *морской соли* является испареніе воды до $^1/_{10}$ ея первоначальнаго объема и уплотненіе до 1,2. Тогда образуются значительныя массы каменной соли, часто необыкновенно чистой, а иногда отлагается соль съ прослой-

ками глины. Послѣ отложенія морской соли, остается разсолъ большой плотности, содержащій только „расплывчатыя соли“. Порядокъ въ которомъ отлагаются эти соли, измѣняется въ зависимости отъ ихъ относительнаго количества, отъ температуры раствора и отъ давленія, т. е. отъ глубины бассейна, въ которомъ происходитъ испареніе. Основываясь на законахъ физической химіи Вантъ Гоффъ и Мейерхоффферъ опредѣлили *a priori* порядокъ отложенія различныхъ солей и объяснили послѣдовательность соленыхъ отложеній, наблюдаемую въ нѣкоторыхъ геологическихъ отложеніяхъ и особенно въ Стассфуртскомъ. Читателя, который пожелалъ бы ближе познакомиться съ этими вопросами, мы отсылаемъ къ мемуарамъ, опубликованнымъ этими учеными (1); здѣсь же мы приведемъ лишь три главнѣйшія соединенія, которыя въ Страссфуртѣ образуютъ три слоя, покрывающіе отложеніе ангидрита, вотъ эти соединенія:— *полигалитъ* ($2CaSO^4. MgSO^4. K^2SO^4. 2H^2O$), *кизеритъ* ($MgSO^4. H^2O$) и *карналитъ* ($MgCl^2. KCl. 6H^2O$). Каменная соль всегда является спутникомъ этихъ минераловъ, но чѣмъ выше, тѣмъ все въ меньшемъ количествѣ. *Сильвинъ* (KCl) и *Каинитъ* ($MgSO^4. KCl. 3H^2O$), встрѣчающіеся также въ Страссфуртскихъ отложеніяхъ, являются вторичными продуктами, образовавшимися въ результатѣ послѣдующихъ измѣненій другихъ солей.

Кромѣ того, во многихъ отложеніяхъ были обнаружены борнокислыя соли, каковы, напр., борацитъ ($2Mg3B^8O^{15}. MgCl^2$), образующій линзовидныя прослойки, встрѣчаемыя въ слояхъ ниже карналитоваго горизонта. На первый взглядъ тутъ какъ будто есть противорѣчіе, такъ какъ борнокислыя соединенія гораздо менѣе растворимы, чѣмъ расплывчатыя соли, но Дьелафе показалъ, что онѣ остаются въ растворѣ въ маточныхъ разсолахъ, содержащихъ эти соли. Кромѣ того, анализомъ были найдены въ морской водѣ замѣтные слѣды бора.

Отложенія расплывчатыхъ солей древнихъ геологическихъ періодовъ сохранились лишь въ видѣ исключенія. Они могли сохраниться лишь въ тѣхъ странахъ, гдѣ атмосферные осадки крайне рѣдки или же въ такихъ мѣстонахожденіяхъ, гдѣ отложенія солей защищены отъ растворяющаго дѣйствія дождевой воды глинистымъ покровомъ. Внѣ этихъ условій только гипсъ и ангидритъ не поддались растворенію; присутствіе же прежде бывшихъ отложеній соли обнаруживаютъ тогда слѣпки пустотъ[1]).

---

[1]) Эти слѣпки пустотъ часто называютъ неправильно „псевдоморфозами“.

въ формѣ четыреугольныхъ воронокъ или кубовъ, оставшіеся послѣ растворенія кристалловъ соли.

Обыкновенно предполагаютъ, что отложенія ангидрита, гипса, каменной соли и расплывчатыхъ солей образуются въ лагунахъ, какъ результатъ испаренія морской воды, проникающей въ бассейнъ, соединенный съ моремъ.

Никакимъ другимъ способомъ нельзя было бы объяснить громадныхъ отложеній соли, достигающихъ мощности нѣсколькихъ сотъ метровъ [1]), если не допустить постояннаго притока соленой воды въ бассейнъ, въ которомъ происходитъ испареніе. Бишофъ высказалъ гипотезу существованія лагунъ, отдѣленныхъ отъ моря барьеромъ, черезъ который могли переливаться лишь верхніе слои морской воды, такъ что наиболѣе глубокія мѣста испаряющихъ бассейновъ не сообщались съ моремъ, и поэтому вода въ нихъ могла достигнуть значительной концентраціи. Особенно сильное развитіе „эта теорія барьеровъ“ получила у Г. Охсеніуса (3). По его мнѣнію слои ангидрита и соли, послѣдовательно отлагающіеся, въ концѣ концовъ наполнятъ бассейнъ до краевъ барьера; тогда продолжающая притекать въ лагуну морская вода будетъ вытѣснять болѣе плотные разсолы со дна лагуны и они будутъ вытекать въ море. Такимъ образомъ, снова благодаря испаренію воды нормальной солености долженъ образоваться ангидритъ, который покроетъ, какъ „шапкой“, расплывчатые соли; подобное явленіе дѣйствительно наблюдается въ верхней части отложенія въ Страссфуртѣ.

Но ни въ одной современной лагунѣ не удалось прослѣдить той послѣдовательности явленій, которую намѣчаетъ теорія Охсеніуса, точно такъ же, какъ не встрѣчается и барьеровъ, отвѣчающихъ условіямъ этой теоріи. Правда, часто указывали Кара-Бугазскій заливъ на востокѣ Каспійскаго моря, гдѣ и въ наше время совершается химическое отложеніе солей, содержащихся растворенными въ морской водѣ. Узкая коса отдѣляетъ эту лагуну, отъ моря и она сообщается съ моремъ лишь узкимъ проливомъ. Прежніе ученые утверждали, что на днѣ залива образуется настоящая кора изъ соли; но наблюденія Андрусова не подтвердили этого факта и Андрусову не удалось даже констатировать концентраціи воды, достаточной для выдѣленія каменной соли. На берегахъ же отлагаются лишь гипсъ и сѣрнокислый калій.

---

[1]) Въ Шперенбергѣ около Берлина буровая скважина прошла чрезъ пласты соли мощностью около 1,200 м., не достигнувъ ихъ начала.

Но все-таки Андрусову удалось наблюдать и на глубинѣ, и на поверхности теченіе, которое безпрерывно несетъ воду изъ Каспійскаго моря въ лагуну, вслѣдствіе чего это внутреннее море постоянно терпитъ убыль воды, которая пополняется водой приносимой рѣками, и убыль соли, которая уже ничѣмъ не пополняется.

Въ большинствѣ же лагунъ, какъ на это совершенно правильно указалъ Іог. Вальтеръ (5), наблюдается какъ разъ обратный порядокъ. Рѣки туда приносятъ прѣсную воду, такъ что лишь вода около дна остается соленой и поэтому устанавливается теченіе изъ лагуны къ морю. При этихъ условіяхъ концентрація водъ и отложеніе солей становятся невозможными.

Внѣ всякаго сомнѣнія, что климатъ пустынь съ его незначительными атмосферными осадками является необходимымъ условіемъ не только сохраненія, но и отложенія солей. Это условіе можетъ быть осуществлено или въ лагунахъ странъ, гдѣ почти не выпадаетъ дождей; или среди пустынь въ бассейнахъ, не имѣющихъ стоковъ въ море, при условіи, конечно, что впадающія въ эти бассейны потоки водъ содержатъ въ растворенномъ состояніи соли, получаемыя ими изъ породъ, образующихся въ областяхъ питанія этихъ потоковъ. Подобное явленіе мы можемъ наблюдать въ Алжирскихъ и Тунисскихъ „шоттахъ“ [1]), соленость воды которыхъ объясняется тѣмъ, что впадающія въ нихъ рѣки приносятъ гипсъ и соль, получаемыя ими изъ сосѣднихъ тріасовыхъ отложеній.

Іог. Вальтеръ въ своихъ послѣднихъ трудахъ предлагаетъ всѣ древнія отложенія гипса и соли отнести къ отложеніямъ, образовавшимся въ пустыняхъ. (5) Онъ подчеркиваетъ также, что ни въ одномъ изъ геологическихъ разрѣзовъ не обнаружено ничего, что давало бы хотя намекъ на существованіе какихъ то барьеровъ.

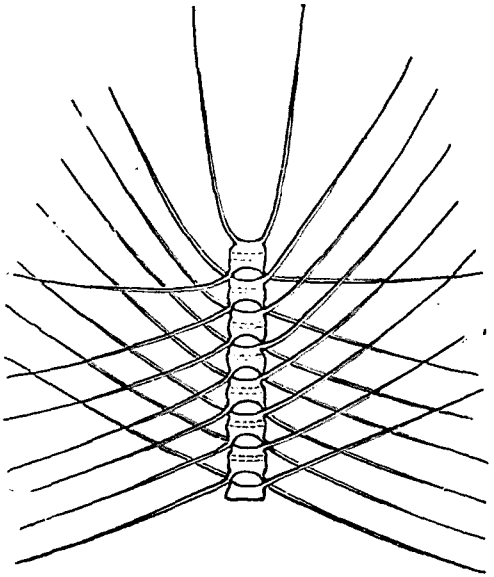
Тщательное изученіе ископаемыхъ организмовъ, встрѣчающихся въ осадкахъ сопровождающихъ отложенія соли, пріобрѣтаетъ поэтому существенное значеніе, такъ какъ оно позволитъ намъ установить для каждаго отдѣльнаго случая составъ фауны и флоры, жившей въ сосѣдствѣ съ каждымъ испаряющимся бассейномъ; и укажетъ или на то, что онѣ жили въ пустынныхъ условіяхъ, или на то, что бассейнъ непосредственно сообщался съ

---

[1]) Арабское слово, обозначающее солончаковое болѣе или менѣе высохшее озеро Алжирскаго плоскогорія О. Б.

моремъ. Такимъ образомъ, можно будетъ опредѣлить, которая изъ двухъ гипотезъ имѣетъ большее основаніе.

Протогенныя горныя породы органическаго происхожденія.—Горныя породы органическаго происхожденія образуются изъ скелетовъ нѣкоторыхъ животныхъ и растеній, способныхъ заимствовать изъ окружающей среды минеральныя вещества, для потребностей своего организма. Скелетъ, защищающій животное и служащій ему поддержкой, образуется или изъ фосфорнокислой извести, или изъ углекислой извести въ ея различныхъ кристаллическихъ формахъ, каковы: кальцитъ, арагонитъ, конхитъ; или изъ кремнезема, или изъ целлюлозы. Фосфорнокислая известь входитъ въ составъ костнаго скелета позвоночныхъ, при чемъ они ее заимствуютъ или изъ почвы, гдѣ она находится въ видѣ апатита, или изъ морской воды. Углекислая известь образуетъ скелетъ нѣкоторыхъ водорослей, каковы: сифонники, литотамніи, кальцоцитеи и скелетъ многихъ животныхъ, какъ то: корненожекъ, известковыхъ губокъ, гидроидныхъ, шестилучевыхъ коралловъ, иглокожихъ, серпулевыхъ, мшанокъ, плеченогихъ моллюскъ, различныхъ ракообразныхъ.



Фиг. 24. — Оболочки *Chaetoceras dispar*, Морской діатомовой водоросли. Увелич. въ 370 разъ (по J. Walter. Allg. Meeresk.).

Кремнеземъ образуетъ оболочки діатомовыхъ (фиг. 24), скелеты радіолярій, иглы (spiculae) кремневыхъ губокъ. (Целлюлоза), которая встрѣчается у нѣкоторыхъ губокъ (спонгинъ), у моллюскъ (конхіолинъ), у членистоногихъ (хитинъ), принимаетъ лишь незначительное участіе при образованіи отложеній, если не принимать во вниманіе тотъ видъ этого вещества, который вырабатывается материковыми растеніями и который послѣ ряда измѣненій превращается въ каменный уголь и другія углистыя породы.

Главнѣйшее значеніе въ образованіи морскихъ осадковъ

имѣютъ углекислая известь и кремнеземъ, поэтому намъ необходимо разсмотрѣть условія, благопріятствующія ихъ выработкѣ организмами.

Начнемъ съ углекислой извести.

Количество растворенпаго углекислаго кальція въ рѣкахъ можетъ быть довольно значительно, въ морской же водѣ количество его сводится до минимума (0,06%) и кальцій тамъ почти всегда находится въ видѣ сѣрнокислой соли. Трудно предположить, чтобы такое незначительное количество углекислаго кальція могло хватить на постройку известковаго скелета многочисленныхъ морскихъ животныхъ; поэтому было сдѣлано предположеніе, что животныя могутъ употреблять сѣрнокислыя соединенія, для переработки ихъ въ своемъ организмѣ въ углекислую соль.

Опыты, сдѣланные Мерреемъ и Ирвиномъ (9) на курахъ, крабахъ и устрицахъ, вполнѣ потвердили это предположеніе.

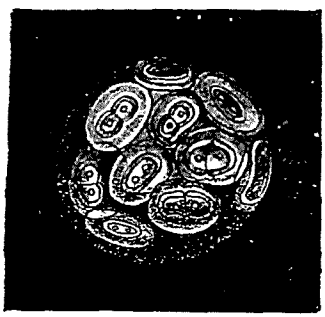
Извѣстно, что куры, совершенно лишенныя извести, кладутъ яица безъ скорлупы; если же имъ давать воду, содержащую только сѣрнокислый кальцій, безъ всякой примѣси углекислой соли, то ихъ яица будутъ имѣть нормальную известковую скорлупу. То же самое, если разводить крабовъ или устрицъ въ искусственной морской водѣ, изъ которой тщательно удаленъ углекислый кальцій, то ихъ панцырь или раковина будетъ развиваться нормально. Такимъ образомъ очевидно, что организмы могутъ перерабатывать сѣрнокислую соль въ углекислую.

Путемъ другихъ экспериментовъ тѣмъ же ученымъ удалось установить, что эта переработка значительно облегчалась, когда въ воду прибавляли углекислаго аммонія или альбумина. Кромѣ того, углекислый аммоній вызываетъ въ растворѣ сѣрнокислаго кальція образованіе осадка углекислаго кальція. Меррей и Ирвинъ предполагаютъ, что въ природѣ выработка извести организмами, облегчается присутствіемъ въ морской водѣ углекислаго аммонія, который тамъ появляется или благодаря выдѣленіямъ животныхъ, или при разложеніи органическихъ веществъ.

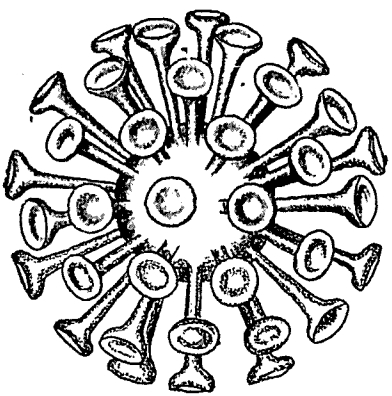
Анализомъ тѣхъ же ученыхъ было установлено, что аммоніевыя соли находятся во всѣхъ океанахъ, но что въ теплыхъ водахъ тропическихъ странъ онѣ гораздо обильнѣе, чѣмъ въ холодныхъ водахъ полярныхъ странъ или глубокихъ пучинъ. Этотъ фактъ прекрасно объясняетъ намъ географическое распредѣленіе организмовъ, обильно выдѣляющихъ известь: на одинаковой глубинѣ въ тропическихъ моряхъ гораздо больше организмовъ съ хорошо развитымъ известковымъ скелетомъ, чѣмъ

въ полярныхъ. Чтобы наглядно иллюстрировать это положеніе Меррей сравниваетъ прибрежную фауну мыса Іоркъ съ прибрежной же фауной острова Кергуэленъ [1]).

Въ первой мѣстности изобилуютъ кораллы, моллюски съ толстой известковой раковиной, десятиногіе раки; во второй— преимущественно встрѣчаются гидроиды, голотуріи, кольчатые черви, разноногіе бокоплавы (Amphipoda), равноногіе (Isopoda), оболочники (Tinicata), т.-е. все организмы, лишенные известковаго скелета. Въ одной и той же группѣ животныхъ мы находимъ въ тропическихъ моряхъ формы съ толстымъ скелетомъ, въ полярныхъ водахъ — со скелетомъ тонкимъ или зачаточнымъ. Это можно сказать, напр., о родахъ корненожекъ *Pulvinulina* и *Sphaeroidina*. Крылоногіе, встрѣчающіеся въ полярныхъ моряхъ, лишены покрова или имѣютъ чрезвычайно тонкую раковину (*Limacina*), въ тропическихъ странахъ, напротивъ, встрѣчаются формы съ хорошо развитою раковиною. Кокколиты (фиг. 25) и рабдолиты (фиг. 26)[2]) изобилуютъ



Фиг. 25.—Коккосфера (по Меррею).



Фиг. 26.—Рабдосфера (по Меррею).

въ тропическихъ моряхъ и совершенно отсутствуютъ въ полярныхъ; точно также и океаническія пучины съ ихъ низкой температурой крайне бѣдны организмами, съ известковымъ скелетомъ. Прибавимъ еще, что шестилучевые кораллы, (строящіе рифы), не развиваются въ водѣ имѣющей температуру ниже 20°, тогда какъ простыя формы, вырабатывающія мало извести, встрѣчаются въ болѣе холодной водѣ и на большихъ глубинахъ.

---

[1]) John Murray. On the deep and shallow water marine fauna of the Kerguelen Region of the Great Southern Ocean. *Transact. of the Royal Soc. of Edinburgh*, XXXVIII, part II, nr X p. 343—500, 1 pl. 1896.

[2]) Это водоросли съ известковой оболочкой изъ семейства Calcocyteae.

Всѣ эти факты вмѣстѣ взятые, приводятъ насъ къ довольно важнымъ геологическимъ выводамъ. Такъ, напр., нахожденіе многочисленныхъ организмовъ съ хорошо развитымъ известковымъ скелетомъ въ палеозойныхъ отложеніяхъ полярныхъ странъ показываетъ намъ, что эти страны въ первичныя времена не имѣли такого холоднаго климата, какъ теперь.

Кромѣ высокой температуры для развитія организмовъ съ известковымъ скелетомъ необходима еще чистота воды. Мутныя воды имъ очень вредны; этимъ объясняется отсутствіе коралловыхъ сооруженій вблизи устьевъ рѣкъ. Большія же волны и сильныя теченія, являющіяся характернымъ признакомъ неритовой зоны, уносятъ съ собой частицы глины, находящіяся въ водѣ взвѣшенными и такимъ образомъ защищаютъ колоніи животныхъ съ известковымъ скелетомъ отъ осѣданія ила, который препятствовалъ бы ихъ развитію. Наоборотъ, развитію организмовъ съ кремнистымъ скелетомъ благопріятствуетъ сравнительно низкая температура окружающей среды и наличность или илистаго дна, или частицъ глины взвѣшенныхъ въ водѣ.

Кремнеземъ содержится въ водѣ въ такомъ незначительномъ количествѣ (отъ 1/200000 до 1/500000), что его далеко не хватаетъ для животныхъ и растеній, строящихъ изъ него свой наружный покровъ. Поэтому Меррей и Ирвинъ (10) пришли къ заключенію, что организмы съ кремнистымъ скелетомъ способны переработывать глину въ кремнеземъ; свою гипотезу эти ученые подкрѣпили рядомъ убѣдительныхъ опытовъ.

Культивируя діатомовыя водоросли въ водѣ, въ которую они прибавляли растворимаго студенистаго кремнезема, наши ученые достигли нормальнаго развитія этихъ водорослей. Тотъ же самый результатъ дало и прибавленіе къ водѣ кремнекислой извести. Въ водѣ же, въ которой не было и слѣда кремнезема или въ которую былъ прибавленъ кварцъ, т.-е. нерастворимый кремнеземъ, водоросли погибали. Но самымъ убѣдительнымъ опытомъ изъ всѣхъ, предпринятыхъ съ этой цѣлью, было прибавленіе размельченной чистой глины къ водѣ, въ которой находились водоросли; въ этомъ случаѣ діатомовыя хорошо развились и стали очень быстро размножаться. Такимъ образомъ ихъ организмъ можетъ извлекать кремнеземъ изъ кремнекислаго алюминія—глины взвѣшенной въ водѣ.

Кромѣ того извѣстно, что очень тонкія глинистыя частицы дольше остаются взвѣшенными въ прѣсной или мало соленой водѣ, чѣмъ въ морской водѣ нормальной солености. Въ поляр-

ныхъ моряхъ, какъ намъ уже извѣстно изъ предыдущаго, степень солености воды очень не высока, поэтому глина, приносимая рѣками, не отлагается въ самомъ устьѣ, какъ это бываетъ обыкновенно подъ тропиками, а долго остается взвѣшенной и представляетъ для радіолярій и діатомовыхъ богатый запасъ кремнезема. Слѣдовательно, низкая температура и обусловленная ею малая соленость воды являются благопріятными условіями для развитія организмовъ съ кремнистымъ скелетомъ. Организмы же съ известковымъ скелетомъ требуютъ какъ разъ обратнаго. Точно также и глина, благопріятная для первыхъ, для вторыхъ является вредной. Поэтому можно сказать, что условія, необходимыя для развитія известковаго и кремнистаго скелета (или оболочки) взаимно исключаютъ другъ друга, и потому тѣ и другія являются въ нѣкоторомъ родѣ антагонистами. Географическое распредѣленіе двухъ главнѣйшихъ категорій отложеній органическаго происхожденія подтверждаетъ эту закономѣрность.

По характеру жизни организмовъ съ известковымъ и кремнистымъ скелетомъ, образующихъ осадки, можно эти послѣднія раздѣлить на двѣ категоріи, *бентогенныхъ* и *планктогенныхъ*.

Въ первую категорію входятъ прежде всего известковыя горныя породы, происшедшія изъ рифовъ, сооружаемыхъ животными образующими колоніи, каковы: шестилучевые кораллы, гидроиды, мшанки, а также и нѣкоторыя известковыя водоросли (*Lithothamnium*, *Melobesia* и др.). Этотъ известнякъ называется рифовымъ. Въ эту же категорію мы зачислимъ отложенія, происходящія вслѣдствіе накопленія образовавшихся здѣсь же на мѣстѣ, а не нанесенныхъ остатковъ бентальныхъ животныхъ и растеній, каковы: криноидные известняки, которые образуются вслѣдствіе нагроможденія члениковъ стеблей и рукъ, такъ же какъ и обломковъ чашечекъ морскихъ лилій, иглокожихъ, прикрѣпленныхъ ко дну при помощи стеблей и образующихъ въ нѣкоторыхъ мѣстахъ морского дна настоящіе лѣса. Затѣмъ слѣдуютъ диплопоровые известняки (calcaires à Diplopores), состоящіе изъ скопленія известковыхъ обломковъ, которые образуются изъ известковой коры мутовчатыхъ сифонниковъ. Затѣмъ известнякъ изъ бентальныхъ корненожекъ (фузулины, нуммулиты, альвеолины и др.). Скопленія раковинъ умершихъ моллюскъ называются *раковинными мраморами* (*люмахеллами*), если элементы сцементированы, а въ противномъ случаѣ *ракушечниками* (*faluns*). Наконецъ,

существуютъ отложенія, которыя почти цѣликомъ состоятъ изъ спикулей кремнистыхъ губокъ, каковы *спонголиты* Кайё. (11).

Планктогенными можно назвать тѣ отложенія, которыя состоятъ исключительно изъ скопленія известковыхъ и кремнистыхъ скелетовъ животныхъ и растеній, принадлежавшихъ планктону. Въ современныхъ океанахъ эти отложенія очень распространены и занимаютъ площадь приблизительно равную половинѣ всего морского дна.

Планктонные организмы послѣ своей смерти, какъ медленный дождь, падаютъ на морское дно. Ихъ тѣла сгниваютъ, а кремнистые скелеты опускаются на дно, почти не подвергаясь растворяющему вліянію морской воды, несмотря на продолжительное съ нею соприкосновеніе; скопленія этихъ скелетовъ и образуютъ кремнистыя отложенія. Что же касается известковыхъ скелетовъ, то судьба ихъ большею частью бываетъ иная. Послѣ своей смерти скелеты медленно падаютъ, прорѣзая очень мощный столбъ воды, и растворяются на пути, не успѣвъ достигнуть дна. Поэтому они образуютъ отложенія на глубинѣ не свыше 5000 м. и почти всегда ниже этой цифры.

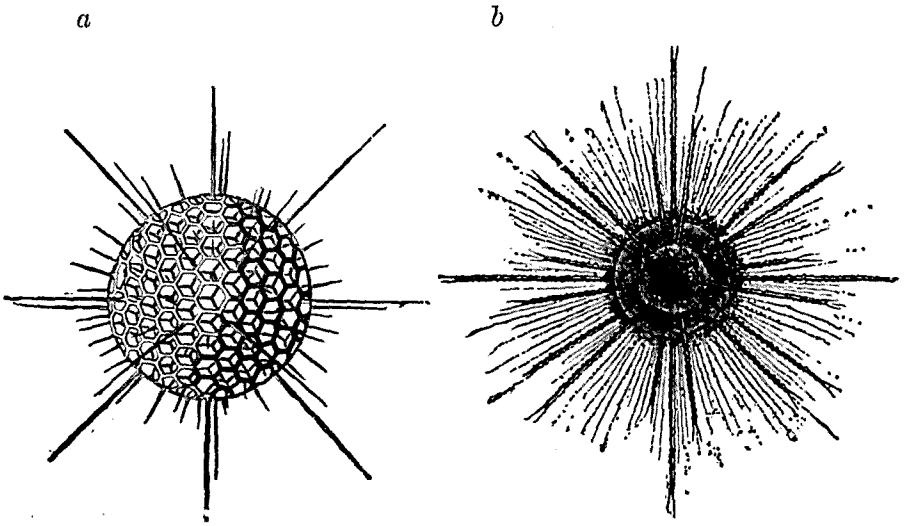
Главную массу планктона съ известковымъ скелетомъ составляютъ корненожки изъ семейства глобигериновыхъ (*Globigerina, Sphaeroidina, Orbulina*) поэтому то и назвали „глобигериновымъ иломъ“ осадокъ, образующійся изъ скопленія скелетовъ этихъ животныхъ. Содержаніе извести въ немъ равняется 30—96 % и уменьшается по мѣрѣ увеличенія глубины. Кромѣ планктонныхъ корненожекъ мы тамъ еще встрѣчаемъ кокколиты и рабдолиты, радіоляріи, оболочки діатомовыхъ, остатки бентальныхъ организмовъ известковые или кремнистые и въ небольшомъ количествѣ минералы вулканическаго происхожденія. *Птероподовый илъ* есть лишь разновидность глобигериноваго ила. Какъ и послѣдній онъ встрѣчается лишь въ тропическихъ странахъ. Содержаніе извести достигаетъ въ немъ 98 %. Площади, покрытыя тѣмъ и другимъ иломъ, очень значительны, особенно въ Анлатическомъ океанѣ.

Радіоляріевый илъ содержитъ въ большомъ количествѣ скелеты радіолярій (фиг. 27), спикули губокъ, оболочки діатомовыхъ немного известковыхъ остатковъ, довольно много красной глины и отдѣльныхъ кристаллическихъ минераловъ. Онъ покрываетъ дно на глубинѣ 4000—8000 м. и постепенно переходитъ въ илъ очень бѣдный органическими остатками, т. е.

въ *красную океаническую глину*, устилающую дно абиссальныхъ областей.

Діатомовый илъ преимущественно встрѣчается въ Антарктическихъ и Арктическихъ областяхъ, гдѣ степень солености незначительна, вслѣдствіе слабой испаряемости, большого притока прѣсной воды, приносимой льдинами и атмосферными осадками.

Дейтогенныя горныя породы. Дейтогенныя или обломочныя горныя породы можно разсматривать или по ихъ происхожденію, или по величинѣ зеренъ. Въ первомъ случаѣ мы намѣтимъ три вида породъ: *минерогенныя*, *органогенныя* и



Фиг. 27.—a, *Heliosphaera echinoides*; b, *Acanthometra Müllerі* Скелеты радіолярій (по Меррею).

смѣшанныя, смотря по тому каково было первоначальное происхожденіе ихъ обломковъ, минеральное, органическое или одновременно и то, и другое. Во второмъ случаѣ различаютъ горныя породы *псефитовыя*, состоящія изъ относительно большихъ обломковъ, *породы псаммитовыя* изъ элементовъ средней величины и *пелитовыя* изъ очень тонкихъ частицъ, которыя могутъ довольно долго оставаться взвѣшенными въ водѣ.

Псефитовыя горныя породы состоятъ изъ *цементированныхъ осколковъ;* сюда входятъ *конгломераты* и *брекчіи* минеральнаго или органическаго происхожденія. Конгламераты

состоятъ изъ окатанныхъ и округленныхъ осколковъ, брекчіи изъ угловатыхъ. Впрочемъ, эти названія примѣняются къ породамъ сцементированнымъ послѣ своего отложенія, въ противномъ же случаѣ называются *галечниками* и *гравіемъ*.

Происхожденіе галечниковъ бываетъ различно. Оставивъ пока безъ разсмотрѣнія галечникъ ледниковаго происхожденія, можно прежде всего различить рѣчной галечникъ, отлагаемый рѣками и береговой галечникъ, образующійся на берегахъ морей и большихъ озеръ.

Водные потоки несутъ осколки камней, размѣры которыхъ зависятъ отъ быстроты теченія. По мѣрѣ своего движенія впередъ по направленію къ устью; осколки трутся другъ о друга, округляются, даже полируются и превращаются въ окатанный галечникъ. Они отлагаются на выпуклыхъ побережьяхъ рѣкъ, гдѣ быстрота теченія уменьшается. Величина галекъ сохраняетъ извѣстное постоянство въ томъ смыслѣ, что она одинакова въ каждомъ отдѣльномъ слоѣ галечнаго накопленія, будучи обусловлена быстротой потока, отлагавшаго данный слой. Песчаные слои часто чередуются съ прослойками гравія. Эти послѣдовательно образовавшіяся отложенія могутъ имѣть наклонную слоистость, тѣ или иные слои иногда взаимно срѣзаютъ другъ друга по косому направленію, вслѣдствіе измѣненія направленія теченія и вслѣдствіе смѣны процесса размыванія, уже отложившагося слоя, процессомъ отложенія новыхъ массъ гальки. Такое наслоеніе характерное для водныхъ потоковъ и называется *косвенною слоистостью*.

Морскія волны ударяясь о прибрежныя скалы отрываютъ отъ нихъ глыбы, которыя сначала уносятся отступающей волной отъ берега, чтобы снова вмѣстѣ съ набѣгающей волной обрушиться на подножіе скалъ. Въ этомъ движеніи взадъ и впередъ каменныя массы дробятся, окатываются, округляются и при достаточной твердости породы превращаются въ гальки; если же ихъ порода не прочна они растираются. Между границами наивысшаго прилива и отлива образуется береговая платформа, на которой нагромождаются гальки. Если впослѣдствіи уровень моря перемѣстится, это галечное скопленіе, если оно сохранится неразрушеннымъ, укажетъ прежнее положеніе береговой линіи. Иногда же, кромѣ того, море образуетъ *галечный валъ* на извѣстномъ разстояніи отъ берега. Въ галечникахъ и береговыхъ конгломератахъ галька бываетъ далеко не такъ хорошо отсортирована по величинѣ, какъ рѣчная галька; очень часто на морской галькѣ наблюдаются ямочки вслѣдствіе сильныхъ столкновеній другъ о друга подъ ударами волнъ.

Галечники, превращающіеся позже въ конгломератъ, могутъ образоваться также тогда, когда море заливаетъ болѣе или менѣе обширную и неровную поверхность. Конгломератъ отлагается тогда трансгрессивно на дно, при чемъ матеріаломъ для образованія галекъ служатъ выступающія части поверхности, а впадины дна быстро ими заполняются, и когда такимъ образомъ всѣ неровности изгладятся, начинается отложеніе болѣе мелкозернистаго осадка. Конгломератъ, такимъ способомъ образовавшійся, называютъ *основнымъ конгломератомъ* трансгрессивной серіи.

Псаммитовыя горныя породы сложены изъ обломочныхъ матеріаловъ гораздо менѣе крупныхъ, чѣмъ въ псефитахъ. Мы здѣсь различаемъ *пески*, т. е. такія породы, отдѣльныя зерна которыхъ не сцементированы и *песчаники*, такія породы, гдѣ отдѣльныя песчинки чѣмъ либо сцементированы. *Псаммитами* же въ узкомъ смыслѣ слова обозначаются ясно-слоистые песчаники, отдѣльные слои которыхъ покрыты съ поверхности листочками слюды.

Минеральный составъ зеренъ песка бываетъ очень разнообразенъ, состоя то изъ однородныхъ, то смѣшанныхъ зеренъ. Кварцевые пески встрѣчаются особенно часто; они происходятъ или отъ разрушенія прежде бывшихъ кварцевыхъ песчаниковъ, или изъ вывѣтривающихся гранитовъ и кристаллическихъ сланцевъ, какъ мы это увидимъ въ дальнѣйшемъ. Пески богатые тяжелыми минеральными зернами, вообще говоря, образуются отъ разрушенія вулканическихъ породъ, въ глауконитовыхъ пескахъ, минералъ химическаго происхожденія глауконитъ примѣшивается къ обломочнымъ частицамъ. Известковые пески почти всегда обязаны своимъ происхожденіемъ истиранію известковыхъ скелетовъ; видное мѣсто среди нихъ занимаютъ коралловые пески, образующіеся на рифовыхъ склонахъ. Пески же съ большимъ количествомъ остатковъ раковинъ, мы называемъ раковинными или ракушниками (faluns). Различныя разновидности песчаниковъ получаютъ свое названія смотря по природѣ ихъ цемента, по ихъ цвѣту и пр.

На континентахъ большія скопленія песка образуетъ вѣтеръ. Объ этомъ, впрочемъ, мы еще будемъ говорить впослѣдствіи. Рѣки отлагаютъ пески во всѣхъ тѣхъ мѣстахъ своего теченія, гдѣ оно становится недостаточно быстрымъ, чтобы увлекать внизъ по руслу элементы, которые до сихъ поръ рѣка катила по дну. Рѣчные пески отлагаются слоями, чередующимися часто съ прослойками гравія или глины.

Морскіе пески большею частью происходятъ отъ разрушенія болѣе или менѣе непрочныхъ скалъ. Они морскими теченіями, вызываемыми приливомъ и отливомъ, движутся вдоль береговъ и иногда уносятся въ море на значительное разстояніе отъ берега. Если берега отлоги, вѣтеръ, дующій съ моря, гонитъ ихъ въ глубь страны и образуетъ дюны.

Пелитовыя горныя породы состоятъ изъ истертыхъ элементовъ досталочно тонкихъ, чтобы оставаться взвѣшенными въ спокойной водѣ болѣе или менѣе продолжительное время. Это—илъ, отвердѣвшій вслѣдствіе высыханія или накопленія большою массой. Ихъ происхожденіе или чисто минеральное, или органическое, или смѣшанное. Глины представляютъ продуктъ разложенія полевыхъ шпатовъ и въ чистомъ видѣ представляютъ водный бисиликатъ аллюминія. Онѣ очень легко поглощаютъ воду, будучи сухими; онѣ прилипаютъ къ языку, пропитываясь водой становятся пластичными; для полнаго удаленія воды необходимо накалить ихъ до красна. Часто къ нимъ примѣшиваются зерна кварца (песчаная глина), листочки слюды, окись желѣза водная или безводная, окрашивающая ихъ въ красный или желтый цвѣтъ; также сѣрнистое желѣзо, придающее черную и синюю окраску; или органическое вещество. Что же касается мергеля, то это смѣсь въ различныхъ количественныхъ соотношеніяхъ глины и извести, при чемъ послѣдняя почти всегда преобладаетъ надъ глиной и происходитъ изъ истертыхъ скелетовъ организмовъ. Мергель поэтому принадлежитъ къ смѣшаннымъ горнымъ породамъ. То же самое можно сказать объ опокѣ (gaize), которая представляетъ собою глину, богатую растворимымъ кремнеземомъ, образовавшимся изъ спикуль губокъ и изъ нерастворимаго кремнезема обломочнаго происхожденія.

Глина частью приносится въ море рѣками, частью происходитъ отъ разрушенія гранитныхъ скалъ. Выше мы уже видѣли, что она можетъ уноситься далеко въ открытое море лишь въ полярныхъ странахъ, гдѣ соленость воды незначительна. Вокругъ острововъ и континентовъ она образуетъ какъ бы кольцо различной ширины, которое Меррей назвалъ зоной терригеннаго ила (8). Въ открытомъ же морѣ, образуется лишь планктогенный илъ и красная глина, о которой мы еще будемъ говорить въ слѣдующей главѣ.

Известковый илъ въ озерахъ имѣетъ почти всегда механическое происхожденіе, а въ моряхъ органическое. Скопленіе

известковаго ила образуетъ мѣлъ. Плотный известнякъ происходитъ отъ частичной или полной перекристаллизаціи извести.

Известковый илъ образуется, главнымъ образомъ, вблизи коралловыхъ рифовъ, которые раздробляются и истираются отъ постояннаго прибоя волнъ. Чрезвычайно мелкія частицы, являющіяся результатомъ этой работы волнъ, дѣлаютъ мутной на нѣкоторое время воду вокругъ рифовъ (коралловое молоко) и затѣмъ отлагаются на нѣкоторомъ разстояніи. Извѣстное количество известковаго ила приносится также въ море и рѣками.

Бѣлый мѣлъ образуется часто исключительно изъ истертыхъ скелетовъ бентальныхъ организмовъ, каковы: пластинчатожаберные (призмы иноцерамовъ) мшанки, морскіе ежи и др. Иногда въ большомъ количествѣ сюда примѣшиваются донныя корненожки. Мергелистый мѣлъ содержитъ тѣ же организмы, но кромѣ ихъ еще и небольшое количество глины.

1—J. H. van't Hoff. Zur Bildung der oceanischen Salzablagerungen, I. 1 vol in-8°, vi+85 стр.+34 фиг. Braunschweig, 1905.

2.—Joh. Heidenhain. Chemisch-geologische Betrachtung der Gypsvorkommnisse in der Zechsteinformation *Zeitschr. d. D. geol. Ges.*, XXVI, стр. 275-283, 1874.

3.—Carl Ochsenius. Die Bildung der Steinsalzlager und ihrer Mutterlaugensalze. In. 8°, 172 стр., 3 таб. Halle, 1877

4.—Johannes Walther. Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. III. Lithogenesis der Gegenwart. In-8°, 474 стр. Jena, 1894.

5.—Id. Das Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart und Vorzeit. Gr. in-8°, 175 стр., 50 фиг. Berlin, 1900.

6.—Nik. Andrussow. Der Atschi-darja oder Karabugas-Busen. *Peterm. Mitt.*, XLIII, стр. 25.-24 таб. IV, 1897.

7.—G. Linck, Die Bildung der Oolithe und Rogensteine. *Neues Jahrd.*, Beil.-Bd, XVI, стр. 495-516, 1903.

8.—John Murray and A. F. Renard. Report on Deep.Sea Deposits *Report on the Scientific Results of the Voyage of H. M. S. Challenger during the years 1873-76*, 1 vol. in-4°, 525 стр., 29 таб., 43 карты, 22 діаграммы. London, 1891.

9.—John Murray and Robert Irvine. On coral reefs and other carbonate of lime formations in modern seas. *Proc. Royal Soc. Edimb.*, XVII, стр. 79-109, 1890.

10.—Id. On silica and the siliceous remains of organisms in modern seas. *Ibid.*, XVIII, стр. 229-250, 1892.

11.—Lucien Cayeux. Contribution á l'étude micrographique des terrains sédimentaires. *Mèm. Soc. Gèol. du Nord*, IV, mém. II, 589 стр., 10 таб. Lille, 1897.

12.—Bailey Willis. Conditions of Sedimentary Deposition. *Journ. of. Geol.* I. стр. 476-520, 1903.

Н. Андрусовъ. Карабугазскій заливъ. Минист. Земл. и Гос. Имущ. Департ. Земледѣлія. С.-Петербургъ 1876.

Труды Какабугазской экспедиціи М. З. и Г. И. Департ. Земледѣлія Отчеты І. В. Шпиндлера и А. А. Лебединцева. С.-Петербургъ 1902 г.

ГЛАВА IX.

Діагенезисъ.

Раствореніе.—Перекристаллизація растворенныхъ элементовъ.—Образованіе доломита.—Разложеніе силикатовъ.—Разложеніе органическаго вещества.

Изъ краткаго очерка геологическихъ явленій, даннаго въ предшествующей главѣ, мы можемъ сдѣлать тотъ выводъ, что процессъ образованія отложеній въ сущности сводится къ механическому или химическому накопленію твердыхъ частицъ на днѣ водныхъ бассейновъ. Осадочныя горныя породы древняго происхожденія по сравненію съ современными наносами имѣютъ цѣлый рядъ отличительныхъ особенностей, происшедшихъ отъ измѣненій, имѣвшихъ мѣсто уже послѣ ихъ отложенія, иногда и сравнительно въ недавнее время и вызванныхъ дѣйствіемъ внутреннихъ или внѣшнихъ динамическихъ агентовъ. Объ этихъ измѣненіяхъ мы еще будемъ говорить въ дальнѣйшемъ, а сейчасъ остановимся на измѣненіяхъ другого рода, которыя совершаются на самомъ днѣ водныхъ бассейновъ и непосредственно послѣ процесса отложенія; эти измѣненія относятся по своей природѣ къ химическимъ и совершаются съ участіемъ и безъ участія микроорганизмовъ. Къ разсмотрѣнію нѣкоторыхъ изъ этихъ явленій мы сейчасъ и приступимъ.

Раствореніе.—Растворяющая сила морской воды не подлежитъ сомнѣнію, но, по даннымъ Тулэ, она уступаетъ соотвѣтствующей силѣ прѣсной воды. Иногда осадокъ растворяется, едва успѣвъ образоваться, а въ случаѣ его разнороднаго состава, нѣкоторыя его частицы особенно легко растворимыя тотчасъ же исчезаютъ; процессъ растворенія идетъ или на самой поверхности дна, или же въ массѣ отложеній, такъ какъ послѣдніе пропитаны водой.

Скелеты организмовъ, падающіе на дно моря или погребенные въ отложеніяхъ, часто подвергаются энергичному растворяющему вліянію воды и иногда совершенно разрушаются. Въ прѣсныхъ водахъ раковины перловицъ и беззубокъ защищены

отъ растворенія хитиновымъ покровомъ. А ихъ макушки, гдѣ этотъ покровъ значительно тоньше, сильно разрушаются, иногда даже при жизни животнаго. Известковые скелеты, состоящіе изъ конхита [1]), легче растворяются, чѣмъ скелеты изъ кальцита. Къ первымъ относятся полипняки шестилучевыхъ коралловъ, раковины нѣкоторыхъ пластинчатожаберныхъ, брюхоногихъ, кромѣ Patella, головоногихъ; ко второй категоріи скелеты иглокожихъ, раковины плеченогихъ, нѣкоторыхъ пластинчатожаберныхъ, каковы: устрицы, Spondylus, Pinna, трубки серпулевыхъ. Поэтому можно часто констатировать, что въ одной и той же осадочной породѣ, содержащей ископаемыхъ, конхитовые скелеты разрушились, оставивъ пустоты и двоякаго рода отливки (ядра) наружные и внутренніе [2]), кальцитовые же скелеты прекрасно сохранились.

Со дна современныхъ абиссальныхъ глубинъ довольно часто извлекаютъ остатки морскихъ позвоночныхъ, особенно же много отолитовъ различныхъ рыбъ, зубы акулъ, тимпанныя кости китовъ, которыя являются единственными частями ихъ скелета, сохранившимися и избѣгшими разрушенія. Отъ зубовъ обыкновенно сохраняются лишь эмалевыя коронки, такъ какъ вазодентинъ корней растворяется. Вообще говоря части организмовъ, состоящія изъ фосфорнокислой извести, растворяются быстрѣе, чѣмъ известковыя.

Кремнистые скелеты въ морской водѣ тоже растворяются, хотя очень медленно. Въ прѣсной же водѣ, содержащей углекислоту раствореніе совершается, повидимому, быстрѣе; но вообще это явленіе происходитъ уже послѣ отложенія и даже послѣ поднятія слоевъ надъ водой орогеническими движеніями.

Перекристаллизація растворенныхъ элементовъ.—Известнякъ и кремнеземъ, изъятые изъ отложеній путемъ растворенія послѣднихъ, могутъ опять отложиться въ другомъ мѣстѣ. Для этого достаточно или небольшого усиленія

---

[1]) Это одноосная отрицательная разновидность углекислой извести, описанная Агнессой Келли (2); прежде эту форму принимали за арагонитъ.

[2]) Отливкомъ или ядромъ называютъ какъ бы естественную модель организма, воспроизведенную какимъ-нибудь минеральнымъ веществомъ, проникшимъ въ полость, оставшуюся въ породѣ послѣ растворенія организма и тамъ отвердѣвшимъ. Если отливокъ передаетъ внѣшнюю форму организма, его называютъ наружнымъ ядромъ, если минеральное вещество проникло во внутреннюю полость организма еще до его окончательнаго растворенія и воспроизвело модель внутренней полости, это будетъ внутреннее ядро. *Прим. ред.*

концентраціи раствора отъ испаренія, или удаленія изъ воды растворенной въ ней углекислоты. Выдѣленіе растворенаго вещества изъ раствора совершается и въ пустотахъ между частицами обломочныхъ породъ, которыя такимъ путемъ цементируются известковымъ или кремнистымъ цементомъ; а для этого часто достаточно кратковременнаго обнаженія породы во время отлива.

Съ другой стороны пустоты, образующіяся на мѣстѣ растворившихся скелетовъ заполняются кристаллами известковаго шпата или кремнезема въ формѣ халцедона. Въ результатѣ этого явленія образуются *замѣняющіе отливки* [1]), и это очень обыкновенная форма, въ какой встрѣчаются ископаемые остатки. У иглокожихъ промежутки между стерженьками, образующими сѣть скелета, заполняются кальцитомъ, который кристаллизуется въ томъ же оптическомъ направленіи, какъ и кальцитъ, изъ котораго состоятъ эти стерженьки, такъ что плоскости спайности образуютъ постоянный уголъ съ морфологической осью. По этой причинѣ иглы морскихъ ежей, членики стебля морскихъ лилій и известковыя части морскихъ звѣздъ имѣютъ всегда шпатовидный изломъ.

Кайе (III, II) доказалъ, что въ кремнистой горной породѣ, называемой опокой (*Gaize*), кремнеземъ образуется, главнымъ образомъ, вслѣдствіе растворенія спикулей губокъ на днѣ моря или въ массѣ осадка и вслѣдствіе отложенія растворенаго кремнезема въ формѣ шаровиднаго кремнезема, опала или халцедона, который заполняетъ внутренность фораминиферъ и цементируетъ пластическіе элементы осадка.

Перекристаллизація извести также можетъ совершаться немедленно. Такъ, въ коралловыхъ рифахъ органическая основа разрушается часто очень быстро и заполняется кристаллическимъ известнякомъ. Точно также и сооруженія известковыхъ водорослей часто послѣ смерти растеній превращаются въ компактный известнякъ, не сохраняющій даже слѣда органическаго строенія. Причиной даннаго явленія будетъ, конечно, углекислота, освобождающаяся при разложеніи целлюлозы; она растворяетъ известь и снова ее отлагаетъ уже въ кристаллической формѣ.

Образованіе конкрецій. — Въ пористыхъ горныхъ породахъ, содержащихъ растворимыя вещества, эти послѣднія часто концентрируются въ сферическія, элипсоидальныя, гроздe-

---

[1]) См. примѣчаніе на предыдущей стр.

видныя или вѣтвистыя стяженія, такъ называемыя *конкреціи*. Большею частью эти стяженія бываютъ компактныя; они должны были образоваться путемъ отложенія минеральнаго вещества вокругъ какого-нибудь центра кристаллизаціи каковымъ иногда бываетъ неорганическое, но большею частью органическое тѣло: раковина или тѣло рака или рыбы. При этомъ надо полагать, что разложеніе органическаго вещества оставалось не безъ вліянія на образованіе конкрецій.

Известковыя конкреціи часто встрѣчаются среди глинистыхъ толщъ, въ частности въ мергелѣ, т.-е. въ известковой глинѣ; здѣсь стяженія произошли вслѣдствіе концентраціи извести въ нѣкоторыхъ мѣстахъ. Если стяженій много и они не велики, то порода называется *узловатымъ известнякомъ* (*calcaire grumeleux*). Иногда конкреціи цементируются болѣе глинистой массой, и тогда порода получаетъ сходство съ брекчіей (*ложная брекчія*). Конкреціи иногда образуются изъ сидерита, изъ барита, изъ кремнезема, изъ фосфорнокислой извести. Сейчасъ мы разсмотримъ условія образованія этихъ послѣднихъ.

Когда конкреціи заключаютъ внутри себя пустоты выстланныя кристаллами, то ихъ часто смѣшиваютъ *съ жеодами* представляющими собою полости, на стѣнкахъ которыхъ выкристаллизовались минералы, заимствованные изъ сосѣдней горной породы или принесенные извнѣ просачиваніемъ.

Иногда внутренность ископаемыхъ бываетъ покрыта кристаллами кальцита, кварца, барита, къ которымъ иногда присоединяютъ отдѣльные кристаллы болѣе рѣдкихъ минераловъ, каковы: стронціанитъ, каламинъ, сидеритъ, свинцовый блескъ, цинковая обманка и др. Въ частности у аммонитовъ и наутиловыхъ каждая камера, наполненная при жизни животныхъ воздухомъ, становится какъ бы кристаллизаторомъ, благодаря проникновенію минеральныхъ растворовъ черезъ стѣнки раковины.

Образованіе доломита. При нѣкоторыхъ условіяхъ, которыя еще недостаточно изучены, морская вода химически дѣйствуетъ на известнякъ органическаго происхожденія, который она превращаетъ въ доломитъ, т.-е. въ двойную соль углекислаго кальція и магнія.

Особенно часто образованіе доломитовъ наблюдается на склонахъ коралловыхъ рифовъ, такъ что, повидимому, испареніе

морской воды играетъ и тутъ также извѣстную роль. Въ древнихъ геологическихъ формаціяхъ залежи доломита встрѣчаются часто въ лагунныхъ отложеніяхъ, а извѣстно, что въ лагунахъ концентрація воды вслѣдствіе испаренія ведетъ къ повышенной солености противъ нормальной.

Вѣроятно, хлористый магній морской воды, дѣйствуя на углекислый кальцій, превращаетъ его въ углекислый магній, а хлористый кальцій уносится вслѣдствіе растворенія. Само собой понятно, что сильная концентрація раствора благопріятна для этой реакціи. Быть можетъ, при этомъ процессѣ имѣетъ, нѣкоторое значеніе и разложеніе органическихъ веществъ.

Въ третичныхъ коралловыхъ отложеніяхъ около Синайскаго полуострова, поднимающихся теперь на высоту 230 м., І. Вальтеръ констатировалъ, что содержаніе углекислаго магнія доходитъ до 40%, тогда какъ въ обыкновенномъ доломитѣ оно равняется 45,64%. Въ тѣхъ же рифахъ раковины *Tridacna*, которыя первоначально содержали лишь слѣды магнія, показываютъ при анализѣ, что содержаніе его равняется 43,4%. Но, повидимому, такой высокій процентъ является скорѣе исключеніемъ: въ большей же части доломитизованнаго известняка отношеніе магнія къ извести бываетъ очень измѣнчиво. Чистые доломиты, встрѣчающіеся въ геологическихъ формаціяхъ почти всегда происходятъ отъ обогащенія породъ углекислымъ магніемъ вслѣдствіе растворенія углекислой извести. Но эти процессы совершаются уже много времени спустя послѣ отложенія и поэтому подробно говорить о нихъ мы будемъ позже.

Разложеніе силикатовъ. Дѣйствіе морской воды оказываетъ вліяніе не только на известковыя и кремнистыя отложенія органическаго происхожденія, но также и на обломочныя породы и въ частности на глины, которыя подвергаются глубокимъ измѣненіямъ. Также измѣняются и продукты вулканическаго происхожденія отложенныя дѣятельностью вулкановъ какъ материковыхъ, такъ и подводныхъ и покрывающіе дно моря часто на огромномъ протяженіи. Мы сейчасъ разсмотримъ измѣненія, вызываемыя продолжительнымъ дѣйствіемъ морской воды на кремнекислыя соединенія, изъ которыхъ преимущественно сложены эти отложенія.

На извѣстномъ разстояніи отъ берега и на глубинѣ около 4000 м., океаническое дно покрыто *красной глиной*, происхожденіе которой послужило предметомъ многочисленныхъ споровъ.

Айвиль Томсонъ видѣлъ въ ней нерастворимый остатокъ глобигериноваго ила лишеннаго кальція, но Д. Меррей доказалъ, что красная глина состоитъ изъ продуктовъ разложенія силикатовъ, которые являются элементами вулканическаго происхожденія и отчасти изъ космической пыли.

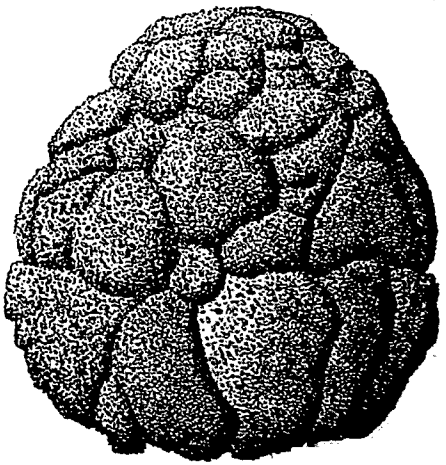
Красная глина—пластична, жирна на ощупь, по цвѣту, то кирпично красная, то темно-шоколадная и гораздо рѣже синеватая. Ея химическій составъ сильно измѣняется, такъ какъ къ водному силикату алюминія, который является ея главною составною частью присоединяются въ неодинаковомъ количествѣ различные минералы и иногда остатки кремневыхъ и рѣже известковыхъ организмовъ. Вообще содержаніе извести не превышаетъ 1—2%. Въ нерастворимомъ остаткѣ всегда содержится въ большомъ количествѣ кремнеземъ, такъ что его содержаніе къ содержанію алюминія относится какъ 33 къ 12, между тѣмъ какъ въ обыкновенной глинѣ ихъ соотношеніе выражается отношеніемъ 14 къ 12 (I). Мѣстныя условія не объясняютъ намъ это повсюду наблюдаемое чрезвычайное скопленіе кремнезема, но зато они даютъ намъ возможность объяснить большія колебанія въ содержаніи щелочей и различныхъ земель. Дѣло въ томъ, что эти колебанія зависятъ отъ природы силикатовъ, разложеніе которыхъ и порождаетъ красную глину.

Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ Тихаго и Индійскаго океановъ въ красной глинѣ особенно часто встрѣчается *филиппситъ*, водный силикатъ изъ группы цеолитовъ. Онъ встрѣчается въ формѣ отдѣльныхъ кристалловъ, крестообразныхъ двойниковъ и сферолитовъ, преимущественно въ мѣстахъ, изобилующихъ вулканическими обломками. Да и вообще цеолиты относятся къ тѣмъ минераламъ, которые встрѣчаются лишь въ изверженныхъ породахъ въ періодъ ихъ измѣненій; и филиппситъ, встрѣчающійся на глубинѣ океановъ въ красной глинѣ, является тоже вѣроятно продуктомъ измѣненія вулканическихъ породъ, которыя породили красную глину.

Кромѣ того, въ красной глинѣ мы находимъ обильныя *стяженія окиси марганца*, размѣры которыхъ колеблются отъ микроскопическихъ зернышекъ и до большихъ гроздьевидныхъ конкрецій (фиг. 28). Впрочемъ, эти стяженія встрѣчаются также и въ другихъ глубинныхъ формаціяхъ и даже въ отложеніяхъ малоглубокихъ водъ. Химическій составъ этихъ стяженій также непостоянен; въ нихъ находятъ различные водные окислы

марганца — аморфные, съ большей или меньшей примѣсью окиси желѣза и другихъ основаній.

Джонъ Меррей смотритъ и на окись марганца, какъ на продуктъ разложенія вулканическихъ минераловъ, смѣшанный съ осадками. По его мнѣнію, марганецъ и желѣзо въ этихъ силикатахъ, подъ дѣйствіемъ углекислоты, превратились въ углекислыя соли, которыя затѣмъ перешли въ окиси и приняли форму стяженій или примазокъ. Другіе ученые, Буссенго и Дьелафе, пытались объяснить происхожденіе марганца и желѣза въ моряхъ путемъ осажденія изъ самой морской воды и допускали непосредственное отложеніе карбонатовъ. Но это толкованіе не согласуется съ замѣчательнымъ обиліемъ марганцевыхъ стяженій въ нѣкоторыхъ мѣстахъ морского дна.



Фиг. 28. — Стяженіе окиси марганца изъ красной абиссальной глины (по Дж. Моррею).

Тогда какъ на днѣ абиссальной зоны изобилуетъ красная глина, филлипсиситъ, стяженія марганцевой окиси, въ отложеніяхъ болѣе мелководной области моря преобладаетъ другой минералъ — *глауконитъ*: онъ встрѣчается преимущественно въ обломочныхъ минерогеновыхъ отложеніяхъ, т.-е. въ той категоріи отложеній, которую Дж. Меррей назвалъ терригенной.

Глауконитъ представляетъ собой двойной водный силикатъ желѣза (или алюминія) и калія. Цвѣтъ его темнооливковый, иногда черный. Онъ встрѣчается какъ въ современныхъ отложеніяхъ, такъ и въ древнихъ слоистыхъ породахъ исключительно въ формѣ неправильныхъ зеренъ, достигающихъ самое большее I мм. въ діаметрѣ.

Въ современныхъ отложеніяхъ глауконитъ имѣетъ часто форму раковинъ фораминиферъ, въ камерахъ которыхъ онъ отложился, послѣ чего раковина растворилась. Иногда онъ отлагается и на наружной сторонѣ раковины, образуя тогда небольшую конкрецію. Нѣкоторые ученые на основаніи постояннаго совмѣстнаго нахожденія фораминиферъ и глауконита пришли къ заключенію, что для образованія глауконита необхо-

димо участіе органическаго вещества. Однако Л. Кайе доказалъ, что во вторичныхъ и третичныхъ кремнистыхъ отложеніяхъ Парижскаго бассейна, глауконитъ встрѣчается въ изобиліи въ формѣ зеренъ, примазокъ и пигментныхъ пятенъ даже и при отсутствіи фораминиферъ и въ такихъ условіяхъ, которыя прямо свидѣтельствуютъ, что органическое вещество въ его образованіи не играло никакой роли.

Очевидно, что глауконитъ образуется за счетъ глины и различныхъ силикатовъ, входящихъ въ составъ терригенныхъ осадковъ, но реакціи, порождающія его, не достаточно еще выяснены.

Разложеніе органическаго вещества. Трупы животныхъ, не выбрасываемые на берегъ, падаютъ на дно моря, гдѣ они быстро разлагаются (подъ дѣйствіемъ бактерій).

Органическое вещество животнаго происхожденія имѣетъ очень сложную молекулу тройного и даже четверного состава, въ которую входятъ: углеродъ, водородъ, кислородъ, азотъ, сѣра, фосфоръ. Разложеніе его даетъ двойныя соединенія, какъ вода, угольный ангидритъ, углеродистый водородъ, амміакъ, сѣроводородъ, фосфористый водородъ. Эти соединенія оказываютъ различное дѣйствіе на морскую воду и на минералы, съ которыми они соприкасаются. Мы сейчасъ разсмотримъ нѣкоторыя изъ этихъ реакцій.

Образованіе фосфорнокислой извести. Скелеты позвоночныхъ содержатъ въ большомъ количествѣ трехосновную фосфорнокислую соль кальція. А такъ какъ на днѣ современныхъ морей кости не встрѣчаются, то отсюда можно сдѣлать выводъ, что фосфорнокислая соль растворяется въ морской водѣ. Наоборотъ, фосфорнокислая известь находится какъ въ современныхъ отложеніяхъ, такъ и въ древнихъ слоистыхъ породахъ въ видѣ конкрецій, зеренъ и примазокъ.

На днѣ современныхъ глубокихъ морей фосфорнокислой извести мало, но въ мелководной зонѣ, главнымъ образомъ, на глубинѣ отъ 200—1000 м. мы встрѣчаемъ ее въ изобиліи въ формѣ конкрецій и часто совмѣстно съ глауконитомъ. Экспедиція „*Челленжера*“ съ помощью драги открыла много такихъ конкрецій около рифа Агульясъ, лежащаго къ югу отъ мыса Доброй Надежды. Въ среднемъ онѣ имѣютъ 8—16 см. въ діаметрѣ, форма ихъ очень неправильна, и въ разрѣзѣ „они имѣютъ видъ скопленія разнородныхъ элементовъ сцементированныхъ нѣкоторой массой, основой которой является фосфорнокислый кальцій“ (4).

Подобныя конкреціи встрѣчаются въ осадочныхъ породахъ различнаго возраста: часто фосфоритъ образуетъ вещество, которое цементируетъ различные элементы обломочныхъ породъ или заполняетъ пустоты между известковыми организмами, каковы, напр., фораминиферы, а также ихъ внутреннія полости. Послѣдній случай наблюдается въ фосфоритовомъ мѣлу, на сѣверѣ Парижскаго бассейна, а въ оазѣ Гафса въ Тунисѣ фосфоритъ цементируетъ оболочки діатомовыхъ.

Иногда на днѣ океановъ образуются большія скопленія фосфорита и для объясненія ихъ происхожденія было высказано предположеніе, что при встрѣчѣ холоднаго и теплаго океаническаго теченія гибнетъ много рыбы попадающей внезапно въ воду непривычной для нея температуры; это условіе, повидимому, и осуществляется близъ рифа Агульясъ, гдѣ теплое экваторіальное теченіе, идущее черезъ Мозамбикскій проливъ, сталкивается съ холоднымъ теченіемъ, идущимъ изъ Антарктическаго моря.

Но не одни позвоночныя содержатъ въ себѣ значительное количество фосфорнокислой извести. Ткани большинства безпозвоночныхъ могутъ также выдѣлять ее при разложеніи. Нужно также принять во вниманіе фосфорнокислую соль, входящую не только въ кости, но и въ мясо позвоночныхъ. Арманъ Готье показалъ, что однѣ только ткани быка, не включая костей, могутъ выдѣлить не менѣе 1200 гр. трехосновной фосфорнокислой соли (5). Нѣкоторые ученые предполагали, что отложенія фосфорнокислой извести происходятъ отъ непосредственнаго отложенія фосфорнокислой соли, содержащейся въ морской водѣ, которая ее получаетъ изъ апатита кристаллистическихъ породъ. Этотъ минералъ содержитъ, такъ же какъ и кости, трехосновную фосфорнокислую известь; она сравнительно легко растворима, и рѣки приносятъ значительное количество ея въ море. Процессъ ея осажденія могъ бы легко совершаться въ лагунахъ, гдѣ растворъ можетъ достигнуть достаточной концентраціи.

Но подобное толкованіе не можетъ, конечно, примѣняться къ конкреціямъ современныхъ морей да и, кромѣ того, морская вода содержитъ лишь ничтожные слѣды фосфорнокислой извести; ее могутъ усвоять животныя, какъ они усвояютъ углекислую известь, и только при исключительныхъ условіяхъ она можетъ отлагаться непосредственно.

Вотъ какія явленія, по мнѣнію Армана Готье (5), Германа

Креднера (6) и В. Колле (4), могутъ привести къ образованію конкрецій изъ фосфорнокислой извести.

При разложеніи органическаго вещества животнаго происхожденія выдѣляется углекислота и амміакъ. Углекислота способствуетъ растворенію фосфорнокислой извести костей и въ то же время, соединяясь съ амміакомъ, образуетъ углекислый аммоній. Этотъ послѣдній, въ присутствіи фосфорнокислаго кальція въ растворѣ, образуетъ фосфорнокислый аммоній и углекислый кальцій. Растворенный фосфорнокислый аммоній, соприкасаясь съ раковинами моллюскъ и фораминиферъ, отлагаетъ или на ихъ поверхности, или въ осадкѣ фосфорнокислый кальцій конкреціоннаго характера.

Дальше мы увидимъ, что фосфорнокислыя соли могутъ образоваться и на континентахъ, но при другихъ условіяхъ, при чемъ мы узнаемъ также какимъ образомъ при помощи атмосферныхъ агентовъ происходитъ обогащеніе нѣкоторыхъ отложеній фосфорнокислыми соединеніями.

Возстановленіе сульфатовъ.—Планктонные организмы, умирая, падаютъ, какъ дождь, на морское дно и служатъ пищей бентальнымъ животнымъ, которыя при нормальныхъ условіяхъ очищаютъ отъ нихъ дно по мѣрѣ ихъ отложенія. Обыкновенно теченія, идущія на глубинѣ приносятъ кислородъ въ достаточномъ количествѣ для питанія анаэробныхъ бактерій, которыя одновременно разлагаютъ и трупы и отбросы бентальныхъ животныхъ. Продукты же броженія уносятся теченіями.

Но иногда въ силу мѣстныхъ топографическихъ условій по дну не идетъ теченіе, несущее достаточное количество кислорода, тогда бентальныя животныя не могутъ жить и трупы планктонныхъ организмовъ накопляются большими массами. Кислорода не хватаетъ въ морской водѣ и для превращенія (при участіи бактерій) углерода, находящагося въ органическомъ веществѣ, въ угольный ангидритъ. Въ такомъ случаѣ микроорганизмы, принимающіе дѣятельное участіе въ этомъ процессѣ, принуждены заимствовать необходимый имъ кислородъ изъ солей, содержащихся въ морской водѣ и въ частности изъ сѣрнокислыхъ солей, которыя они перерабатываютъ въ сѣрнистыя соединенія.

$$RSO^4 + 2C = 2CO^2 + RS.$$

Образованныя путемъ возстановленія сѣрнистыя соединенія натрія, калія, кальція, магнія превращаются, соединяясь съ

водой и углекислотой, въ углекислыя соли, при чемъ освобождается сѣрнистый водородъ.

$$RS + CO^2 + H^2O = H^2S + RCO^3.$$

Щелочныя углекислыя соли растворяются въ морской водѣ, а углекислый кальцій осаждается въ формѣ порошковатаго осадка.

Но бактеріи вырабатываютъ сѣрнистый водородъ не только за счетъ сѣрнокислыхъ солей. Бѣлковыя вещества организмовъ содержатъ, какъ извѣстно, нѣкоторое количество сѣры; и есть бактеріи, напр., *Bacterium hydrosulfuricum*, которыя могутъ отнимать сѣру отъ бѣлковыхъ веществъ и превращать ее въ сѣроводородъ.

Эти явленія совершаются и во внутреннихъ моряхъ, и въ лагунахъ, и въ прѣсноводныхъ озерахъ, получающихъ достаточный притокъ селенитовой воды, т.-е. воды богатой сѣрнокислымъ кальціемъ, но условія при которыхъ вырабатывается сѣрнистый водородъ могли быть изучены, главнымъ образомъ, въ Черномъ морѣ (7). Въ этомъ внутреннемъ морѣ вода, начиная съ глубины въ 200 м., не содержитъ кислорода въ достаточномъ количествѣ для поддержанія органической жизни. Наоборотъ, количество сѣроводорода, содержащагося въ морской водѣ, начиная съ этой же глубины увеличивается по мѣрѣ приближенія ко дну, гдѣ этотъ газъ вырабатывается. Тамъ было найдено много бактерій (и среди нихъ *Bacterium hydrosulfuricum ponticum*), которыя образуютъ сѣроводородъ при условіяхъ, о которыхъ мы только что говорили. Поэтому на днѣ Чернаго моря невозможно проявленіе какой-либо жизни; но здѣсь не всегда былъ такой порядокъ вещей, такъ какъ съ помощью драги удавалось извлекать съ различной глубины раковины моллюскъ изъ родовъ *Dreyssensia*, *Monadacna*, *Didacna*, *Micromelania* и др., которые живутъ теперь или жили въ концѣ третичной эры исключительно въ прѣсной или солоноватой водѣ. Такимъ образомъ, солоноватоводная фауна Чернаго моря была уничтожена въ тотъ моментъ, когда нахлынула соленая вода, послѣ чего установился современный порядокъ вещей.

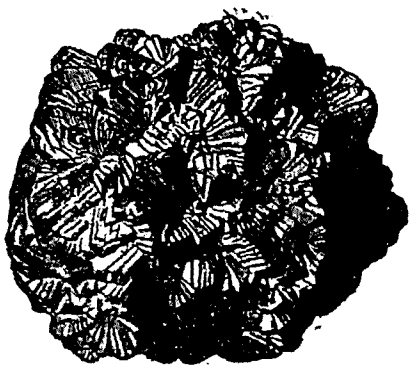
Но возвратимся къ сѣроводороду и посмотримъ, что съ нимъ происходитъ въ зависимости отъ среды, гдѣ онъ вырабатывается.

Въ прѣсноводныхъ озерахъ онъ тотчасъ же поднимается въ верхніе слои, гдѣ вода богата кислородомъ. Онъ окисляется и освобождаетъ сѣру, которая отлагается. Намъ теперь понятно, почему въ рѣчныхъ и лагунныхъ формаціяхъ Испаніи и Си-

цилiи встрѣчаются на ряду съ слоями гипса, слои болѣе или менѣе богатыя сѣрой.

Окисленіе сѣроводорода происходитъ также въ нѣкоторыхъ случаяхъ при содѣйствіи особыхъ бактерій, такъ называемыхъ сульфобактерій. Нѣкоторыя изъ нихъ даже захватываютъ въ свой организмъ зерна сѣры. По даннымъ Егунова окисленіе сѣроводорода совершается и въ Черномъ морѣ съ помощью сульфобактерій.

Меррей допускаетъ, напротивъ, что сѣрнистый водородъ, встрѣчая слои воды, вновь богатыя кислородомъ, окисляется и образуетъ сѣрную кислоту, которая, соединяясь съ углекислымъ кальціемъ органическаго происхожденія, образуетъ этимъ путемъ сѣрнокислый кальцій. Намъ теперь понятно почему морская вода содержитъ такъ мало углекислаго кальція сравнительно съ тѣмъ количествомъ, въ какомъ это соединеніе имѣется въ прѣсной водѣ въ видѣ растворенной двойной углекислой соли.



Фиг. 29.—Конкрецiя пирита. Сенонскій мѣлъ Бургъ-д'О (Сомма) $^2/_3$ нат. вел.

Сѣрнистыя, щелочныя и щелочно-земельныя соединенія очень легко растворимы и малоустойчивы, напротивъ, сѣрнистыя соединенія металловъ нерастворимы и поэтому должны осаждаться. Если въ морской водѣ есть сѣрнокислое желѣзо, то оно возстановляется вышеописаннымъ процессомъ; образовавшееся сѣрнистое желѣзо FeS заимствуетъ сѣру изъ сѣрнистаго водорода, освободившагося при реакціи возстановленія щелочныхъ и щелочно-земельныхъ сульфатовъ и превращается въ двусѣрнистое желѣзо FeS^2, которое встрѣчается очень часто въ природѣ и извѣстно подъ именемъ желѣзнаго колчедана. Мы его находимъ въ терригенныхъ глинахъ то въ формѣ сферическихъ конкрецій [1]) (фиг. 29), то въ формѣ мельчайшихъ частицъ, придающихъ глинѣ характерный синеватый оттѣнокъ.

---

[1]) Пиритъ, образующійся при этихъ условіяхъ, называется *бѣлымъ пиритомъ* или *марказитомъ* и кристаллизуется въ ромбической системѣ, тогда какъ *желтый пиритъ*, одинаковый съ нимъ по составу, кристаллизуется въ правильной системѣ. Бѣлый пиритъ легче разлагается, чѣмъ желтый.

Желѣзо, необходимое для образованія сѣрнистыхъ соединеній, не исключительно растворено въ морской водѣ въ видѣ сѣрнокислыхъ или углекислыхъ солей; оно находится также въ значительномъ количествѣ въ живыхъ организмахъ, главнымъ образомъ въ гемоглобинѣ крови позвоночныхъ; и если ихъ трупы скопляются на днѣ въ большомъ количествѣ и разлагаются, то этотъ источникъ желѣза тоже долженъ быть принятъ во вниманіе. Поэтому мы почти всегда наблюдаемъ, что въ глинистыхъ отложеніяхъ, богатыхъ пиритомъ, послѣдній концентрируется преимущественно въ близкомъ сосѣдствѣ съ ископаемыми то образуя покровы или конкреціи вокругъ раковинъ, то заполняя пустотки отъ изчезнувшихъ оболочекъ, панцырей и самыхъ животныхъ. Въ этомъ отношеніи особенно интересны аммониты. Пиритъ не только наполняетъ ихъ жилую камеру и облекаетъ раковину снаружи, но онъ одѣваетъ и извнутри стѣнки воздушныхъ камеръ и часто даже заполняетъ ихъ совершенно. Надо сказать, что это одинъ изъ самыхъ распространенныхъ способовъ сохраненія ископаемыхъ. Обильное скопленіе въ нѣкоторыхъ мѣстахъ сѣрнистыхъ металловъ объясняется еще приносомъ ихъ съ континентовъ. Рѣки несутъ громадное количество окисловъ въ видѣ тонкой мути. Эта муть, если она состоитъ изъ безводной полуторной окиси желѣза, образуетъ на днѣ моря близъ устьевъ большихъ тропическихъ рѣкъ отложенія красной глины. Въ тѣхъ же мѣстахъ, гдѣ накопляется много гніющаго органическаго вещества, окислы возстановляются, полуторная окись желѣза или красная желѣзная окись превращается сначала въ закись желѣза, а затѣмъ дѣйствіемъ сѣроводорода въ сѣрнистое желѣзо.

Надо также принять во вниманіе возможность непосредственнаго принесенія рѣками сѣрнокислыхъ металлическихъ солей, образующихся на континентахъ отъ окисленія залежей сѣрнистыхъ металловъ. Эти сѣрнокислыя соли, растворенныя въ морской водѣ, возстановляются вслѣдствіе разложенія органическихъ веществъ и отлагаются въ видѣ сѣрнистыхъ соединеній. Несомнѣнно, что этимъ путемъ надо объяснить происхожденіе прослойки мѣдныхъ и другихъ сѣрнисто-металлическихъ соединеній, которая встрѣчается въ Мансфельдскихъ пермскихъ отложеніяхъ въ Саксоніи, при чемъ наблюдается та особенность, что эта прослойка нигдѣ не прерывается и по толщинѣ не превышаетъ 10 см. Повидимому, здѣсь въ пермскую лагуну внезапно нахлынула вода, содержащая сѣрнокислую мѣдь и погубила въ

ней всѣ организмы. И дѣйствительно, ископаемыя рыбы въ этомъ отложеніи имѣютъ видъ скорчившихся въ конвульсивныхъ движеніяхъ при неожиданной гибели. Разложеніе ихъ труповъ превратило сѣрнокислыя соединенія въ сѣрнистыя.

Возстановленіе сѣрнистыхъ солей происходило иногда соприкосновеніемъ ихъ съ растительными остатками, потому-то нѣкоторые торфы, нѣкоторые сорта угля совершенно проникнуты пиритомъ.

Болотная желѣзная руда.—Кромѣ вышеописанныхъ, существуютъ еще такія явленія возстановленія, въ которыхъ соединенія сѣры не принимаютъ участія и въ которыхъ полуторная окись желѣза Fe^2O^3 переходитъ въ закись желѣза FeO, т.-е. въ окиселъ болѣе бѣдный кислородомъ; и здѣсь бактеріи потребляютъ кислородъ для выработки углекислоты.

Этотъ процессъ возстановленія особенно часто совершается въ прѣсныхъ водахъ, гдѣ онъ иногда приводитъ къ образованію настоящихъ желѣзныхъ рудъ, извѣстныхъ подъ именемъ болотныхъ желѣзныхъ рудъ.

Растенія, которыя растутъ на почвѣ, богатой полуторной окисью желѣза или водной окисью, разлагаются послѣ своей смерти и превращаютъ эту окись желѣза въ закись желѣза, которая тотчасъ же соединяется съ выработанной бактеріями углекислотой и даетъ углекислое желѣзо $FeCO^3$. Эта углекислая соль, растворяясь, уносится въ озера и пруды, гдѣ она вслѣдствіе окисленія снова разлагается и даетъ водную окись желѣза $Fe^2(OH^6)$ лимонитъ, который образуетъ болѣе или менѣе мощное охристое отложеніе, до глубины приблизительно въ 10 м. ниже уровня воды.

Возможно, что подобныя отложенія образуются въ моряхъ насчетъ приносимыхъ рѣками водъ, содержащихъ въ растворѣ углекислое желѣзо.

Прибавимъ еще, что нѣкоторыя прѣсноводныя нитевидныя бактеріи заимствуютъ водную окись желѣза непосредственно изъ желѣзистыхъ водъ и отлагаютъ ее въ своихъ клѣточкахъ.

Образованіе углеродистыхъ водородовъ. Мы упомянули, говоря о продуктахъ разложенія органическихъ веществъ, объ углеродистыхъ водородахъ. Всѣмъ извѣстно, что отъ разложенія растительныхъ тканей въ прѣсныхъ водахъ образуется болотный газъ или метанъ. Исходя только изъ этихъ данныхъ, многіе геологи предполагали съ начала прошлаго вѣка, что встрѣчающіеся въ природѣ углеродистые водороды имѣютъ

органическое происхожденіе, тогда какъ другіе ученые и прежде всего Менделѣевъ, Муассанъ и П. Сабатье допускаютъ вулканическое происхожденіе этихъ веществъ, которое, какъ мы увидимъ въ дальнѣйшемъ, неоспоримо по крайней мѣрѣ для нѣкоторыхъ отдѣльныхъ случаевъ.

Встрѣчающіеся въ природѣ виды углеродистыхъ водородовъ будутъ слѣдующіе: 1) метанъ, который выдѣляется изъ земли горючими струями, представляющими настоящіе источники газа и огня; 2) нефть, жидкіе углеродистые водороды, непостояннаго состава, смѣсь высшихъ гомологовъ метана и этана (C^nH^{2n+2}); 3) озокеритъ или минеральный воскъ—смѣсь твердыхъ углеродистыхъ водородовъ.

Асфальтъ является продуктомъ окисленія нефти.

Теорія органическаго происхожденія встрѣчающихся въ природѣ углеродистыхъ водородовъ заняла прочное положеніе лишь съ того времени, какъ К. Энглеру удалось добыть продуктъ аналогичный нефти, путемъ перегонки тресковаго жира подъ давленіемъ 20—25 атмосферъ и при температурѣ отъ 360^0—420^0

Можно предположить, что бо́льшая часть нефти образуется вслѣдствіе естественной перегонки жировыхъ веществъ, остающихся послѣ разложенія труповъ животныхъ. Эта перегонка совершается подъ давленіемъ, а благодаря прикрытію труповъ животныхъ слоями отложеній осуществляются условія перегонки въ замкнутомъ пространствѣ.

Чтобы объяснить причину замѣчательнаго обилія въ нѣкоторыхъ мѣстахъ нефти, необходимо допустить, что накопленіе въ этомъ мѣстѣ труповъ было вызвано внезапной гибелью многихъ организмовъ отъ различныхъ причинъ, среди которыхъ на одно изъ первыхъ мѣстъ надо поставить рѣзкое измѣненіе солености воды. Такимъ образомъ напр., погибаетъ масса рыбъ, которыхъ теченіе изъ Каспійскаго моря переноситъ въ Кара-Бугазъ, гдѣ онѣ сразу попадаютъ въ воду гораздо болѣе соленую (VIII, C). Ихъ трупы прибиваетъ къ берегу, или они накопляются на днѣ залива, смѣшиваясь съ отложеніями. Необыкновенная медленность разложенія этихъ труповъ объясняется большой соленостью воды; если бы эта масса труповъ внезапно была покрыта обломочными отложеніями, то здѣсь создались бы чрезвычайно благопріятныя условія для выработки нефти. (Андрусовъ).

Охсеніусъ (8) приписываетъ внезапную гибель животныхъ, ведущую къ образованію минеральныхъ маслянистыхъ веществъ,

дѣйствію маточныхъ разсоловъ и главнымъ образомъ сѣрнокислому магнію, особенно ядовитому для морскихъ животныхъ; но произведенные Хёферомъ (9) анализы показали, что нефть, независимо отъ своего происхожденія, почти всегда содержитъ въ довольно большомъ количествѣ хлористый натрій, тогда какъ содержаніе солей калія и магнія совсѣмъ ничтожно.

Лишь въ совершенно исключительныхъ случаяхъ, какъ напр., въ Мансфельдской пермской лагунѣ внезапная гибель многочисленныхъ морскихъ животныхъ была вызвана прорывомъ воды, содержащей сѣрнокислую соль; и какъ разъ въ этомъ случаѣ количество минеральныхъ маслъ въ сѣрнистыхъ соединеніяхъ довольно незначительно.

Но и скопленіе труповъ морскихъ животныхъ, умершихъ естественной смертью, конечно, неоднократно могло вести къ образованію углеродистыхъ водородовъ. Названіе сапропель (гнилостный илъ) было дано Потонье (10) накопленіямъ микроскопическихъ растеній, труповъ и отбросовъ животныхъ, которыя по его мнѣнію могутъ образовать первичное вещество смолистыхъ породъ. Углеродистые сланцы, вѣроятно, потому такъ богаты сланцевымъ масломъ, что они въ сущности ничто иное какъ гнилостный илъ. Смолистые известняки также произошли отъ смѣшенія известковаго ила съ сапропелемъ. Смолистые сланцы встрѣчаются въ геологическихъ формаціяхъ всѣхъ временъ, и часто ихъ мѣстонахожденіе исключаетъ всякую возможность внезапныхъ катастрофъ.

Накопленіе остатковъ растеній также во многихъ случаяхъ могло вести къ образованію минеральныхъ маслъ, и это явленіе, повидимому, особенно часто наблюдается въ прѣсныхъ водахъ. Энглеру удалось даже экспериментальнымъ путемъ добыть нефть и парафинъ при перегонкѣ болотнаго растительнаго ила.

Необыкновенное богатство нѣкоторыхъ нефтеносныхъ бассейновъ объясняется, кромѣ того, концентраціей продуктовъ перегонки за предѣлами ихъ первоначальнаго мѣстонахожденія въ проницаемыхъ слояхъ, которые они постепенно пропитали и изъ которыхъ они выжимаются давленіемъ при условіяхъ, о которыхъ мы еще будемъ говорить въ дальнѣйшемъ.

Заключеніе.—На днѣ моря и озеръ совершаются такія химическія явленія, которыя могутъ совершенно измѣнить первоначальную природу осадка. Во многихъ изъ этихъ явленій, какъ мы видѣли, имѣетъ значеніе разложеніе органическаго вещества, накопляющагося на днѣ послѣ смерти животныхъ.

Скопленіе растеній приводитъ также къ процессу разложенія, который заканчивается образованіемъ спеціальнаго органогеннаго отложенія, употребляемаго какъ минеральное топливо. Но разъясненіе этихъ явленій должно послужить предметомъ цѣлой главы.

1.—J. B. Harrison and A. J. Jukes Brown. Notes on the Chemica Composition of some Oceanic Deposits. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, LI, стр. 313—328, 1895.

2.—Agnes Kelly. Beiträge zur mineralogischen Kenntnis der Kalkausscheidungen im Tierreich. *Jenaische Zeitschr. f. Naturwiss.*, XXXV, стр. 428—494, таб. XV, 2 фиг., 1901.

3.—C. W. v. Gümbel. Ueber die Natur und Bildungsweise des Glaukonits *Sitzungsber. d. k. bayer. Akad. d. Wiss. Math.-phys. Cl.*, 1886, стр. 417—449, 1 таб.

4.—Léon W. Collet. Les concrétions phosphatées de l'Agulhas Bank, avec une note sur la Glauconie qu'elles contiennent par Gabriel W. Lee. *Proc. of the Royal Soc. of Edinburgh*, XXV, 10, стр. 862—893, 1905.

5.—Armand Gautier. Sur un gisement de phosphates de chaux et d'alumine contenant des espéces rares ou nouvelles, et sur la genèse des phosphates et nitres naturels. *Annales des Mines*, 9e sér., V, стр. 1—53, 1894.

6 —H. Credner. Die Phosphoritknollen des Leipziger Mitteloligocäns und die Norddeutschen Phosphoritzonen. *Abhandl. d. Math.-phys. Cl. d. k. Sächs. Ges d. Wiss.*, XXII, nº 1, 46 стр., 1 таб. Leipzig, 1895.

7.—N. Androussow. La Mer Noire. Guide des excursions du VIIe Congrès Géologique International. Nº XXIX, 13 стр. St-Pétersbourg, 1897.

8.—Carl. Ochsenius. Erdölbildung. *Zeitschr. d. D. geol. Ges.*, XLVIII, стр. 239—248, 1896.

9.—H. Höfer. Erdöl-Studien. *Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. Math.-naturw. Cl.*, CXI. Abth. I, стр. 615—645, 1902.

10.—H. Potonié. Zur Frage nach den Ur-Materialien der Petrolea *Jahrb. d. k. Preuss. Geol. Landesanst.*, XXV, стр. 342—368. 1905.

V. aussi : 0,2; XIII, 27.

К. Д. Глинка. Глауконитъ. Его происхожденіе, химическій составъ и характеръ выв'Ѣтриванія. С.-Пб. 1896.

Отчеты по геологическому изслѣдованію фосфоритовыхъ залежей подъ редакц. проф. Як. Самойлова. Труды Комиссіи Моск. Сельскохоз. Института по изслѣд. фосфоритовъ. Москва 1910 и слѣд. Въ I т. этого изданія стр. 40—46 помѣщена статья Я. Самойлова „М'Ѣсторожденія фосфоритовъ Алжира и Туниса" и А. Архангельскаго Геологическое описаніе фосфоритоносныхъ отложеній Костромской губ. по р. Волгѣ къ западу отъ г. Кинешмы и по р. Мерѣ (стр. 46—49, 61).

А. Архангельскій. Верхнемѣловыя отложенія востока Европейской Россіи. Матер. для Геол. Россіи, т. XXV. Фосфориты стр. 541—550. Глауконитъ стр. 550—569. 1912.

ГЛАВА X.

Ископаемые угли.

Общія замѣчанія.—Торфъ.—Бурый уголь.—Богхедъ и лосковый уголь.—Каменный уголь.—Образованіе каменнаго угля.

Общія замѣчанія. Образованіе углеводородовъ путемъ разложенія органической матеріи приводитъ насъ къ изученію продуктовъ разложенія, въ томъ случаѣ, если разлагающіяся вещества представляютъ собой остатки растеній. Здѣсь можно констатировать, что клѣтчатка $n(C^6H^{10}0^5)$, изъ которой главнымъ образомъ состоитъ вещество вегетативныхъ органовъ растеній, превращается въ черное горючее тѣло, съ бо́льшимъ, чѣмъ клѣтчатка, содержаніемъ углерода. Разложенію въ данномъ случаѣ еще способствуетъ анаэробное броженіе, такъ какъ бактеріи отнимаютъ у клѣтчатки углеродъ и кислородъ, необходимые для выработки углекислоты. Значительная часть водорода освобождается въ видѣ воды и метана, а остающаяся твердая часть содержитъ гораздо меньше кислорода и водорода, чѣмъ клѣтчатка.

Таковы въ общихъ чертахъ (подробности намъ еще неизвѣстны) тѣ реакціи, которыя превращаютъ различные растительные остатки въ углистыя вещества. Уже давно высказывалось предположеніе, что каменный уголь и другіе виды ископаемыхъ углей являются результатомъ измѣненія клѣтчатки, но лишь въ недавнее время эти догадки получили прочное обоснованіе, и намъ теперь уже извѣстны тѣ агенты благодаря которымъ происходитъ это измѣненіе.

Условія, при которыхъ клѣтчатка растеній превращается въ горючее вещество, были изучены преимущественно на образованіи торфа, которое совершается, такъ сказать, на нашихъ глазахъ. Въ виду того, что торфъ рядомъ переходныхъ ступеней связанъ съ каменнымъ углемъ, наиболѣе богатымъ углеродомъ, и образованіе каменнаго угля объясняли тѣмъ же путемъ, при чемъ богатство этой породы углеродомъ приписы-

вали дѣйствію времени. Объ этой точкѣ зрѣнія мы еще будемъ говорить позднѣе. Сейчасъ лишь остановимся на послѣдовательномъ изученіи тѣхъ породъ, которыя образуютъ рядъ переходныхъ ступеней отъ торфа къ антрациту; для каждой изъ этихъ промежуточныхъ формъ мы опредѣлимъ ея физическія, химическія и ботаническія особенности и постараемся возможно точнѣе установить послѣдовательность измѣненій, которыя привели ту или иную форму къ ея настоящему виду.

Ниже мы прилагаемъ таблицу, показывающую химическій составъ и плотность главнѣйшихъ видовъ ископаемыхъ углей:

	C	H	O	A	Плотность.
Торфъ.	56	5,8	36	1	
Бурый уголь.	57	4,6	36	0,2	1,12
Каменный уголь . . .	81,4	5,2	5,7	0,3	1,19
Антрацитъ	91,4	3,3	2,6	0,2	1,37

Торфъ. Торфъ представляетъ собой углистое вещество, которое образуется *въ сырыхъ болотистыхъ мѣстностяхъ*, такъ называемыхъ *торфяникахъ*, въ результатѣ броженія остатковъ растеній, покрывавшихъ эти мѣста. Превращеніе клѣтчатки въ углистое вещество здѣсь осуществляется не вполнѣ и степень переработки ея не одинакова у всѣхъ растеній, образующихъ торфъ. Нѣкоторые элементы сохраняютъ свою первоначальную структуру, такъ, напр., березовая кора остается почти незатронутой гніеніемъ. Мало измѣнившіяся волокна образуютъ своего рода войлокъ, а промежутки между волокнами отчасти заполнены продуктами полнаго разложенія растительнаго вещества, которые имѣютъ видъ порошковатаго очень темнаго вещества, состоящаго изъ разныхъ гуминовыхъ и ульминовыхъ соединеній. Эти кислые продукты сообщаютъ торфу его антисептическія свойства и окрашиваютъ въ темный цвѣтъ воду, протекающую по торфянымъ болотамъ. Содержаніе углерода въ торфѣ достигаетъ приблизительно 45—63%.

Растенія, образующія торфъ, принадлежатъ преимущественно къ гигрофильнымъ и могутъ впитывать въ свои ткани значительное количество воды. Встрѣчаются также и ксерофильные, но тогда ихъ нижнія части находятся въ водѣ. Въ томъ и другомъ случаѣ, растенія развиваются вверхъ, тогда какъ ихъ нижнія части отмираютъ и разлагаются.

Въ затопленныхъ торфяникахъ преобладаютъ осоковые и

ксерофильные злаки. Ихъ перепутанныя корневища какъ бы погружены въ богатую гумусомъ массу. Мхи изъ рода *Hypnum* плаваютъ на поверхности. Этотъ видъ торфяниковъ встрѣчается преимущественно на днѣ долинъ. Наоборотъ, на плоскогоріяхъ и на склонахъ горъ, торфяники состоятъ преимущественно изъ сфагновыхъ (Sphagnaceae), гигрофильныхъ мховъ, которые поддерживаютъ влажность и въ незатопленныхъ торфяникахъ. Сфагновые торфяники часто образуются на мѣстахъ, прежде занятыхъ затопленными торфяниками. Они все увеличиваютъ свою мощность, такъ что, наконецъ, возвышаются надъ окружающей мѣстностью, и ихъ поверхность имѣетъ выпуклую форму. Но изученіе условій образованія торфяныхъ болотъ относится скорѣе къ физической географіи. Прибавимъ здѣсь лишь, что сфагновыя требуютъ для своего развитія чистой воды и умѣреннаго климата, такъ какъ слишкомъ высокая температура мѣшала бы поглощенію воды этими гигрофильными мхами.

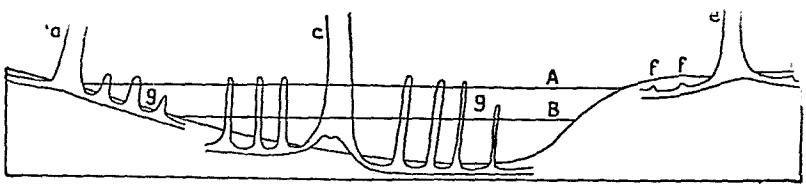
Роль микроорганизмовъ въ анаэробномъ броженіи, порождающемъ торфъ, хотя еще и мало извѣстна, но не подлежитъ сомнѣнію, такъ какъ, по даннымъ Б. Рено (8), тамъ есть и сапрофитные грибы и бактеріи, принадлежащіе къ различнымъ родамъ. Съ другой стороны, въ опредѣленный моментъ броженіе должно было остановиться, такъ какъ ульминовая кислота ядовита для этихъ организмовъ, а между тѣмъ ее довольно много въ торфѣ, хотя значительное количество ея и уносится текучими водами.

Лигнитъ или бурый уголь. Бурый уголь отличается отъ торфа бо́льшимъ содержаніемъ углерода и бо́льшей плотностью. Растенія его образующія то мелко раздроблены, то плоско сдавлены, то почти нетронуты и сохранили свое первоначальное вертикальное положеніе. Въ послѣднемъ случаѣ промежутки между отдѣльными растеніями заполнены растительной массой, состоящей изъ листьевъ, цвѣтовъ, растительной пыльцы и зеренъ, часто едва измѣнившихся. Структура древесины часто остается нетронутой и можетъ быть изучена на шлифахъ подъ микроскопомъ. Встрѣчаются также смолы и камеди.

Ископаемые угли, подобные бурому углю, образуются теперь въ болотахъ умѣренныхъ и тропическихъ странъ. Тогда какъ торфяники обыкновенно появляются на водопроницаемой почвѣ и въ текучей водѣ, уносящей растворимые гуминовые и

ульминовые продукты, болота возникаютъ обыкновенно на водонепроницаемой почвѣ и въ мѣстахъ очень плохо дренируемыхъ. Результатомъ этихъ условій является бо́льшее скопленіе гумуса, а слѣдовательно и бо́льшее содержаніе угля.

На востокѣ Сѣверо-Американскихъ Соединенныхъ Штатовъ, на границѣ между Виргиніей и Сѣверной Каролиной, находится громадное болото называемое Dismal Swamp. (Страшное Болото), о которомъ Н. С. Шелеръ (3) написалъ интересный очеркъ. Особенности этого болота вполнѣ оправдываютъ неоднократно высказывавшееся сравненіе между условіями образованія этого болота и болотъ, гдѣ образовался бурый уголь прошлыхъ геологическихъ временъ. На перегнойной почвѣ въ 8 м. толщины выросъ большой болотный лѣсъ, въ которомъ преобладаетъ виргинскій кипарисъ (*Taxodium distichum*). Стволъ этого дерева поднимается надъ водой, а корневища имѣютъ конусообразные добавочные стволы (фиг. 30).



Фиг. 30. — Корневища *Taxodium distichum*. Distal Swamp (N. S. Shaler) A. уровень высокихъ водъ; B. уровень низкихъ водъ; c, кипарисы съ совершенно погруженными корневищами; d и e, кипарисы съ корневищами вполнѣ или отчасти выдающимися изъ воды; f, g, добавочные стволы.

Тотъ же кипарисъ встрѣчается въ міоценовыхъ лигнитахъ сѣверной Германіи, а открытая разработка лигнита у Зенфтенберга (въ Нижней Лужицкой области средней Германіи) обнаружила много такихъ стволовъ, идущихъ отъ корневищъ и срѣзанныхъ подъ одинъ уровень, который по мнѣнію Потонье (16) соотвѣтствуетъ прежнему уровню воды въ болотѣ.

Бурые угли встрѣчаются преимущественно въ третичныхъ отложеніяхъ, но весьма вѣроятно, что и болѣе древніе угли образовались при тѣхъ же условіяхъ.

Рено микроскопически изучалъ многіе сорта бураго угля (8), и почти во всѣхъ своихъ препаратахъ онъ обнаружилъ присутствіе микроорганизмовъ, въ которыхъ онъ распознавалъ то инфузоріи, то грибы, то бактеріи. Одна изъ нихъ *Micrococcus lignitum* очень обильно представлена въ основномъ веществѣ, которое облекаетъ растительные организмы и которое

само, быть можетъ, обязано своимъ появленіемъ работѣ этого микрококка. Различные виды растительныхъ тканей также подверглись дѣйствію бактерій, но въ неодинаковой степени.

Богхеды и кеннельскіе угли (cannel coals). Уже давно принято обозначать англійскими терминами *bogheads* и *cannel coals* (4—6) угли, которые даютъ при сухой перегонкѣ гораздо больше углеводородистыхъ соединеній, чѣмъ обыкновенный каменный уголь, вслѣдствіе чего они предпочтительно употребляются для выработки свѣтильнаго газа. Богхедъ компактенъ, гибокъ и имѣетъ блестящій раковистый изломъ; кеннельскій уголь, наоборотъ, матово-чернаго цвѣта, и раковистый изломъ въ немъ менѣе ясно выраженъ. Кеннельскій уголь на одну тонну даетъ 300 и 330 кубическихъ метровъ газа, имѣющаго двойную свѣтовую силу сравнительно съ газомъ, вырабатываемымъ изъ обыкновеннаго каменнаго угля; богхеды же даютъ до 400 кубическихъ метровъ газа, но ихъ коксъ слишкомъ рыхлъ. Нѣкоторые виды этихъ углей даютъ при сухой перегонкѣ масла, похожія на нефть.

Кеннельскіе угли по своему химическому составу отличаются отъ клѣтчатки вдвое меньшимъ содержаніемъ водорода, а кислорода въ нихъ въ среднемъ не болѣе $^6/_7$ первоначальнаго количества. Въ богхедахъ же произошло почти полное выдѣленіе кислорода и получился углеводородъ, составъ котораго, по мнѣнію Рено, можетъ быть выраженъ формулой C^2H^3. По мнѣнію того же ученаго, реакцію превращенія клѣтчатки въ богхедъ можно выразить слѣдующей формулой:

$$C^{12}H^{20}O^{10}=2C^2H^3+5CO^2+3CH^4+2H.$$

Микроскопическое изслѣдованіе богхедовъ и кеннельскихъ углей, предпринятое Б. Рено (4,8) и Ш. Е. Бертраномъ (5,6,9,10), привело къ чрезвычайно важнымъ выводамъ, которые дали возможность различать эти двѣ категоріи горючихъ минераловъ по природѣ ихъ органическихъ элементовъ и благодаря этому установили совершенно новую точку зрѣнія на ихъ происхожденіе. Впрочемъ, многіе изъ тѣхъ результатовъ, къ которымъ пришли эти два ученые, К. В. фонъ-Гюмбель предвидѣлъ уже 10 лѣтъ тому назадъ (1).

Богхеды независимо отъ происхожденія и отъ возраста (каменноугольнаго или пермскаго періода) состоятъ преимущественно

изъ слоевищъ водорослей, погруженныхъ въ бурую гумусовую массу, которая обволакиваетъ всѣ элементы растительнаго происхожденія. Кеннельскіе угли содержатъ гораздо меньше водорослей и состоятъ преимущественно или даже цѣликомъ, изъ спорангіевъ и споръ сосудистыхъ тайнобрачныхъ и изъ цвѣточной пыльцы голосѣменныхъ, и эти элементы также погружены въ основную гумусовую массу.

Отюнскій богхедъ отличается почти исключительнымъ преобладаніемъ водоросли, извѣстной подъ именемъ *Pila bibractensis*. Шотландскій богхедъ или „торбанитъ“ состоитъ изъ другого вида того же рода *Pila scotica*. Австралійскій керосиновый сланецъ („Kerosene shale“) является также видомъ богхеда, но заключаетъ въ себѣ иную водоросль — *Reinschia australis*. Эрмельскій богхедъ въ Трансваалѣ образованъ изъ слоевищъ *Reinschia capensis*.

Слоевища этихъ различныхъ видовъ состоятъ изъ особаго студенистаго вещества — желозы (gélose); на основаніи этого Э. Бертранъ называетъ богхеды желозовыми или водорослевыми углями (Charbons gélosiques ou charbons d'Algues). По мнѣнію этого ученаго водоросли, послужившія для образованія богхеда, подобно тому какъ это бываетъ при „цвѣтеніи воды“ современныхъ озеръ, въ извѣстный моментъ должны были очень обильно размножаться и производить желозу, которая является основнымъ веществомъ водорослевыхъ углей. Битуминозное вещество, по его мнѣнію, проникло въ эту массу позже и дало возможность слоевищамъ сохраниться. Оно явилось, слѣдовательно, веществомъ фоссилизующимъ.

Рено, занявшись изученіемъ тѣхъ же вопросовъ, что и Бертранъ, пришелъ къ толкованію, которое, кажется, болѣе вѣроятнымъ, такъ какъ въ теоріи Бертрана остается непонятнымъ происхожденіе того битуминознаго или смолистаго вещества, которое позже проникаетъ въ желозовую массу.

Рено считаетъ основную массу, обволакивающую органическіе остатки, входящіе въ составъ богхедовъ и кеннельскихъ углей, результатомъ микробной мацераціи, которая превращаетъ желозу и клѣтчатку въ аморфное вещество, проникающее и формующее всѣ элементы, не уничтоженные раствореніемъ. И дѣйствительно, микрококки встрѣчаются въ изобиліи какъ въ этихъ остаткахъ, такъ и въ основномъ веществѣ богхедовъ. Эти микрококки Рено назвалъ *Micrococcus petrolei*. Кеннельскіе угли кромѣ того еще содержатъ микроскопическіе грибки, кото-

рые вмѣстѣ съ бактеріями должны были способствовать разрушенію органическихъ элементовъ.

Какого бы ни держаться взгляда, одно остается твердо установленнымъ, что богхеды и кеннельскіе угли происходятъ отъ разложенія *на мѣстѣ* растительныхъ организмовъ, которые или жили въ озерахъ, подобно нынѣшнимъ водорослямъ, обусловливающимъ цвѣтеніе воды, или приносились туда вѣтромъ, какъ теперь вѣтеръ иногда приноситъ дождь цвѣточной пыльцы, часто принимаемый за сѣрный дождь.

Угли, называемые Бертраномъ гумусовыми (*charbons humiques*), въ сущности есть ничто иное, какъ смолистый сланецъ, о которомъ мы уже говорили. Тотъ же ученый называетъ *навозными* углями (*charbons de purins*), сланцы, въ которыхъ имѣется много ископаемыхъ экскрементовъ животныхъ, или *копролитовъ* превращенныхъ въ углистое вещество. Эти виды угля по мнѣнію Бертрана, также позже пропитываются смолистымъ веществомъ. (6,9).

Каменный уголь.—Каменный уголь является однимъ изъ видовъ ископаемыхъ углей, содержащихъ чистаго угля 75—90%. Содержаніе въ немъ кислорода и водорода подвержено большимъ колебаніямъ, такъ же, какъ и количество остающагося послѣ сгоранія пепла, указывающаго главнымъ образомъ на присутствіе большаго или меньшаго количества пирита.

При сухой перегонкѣ каменный уголь можетъ давать смѣсь углеводородовъ водорода и разныхъ другихъ газовъ. Очищая эту смѣсь получаютъ свѣтильный газъ Твердый остатокъ отъ перегонки называется коксомъ.

Углеводороды не существуютъ въ каменномъ углѣ до перегонки, такъ какъ ихъ нельзя добыть при помощи ихъ обыкновенныхъ растворителей—бензина и эфира.

Количество углеводородовъ, получаемыхъ при сухой перегонкѣ угля, зависитъ отъ его качества. Различаютъ *сухой каменный уголь*, дающій много газа, сильное пламя и дымъ при горѣніи и содержащій чистаго угля отъ 75 до 80%; *жирный каменный уголь*, еще богатый летучими продуктами и содержащій угля отъ 80 до 90%; *полужирный каменный уголь*, дающій при горѣніи низкое пламя, но обладающій бо́льшей нагрѣвающей силой. *Тощій каменный уголь*, не дающій при горѣніи дыма и оставляющій порошковатый коксъ, онъ содержитъ угля отъ 90 до 93%. *Антрацитъ* еще богаче

углеродомъ и почти не даетъ газа при сухой перегонкѣ; объ этомъ углѣ мы еще поговоримъ въ дальнѣйшемъ.

Это раздѣленіе каменнаго угля на категоріи основано на особенности горѣнія и на содержаніи углерода каждой категоріей, что соотвѣтствуетъ и ихъ внѣшнему виду, а именно — различію въ блескѣ, спайности, однородности или разнородности и т. д.

Образованіе каменнаго угля.—При разработкѣ каменнаго угля мы часто встрѣчаемъ многочисленные отпечатки растеній на смолистыхъ и песчаныхъ прослойкахъ, чередующихся со слоями каменнаго угля; въ самомъ каменномъ углѣ нѣкоторыя части обнаруживаютъ органическую структуру; наконецъ, химическій составъ, если и не тождественъ, то во всякомъ случаѣ близокъ къ составу клѣтчатки; всѣ вышеприведенные факты уже съ давнихъ поръ дали основаніе предполагать, что каменный уголь образованъ остатками растеній, жившихъ въ отдаленную геологическую эпоху, которую мы называемъ, *каменноугольной*, *угольной* или *антроколитической*.

Но благодаря употребленію микроскопа при изученіи шлифовъ горныхъ породъ мы имѣемъ болѣе прочное обоснованіе для своихъ выводовъ. Нѣкоторые виды каменнаго угля можно разсматривать въ проходящемъ свѣтѣ и тогда легко распознавать природу ихъ тканей. Другіе же совершенно не прозрачны, но пользуясь методомъ изобрѣтеннымъ Шульцемъ и усовершенствованнымъ Гюмбелемъ (1) мы можемъ ихъ освободить отъ веществъ затемняющихъ ихъ структуру. Каменный уголь обрабатываютъ смѣсью хлорновато-кислаго калія и азотной кислоты, которая растворяетъ гуминовыя и ульминовыя вещества, которыми проникнуты ткани.

Въ изученіи каменныхъ углей съ точки зрѣнія химической есть еще много неяснаго, но зато вопросъ объ его ботанической структурѣ довольно хорошо разработанъ благодаря трудамъ Грандъ-Эри, Рено, Цейллера, Потонье, такъ что намъ теперь извѣстны растенія, участвовавшія въ его образованіи. Является вполнѣ установленнымъ фактомъ, что листья, стволы, корни, плоды, входящіе въ составъ каменноугольнаго слоя, принадлежатъ къ тѣмъ самымъ видамъ растеній, отпечатки которыхъ сохранились на сосѣднихъ слояхъ.

Въ каменномъ углѣ мы иногда встрѣчаемъ растительныя ткани замѣчательной сохранности, и это обстоятельство вполнѣ

опровергаетъ прежнюю гипотезу, по которой остатки растеній были залиты первичнымъ смолистымъ веществомъ, поднимавшимся изъ нѣдръ земли. На самомъ дѣлѣ образованіе угля есть результатъ измѣненій совершившихся на мѣстѣ безъ приноса веществъ извнѣ. Этотъ процессъ совершался довольно быстро, такъ какъ въ различныхъ горизонтахъ каменноугольной толщи часто находили *каменноугольныя гальки*, т. е. окатанные водою осколки каменнаго угля, заимствованные изъ нѣсколько болѣе древнихъ каменноугольныхъ же отложеній. Процессъ обугливанія сопровождался уменьшеніемъ объема вслѣдствіе давленія верхнихъ слоевъ на нижележащіе слои съ растительными остатками, это обнаруживается путемъ сравненія толщины стволовъ одного и того же растенія, обугленныхъ и превращенныхъ въ кремень.

Превращеніе растеній въ уголь происходило, вѣроятно, подъ дѣйствіемъ силъ аналогичныхъ съ тѣми, которымъ обязаны своимъ происхожденіемъ торфъ, бурый уголь, богхедъ и пр. Оно является результатомъ мацераціи ихъ въ водѣ, и, повидимому, произошло при участіи микроорганизмовъ. И дѣйствительно, Рено обнаружилъ въ нѣкоторыхъ видахъ каменнаго угля (7,8) микроорганизмы, которые онъ и опредѣлилъ, какъ *Bacillus*, какъ *Micrococcus*, какъ волоконца сапрофитныхъ грибовъ.

При превращеніи целлюлёзы въ уголь она выдѣляетъ водородъ и кислородъ въ видѣ метана, угольной кислоты и воды, а твердый остатокъ составляетъ лишь $^1/_3$ первоначальнаго вѣса. Рено характеризуетъ реакцію слѣдующей формулой, при чемъ C^9H^6O выражаетъ составъ каменнаго угля.

$$4\ C^6H^{10}O^5 = C^9H^6O + 7\ CH^4 + 8\ CO^2 + 3\ H^2O.$$

Лемьеръ (15) сравниваетъ броженіе, которое ведетъ къ образованію каменнаго угля, со спиртовымъ броженіемъ. Онъ предполагаетъ, что діастазы, содержащіеся въ плодахъ и зернахъ или выдѣляемые микробами, дѣйствуя медленно, превращаютъ углеводы (целлюлёза, камедь, смола, хлорофиллъ) въ студинистую гумусовую массу, которая является основнымъ веществомъ всѣхъ ископаемыхъ углей. То же самое и въ спиртовомъ броженіи подъ дѣйствіемъ діастаза солода крахмалистыя вещества разжижаются и превращаются въ глюкозу.

Благодаря предшествовавшей мацераціи многочисленные ферменты, доставляемые растеніями, обильно развиваются. Затѣмъ, когда среда становится анаэробной, они расщепляютъ уг-

леводы на газы (CO^2 и CH^4) и на углеводородистыя жидкія или твердыя соединенія, которыя и образуютъ ископаемые угли. Броженіе останавливается, когда, вслѣдствіе образованія углеводородовъ, среда становится антисептической. То же самое и въ спиртовомъ броженіи; пивной ферментъ начинаетъ развиваться какъ аэробный ферментъ въ дрожжахъ, затѣмъ становится анаэробнымъ въ глюкозномъ суслѣ, гдѣ, дѣйствуя на глюкозу, онъ ее разлагаетъ на CO^2 и на алкоголь. Броженіе останавливается, когда нѣтъ больше глюкозы въ суслѣ или когда избытокъ алкоголя дѣлаетъ среду антисептической.

Это остроумное сравненіе объясняетъ намъ способъ образованія всѣхъ ископаемыхъ углей и причину образованія того, а не другого изъ нихъ. Такимъ образомъ, отъ времени наступленія анаэробной и антисептической фазы зависитъ природа образующагося ископаемаго угля. Общераспространенное мнѣніе, что на природу угля оказываетъ вліяніе время, не имѣетъ подъ собой никакого основанія, такъ какъ торфъ всегда останется торфомъ, бурый уголь не превратится въ каменный, и каменный уголь какого либо опредѣленнаго состава навсегда сохранитъ этотъ составъ. Факты геологическаго порядка подтверждаютъ эту теорію, такъ какъ намъ извѣстны ископаемые угли первичной эры, имѣющіе приблизительно составъ бураго угля, а также и виды каменнаго угля вторичной и третичной эры.

Слѣдуетъ однако, принимать во вниманіе естественную сухую перегонку, которой могли подвергнуться ископаемые угли вслѣдствіе повышенія температуры тѣхъ слоевъ, среди которыхъ они залегаютъ. Въ этомъ случаѣ, сухой каменный уголь могъ превратиться въ тощій, а тощій въ *антрацитъ* При этомъ углеводороды выдѣляются въ видѣ *рудничнаго газа*, который, или проникаетъ въ сосѣдніе слои и тамъ скопляется, или остается въ каменномъ углѣ.

Повышеніе температуры, необходимое для сухой перегонки угля, часто можетъ быть вызвано лишь механическими причинами. Впрочемъ, подробнѣе на этихъ явленіяхъ мы остановимся въ одной изъ послѣдующихъ главъ.

Теперь мы займемся разсмотрѣніемъ вопроса, въ какихъ топографическихъ условіяхъ появляются залежи каменнаго угля и образуются ли онѣ, какъ думаютъ нѣкоторые геологи, изъ мѣстныхъ элементовъ, подобно торфу и бурому углю, или, по теоріи другой школы, онѣ появляются изъ скопленія принесенныхъ водою растеній. Другими словами мы должны разрѣшить

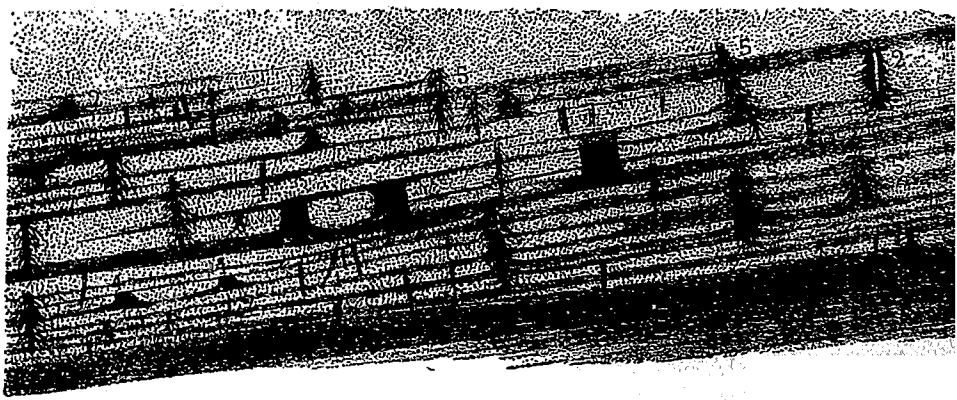
вопросъ является ли вообще весь каменный уголь по терминологіи Гюмбеля (1) *автохтоннымъ* или *аллохтоннымъ*, или онъ составляетъ нѣсколько категорій, глубоко отличныхъ между собой по происхожденію.

Автохтонная теорія происхожденія каменнаго угля. Теорія, предполагающая, что каменный уголь образуется на мѣстѣ и уподобляющая его торфу и бурому углю, существуетъ уже съ давнихъ поръ, но прочное обоснованіе она получила лишь послѣ детальнаго изученія условій залеганія каменноугольныхъ растеній и послѣ подробнаго изслѣдованія условій развитія большихъ болотъ съ богатой древовидной растительностью.

Мы уже видѣли, что нѣкоторые залежи бураго угля, очевидно, образовались въ болотахъ, подобныхъ Виргинскому болоту Dismal Swamp и многіе геологи, изъ которыхъ самый выдающійся Потонье (13,16), считаютъ, что большая часть залежей каменнаго угля образовалась при точно такихъ же условіяхъ.

Рядъ точныхъ наблюденій, произведенныхъ Грандъ-Эри въ Сентъ-Етьенскомъ каменноугольномъ бассейнѣ, даютъ этой теоріи прочное основаніе. Уже съ давнихъ поръ въ различныхъ угольныхъ бассейнахъ были обнаружены гигантскіе стволы *Sigillaria* превращенные въ каменный уголь и расположенные перпендикулярно къ самимъ слоямъ каменнаго угля; отсюда сдѣлано было заключеніе, что эти стволы были погребены и обуглены въ томъ же положеніи, въ какомъ они и расли. Но мы увидимъ въ дальнѣйшемъ, что многія изъ этихъ наблюденій являются спорными и лишь Грандъ-Эри болѣе точно установилъ связь между растеніями и тутъ же залегающими слоями. Онъ установилъ, что стволы, впрочемъ, почти всегда срѣзанные на небольшой высотѣ, врасли корнями въ землю, при чемъ корни переплелись съ корнями сосѣдняго растенія, имѣютъ второстепенные корни и корешки, а часто и даютъ начало ползучимъ корневищамъ, которыя прикрѣплены къ почвѣ прицѣпками. Эти наблюденія относятся къ сигилляріямъ, каламитамъ, папоротникамъ и кордаитамъ. Всѣ эти наблюденія, вмѣстѣ взятыя, приводятъ Грандъ-Эри къ тому выводу, „что образующія угли растенія были болотными, хотя и древовидными, при чемъ они расли, какъ и растенія болота Dismal Swamp., такъ, что нижняя часть ствола и придаточные корни находились въ водѣ, а главные корни и корневища разстилались по дну“.

Самое замѣчательное расположеніе корней ярусами наблюдалось у *Calamodendron*. Ихъ корневые аппараты расположены послѣдовательно все выше и выше и по мѣрѣ накопленія осадка, образовали слѣдующія одна за другою мутовки, отъ которыхъ лучисто расходятся придатки, сохранившіе свое естественное положеніе. Потонье совершенно правильно сравниваетъ этотъ способъ возрастанія съ возрастаніемъ сфагновыхъ; и на основаніи этого факта и присутствія горизонтально растущихъ корневищъ, онъ дѣлаетъ тотъ выводъ, что каменный уголь образовался въ плоскихъ и поросшихъ лѣсомъ торфяникахъ. Въ другихъ мѣстахъ каменный уголь образовался благодаря накопленію мелкихъ растительныхъ остатковъ, подобно размельченному и намытому водой торфу.



Фиг. 31. Ископаемый лѣсъ каменноугольной эпохи; у Тревъ близъ Сентъ-Этьена (по Грандъ-Эри; рисунокъ заимствованъ у E. Suess. La Face de la Terre, т. 2). Вертикальная высота около 12 м.

1. Calamites; 2, Psuronius; 3, Sigillaria; 4, Cordaites; 5, Calamodendron.

Сходство залежей каменнаго угля съ плоскими торфяниками и особенно съ большими поросшими лѣсомъ болотами подтверждается еще тѣмъ, что ниже многихъ каменноугольныхъ слоевъ находится слой глины, которую англичане, съ давнихъ поръ пораженные этимъ сходствомъ, назвали „under-clay“ (основная глина). Сквозь эту прослойку проходятъ корни, около которыхъ глина измѣнила свои свойства. Къ этой глинѣ примѣшано и углистое вещество, такъ что названіе данное ей Грандъ-Эри „ископаемый перегной“, очень къ ней подходитъ.

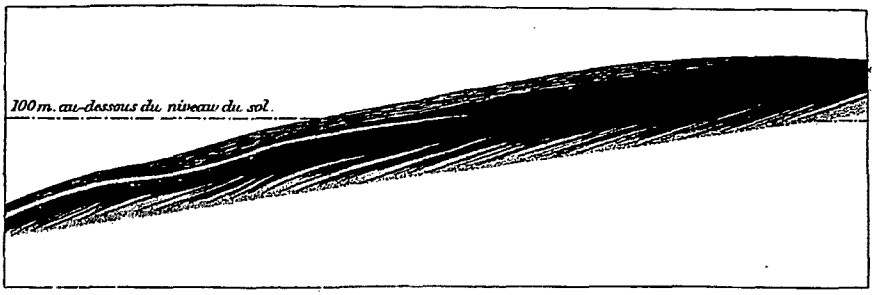
Прежняя гипотеза, которая образованіе каменнаго угля объясняла накопленіемъ древесныхъ остатковъ на мѣстѣ, теперь уже оставлена, по крайней мѣрѣ въ своемъ первоначальномъ

видѣ; но, несомнѣнно, залежи угля образовались нерѣдко, подобно залежамъ бураго угля, въ поросшихъ лѣсомъ болотахъ. Потонье же и его школа предполагаютъ, что при такихъ условіяхъ, получилъ начало почти весь каменный уголь; другіе ученые думаютъ, что этотъ способъ образованія можно назвать скорѣе исключеніемъ. Самъ Грандъ-Эри считаетъ, что изъ растеній здѣсь же и росшихъ состоитъ лишь небольшое количество каменнаго угля, а остальная часть, по его мнѣнію, обязана своимъ происхожденіемъ наносу стеблей и листьевъ оторванныхъ отъ живого растенія или вырваннымъ съ корнями деревьямъ, которыя наносились водою того же болота, въ которомъ они расли. Горизонтальное положеніе растительныхъ остатковъ въ каменноугольныхъ залежахъ является вѣскимъ доводомъ въ пользу наноса. Такимъ образомъ, съ точки зрѣнія Грандъ-Эри, въ одномъ и томъ же болотѣ образуется какъ автохтонные, такъ и аллохтонные каменные угли.

Аллохтонная теорія происхожденія каменнаго угля. Теорія аллохтоннаго происхожденія каменнаго угля принимаетъ его за растительный аллювій. Эта теорія появилась уже давно, но популярностью стала пользоваться лишь послѣ наблюденій Файоля (19,20) въ каменноугольныхъ копяхъ Комментри. Ея популярности также способствовалъ Ланпаранъ изданіями своего классическаго труда „*Traité de Géologie*“ (Курсъ геологіи) и нѣсколькихъ выдающихся популярныхъ очерковъ (21).

Наблюденія Файоля въ копяхъ Комментри были опубликованы въ 1888 г., при чемъ имъ были даны изображенія замѣчательныхъ обнаженій каменноугольныхъ слоевъ, которые получались при разработкѣ угля подъ открытомъ небомъ и потомъ послѣдовательно разрушались при дальнѣйшей разработкѣ. Эти разрѣзы показали намъ, что отложенія, заключающія въ себѣ слои угля копей Комментри, нанесены *водными потоками*, которые при впаденіе въ озеро отлагали въ своемъ устьѣ, много обломочнаго матеріала, образуя подобіе *дельты*. Здѣсь были наблюдаемы всѣ особенности отложеній, образованныхъ водными потоками: различія въ составѣ и мощности одного и того же слоя, отсутствіе параллелизма слоевъ, выклиниванье отдѣльныхъ прослоекъ, неправильное напластованіе, слѣды размыва, несогласное и апластованіе, переслаиваніе, перемываніе ранѣе отложеннаго матеріала и пр. И слои каменнаго угля въ этой серіи отличаются какъ разъ всѣми этими особенностями и имѣютъ видъ обломочнаго отложенія. Болѣе или менѣе го-

ризонтальный „главный слой“ покрытъ идущими наклонно слоями сланца, въ промежутки между которыми каменный уголь косо вклинивается, вмѣсто того чтобы дать плоское основаніе вышележащему слою. По направленію къ Буижъ главный слой каменнаго угля раздѣляется на шесть отдѣльныхъ прослоекъ, которыя постепенно расходятся другъ отъ друга (фиг. 32).



Фиг. 32.—Подробности развѣтвленій „Большого слоя“ въ Комментри въ шахтѣ св. Августина (по K. Fayol; фиг. заимств. у E. Suess. La Face de la Terre, т. II) масшт. 1: 3200.

Прямо стоящіе стволы не только не отсутствуютъ въ бассейнѣ Комментри, а, наоборотъ, имѣютъ видъ настоящаго ископаемаго лѣса. Но тѣмъ не менѣе по даннымъ Файоля лежащихъ стволовъ разъ въ сто больше, чѣмъ стоячихъ, при чемъ у одного изъ нихъ корни торчали вверхъ. Эти особенности становятся понятными при допущеніи гипотезы переноса растеній водными потоками; это и теперь часто случается, что деревья несомыя большими рѣками погружаются въ наносы дельты въ вертикальномъ положеніи.

Кромѣ того, не надо забывать о существованіи на большихъ рѣкахъ, особенно тропическихъ странъ, настоящихъ пловучихъ лѣсовъ, отрываемыхъ отъ береговъ и уносимыхъ теченіемъ. Эти скопленія, приносимыхъ теченіемъ растеній, могутъ порой образовать настоящія плотины и вызвать разлитіе рѣкъ выше запруды или временное поднятіе воды въ озерахъ, принадлежащихъ къ тому же бассейну. Такъ, напр., поднятіе воды въ озерѣ Танганаикѣ было вызвано запруживаніемъ вытекающей изъ него Лукуги [1]). Озера, въ которыя впадаютъ большія тропическія рѣки являются по мнѣнію Охсеніуса мѣстомъ, гдѣ преимущественно образуются путемъ наноса ископаемые угли (18).

Каменный уголь морского происхожденія. — Озерное происхожденіе нѣкоторыхъ видовъ каменнаго угля до-

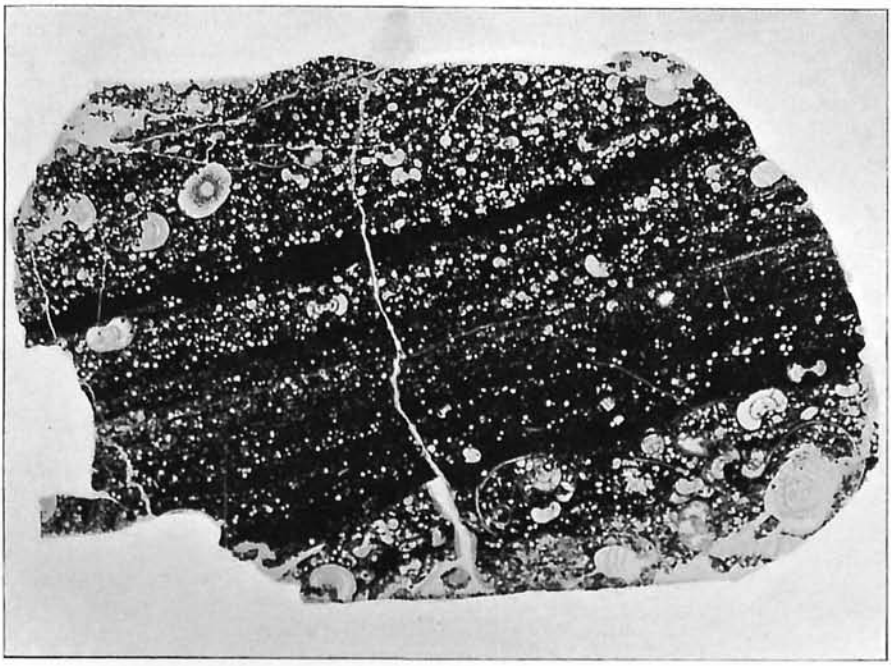
[1]) E. Suess La face de la Terre. Trad. E. de Margerie т. II, стр. 405.

казывается присутствіемъ въ смежныхъ съ нимъ слояхъ ископаемыхъ, подобныхъ живущимъ теперь въ озерахъ, каковы: перловицы (Unionidae), легочные, брюхоногіе (Pulmonata), листоногіе раки (Phyllopoda) и др. Но на ряду съ этими существуютъ залежи каменнаго угля съ прослойками, содержащими морскія ископаемыя. Сторонники автохтонной теоріи объясняютъ происхожденіе морскихъ слоевъ въ залежахъ каменнаго угля временнымъ погруженіемъ въ море тѣхъ болотъ, гдѣ образовался каменный уголь, вслѣдствіе, напр., колебаній почвы въ прибрежной полосѣ. И на этотъ разъ въ качествѣ примѣра выставляется болото Dismal Swamp, такъ какъ достаточно было бы ему опуститься на нѣсколько метровъ, чтобы оно было залито водами Атлантическаго океана. Но въ такомъ случаѣ необходимо допустить прибрежное положеніе каменноугольныхъ бассейновъ; Науманъ назвалъ бассейны, отвѣчающіе этимъ условіямъ, приморскими (paraliques). Въ нѣкоторыхъ же обстяхъ, какъ напр., въ Донецкомъ каменноугольномъ бассейнѣ, также въ Карнтіи, Астуріи, Айовѣ и въ Китаѣ наблюдается многократное чередованіе каменноугольныхъ слоевъ съ известняками, содержащими морскія ископаемыя. Въ этомъ случаѣ необходимо предположить, что колебанія почвы повторялись несчетное число разъ и вызывали періодическій притокъ морской воды въ болота [1]). Природа морскихъ ископаемыхъ, встрѣчаемыхъ въ известковыхъ прослойкахъ иногда указываетъ, что отложеніе осадковъ происходило на большой глубинѣ и слѣдовательно опусканіе почвы должно было происходить не на единицы, а на многія сотни метровъ.

Основываясь на этихъ фактахъ, нѣкоторые геологи, по примѣру Зюсса, стали приписывать нѣкоторымъ залежамъ каменнаго угля морское происхожденіе. Мало того, недавно Г. Дувилле (22) показалъ, что нѣкоторыя известковыя конкреціи въ каменноугольныхъ породахъ въ Іоркширѣ и Ланкаширѣ содержатъ наряду съ болѣе или менѣе разложившимся ископаемымъ деревомъ перегородчатыя раковины головоногихъ, относящихся къ роду Gastrioceras (табл. III, I, 2). Такимъ образомъ, здѣсь растительная масса, образовавшая каменный уголь, отложилась на днѣ моря и на значительной его глубинѣ, такъ какъ этотъ родъ головоногихъ не относится къ прибрежной фаунѣ.

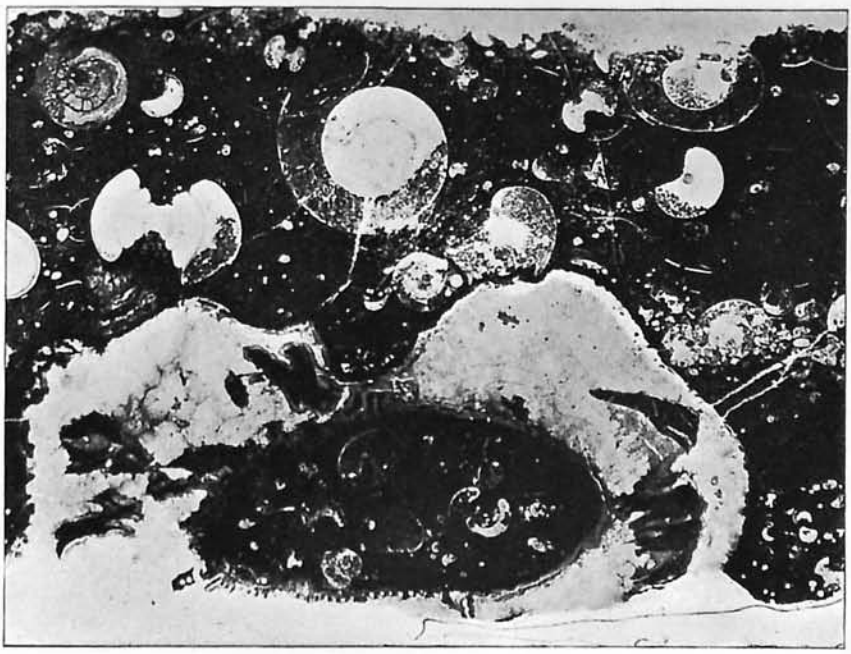
Стоя на точкѣ зрѣнія аллохтонной теоріи, необходимо до-

[1]) E. Suess, Ibid стр. 406.



Негат. Г. Раго.

Раковинки гоніатитовъ (*Gastrioceras*)
въ слоѣ углистаго ила.
Іоркширскія углистыя конкреціи „Coal Balls“ (нат. велич.).



Негат. Г. Раго.

Разрѣзы гоніатитовъ (*Gastrioceras*) и древеснаго ствола
въ углистомъ илу.
Іоркширскія „Coal Balls“ ($^3/_4$ натуральной величины).

пустить наносъ плавающихъ растеній и въ море, и можно, слѣдовательно, допустить, что образованіе каменнаго угля можетъ происходить на днѣ относительно глубокихъ морскихъ впадинъ. Кромѣ того, на днѣ современныхъ морей существуетъ немало скопленій разлагающихся растительныхъ элементовъ, при чемъ они иногда находятся на значительномъ разстояніи отъ берега. Экспедиція [1]) Блека въ Антильское море обнаружила съ помощью драги на глубинѣ 1800 м. скопленіе листьевъ сахарнаго тростника и плодовъ въ разныхъ стадіяхъ разложенія.

Необходимо, слѣдовательно, допустить, что угольное броженіе можетъ происходить какъ въ прѣсной, такъ и въ соленой водѣ и, повидимому, единственнымъ необходимымъ для этого условіемъ будетъ отсутствіе глубокаго теченія несущаго кислородъ въ количествѣ нужномъ для полнаго разложенія. Это условіе какъ разъ осуществляется во внутреннихъ моряхъ отдѣленныхъ отъ океана барьеромъ. Такимъ образомъ, процессъ, дающій начало каменному углю, относится къ разряду явленій преобразованія отложеній микроорганизмами; на этихъ же явленіяхъ мы останавливались и въ предшествующей главѣ.

Геологъ-стратиграфъ выноситъ изъ этого общаго очерка свѣдѣній объ ископаемыхъ углях убѣжденіе въ необходимости при изученіи залежей коменнаго угля выяснить происхожденіе его въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ; при этомъ онъ не долженъ ограничиваться какой-нибудь одной теоріей, а изучать въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ особенности залеганія и природу растительныхъ комплексовъ, и только это дастъ ему возможность разобраться въ теоріяхъ, изложенныхъ въ этой главѣ.

1.—C. W. v. Gümbel. Beiträge zur Kenntniss der Texturverhältnisse der Mineralkohlen. *Sitzungsber. d. k. bayer. Akad. d. Wiss.*, II Cl., 1883, I, стр. 113-216, таб. I-III.

2.—E. Ramann. Organogene Ablagerungen der Jetzzeit. *Neues Jahrb. f. Miner.*, Beil.-Bd. X, стр. 119-166, 1895.

3.—N. S. Shaler. General account of the freshwater morasses of the United States, with a description of the Dismal Swamp. district of Virginia and North-Carolina. *10th Ann. Rep. U. S. Geol. Surv.*, стр. 255-339, таб. VI-XIX, фиг. 2-38, 1890.

4.—C.-Eg. Bertrand et Bernard Renault. Premières remarques sur le Boghead d'Autun. *Ann. Soc. Géol. du Nord*, XX, стр. 213-259, 1892.

---

[1]) Al. Agassiz. Three Cruises of the Blake I, стр. 291.

5.—C. Eg. Bertrand. Conférences sur les charbons de terre. Les Bogheads à Algues. *Bull. Soc. Belge de Géol.*, VII, стр. 45-81, таб. IV, V, 1894.

6.—Id. Les charbons humiques et les charbons de purins. *Travaux et Mém. de l'Univers. de Lille*, VI, n° 21, 214 стр., 11 таб. 1902.

7.—B. Renault, Les Bactéries fossiles et leur œuvre géologique. *Revue générale des Sciences*, VII, стр. 804-813, 13 фиг. 15 oct. 1896.

8.—Id. Sur quelques microorganismes des combustibles fossiles. *Bull. de la Soc. de l'Industrie minérale*, 3e sér., XIII, 4e livr., 1899; XIV, 1re livr., 1900. 460 стр., 66 фиг., 30 таб. in-folio.

9.—C. Eg. Bertrand. Charbons gélosiques et charbons humiques. *Congr. géol. intern. C. R. de la VIIIe session*, стр. 458-497. Paris, 1901.

10.—Id. Ce que les coupes minces des charbons de terre nous ont appris sur leurs modes de formation. *Congr. intern. des Mines, de la Métallurgie, etc. Sect. de Géol. appl.*, стр. 349-390, 9 таб. Liège, 1905.

11.—C. Grand'Eury. Mémoire sur la formation de la houille. *Annales des Mines*, 196 стр., 4 таб. Janv.-avr. 1882.

12.—Id. Formation des couches de houille et du terrain houiller (Géogénie). *Mém. Soc. Géol. Fr.*, 3e sér., IV, 3, 196 стр., 10 таб. 1887.

13.—H. Potonié. Formation de la houille, 3e édit. In-8°, 53 стр. (texte français et allemand), 23 фиг. Berlin. 1905.

14.—G. Schmitz. Formation sur place de la houille. *Revue des Questions scientifiques*, 35 стр., 9 таб., 1906.

15.—L. Lemière. Sur la transformation des végétaux en combustibles fossiles. *Congr. géol. inter. C. R. de la VIIIe session*, стр. 502-520. Paris. 1901.

16.—H. Potonié. Ueber Autochthonie von Carbonkohlen-Flötzen und des Senftenberger Braunkohlen-Flötzes. *Jahrb. d. k. Preuss. geol Landesanst.*, XVI, стр. 1-31, таб. III, IV, 1896.

17.—C. Grand'Eury. Du bassin de la Loire, sur les tiges debout et souches enracinées, les forêts et sous-sols de végétation fossiles, et sur le mode et le mécanisme de formation des couches de houille de ce bassin. *Congr. géor. intern. C. R. de la VIIIe session.* стр. 521-538. Paris, 1901.

18.—Carl Ochsenius. Die Bildung von Kohlenflötzen. *Zeitschr. d. D. geol. Ges.*, XLII, стр. 84-98, 1892.

19.—L. Favol. Études sur le terrain houiller de Commentry. Lithologie et stratigraphie. *Bull. Soc. Ind. Minér.*, 2e sér., XV, 543 стр., 46 фиг., 25 таб., 1887.

20.—Id. Résumé de la théorie des deltas et histoire de la formation du bassin de Commentry. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3e sér., XVI, стр. 968-978, таб. XXII, 1890.

21.—A. de Lapparent. L'origine de la houille. *Revue des questions scientifiques*. Juillet 1892, 47 стр.

22.—Henri Douvillé. Les „coal balls" du Yorkshire. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 4e sér., V, стр. 154-156, таб. VI, 1905.

ГЛАВА XI.

Фаціи.

Опредѣленіе.—Континентальная среда.—Среда лагунъ.—Морская среда.—Заключеніе.

Опредѣленіе.—Первые стратиграфы конца XVIII вѣка во главѣ съ саксонцемъ Вернеромъ ограничивали свою задачу простымъ описаніемъ литологическихъ особенностей послѣдовательно лежащихъ слоевъ и общимъ изученіемъ географическаго распространенія ихъ выходовъ. Лишь въ самомъ началѣ XIX в. англичанинъ Вильямъ Смитъ (1) впервые указалъ на важное значеніе ископаемыхъ при распознаваніи слоевъ и пришелъ къ выводу, что каждому отложенію, которое онъ различилъ среди осадочныхъ напластованій Великобританіи, свойственны особые виды ископаемыхъ организмовъ. Въ то же время онъ показалъ, что большинство отложеній, для которыхъ онъ установилъ номенклатуру, ставшую классической [1]), имѣли совершенно одинаковыя литологическія и палеонтологическія особенности на всей территоріи Англіи.

И дѣйствительно, нѣкоторые слои тянутся на большія пространства, почти не измѣняя своего литологическаго и палеонтологическаго характера; такъ, напр., известняки нижней юры (лейаса), заключающіе *Gryphea arcuata* встрѣчаются почти повсемѣстно въ центральной Европѣ, сохраняя повсюду какъ свой литологическій характеръ, такъ и одинаковые комплексы видовъ ископаемыхъ. Зеленые песчаники гольта (нижняго мѣла) извѣстны отъ береговъ Каспійскаго моря и до Англіи и они же встрѣчаются въ Колумбіи и Перу, при чемъ вездѣ содержатъ одни и тѣ же ископаемыя. Известняки съ *Nummulites*

---

[1]) Данныя имъ названія большею частью установлены на основаніи чисто минералогическихъ признаковъ, напр, „Magnesian Limestone“ (магнезіальный известнякъ) „Great Oolite“ (большой оолитъ) и пр. Другія названія обусловлены мѣстонахожденіемъ слоевъ, напр. „Oxford clay“ (оксфордская глина), „London clay“ (лондонская глина) и др.

aturicus (*perforatus*) встрѣчаются на всемъ побережьѣ Средиземнаго моря и въ большей части Альпійской области. То же самое въ современныхъ моряхъ, нѣкоторые осадки покрываютъ громадныя площади морского дна, почти не измѣняя своего состава, какъ напр., глобигериновый илъ.

Но въ 1821 г. Александръ Броньяръ (2) заявилъ, что одинаковыя ископаемыя могутъ встрѣчаться въ формаціяхъ различнаго минералогическаго состава. Онъ указалъ на то, что черный известнякъ Физъ въ Савойѣ (табл. I), находящійся на высотѣ 2000 м., содержитъ въ себѣ тѣ же органическіе остатки, что и „хлоритовый мѣлъ“ окрестностей Руана, расположенный почти на уровнѣ моря. Отсюда Броньяръ сдѣлалъ выводъ о синхронизмѣ обѣихъ формацій.

Нѣсколько позже золотурскій геологъ Гресли (3, p. II) констатировалъ тѣ же явленія въ юрскихъ породахъ своей родины: „Я пришелъ къ заключенію, пишетъ онъ, что каждое отложеніе въ предѣлахъ своего горизонтальнаго протяженія обнаруживаетъ довольно опредѣленныя измѣненія; они представляютъ постоянныя особенности какъ въ своемъ петрографическомъ составѣ, такъ и въ палеонтологическихъ признакахъ комплекса ихъ ископаемыхъ, при чемъ эти измѣненія подчинены особымъ и постояннымъ законамъ“. Эти измѣненія Гресли называетъ *фаціями* или отличіями отложеній (facies ou aspects de terrain) и его опредѣленіе не устарѣло и до сихъ поръ, тѣмъ болѣе, что Оппель (4) Ваагенъ(5) Неймайръ (0,3). Мойсисовичъ (6) и другіе геологи пользуются этимъ терминомъ и они много содѣйствовали болѣе точному опредѣленію его содержанія. Мы здѣсь сохранимъ за нимъ его первоначальное значеніе.

Итакъ, подъ именемъ геологической фаціи мы понимаемъ *совокупность литологическихъ и палеонтологическихъ особенностей слоя въ опредѣленномъ мѣстѣ.*

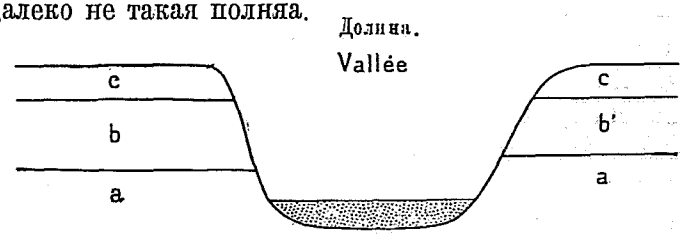
Говоря о происхожденіи отложеній мы часто употребляемъ терминъ „*формація*“, который имѣетъ болѣе широкое содержаніе и поэтому является менѣе точнымъ. Мы его употребляемъ для обозначенія категоріи отложеній, различающихся по своей фаціи, но образовавшихся при аналогичныхъ условіяхъ.

Синхроничныя отложенія, если они представляютъ одинаковыя фаціи называются *изопическими* (6); при различныхъ же фаціяхъ-*гетеропическими.*

Руководящими ископаемыми называются тѣ виды ископае-

мыхъ организмовъ, которые встрѣчаются во всѣхъ или почти во всѣхъ синхроничныхъ наслоеніяхъ независимо отъ ихъ фацій. Самыми цѣнными въ качествѣ руководящихъ ископаемыхъ принято считать, по примѣру Оппеля (4), аммонитовъ, и ими пользуются для того, чтобы подраздѣлять отложенія, въ которыхъ они встрѣчаются, на *палеонтологическія зоны* или *горизонты*, въ которыхъ находится одинъ опредѣленный видъ этихъ головоногихъ. Такимъ образомъ, мы можемъ говорить о зонѣ или горизонтѣ *Harpoceras opalinum* обозначая этимъ именемъ опредѣленный слой лейаса, характеризующійся присутствіемъ этого вида аммонитовъ, который можетъ встрѣчаться и въ мергеляхъ, и въ въ плотныхъ известнякахъ, и въ желѣзистыхъ оолитахъ.

При отсутствіи аммонитовъ можно пользоваться для установленія хронологіи слоевъ другими недолго существовавшими животными, имѣвшими широкое географическое распространеніе. Такъ, напр., для подраздѣленія силурійскихъ отложеній пользуются трилобитами и граптолитами: для нижнетретичныхъ отложеній пользуются нуммулитами, но ихъ независимость отъ фаціи далеко не такая полная.



Фиг. 33.—Одновременность двухъ слоевъ разныхъ факцій (b, b′) устнавливается двумя тождественными слоями, находящимися внизу (a, a) и вверху (c, c).

Другія ископаемыя присущи только опредѣленной фаціи и ее характеризуютъ, не давая возможности опредѣлять возрастъ слоевъ ихъ содержащихъ. Въ качествѣ примѣра можно привести *Pachycardium corallinum*, который встрѣчается независимо отъ возраста слоя въ предѣлахъ верхней юры въ слояхъ опредѣленной фаціи, именно, фаціи бѣлыхъ оолитовъ съ неринеями и *Diceras*, образовавшихся въ сосѣдствѣ коралловыхъ рифовъ.

Когда два синхроничные слоя, представляющіе разныя фаціи, не имѣютъ общихъ ископаемыхъ, то нельзя установить ихъ одновременность по руководящимъ ископаемымъ. Чтобы доказать, что два такихъ слоя (фиг. 33, b,b′) представляютъ двѣ одновременныя фаціи, необходимо констатировать переходъ одного слоя въ другой или если они прерваны между собой, то

установить это косвеннымъ образомъ; въ такомъ случаѣ надо обратить вниманіе на слоя (a,a) которые лежатъ ниже изучаемыхъ слоевъ; и потомъ на слои (c,c), которыми прикрытъ тотъ и другой слой, если и вышележащіе и ниже лежащіе слои окажутся въ томъ и другомъ случаѣ почти одинаковыми, то можно сказать что и опредѣляемые слои (b,b′) синхроничны. Пользуясь этимъ методомъ Эберъ доказалъ въ 1860 г. синхронизмъ Монмартрскаго гипса и травертина Шампиньи. Обѣ эти формаціи, одна изъ которыхъ находится на правомъ, а другая на лѣвомъ берегу Марны покоятся на мергелѣ, содержащемъ *Pholadomya lndensis* и въ свою очередь покрыты мергелями, извѣстными подъ именемъ надгипсовыхъ (marnes supragypseuses); такимъ образомъ эти двѣ формаціи отдѣленныя одна отъ другой Марной, являются фаціями одинаковаго геологическаго уровня, но одна лагуннаго, другая озернаго происхожденія. Съ помощью этого метода было также установлено, что нѣкоторыя фаціи занимаютъ въ различныхъ областяхъ неодинаковый стратиграфическій уровень. Такъ, напр., коралловыя формаціи верхней юры, имѣющія одинаковыя литологическія и палеонтологическія особенности, встрѣчаются на различномъ уровнѣ въ разныхъ мѣстностяхъ Франціи. Такія формаціи мы называемъ *эквивалентными* или, пользуясь выраженіемъ Гексли, *гомотаксными*, но онѣ не синхроничны.

Переходъ въ горизонтальномъ направленіи одной фаціи въ другую можетъ совершаться различно. Во взятомъ нами примѣрѣ гипса и травертина Шампиньи переходъ очень рѣзокъ, въ другихъ же случаяхъ переходъ часто совершается незамѣтно. Бываютъ, наконецъ, и такіе случаи, когда слои одной формаціи врѣзаются клиньями въ другую, такъ что двѣ фаціи, такъ сказать, сцѣпляются (фиг. 34, таб. IV.2).

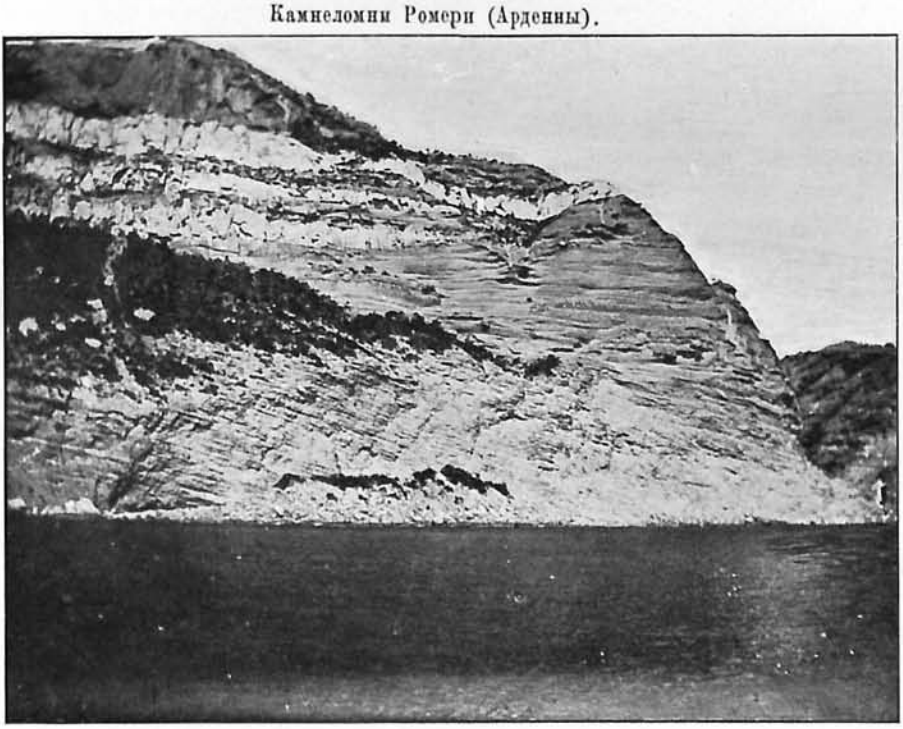
Смѣна фацій въ вертикальномъ направленіи всегда обозначаетъ, что въ данной мѣстности произошли болѣе или менѣе значительныя измѣненія самой среды, въ которой происходилъ процессъ отложенія, независимо отъ того, чѣмъ были вызваны эти перемѣны, измѣненіемъ ли глубины, степени солености, температуры и т. д. Для большинства отложеній очень характерны частыя чередованія слоевъ въ вертикальномъ направленіи (табл. IV, I); послѣдовательная смѣна различныхъ фацій и фаунъ является основаніемъ для подраздѣленія геологическихъ системъ на ярусы, подъярусы, серіи (assises) и пр.

При естественной группировкѣ фацій не слѣдуетъ основы-



Негат. Ш. Веленъ.

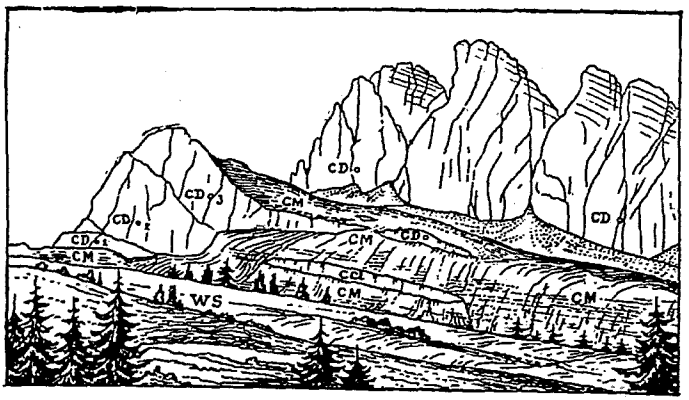
Правильная перемежаемость песчаниковъ и мергелей.
Нижній Лейасъ.
Камнеломни Ромери (Арденны).



Негат. Леона Бертрана.

Выклиниваніе известняковъ съ туронскими гиппуритами
въ діагонально слоистыхъ конгломератахъ того же возраста.
Бекъ де Легль близъ Ля Сіота (Устья Роны).

ваться *исключительно* ни на литологическихъ признакахъ породы, ни на условіяхъ существованія тѣхъ животныхъ, остатки которыхъ погребены въ слояхъ. Это вытекаетъ уже изъ самаго опредѣленія фаціи. Связь, существующая между физическими условіями среды и населяющими ее организмами, приводитъ насъ къ убѣжденію, что наилучшая классификація фацій должна основываться на природѣ той или иной біологической среды въ томъ смыслѣ, какъ это было нами указано въ предшествующихъ главахъ.



Фиг. 34.—Вклиниваніе рифоваго доломита въ мергелистые слои Сенъ Касьяна (средній тріасъ). Видъ на Сенъ Сассъ съ горы Монтанья ди Кастэлло, Южный Тироль (по Е. Мойсисовичу; фиг. заимствована изъ E. Suesse, *la Face de la Terre*).

WS. Венгенскіе слои; CM, мергеля Сенъ Касьяна; CCi, известнякъ Сипитъ; CDo, доломиты Сенъ Касьяна.

Континентальная среда.—На сушѣ нѣкоторые осадки образуются тогда дѣйствіемъ атмосферныхъ агентовъ безъ участія воды и, ихъ принято называть *субаэральными формаціями*. Сюда входятъ: *вулканическая фація*, которая не относится къ категоріи осадочныхъ формацій; *эоловая фація* (дюны, лёссъ), обнимающая отложенія образованныя при посредствѣ вѣтра; *фація осыпей*, *ледниковая фація*, *фація элювіальная*, къ которой относятся нѣкоторые наносы, каковы: суглинокъ плоскогорій и латеритъ, обязанные своимъ происхожденіемъ поверхностному разложенію горныхъ породъ и работѣ текучей воды.

Терминъ „*аллювіальныя формаціи*“ примѣняется къ фаціямъ галечниковымъ, песчанымъ или илистымъ, которыя отлагаются водными потоками; въ этихъ отложеніяхъ такъ же, какъ и въ *озерныхъ*, мы находимъ остатки наземныхъ животныхъ

и растеній, совмѣстно съ остатками прѣсноводной фауны и флоры. Мѣстонахожденія третичныхъ млекопитающихъ по большей части пріурочены къ этимъ континентальнымъ формаціямъ.

Угольная фація (фація бураго и каменнаго угля) принадлежитъ то къ аллювіальнымъ формаціямъ, то къ озернымъ, то къ морскимъ. Наконецъ, *известковые* туфы и *травертины* образуютъ особую категорію химическихъ осадковъ, отложившихся то въ источникахъ, то въ водныхъ потокахъ, то въ озерахъ. Въ нихъ почти всегда встрѣчается много отпечатковъ листьевъ.

Среда лагунъ и устьевъ. Часто употребляемый терминъ „лагунныя формаціи“ не точно опредѣленъ; онъ обнимаетъ какъ *соляныя формаціи*, образующіяся въ результатѣ химическаго выпаденія кристалловъ солей изъ пересыщенныхъ растворовъ, такъ и *лагунно-озерныя формаціи* (какъ ихъ предложилъ называть Мюнье Шальмасъ), къ которымъ, напр., относятся обломочныя породы, каковы: песокъ, красные и зеленые мергеля, образующіеся въ лагунахъ болѣе или менѣе опрѣсненныхъ притокомъ прѣсной воды. Часто также трудно бываетъ отличить эти образованія отъ *формацій эстуаріевъ*, потому что какъ тамъ, такъ и тутъ преобладаютъ илистые и песчаные осадки, а представители фауны относятся къ видамъ, которые могутъ переносить большія колебанія въ степени солености среды.

На ряду съ этими эвригальными видами (espèces euryhalines) встрѣчаются и чисто морскіе и рѣчные виды, и особенно много такихъ, которые приспособлены къ солоноватой средѣ. Къ сожалѣнію, зависимость фауны отъ солености современныхъ лагунъ и эстуаріевъ еще плохо изучена, такъ что геологъ, изучающій отложенія съ солоноватоводной фауной, почти всегда долженъ основываться на собственныхъ изслѣдованіяхъ.

Формаціи дельтъ большею частью состоятъ изъ конгломератовъ и песчаниковъ, и въ нихъ часто можно найти остатки наземныхъ растеній и животныхъ.

Морская среда. На фаціяхъ морской среды въ собственномъ смыслѣ слова мы остановимся нѣсколько подробнѣе и разсмотримъ ихъ въ порядкѣ тѣхъ глубинныхъ поясовъ, которые мы намѣтили въ этой средѣ.

Неритовыя образованія. Можно было бы еще выдѣлить чисто *прибрежныя* формаціи, каковы: пески морскихъ побере-

жій (пляжей), валы галекъ, образующіеся у подножія скалъ, береговыя косы, отдѣляющія лагуны отъ моря. Но при практическомъ осуществленіи этого дѣленія встрѣчаются большія трудности при проведеніи строгаго отличія между этими формаціями и осадками, отлагавшимися нѣсколько глубже и болѣе далеко отъ берега. Особенно трудно было бы разграничить древнія формаціи, такъ какъ ихъ топографическая связь съ берегомъ намъ не извѣстна. Нѣтъ никакого палеонтологическаго критерія, съ помощью котораго мы могли бы отличить прибрежныя формаціи отъ неритовыхъ. Кромѣ того, прибрежныя отложенія древнихъ морей почти всегда были разрушаемы позднѣйшими эрозіонными процессами, такъ что распространеніе слоевъ какой-либо древней эпохи почти никогда не совпадаетъ съ прежними границами моря.

Въ современныхъ моряхъ фаціи неритовой области еще не вполнѣ изучены. Необходимо было бы предпринять систематическія изслѣдованія распредѣленія фацій этой области въ тропическихъ моряхъ, гдѣ до сихъ поръ были изучены лишь коралловыя формаціи.

Можно, однако, обобщая данныя наблюденій, сдѣланныхъ Прюво (VII, 2) въ Ла-Маншѣ и въ Ліонскомъ заливѣ, различить въ прибрежной области двѣ фаціи: *скалистую* и *песчаную*. Каменистое дно покрыто въ мелкихъ мѣстахъ водорослями изъ рода *Fucus*, глубже встрѣчаются цистозиры (водоросли), еще дальше ламинаріи. Песчаное дно состоитъ сначала изъ чистаго песка верхняго пляжа, далѣе, мы видимъ сады зостеръ или посидоній, или чистые пески нижняго плажа, наконецъ, глубже, гравій со мшанками.

Дно „прибрежной области“ (région côtière Прюво) состоитъ въ Ліонскомъ заливѣ изъ чистаго прибрежнаго ила, окаймленнаго песчанымъ иломъ, а ниже изъ песка, гравія и конкрецій континентальнаго плато; въ Ла-Маншѣ же изъ песка, гравія и галечника открытаго моря.

Само собой очевидно, что каменистое дно не можетъ быть представлено въ какой-нибудь древней осадочной серіи какимъ-либо отложеніемъ, такъ какъ отличительной чертой этого вида дна является какъ разъ отсутствіе отложеній. Въ этомъ случаѣ приходится констатировать *пробѣлы вслѣдствіе отсутствія отложеній* соотвѣтствующее тому періоду, въ продолженіе котораго дно, сильно обмываемое теченіями, оставалось скалистымъ. На древнемъ скалистомъ днѣ можно нерѣдко ви-

дѣть углубленія, пробуравленныя фолладами, и затвердѣвшія пространства, называемыя англійскими геологами „hard grounds“. Иногда впадины въ этихъ пространствахъ выполнены остатками ископаемыхъ организмовъ, брюхоногихъ, плеченогихъ, морскихъ лилій. На какой глубинѣ находилось это древнее скалистое дно часто бываетъ трудно сказать.

Въ верхней зонѣ неритовой области преобладаютъ песчаныя отложенія, а въ нижней илистыя.

Очень разнообразныя фаціи неритовой области лучше всего расположить по способу образованія осадковъ.

Формаціи чисто химическаго происхожденія рѣдки, и среди нихъ мы можемъ лишь указать на *желѣзистые* и нѣкоторые *известковые* оолиты.

Обломочныя породы минеральнаго состава слагаются преимущественно изъ грубаго матеріала, т. е. изъ *конгломератовъ* и песчниковъ, но, конечно, встрѣчаются также мергеля и глины. Въ качествѣ примѣра *песчаныхъ неритовыхъ формацій* можно привести слѣдующія: песчаники съ механическими отпечатками; глауконитовые или зеленые песчаники; песчаники съ пластинчатожаберными (*Cardinia*, *Trigonia*), съ плеченогими (*Spirifer*); ракушники, заключающіе въ себѣ устрицы и *Pectinidae*. Изъ *мергелистыхъ формацій* назовемъ здѣсь мергеля съ устрицами, мергеля съ гиппуритами, мергеля съ мелкими брюхоногими[1]) (Сенъ-Касіанскіе тріасовые слои въ Альпахъ, слои съ *Turbo subduplicatus* въ верхнемъ лейасѣ западной Европы) и др.

Среди органогенныхъ формацій неритовой области мы различаемъ *известковыя сооруженія* (*calcaires construits*) и *наносныя фаціи* животнаго или растительнаго происхожденія. Известковыя сооруженія представляютъ собою или рифовыя формаціи, воздвигнутыя прикрѣпленными организмами, образующими колоніи и выдѣляющими много извести (шестилучевые кораллы, гидроиды, мшанки, *Lithothamnium*, или скопленія остатковъ бентальныхъ прикрѣпленныхъ животныхъ, каковы: морскія лиліи (криноидный известнякъ), мшанки (мшанковые гравіи), сифониковыя водоросли (диплопоровые известняки) и, наконецъ, скопленія скелетовъ свободноживущихъ бентальныхъ организмовъ, каковы: фораминиферы (известняки фузулиновые,

[1]) Эта фація, вѣроятно, стояла въ связи съ обильной растительностью: по даннымъ Фукса мы можемъ теперь наблюдать ея образованіе въ этихъ условіяхъ въ Мессинской бухтѣ.

альвеолиновые, миліоловые, нуммулитовые), плеченогіе, пластинчатожаберные (грифеевые известняки) и пр. Всѣ эти фаціи соотвѣтствуютъ мѣстамъ дна, безпрерывно омываемымъ волнами или морскими теченіями, такъ что обломочные элементы минеральнаго происхожденія не могутъ примѣшиваться къ извести, выдѣляемой организмами. Часто теченія бываютъ настолько сильны, что уносятъ далеко отъ мѣста ихъ происхожденія истертые скелеты организмовъ и образуютъ этимъ путемъ коралловыя брекчіи, раковинные мраморы [1]), известковый песокъ; эти фаціи часто соединяются съ известковыми оолитами и способствуютъ развитію иглокожихъ (*Apiocrinus*, *Pygurus*, *Clypeaster*), пластинчатожаберныхъ (*Megalodus*, *Pachycardium*, *Diceras*, *рудистовые*), брюхоногихъ съ очень толстой раковиной (неринеи).

Скопленія костей и зубовъ рыбъ, извѣстныя подъ именемъ *костяныхъ брекчій* (*bonebeds*) и нѣкоторые осадки фосфорнокислой извести, ясно выраженнаго животнаго происхожденія, слѣдуетъ такъ же разсматривать, какъ неритовыя отложенія.

Въ неритовой зонѣ наблюдается волнообразная поверхность дна, такъ называемые волноприбойные знаки „ripple-marks“ [2]), которые въ геологическихъ формаціяхъ встрѣчаются на поверхности слоевъ песчаника. Различаются два вида ripple-marks: одни представляютъ два симметричныхъ склона и обязаны своимъ происхожденіемъ волнообразному движенію воды; другіе, имѣющіе неодинаково наклоненные склоны, напоминаютъ дюны въ миніатюрѣ и обязаны своимъ происхожденіемъ теченію, которое постоянно идетъ по дну въ одномъ и томъ же направленіи. Ripple-marks первой категоріи могутъ образоваться только въ морѣ или въ озерахъ на глубинѣ не свыше 200 м. Ripple-marks второй категоріи могутъ быть морского, озернаго, рѣчного и даже эоловаго происхожденія. Весьма вѣроятно, что они могутъ образоваться и на глубинахъ свыше 200 м.

Батіальныя формаціи. Илистыя отложенія являются наиболѣе распространенными въ батіальной зонѣ, въ которой преимущественно скопляется терригенный и, въ частности,

---

[1]) Ракушники (faluns) и раковинные мраморы состоятъ почти сплошь изъ скопленія мелко раздробленныхъ раковинъ. Іог. Вальтеръ предполагаетъ, что работу ихъ истиранія производятъ десятиногіе раки при помощи своихъ клешней.

[2]) Ernst Bertololy. Rippelmarken. Inaug. Dissert. Phil Fac. Univers Giessens 1893 in—8, 108 стр., Frankenthal, 1894.

голубой илъ. Конечно, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ идутъ сильныя морскія теченія, дно постоянно омывается, и тамъ бентальные организмы представляютъ необыкновенное разнообразіе и богатство формъ, благодаря обильной пищѣ, доставляемой поверхностнымъ планктономъ.

Здѣсь фаціи не такъ разнообразны, такъ какъ въ неритовой области, но имѣютъ не меньшее значеніе. Мы здѣсь различаемъ мелкозернистый песчаникъ, глины, мергеля, известняки. Изъ батіальной глины образовалась большая часть сланцевъ, т. е. слоистыхъ породъ, наиболѣе распространенныхъ на поверхности земного шара. Силурійскій углистый сланецъ содержитъ въ себѣ остатки граптолитовъ, гидроидныхъ, плактонная природа которыхъ больше не должна вызывать сомнѣній, съ тѣхъ поръ какъ были найдены ихъ пневматофоры (воздушные мѣшки). Въ самомъ же илѣ жили нѣкоторые виды трилобитовъ (сланецъ съ *Trinucleus*, сланецъ съ Calymene), посидономіи, (посидономіевые сланцы каменноугольные, тріасовые и юрскіе), Dentalium (денталіевая глина).

Аммониты, вопреки прежде высказаннымъ взглядамъ, никогда не принадлежали къ пелагическимъ организмамъ; они, навѣрное, жили на днѣ, гдѣ теперь мы находимъ ихъ раковины; аммониты батіальной области были животными стенотермными (*Phylloceras*, *Lytoceras*), а аммониты неритовой области эвритермными. Послѣ смерти животнаго пустая раковина могла часто носится по поверхности воды и могла выбрасываться волнами на берегъ [1]) какъ это теперь часто случается съ раковинами корабликовъ (Nautilus) и спируль (Spirula), такъ что въ прибрежныхъ отложеніяхъ могутъ встрѣчаться совмѣстно и батіальные и неритовые виды.

Одной изъ самыхъ распространенныхъ фацій, содержащихъ аммониты будутъ глины и мергеля, съ колчедановыми аммонитами, въ этомъ случаѣ сама раковина исчезла и аммониты въ нихъ представлены внутренними слѣпками или ядрами изъ желѣзнаго колчедана, превращеннаго вблизи обнаженій слоя въ водную окись желѣза. Аммониты встрѣчаются также въ известковыхъ конкреціяхъ, лежащихъ въ мергеляхъ, въ слояхъ красныхъ узловатыхъ известняковъ или въ плотныхъ сѣрыхъ известнякахъ, которые въ сущности ничто иное, какъ спресованный коралловый илъ.

---

[1]) A. d'Orbigny. Cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie statigraphique. T. I стр. 87. Paris 1849.

Изъ третичныхъ отложеній самой характерной фаціей батіальной зоны будутъ септаріевыя глины съ *Yoldia* и *Dentalium* и мергеля содержащіе раковины Pleurotoma.

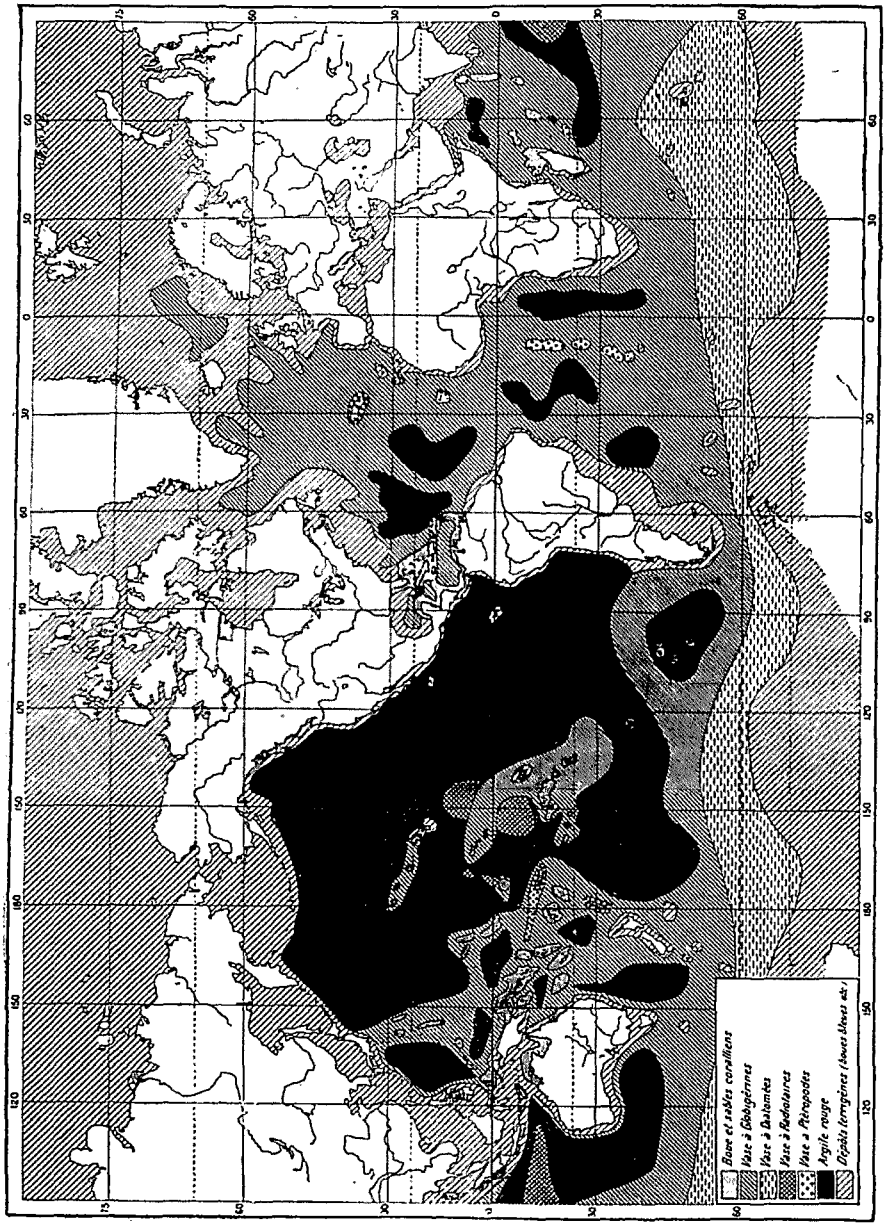
Изъ числа фацій неиловатыхъ слѣдуетъ упомянуть о губковомъ узловатомъ известнякѣ и о бѣломъ мѣлѣ, который является по преимуществу бентогенной формаціей, какъ это блестяще доказалъ Л. Кайё (VIII) [1]).

Многочисленные споры, которые вызываетъ вопросъ объ условіяхъ отложенія этихъ формацій, несомнѣнно вытекаютъ изъ разногласій ученыхъ о верхней границѣ глубокихъ морей. Если же мы допустимъ независимое существованіе батіальной зоны, то этимъ самымъ устранимъ всѣ недоразумѣнія.

Абиссальныя формаціи. (VIII,8). Въ океанахъ глинистыя формаціи континентальнаго происхожденія, такъ называемые *терригенные илы* встрѣчаются на извѣстномъ разстояніи отъ берега, при чемъ ихъ отдаленность зависитъ отъ широты и отъ топографіи берега (фиг. 35). Въ открытомъ морѣ на большихъ глубинахъ мы находимъ, лишь *пелагическія формаціи*, среди которыхъ большую роль играютъ скопленія известковыхъ и кремнистыхъ скелетовъ организмовъ, жившихъ на поверхности. Составъ этихъ планктогенныхъ осадковъ измѣняется съ глубиной и въ сильной степени зависитъ отъ географической широты мѣстонахожденія. На глубинѣ въ 700—5000 м. встрѣчаются преимущественно *глобигериновый* и *птероподовый илы*, содержащіе отъ 30 до 98% извести. Въ южныхъ моряхъ эти виды ила незамѣтно переходятъ въ *діатомовый илъ*, содержащій кремнезема отъ 20 до 90%. На днѣ же Тихаго и Индійскаго океановъ, гдѣ глубины превосходятъ 4000 м., такъ же какъ и въ нѣкоторыхъ частяхъ Атлантическаго океана, преобладаютъ отложенія почти совершенно лишенныя извести, это — *абиссальная красная* глина, которая переходитъ въ *радіоляріевый илъ*, если кремнеземъ составляетъ въ ней не меньше 20%. Намъ уже извѣстно, что желѣзистая глина, составляющая большую часть краснаго глубиннаго ила, представляетъ продуктъ измѣненія вулканическихъ выбросовъ и космической пыли. Часто также здѣсь встрѣчаются конкреціи марганцевой окиси, кристаллы цеолитовъ, совмѣстно съ зубами акулъ и тимпанными камерами китовъ. Процессъ отложенія красной глины совершается съ необычайной медленностью, но зато площадь покры-

[1]) См. также Ioh. Walther. (VI, 6, стр. 215).

тая ею громадна и занимаетъ по приблизительному подсчету четверть всей земной поверхности.



Фиг. 35.—Распространеніе осадковъ въ нынѣшнихъ океанахъ (по Дж. Меррею и А. Ф. Ренару). Штриховка: частая въ клѣтку—красная глина; рѣдкая въ клѣтку—радіоляріевый илъ; косая частая—глобигериновый илъ; косая рѣдкая—терригенные осадки; разбитыя линіи—діатомовый илъ; крестики—птероподовый илъ; точки — коралловый песокъ и илъ.

Среди осадочныхъ отложеній мы лишь въ видѣ исключенія находимъ фаціи, соотвѣтствующія тѣмъ, какія встрѣчаются въ современной абиссальной зонѣ. Правда, нѣкоторые ученые пытались провести параллель между глобигериновымъ иломъ и

бѣлымъ мѣломъ, между діатовымъ иломъ и сицилійскимъ неогеновымъ трепеломъ, между радіоларіевымъ иломъ и нѣкоторыми кремнистыми горными породами первичной и вторичной эры, между краснымъ абиссальнымъ иломъ и красной, такъ называемой, гарумнской глиной или мергелемъ юга Франціи [1]). Подобныя отожествленія являются совершенно неправильными, такъ какъ представители планктона могутъ встрѣчаться, независимо отъ глубины во всѣхъ морскихъ осадкахъ.

Но кромѣ того, фораминиферы, находимыя въ мѣлѣ не принадлежатъ къ планктону; онѣ, какъ мы видѣли выше, относятся къ бентальнымъ организмамъ, жившимъ на днѣ неглубокихъ морей. Что же касается красной гарумнской глины, то она, подобно тріасовымъ пестрымъ мергелямъ, является лагуннымъ образованіемъ. Впрочемъ, весьма вѣроятно, что нѣкоторыя глины, известняки фтаниты, особенно богатые глоберинами или радіоляріями, образовались при условіяхъ, напоминающихъ условія образованія глобигериноваго и радіоларіеваго ила въ современныхъ моряхъ.

Такъ какъ лишь въ исключительныхъ случаяхъ мы можемъ отождествить геологическія формаціи съ современными отложеніями абиссальной области, мы должны придти къ заключенію, что большая часть осадковъ, отлагавшихся въ океанахъ прежнихъ геологическихъ періодовъ, доступна нашему изслѣдованію лишь въ рѣдкихъ случаяхъ.

Заключеніе. — Въ виду того, что съ одной стороны геологическія отложенія прибрежной зоны сохранились лишь въ рѣдкихъ случаяхъ или они сливаются съ неритовыми отложеніями и что съ другой стороны намъ очень мало извѣстны абиссальныя отложенія, образовавшіяся въ геологическіе періоды предшествовавшіе нашему, намъ придется при изученіи исторіи древнихъ морей ограничиться лишь отложеніями относящимися къ неритовой области и къ батіальной области. Съ этимъ связано то обстоятельство, что древнія моря, отложенія которыхъ мы можемъ изучать въ настоящее время, во многихъ отношеніяхъ больше напоминаютъ внутреннія моря, какъ Каранбское или Черное, чѣмъ большіе океаны.

Въ этихъ внутреннихъ моряхъ, въ противоположность океаническому порядку вещей, глинистыя терригенныя отложенія распространяются до самыхъ большихъ глубинъ. Повидимому,

---

1) E. Renevier (9, p. 551).

то же самое наблюдалось и въ древнихъ моряхъ. Правда, у насъ нѣтъ данныхъ, чтобы утверждать, что какой-нибудь илистый осадокъ отлагался на глубинѣ свыше 1000 м., т. к. отрицательный признакъ — отсутствіе характерныхъ для батіальной области организмовъ можетъ быть объясненъ и другими причинами, напримѣръ, разрушеніемъ органическихъ остатковъ.

1.—William Smith. Strata identified by organized fossils containing prints of the most characteristic specimens in each stratum. 4 fasc. London, 1813-1815.

2.—Alexandre Brongniart. Sur les caractères zoologiques des formations, avec l'application de ces caractères à la détermination de quelques terrains de Craie. *Annales des Mines*, VI, стр. 537-572, таб. VII, VIII, 1821.

3.—A. Gressly. Observations géologiques sur le Jura Soleurois. *Nouv. Mèm. de la Soc. Helv. des Sc. nat.*, II, 241 стр., 12 таб. Neuchâtel, 1838.

4. A.—Oppel. Die Juraformation Englands, Frankreichs und des Südwestlichen Deutschlands, nach ihren einzelnen Gliedern eingetheilt und verglichen. 1 vol. in-8, 858 стр., 1 карта. Stuttgart, 1856-58.

5.—W. Waagen. Der Jura in Franken, Schwaben und der Schweiz. 1 vol. in-8°, 234 стр. München, 1864.

6.—Edm. von Mojsisovics von Mojsvar. Die Dolomit-Riffe von Südtirol und Venetien. 1 vol. in-8°, 552 стр., 30 таб., 110 фиг., 1 карта. Vien, 1879.

7.—E. Hébert. Note sur le travertin de Champigny et sur les couches entre lesquelles il est compris. *Bull. Soc. Géol Fr.*, 2e sér., XVII, стр. 800-812, 1860.

8.—Theodor Fuchs. Welche Ablagerungen haben wir als Tiefseebildungen zu betrachten? *N. Jahrb. f. Miner.*, Beil.-Bd. II, стр. 487-584, 1883.

9.—E. Renevier. Les faciès géologiques. *Arch. des Sc. phys. et nat.*, 3e pér., XII, стр. 297-334, 1884, см. также VI. 6; XII, 12.

А. Д. Архангельскій. Верхнемѣловыя отложенія востока Европейской Россіи. Матер. для Геологіи Россіи т. XXV. 1912.

ГЛАВА XII.

Геосинклинали и континентальныя площади.

Неритовыя и батіальныя серіи. Понятіе о геосинклиналяхъ. Расположеніе горныхъ цѣпей на мѣстахъ геосинклиналей. Отношеніе геосинклинальной оси къ направленію позднѣйшихъ складокъ. Расположеніе геосинклиналей по отношенію къ континентальнымъ массамъ. Древнія континентальныя площади.

Неритовыя и батіальныя серіи. Хотя разграниченіе неритовыхъ формацій отъ батіальныхъ не является абсолютнымъ, тѣмъ не менѣе ихъ географическое распространеніе очень знаменательно и наблюдается поразительное различіе въ геологическихъ условіяхъ ихъ распредѣленія.

Неритовыя формаціи отличаются незначительной мощностью слоевъ, отложившихся въ опредѣленный періодъ. Въ нихъ наблюдается очень частая и въ большинствѣ случаевъ очень рѣзкая смѣна фацій въ вертикальномъ направленіи. Серіи осадочныхъ напластованій рѣдко бываютъ полными, въ нихъ замѣчаются перерывы, указывающіе на временное удаленіе изъ этихъ мѣстъ моря. Иногда же эти морскіе неритовые осадки чередуются съ лагунными или континентальными формаціями.

Батіальныя формаціи, напротивъ, достигаютъ большею частью громадной мощности; измѣненія фацій въ вертикальномъ направленіи здѣсь встрѣчаются рѣдко, а если и встрѣчаются, то переходъ совершается съ большой постепенностью, такъ что точное разграниченіе геологическихъ горизонтовъ бываетъ затруднительно. Серіи отложеній представлены здѣсь полно, не наблюдается ни перерывовъ, ни вклиниванія лагунныхъ и континентальныхъ формацій.

Оба типа формацій имѣютъ свои опредѣленныя площади распространенія, отличающіяся геологическими особенностями. Неритовыя формаціи находятся преимущественно въ мѣстностяхъ сравнительно слабо дислоцированныхъ, обыкновенно слои сохраняютъ здѣсь свое первоначальное положеніе, а если и встрѣчаются волнообразные изгибы, то они очень пологи. Наоборотъ,

батіальныя формаціи сосредоточены по преимуществу въ областяхъ, подвергшихся сильнымъ дислокаціямъ, при чемъ слои сильно смяты и изогнуты въ складки [1]). Такъ, напр., лейасъ на краю центральнаго массива Франціи состоитъ изъ неособенно мощныхъ неритовыхъ отложеній, сохранившихся въ видѣ разрозненныхъ плоскихъ покрововъ; а въ западныхъ Альпахъ тотъ же лейасъ представленъ мощными плотными известняками и однородными сланцами, которые почти повсюду сильно смяты горообразовательными процессами.

Въ стратиграфической части этого труда у насъ еще неоднократно будетъ случай провѣрить правильность этого положенія.

Слѣдуетъ еще замѣтить, что неритовыя формаціи подверглись лишь поверхностнымъ измѣненіямъ, тогда какъ батіальныя формаціи (какъ это мы увидимъ), глубоко измѣнены метаморфизмомъ.

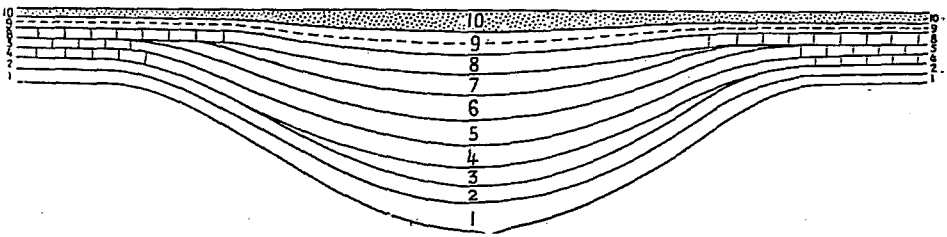
Конечно, всѣ эти различія въ геологическихъ особенностяхъ неритовыхъ и батіальныхъ формацій не являются абсолютными, а, наоборотъ, имѣютъ много исключеній. Тѣмъ не менѣе эта закономѣрность приложима къ большинству случаевъ.

Понятіе о геосинклиналяхъ. Вопросъ, какимъ образомъ можно объяснить наблюдаемую иногда громадную мощность отложеній, образовавшихся въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ въ теченіе сравнительно непродолжительныхъ геологическихъ періодовъ, много разъ останавливалъ на себѣ вниманіе ученыхъ. Мощность слоевъ выражается иногда многими тысячами метровъ и само собой понятно, что даже очень глубокій бассейнъ былъ бы заполненъ въ непродолжительное время, если бы подобныя толщи отлагались на его днѣ. Сначала, въ виду глубины бассейна, должны были бы отлагаться батіальныя формаціи, затѣмъ, по прошествіи нѣкотораго времени, характеръ отложеній долженъ былъ бы измѣниться вслѣдствіе уменьшенія глубины бассейна отъ скопленія на днѣ его осадковъ, и батіальныя формаціи должны были бы смѣниться неритовыми и даже лагунными; и дѣйствительно, нѣкоторые морскіе бассейны имѣютъ подобную исторію. Но съ другой стороны, намъ извѣстны также бати-

[1]) Зюссъ (8, гл. VI) первый указалъ на сосредоточеніе непрерывныхъ осадочныхъ серій и образованій, названныхъ имъ „пелагическими“ въ сильно складчатыхъ областяхъ, и на частое нахожденіе слоевъ съ прѣсноводными ископаемыми внѣ зоны складчатаго строенія.

альныя отложенія въ нѣсколько тысячъ метровъ, сохраняющія однородность фацій. Это замѣчательное явленіе въ наслоеніяхъ можетъ быть истолковано только слѣдующимъ образомъ.

Если мы допустимъ, что дно бассейна по мѣрѣ накопленія отложеній прогибается, и что размѣръ опусканія по вертикальной линіи для какого-либо опредѣленнаго времени равняется мощности осадковъ отложившихся въ то же время, то само собой понятно, что глубина бассейна останется прежней. Если опусканіе дна бассейна идетъ быстрѣе процесса отложенія осадковъ, то въ результатѣ получится увеличеніе глубины бассейна; если, наоборотъ, опусканіе пойдетъ медленнѣе наслоенія, то глубина бассейна будетъ уменьшаться.



Фиг. 36.—Схема геосинклинали. Номера (1—10) указываютъ на непрерывность отложенія осадковъ въ осевой части геосинклинали и на перерывы въ ея краевыхъ частяхъ.

Джемсъ Холлъ въ 1859 г. (4) выяснилъ тѣ условія, при которыхъ происходитъ опусканіе. По его мнѣнію морское дно опускается по извѣстной линіи, которая становится осью удлиненной вогнутой (синклинальной) депрессіи, вдоль которой опусканіе достигаетъ своего максимума. Эта линія наибольшей депрессіи является въ то же время и линіей наибольшаго накопленія осадковъ, такъ что повсюду мощность отложеній соотвѣтствуетъ степени опусканія.

Подобная синклинальная депрессія, т. е. вогнутая складка земной коры, была въ 1873 г. названа Джемсомъ Д. Дена (6) *геосинклиналью* (фиг. 36). Кромѣ того, Дена съ большимъ основаніемъ объяснилъ образованіе геосинклиналей боковымъ давленіемъ, а не тяжестью отложеній, какъ Джемсъ Холлъ.

Въ противоположность геосинклиналямъ, выпуклый изгибъ земной коры Дена называетъ *геантиклиналью*. Мы увидимъ, ниже, что геосинклиналь и геантиклиналь не всегда представляютъ простую складку, что, наоборотъ, каждая изъ нихъ можетъ состоять изъ неопредѣленнаго числа антиклиналей и синклиналей, вся совокупность которыхъ представляетъ или синклинальный или антиклинальный выгибъ.

Конечно, образованіе геосинклинали мы не можемъ наблюдать непосредственно, но мы логически приходимъ къ заключенію о необходимости ея существованія, каждый разъ какъ имѣемъ дѣло съ удлиненной полосой земной поверхности, гдѣ отложенія, принадлежащія опредѣленному геологическому періоду достигаютъ большой мощности, тогда какъ въ сосѣднихъ областяхъ мощность слоевъ значительно меньше. Большею частью слои геосинклинали относятся къ батіальнымъ формаціямъ, а по краямъ ея идутъ неритовыя образованія; это наблюденіе, впрочемъ, не имѣетъ абсолютнаго значенія, такъ какъ иногда и слои геосинклинали относятся къ неритовымъ формаціямъ.

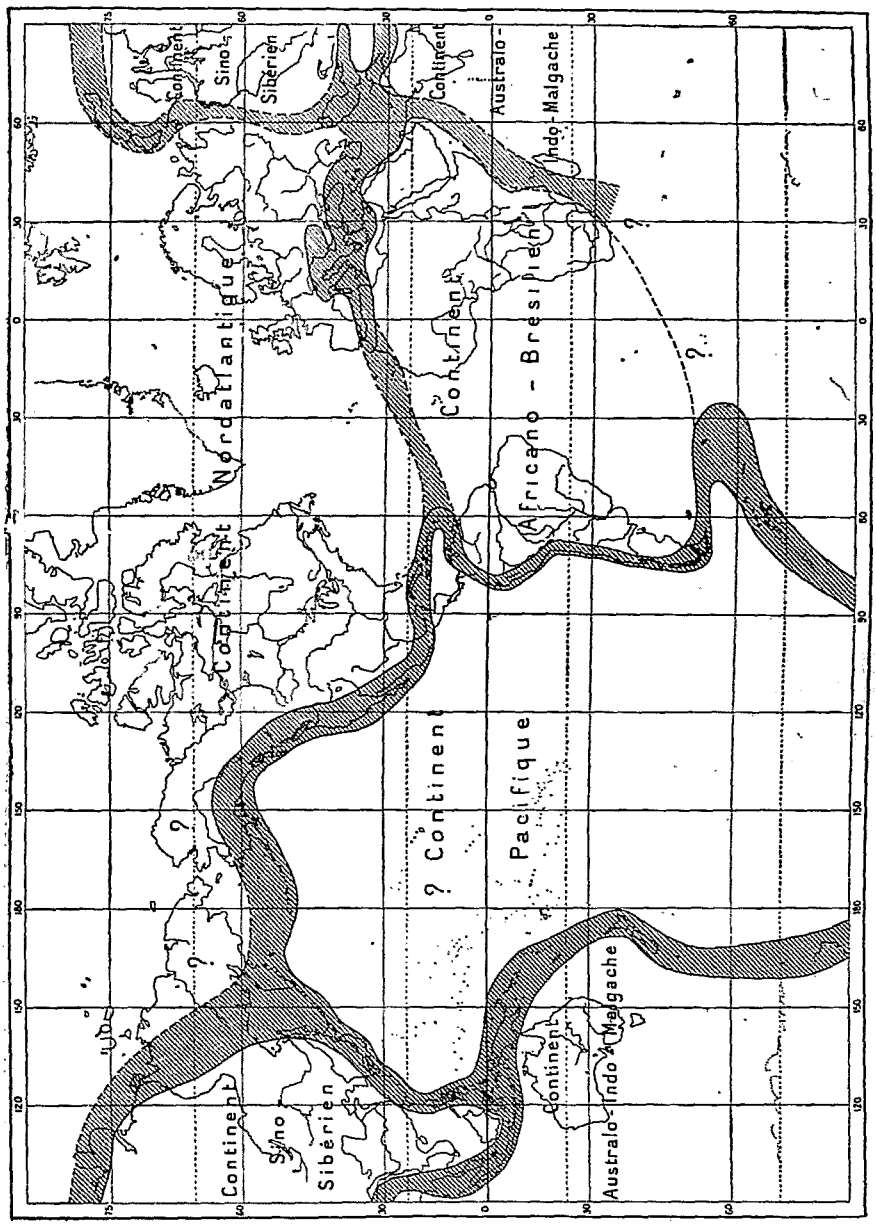
Расположеніе горныхъ цѣпей на мѣстахъ геосинклиналей. Джемсу Холлу наука обязана еще другимъ наблюденіемъ, которое, можно сказать, стало базой современныхъ орогеническихъ теорій. Основываясь на наблюденіяхъ надъ Американскимъ континентомъ, онъ констатировалъ, что мѣстонахожденіе складчатыхъ областей совпадаетъ съ тѣми полосами, гдѣ отложенія достигаютъ наибольшей мощности. Теперь этотъ законъ формулируется слѣдующимъ образомъ: *горныя цѣпи образуются на мѣстахъ геосинклиналей.*

О причинахъ этого совпаденія мы еще будемъ говорить въ дальнѣйшемъ, сейчасъ же приведемъ нѣсколько примѣровъ для подтвержденія только что изложеннаго закона.

Классическимъ примѣромъ является Аппалачская горная цѣпь, въ складкахъ которой по вычисленіямъ американскихъ геологовъ мощность палеозойныхъ отложеній достигаетъ 40000 футовъ. Въ центральныхъ Гималаяхъ, по даннымъ Динера, послѣдовательно отложившіеся слои имѣютъ въ одномъ и томъ же мѣстѣ мощность отъ 900 до 14000 футовъ, при чемъ нигдѣ нѣтъ несогласнаго напластованія, которое указало бы на временный перерывъ въ отложеніи осадковъ. Во французскихъ Альпахъ наблюдаются три серіи илистыхъ отложеній, правда, отдѣленныя другъ отъ друга значительными перерывами, но достигающія мощности въ 1000 метр. каждая, и какъ разъ ихъ наибольшая мощность находится въ наиболѣе складчатой части горной цѣпи.

Самое замѣчательное подтвержденіе закона Джемса Холла представляетъ зона альпійскихъ складокъ. Подъ этой зоной мы разумѣемъ полосу земной поверхности, на которой обра-

зовались складки одновременно съ Альпами, т. е. въ концѣ третичной эры. Неймайръ[1]), основываясь главнымъ образомъ на трудахъ Зюсса, сдѣлалъ попытку изобразить на картѣ рас-



Фиг. 37.—Геосинклинали вторичной эры и древнія континентальныя площади.

пространеніе полосы альпійскихъ складокъ. Въ настоящее время данная имъ схема можетъ быть пополнена во многихъ пунктахъ (12), (фиг. 37).

[1]) Neumayr. Erdgeschichte, т. I, стр. 655.

Въ Европѣ Альпійскія складки сосредоточены вокругъ Средиземнаго моря.

Южные Альпы ниже долины р. По соединяются съ Аппенинскими горами, которыя черезъ Сицилію въ свою очередь соединяются съ высокимъ Атласомъ. Тельская вѣтвь Атласскихъ горъ продолжается въ Марокскій Рифъ, въ андалузскія Кордильеры и Балеарскіе острова, эти цѣпи описываютъ кольцо, вогнутое по направленію къ востоку. Сахарская вѣтвь Атласа около мыса Гиръ достигаетъ Атлантическаго океана.

Отъ восточныхъ Альпъ отходятъ двѣ главныя вѣтви. Сѣверная вѣтвь образуетъ Карпатскую дугу, которая соединяется съ Балканами такъ же какъ Марокскій Рифъ соединяется съ андалузскими Кордильерами. Южная вѣтвь образуетъ Динарскія горы.

Всѣ эти складчатыя полосы Южной Европы соотвѣтствуютъ извилистымъ геосинклиналямъ, въ которыхъ во время вторичной и въ началѣ третичной эры отлагались батіальные слои, которые часто называли *альпійскими фаціями*. Мощность отложеній, преобладаніе илистыхъ фацій съ головоногими, почти полное отсутствіе ископаемыхъ неритовой зоны, непрерывность отложеній—являются характерными особенностями альпійскихъ формацій юрскаго и мѣлового періодовъ. За предѣлами же альпійской складчатой полосы преобладаютъ неритовыя формаціи, наблюдаются перерывы въ серіи отложеній и нерѣдки лагунныя прослойки, при чемъ вторичные и третичные слои сохранили свое первоначальное положеніе или подверглись лишь слабымъ волнообразнымъ изгибамъ.

Это соотвѣтствіе складчатыхъ областей и геосинклиналей встрѣчается также и за предѣлами Европы.

Горныя цѣпи западной Азіи являются непосредственнымъ продолженіемъ горъ южной Европы. Крымскія и Кавказскія горы соединяютъ Балканы съ Копетъ-Дагомъ и съ Паропамизомъ. Кригъ и о. Родосъ связываютъ Динарскую дугу съ Таврскими. За этими послѣдними слѣдуютъ Иранская дуга, Гималаи, Малайская дуга, рядъ фестоновъ съ вогнутостями, обращенными къ сѣверу.

Во всей этой горной полосѣ фаціи смятыхъ въ складки вторичныхъ и третичныхъ слоевъ аналогичны фаціямъ Альпійской области. Особенности тріасовыхъ альпійскихъ отложеній повторяются также въ Малой Азіи, на Памирѣ, въ Гималаяхъ, на Суматрѣ и на островѣ Ротти около Тимора.

Въ Малайскомъ архипелагѣ полоса складчатыхъ горъ раздвояется. Одна изъ вѣтвей направляется къ сѣверу захватываетъ Целебесъ, Филиппинскіе острова, Формозу, расположенный въ формѣ гирлянды Японскій Архипелагъ, Курильскіе и Алеутскіе острова; въ Америкѣ она тянется вдоль Тихоокеанскаго побережья отъ Аляски и до мыса Горнъ, исключеніе представляетъ только Центральная Америка, гдѣ эта полоса покидаетъ на время Тихоокеанскій берегъ и образуетъ концентрическія дуги Антильскихъ острововъ съ вогнутостью обращенною къ западу. Другая вѣтвь идетъ отъ Новой Гвинеи въ Новую Зеландію, проходя черезъ Новую Каледонію и давая многочисленныя отвѣтвленія къ сѣверу.

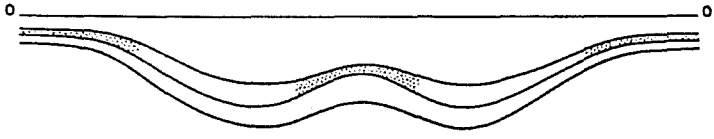
Если мы примемъ во вниманіе расположеніе изобатъ и распредѣленіе вулкановъ вокругъ Тихаго океана (о чемъ подробно еще будемъ говорить), то мы можемъ пополнить схему Неймайра, какъ это и изображено на фиг. 37, и замкнуть по крайней мѣрѣ гипотетически кольцо складчатыхъ горъ, окружающихъ Тихій океанъ, соединяя Новую Зеландію съ Патагоніей черезъ Антарктическія земли (12, p. 634).

Итакъ, полоса альпійскихъ складчатыхъ отложеній, повидимому, описываетъ полный кругъ вокругъ Тихаго океана, при чемъ во всей этой громадной окружности преобладаютъ „альпійскія“ формаціи. Какъ мы увидимъ въ дальнѣйшемъ, тріасовыя породы Японіи, Скалистыхъ горъ, Андъ, Новой Зеландіи, Новой Каледоніи имѣютъ много сходства съ восточноальпійскими. Точно также и лейасъ и верхняя юра, и сенонъ обнаруживаютъ въ странахъ вокругъ Тихаго океана тѣ же фаціи и даютъ намъ этимъ основаніе предполагать существованіе обширной геосинклинали, описывавшей, вѣроятно, замкнутое кольцо вокругъ нынѣшняго океана.

Чтобы дополнить эту схему геосинклиналей вторичной эпохи и складокъ третичной, мы должны еще прибавить, что, вѣроятно, полоса складокъ перерѣзывала Атлантическій океанъ, соединяя Антильскія острова съ Атласомъ. Зюссъ очень основательно настаивалъ на стратиграфическомъ сходствѣ Антильскихъ острововъ съ областями, примыкающими къ Средиземному морю. Онъ указалъ также, что Антильская дуга и дуга, образующая западныя побережья Средиземнаго моря, стоятъ какъ разъ одна противъ другой, на противоположныхъ берегахъ Атлантическаго океана. Весьма вѣроятно, что эти дуги соединялись примыкавшей къ нимъ горной цѣпью, послѣдніе слѣды которой сохра-

нились въ видѣ Большого Марокскаго Атласа и архипелага Канарскихъ острововъ.

Отношеніе геосинклинальной оси къ направленію позднѣйшихъ складокъ. Установивъ путемъ изученія фацій мѣстонахожденіе геосинклинали въ складчатой области, можно часто констатировать, что направленіе складокъ то же, что и направленіе самой геосинклинали или вѣрнѣе ея оси, т. е. линіи, соединяющей точки наибольшей мощности слоевъ. Кромѣ того, границы фацій одного и того же напластованія идутъ болѣе или менѣе параллельно къ общему направленію кряжей, такъ что фація опредѣленнаго напластованія остается неизмѣнной на всемъ протяженіи одной и той же складки, тогда какъ при переходѣ отъ одной складки или группы складокъ къ сосѣдней складкѣ (или группѣ складокъ) наблю-



Фиг. 38.—Схема удвоенной геосинклинали со средней геантиклиналью.

даются часто рѣзкія измѣненія фацій. Мы формулируемъ это наблюденіе, говоря, что *тектоническія зоны* болѣе или менѣе совпадаютъ съ *зонами отложеній*. Постараемся теперь уяснить себѣ причины этихъ совпаденій. Часто онѣ обусловливаются различіями въ пластичности и мощности слоя, связанными со смѣной фацій; если принять во вниманіе то, что намъ извѣстно объ условіяхъ морской среды, какія имѣются въ предѣлахъ геосинклинали, то намъ станетъ понятно почему измѣненія мощности и фацій отложенія происходятъ полосами параллельными краю геосинклинали и ея оси симметріи. Съ другой стороны, геологическая исторія нѣкоторыхъ горныхъ областей показываетъ намъ, что образованію складокъ часто предшествуетъ образованіе *средней геантиклинали* по оси первоначальной геосинклинали, которая раздѣляется на двѣ второстепенныя геосинклинали, и каждая изъ нихъ отмѣчается батіальными формаціями, тогда какъ средняя геантиклиналь представляетъ узкую полосу съ неритовой фаціей (фиг. 38).

Такъ, напр., въ западныхъ Альпахъ двѣ широкія полосы илистой фаціи лейаса раздѣлены узкой полосой „Бріансонской зоной“, въ которой преобладаютъ коралловыя фаціи и брекчіи.

Весь Атлантическій океанъ можно также считать за громадную геосинклиналь въ періодъ ея раздвоенія, при чемъ осевая возвышенность этого океана (см. выше стр. 32) соотвѣствуетъ средней геантиклинали.

Но бываетъ и такъ, что направленіе складокъ не вполнѣ соотвѣтствуетъ направленію первоначальной геосинклинали. Въ этомъ случаѣ линіи, разграничивающія фаціи другъ отъ друга, вкось прорѣзываютъ направленіе складокъ.

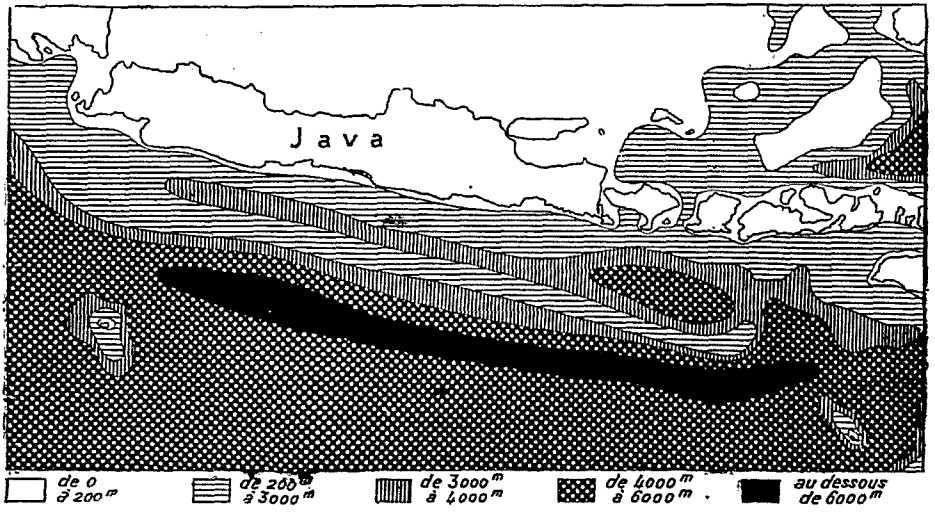
Хотя нѣкоторыя области были геосинклиналями почти на всемъ протяженіи геологическихъ временъ, тѣмъ не менѣе у насъ, при дальнѣйшемъ изложеніи этого курса, не разъ будетъ возникать вопросъ, суживаются ли только оси геосинклинали, при чемъ оси ихъ сохраняютъ свое расположеніе на земномъ шарѣ, или оси перемѣщались въ теченіе геологическихъ періодовъ.

Такъ, напр., четкообразно расположенныя впадины, наблюдаемыя во внутреннихъ моряхъ вдоль альпійскихъ складокъ, начиная отъ запада Средиземнаго моря и до Малайскаго архипелага, а также у Антильской дуги и внутри гирляндообразныхъ складокъ восточной Азіи (см. фиг. 5), можно было бы считать за послѣдніе слѣды древней геосинклинали, бывшей нѣкогда значительно шире.

Было высказано также предположеніе, что перемѣщеніе оси всегда происходило въ опредѣленномъ направленіи, такъ что въ каждый періодъ геосинклиналь или другими словами глубокое море было расположено непосредственно передъ горной цѣпью, образовавшейся въ теченіе предшествовавшаго періода. Пожалуй, периферическое расположеніе депрессій въ современныхъ океанахъ говоритъ въ пользу этой точки зрѣнія. Въ одной изъ предшествующихъ главъ мы уже указали, что абиссальныя впадины Тихаго океана расположены непосредственно у горныхъ цѣпей, возвышающихся на краяхъ континентовъ. Горы, окружающія Тихій океанъ, относятся къ концу третичной эры, а впадины можно считать геосинклиналями, отодвинувшимися къ краямъ горной цѣпи [1]). Ихъ оси всегда болѣе или менѣе параллельны направленію складчатыхъ горъ, окружающихъ Тихій океанъ. Точно также и на краю Индійскаго океана двѣ впадины (4,480 и 7000 м.) параллельныя Зондскимъ островамъ, недавно открытыя Зупаномъ (13), образуютъ къ югу отъ тре-

[1]) A. Supan. II, 3, стр. 181.

тичной горной цѣпи острова Явы геосинклинали раздѣленныя высокимъ кряжемъ (2000 м.), который является настоящей средней геантиклиналью, продолжающей внѣшнюю цѣпь Малайскаго архипелага (фиг. 39). Наконецъ, Персидскій заливъ образуетъ, повидимому, хотя и не такую глубокую геосинклиналь, расположенную непосредственно передъ складчатыми Иранскими горами.



Фиг. 39.—Зондская впадина, геосинклиналь удвоенная среднею геантиклиналью (по А. Зупану)

Расположеніе геосинклиналей по отношенію къ континентальнымъ массамъ. Американскіе ученые, первые выступившіе съ ученіемъ о геосинклиналяхъ, считали исходною точкой своихъ орогеническихъ теорій ту основную идею, что горныя цѣпи образуются по краямъ океановъ и что континенты увеличиваются путемъ присоединенія новыхъ цѣпей. По этой гипотезѣ геосинклинали образуются на границѣ континентовъ и океановъ, такъ что тамъ отлагаются исключительно прибрежные осадки; зона же опусканія, гдѣ происходитъ энергичный процессъ отложенія, отдѣляется отъ открытаго моря лишь небольшимъ валомъ.

Если бы мы ограничились наблюденіями надъ Тихимъ океаномъ и окружающими его странами, то эта гипотеза показалась бы намъ на первый взглядъ обоснованной, на самомъ же дѣлѣ она не соотвѣтствуетъ общему закону. Наоборотъ, геосинклинали не только не образуются по краямъ океановъ, а всегда почти расположены между двумя континентальными

массами; представляя по преимуществу подвижныя зоны между двумя относительно устойчивыми массами. Достаточно будетъ привести нѣсколько примѣровъ, чтобы убѣдиться въ правильности этого положенія.

Самыя громадныя горы земного шара—Гималаи соотвѣтствуютъ обширной геосинклинали, гдѣ отложенія достигаютъ громадной мощности. Ни палеозойныя, ни вторичныя отложенія не имѣютъ здѣсь прибрежнаго характера; никогда также эта область не находилась на краю большого океана; Гималайская геосинклиналь всегда имѣла своей южной границей устойчивую область — Индійскій полуостровъ, являющійся остаткомъ древняго гораздо болѣе обширнаго континента. То же самое и горы центральной Европы, взятыя въ цѣломъ, расположены (какъ мы это увидимъ въ дальнѣйшемъ) между болѣе древними горами сѣверной Европы и древнимъ Африканскимъ континентомъ. Такимъ образомъ, и въ Европѣ, и въ Азіи мы не видимъ въ дѣйствительности тѣхъ условій, которыя предполагаются теоріей американскихъ ученыхъ. Это подтверждается и детальнымъ изученіемъ горъ центральной Европы. Пиренеи какъ будто сдавлены между центральнымъ массивомъ Франціи и Испанской Мезетой; Атласъ также стиснутъ между Африканскимъ континентомъ и береговой кристаллической цѣпью, которая теперь частью уже опустилась подъ уровень Средиземнаго моря.

Въ самой Америкѣ Аппалачскія горы образовались на мѣстѣ геосинклинали, ограниченной съ юго востока и съ сѣверо-запада очень древними массивами Піедмонтскимъ плато и Альгонкскимъ массивомъ.

Африка отдѣлена отъ Мадагаскара — остатка древняго, нынѣ разбитаго на части, континента — Мозамбикскимъ проливомъ, который существовалъ со временъ юры и который можно считать за геосинклиналь.

Геосинклиналь, окружающая Тихій океанъ, не можетъ поэтому служить примѣромъ, подтверждающимъ общій законъ; она скорѣе является исключеніемъ, и причину, его вызвавшую, мы постараемся выяснить впослѣдствіи.

Древнія континентальныя площади. Внѣ зоны геосинклиналей съ ихъ батіальными формаціями громадной мощности существуютъ обширныя пространства, гдѣ преобладаютъ неритовыя и континентальныя формаціи, отличающіяся меньшей мощностью и часто встрѣчающимися перерывами въ серіи на-

слоеній. Въ то время какъ напластованія геосинклиналей являются сильно смятыми въ складки, другія напластованія сохраняютъ свое горизонтальное положеніе и обнаруживаютъ лишь незначительную волнистость. Эти обширныя области, расположенныя внѣ геосинклиналей, представляютъ *континентальныя площади* (12). Онѣ лишь временно покрывались моремъ или были затоплены моремъ лишь по краямъ, подобно нынѣшнимъ континентальнымъ массамъ, у которыхъ только краевыя части „континентальныя ступени“ покрыты водою до глубины не превышающей 200 м.

Границы древнихъ континентальныхъ площадей не совпадаютъ съ границами современныхъ континентовъ; этими границами являются геосинклинали, которыя отдѣляютъ другъ отъ друга континентальныя единицы. Основываясь на распредѣленіи геосинклиналей во вторичной эрѣ, на которомъ мы уже нѣсколько останавливались, можно теперь намѣтить для вторичной эры слѣдующія континентальныя площади.

1) Сѣверно-Атлантическій континентъ.
2) Южно-Атлантическій или Африко-Бразильскій континентъ.
3) Китае-Сибирскій континентъ.
4) Австрало-Индо-Мадагаскарскій континентъ.
5) Тихоокеанскій континентъ.

Существованіе послѣдняго континента является гипотетическимъ; отъ трехъ другихъ остались только отдѣльныя части и лишь Китае-Сибирскій континентъ вполнѣ уцѣлѣлъ и даже увеличился путемъ присоединенія третичныхъ горныхъ цѣпей и нѣкоторыхъ чуждыхъ элементовъ.

Конечно, *доказательства* въ пользу существованія этихъ пяти континентовъ могутъ быть даны лишь во второй части этой книги, посвященной геологическимъ періодамъ. Въ настоящій же моментъ мы ограничимся общей характеристикой этихъ континентальныхъ единицъ, чтобы точнѣе намѣтить элементы одной изъ большихъ проблемъ, которыя должна разрѣшить историческая геологія. Мы увидимъ въ дальнѣйшемъ, что пять континентальныхъ единицъ вторичной эры существовали въ еще болѣе отдаленную эпоху, правда, занимая нѣсколько меньшую площадь. Мы можемъ доказать, что по крайней мѣрѣ тѣ изъ нихъ, геологическая исторія которыхъ намъ извѣстна, хотя въ общихъ чертахъ, увеличивались постепенно путемъ послѣдовательнаго образованія по ихъ краямъ концентрическихъ горныхъ цѣпей. По прошествіи же вторичной эры началось ихъ распаденіе на отдѣльныя части.

Сѣверно-Атлантическій континентъ обнималъ древнія части Сѣверной Америки, т. е. современную сѣверную часть континента за исключеніемъ третичной складчатой области на западѣ, далѣе Гренландію, Шпицбергенъ и землю Франца Іосифа; еще далѣе сѣверную Европу, т. е. Великобританію, Финно-Скандинавскій массивъ и русскую равнину. Эти части суши должны были, хотя бы временно, составлять единую массу суши ограниченную на западѣ геосинклиналью сѣверо-американскихъ Кордильеръ; на югѣ въ Америкѣ геосинклиналью Антильскихъ острововъ, и на югѣ въ Европѣ Альпійской или Средиземной впадиной, вѣроятно соединавшейся черезъ Атлантическій океанъ съ Антильской. На сѣверѣ континентъ примыкалъ, вѣроятно, къ океану, находившемуся на мѣстѣ нынѣшняго Сѣвернаго Ледовитого океана. На востокѣ русской равнины въ палеозойную эру существовала геосинклиналь на мѣстѣ Урала. Складки этой горной цѣпи много древнѣе альпійскихъ складокъ, но расположенный здѣсь морской рукавъ въ продолженіе многихъ эпохъ вплоть до средины третичной эры отдѣлялъ Европу отъ Азіи.

Въ составъ *Африко-Бразильскаго континента* входила Южная Америка, кромѣ Андской области, Африка, кромѣ Атласа и Аравія. Эти оба современные континента образовали по крайней мѣрѣ до середины мѣлового періода единую массу суши. Границами ея были на западѣ геосинклиналь Андскихъ горъ, а на сѣверѣ Альпы; отъ Мадагаскара отдѣлялъ ее каналъ, соотвѣтствующій современному Мозамбикскому проливу; что же касается южной границы, о ней мы можемъ высказывать лишь гипотезы, основываясь на наличности морскихъ мѣловыхъ отложеній въ Капландіи.

Китае-Сибирскій континентъ образовался, (какъ это мы увидимъ въ дальнѣйшемъ) вслѣдствіе соединенія нѣсколькихъ древнихъ единицъ или ядеръ суши въ одну массу суши, въ которую лишь по краямъ врѣзывались моря вторичной и третичной эры. Сибирское ядро, расположенное къ сѣверу отъ Иркутска и „китайское“ ядро на сѣверѣ Китая относятся къ докембрійской эрѣ. Складчатыя области Лаоса и Камбоджи, а также южнаго Китая и Борнео относящіяся къ концу палеозойной эры, своимъ присоединеніемъ увеличили континентъ на югѣ-востокѣ. Геосинклинали, на мѣстѣ которыхъ появились впослѣдствіи альпійскія складчатыя полосы (Иранская дуга, Гималаи, Малайская дуга, Филиппины, Японія и др.), ограничиваютъ этотъ древній континентъ на югѣ и востокѣ.

Австрало-Индо-Мадагаскарскій континентъ занималъ очень большую площадь, и центръ его находился въ серединѣ нынѣшняго Индійскаго океана; Австралія, Индійскій полуостровъ и Мадагаскаръ являются теперь главнѣйшими частями, оставшимися отъ этого континента. Доказательства, приводимыя въ пользу прежняго соединенія этихъ трехъ континентовъ, имѣютъ преимущественно зоогеографическій характеръ, на что было уже указано въ одной изъ предшествовавшихъ главъ; при изученіи же пермской системы мы можемъ почерпнуть геологическіе и палеоботаническіе аргументы. Распаденіе этого континента относится, вѣроятно, къ очень отдаленной эпохѣ, но гранитные Сейшельскіе острова и Маскаренскіе острова, которые и теперь соединяются между собой подводнымъ кряжемъ, должны были еще въ сравнительно недавнее время сливаться съ Мадагаскаромъ.

Западную границу этого континента составляетъ Мозамбикскій проливъ, существующій, вѣроятно, сначала вторичной эры [1]). На сѣверѣ геосинклиналь, на мѣстѣ которой образовались Иранская дуга, Гималаи и Малайская дуга отдѣлала его отъ Китае-Сибирскаго континента, а на востокѣ онъ граничилъ съ геосинклиналью, идущую черезъ Новую Каледонію и Новую Зеландію. Совершенно невозможно опредѣлить какъ далеко простирался онъ на югъ и соединялся ли тамъ съ антарктическими землями Уилькинса и Эндерби

О существованіи же *Тихоокеанскаго континента* мы можемъ лишь высказывать гипотезы; правда, идущая вокругъ Тихаго океана геосинклиналь, въ которой условія отложенія соотвѣтствуютъ осадкамъ геосинклиналей Европы и Азіи, дѣлаетъ весьма вѣроятнымъ существованіе въ отдаленныя геологическія эпохи континентальной массы на мѣстѣ современнаго океана, Гексли и Бауръ пришли къ этой гипотезѣ, основываясь на зоогеографическихъ соображеніяхъ. Неймайръ смотрѣлъ на острова Полинезіи, какъ на остатки древняго континента, погрузившагося въ воду еще до юрскаго періода. Маркизскіе острова, состоящіе частью изъ гранита и гнейса, могутъ быть также отнесены къ этой категоріи, точно такъ же, какъ по мнѣнію Вихманна, и многіе другіе острова Тихаго океана, древній

[1]) Мозамбикскій проливъ въ силу своего географическаго положенія и своей древности можно приравнять къ геосинклинали, правда исключительной, такъ какъ на мѣстѣ ея не образовалось горной цѣпи. Въ дальнѣйшемъ мы объяснимъ еще эту аномалію.

фундаментъ которыхъ покрытъ теперь вулканическими породами и коралловыми рифами.

Тихій океанъ, какъ мы уже говорили, не образуетъ обширной вогнутой депрессіи, какъ это часто неправильно предполагаютъ; даже не принимая во вниманіе шарообразности земли, его рельефъ является выпуклымъ, какъ и рельефъ континента (фиг. 7,а). Можно поэтому предположить, что его дно представляетъ ни что иное какъ континентальную массу, временно погрузившуюся подъ уровень водъ. Исходя изъ этой гипотезы легко объяснить периферическое распредѣленіе въ немъ впадинъ.

Правда, многіе ученые самымъ рѣшительнымъ образомъ отрицаютъ существованіе этого древняго континента. Такъ, для Кокена, „постоянное существованіе Тихаго океана съ самыхъ отдаленныхъ эпохъ является фактомъ, съ которымъ геологія обязана считаться". На этой же точкѣ зрѣнія стоитъ и Фрехъ. Наши же выводы мы отложимъ до конца этой книги.

---

1. — James. D. Dana. On the Origin of Continents. *Amer. Journ. of Science*, 2d ser., III, стр. 94-100, 1847.

2. — Id. On American Geological History. *Ibid.*, 2d ser., XXII, стр. 305-334, 1856.

3. — Id. On the Plan of Development in the Geological History of North America. *Ibid.*, 2d ser XXII, стр. 335-349, таб. II, 1856.

4. — James Hall. Natural History of New-York, Palæontology, vol. III, стр. 70. Albany, 1859.

5. — Joseph. Le Comte. A Theory of the Formation of the great Features of the Earth's Surface. *Amer. Journ. of Science*, 3d ser., IV, стр. 345.-355, 460.-472, 7 фиг., 1872.

6. — James D. Dana. On some Results of the Earth's Contraction from cooling, including a discussion of the Origin of Mountains, and the nature of the Earth's Interior. *Ibid.*, 3d ser., V, стр. 323-443, VI, стр. 6-14, 161-172, 1873.

7. — Edward Hull. On Iso-diametric Lines, as means of representing the Distribution of Sedimentary Clay and Sandy Strata, as distinguished from Calcareous Strata, with special reference to Carboniferous Rocks of Bratain. *Quart. Journ. Geol. Soc.*. XVIII, стр. 127-146, таб. VII, 1862.

8. — Eduard Suess. Die Entstehung der Alpen. 1 vol. in. 8-0, 168 стр. Wien, 1875.

9. — Émile Haug. Les Chaînes subalpines entre Gap et Dinge. Contribution à l'étude géologique des Alpes Françaises. *Bull. Serv. Carte gèol.*, III, n0 21 197 стр., 20 фиг., 4 таб., 1891.

10. — Id. L'origine des Préalpes Romandes et les zones de sédimentation des Alpes de Suisse et de Savoie. *Arch. des Sc. phys. et nat.*, 3e pér., XXXII, стр. 154-173, 1894.

11. — Marcel Bertrand. Stucture des Alpes françaises et récurrence de certains faciés sédimentaires. *VIe Congr. gèol. intern. C. R.*, стр. 163-177, 1897.

12. — Émile Haug. Les géosynclinaux et les aires continentales, contribution à l'étude des transgressions et des régressions marines. *Bull. Soc. Geol Fr.*, 3e sér., XXVIII, стр. 617-711, 3 фиг., 1900.

13. — A. Supan. Die Sundagräben. *Peterm. Mitt.*, LIII, стр. 70-71, таб. VI, 1907.

V. aussi: 0,3; 0,4; 0,22; I, 3,

ГЛАВА XIII.

Метаморфизмъ.

Общіе признаки метаморфическихъ горныхъ породъ и ихъ главнѣйшіе типы. Общія условія метаморфизма. Геотермія. Отношеніе гранита къ соприкасающимся съ нимъ породамъ.

Еще въ 1797 году Геттонъ указалъ, что нѣкоторыя горныя породы, состоящія преимущественно или исключительно изъ кристаллическихъ элементовъ, произошли отъ измѣненія осадочныхъ породъ подъ дѣйствіемъ высокой температуры и давленія. Ч. Ляйель назвалъ въ 1825 г. эти породы *метаморфическими*, а комплексъ измѣненій, обусловившій ихъ появленіе, метаморфизмомъ.

Общіе признаки метаморфическихъ горныхъ породъ и ихъ главнѣйшіе типы. Метаморфическія горныя породы, такъ же, какъ и осадочныя, являются большею частью слоистыми; но отъ послѣднихъ онѣ отличаются кристаллическимъ сложеніемъ, при чемъ иногда представляютъ послѣдовательный переходъ отъ породъ, состоящихъ только изъ кристаллическихъ элементовъ къ такимъ, которыя лишь частью состоятъ изъ этихъ элементовъ и, наконецъ, къ неизмѣненнымъ осадочнымъ породамъ. Въ послѣдовательномъ напластованіи метаморфическихъ породъ въ основаніи серіи отложеній находятся слои наиболѣе метаморфизованные, чѣмъ выше лежатъ слои, тѣмъ они менѣе метаморфизованы, и самые верхніе слои остаются уже совершено незатронутыми метаморфизмомъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ встрѣчается, однако, послѣдовательная, иногда повторяющаяся, смѣна метаморфическихъ и неизмѣненныхъ осадочныхъ породъ. Группу метаморфическихъ породъ часто называютъ *кристаллическими сланцами* или сланцевато-кристаллическими породами, вслѣдствіе преобладанія въ ней сланцеватыхъ слоевъ и, несмотря на часто встрѣчающіеся прослои известняковъ, доломитовъ и кварцитовъ, въ которыхъ слоистость исчезаетъ почти совершенно. Кристалли-

ческіе сланцы прежде считались самыми древними породами и потому назывались *архейскими*. Въ настоящее же время извѣстно, что они произошли путемъ метаморфизма изъ осадочныхъ породъ различнаго возраста, преимущественно палеозойныхъ, но иногда и мезозойныхъ (напр., въ Калифорніи) и даже, можетъ быть, кенозойныхъ.

Правильность этого положенія не можетъ больше вызывать никакихъ сомнѣній, такъ какъ среди кристаллическихъ сланцевъ часто встрѣчаются настоящіе конгломераты изъ окатанныхъ галекъ болѣе древнихъ осадочныхъ, изверженныхъ и метаморфическихъ породъ. Подобные конгломераты были обнаружены въ Швеціи (Тёрнебомъ), въ Норвегіи (Х. Рейшъ), въ Обермиттвейда въ Саксоніи (Зауеръ), въ Финляндіи (Седерхольмъ), въ западныхъ Альпахъ (Голлье, Термье), у Каннъ (Потье) и другихъ мѣстахъ.

Большія линзообразныя включенія известняка часто встрѣчаются въ серіи кристаллическихъ сланцевъ; они отличаются только присутствіемъ особенныхъ минераловъ, отъ такихъ же массъ встрѣчающихся также и въ палеозойныхъ сланцахъ, содержащихъ ископаемыя.

Кристаллическія сланцы часто переслаиваются съ глинистыми, известковыми и углистыми сланцами или съ песчаниками, осадочное происхожденіе которыхъ не подлежитъ сомнѣнію.

Кромѣ того, въ сильно метаморфизованныхъ сланцахъ были обнаружены болѣе или менѣе сохранившіяся ископаемыя (Норвегія, Валлисъ).

Наконецъ, при вертикальныхъ разрѣзахъ обнаруживается, что кристаллическіе сланцы по направленію вверхъ совершенно незамѣтно переходятъ въ отложенія, осадочное происхожденіе которыхъ неоспоримо. Чѣмъ ниже слои, тѣмъ они болѣе кристалличны.

Наименѣе метаморфизованные сланцы, находящіеся обыкновенно вверху метаморфической серіи отложеній, отличаются отъ чисто осадочныхъ сланцевъ, состоящихъ исключительно изъ обломочныхъ элементовъ (кварцъ, полевой шпатъ, слюда, глинистый цементъ) обиліемъ на ихъ листоватыхъ поверхностяхъ маленькихъ кристаллическихъ листочковъ хлорита или серицита, что придаетъ породѣ шелковистый блескъ. Это — *хлоритовые* и *серицитовые сланцы* (или по терминологіи прежнихъ ученыхъ „тальковые сланцы“). При обиліи извести, въ сланцахъ развиваются кристаллы граната (*гранатовые сланцы*).

Известняки принимаютъ кристаллическое сложеніе, ископаемыя въ нихъ исчезаютъ или измѣняются до неузнаваемости, и во всей массѣ образуется очень много почти всегда микроскопическихъ кристалловъ альбита. Шарль Лори указалъ на подобную альбитизацію тріасовыхъ и даже третичныхъ известковыхъ породъ во французскихъ Альпахъ. Часто также известняки становятся гранатовыми.

Чѣмъ дальше лежатъ слои отъ неизмѣненныхъ отложеній, тѣмъ богаче они становятся слюдой, и ея перемѣшанные съ другими минералами листочки образуютъ цѣлыя прослоечки, параллельныя первоначальнымъ слоямъ.

Обломки кварца округляются и увеличиваются, глинистый цементъ исчезаетъ, такъ же какъ и другіе обломочные элементы. Ставшая вполнѣ кристаллической порода называется *слюдистымъ сланцемъ*. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ появляются кристаллы силикатовъ алюминія, андалузита, дистена, ставролита (андалузитовые, ставролитовые и другіе сланцы). Въ другихъ случаяхъ мѣсто слюды занимаютъ амфиболы или актинолитъ; тогда передъ нами *амфиболовые сланцы*, а въ случаѣ полнаго преобладанія амфибола *амфиболиты*.

На еще большемъ разстояніи отъ неметаморфизованныхъ сланцевъ къ элементамъ слюдистыхъ сланцевъ начинаютъ примѣшиваться кристаллы полевого шпата ортоклаза или олигоклаза, и такимъ образомъ, получается горная порода, называемая *гнейсомъ*. Слюда обыкновенно образуетъ въ немъ непрерывные прослойки, въ чемъ и выражается сланцеватость породы. Зерна кварца и кристаллы полевого шпата иногда перемѣшаны безпорядочно, но часто и полевой шпатъ образуетъ правильныя прослойки, въ которыхъ кристаллы, оріентированные въ одной плоскости въ перпендикулярномъ къ слоистости разрѣзѣ, кажутся расположенными въ видѣ четокъ и каждый изъ нихъ облекается другими элементами. Это *ленточный* или *глазчатый гнейсъ*. Есть вообще много разновидностей гнейсовъ, описаніе которыхъ можно найти въ курсахъ петрографіи. Всѣ онѣ богаты случайными минералами. Въ нихъ, какъ и въ слюдистыхъ сланцахъ, часто встрѣчаются включенія амфиболитовъ, лежащихъ правильными слоями и большія линзообразныя массы известняковъ. Если этотъ известнякъ сильно перекристаллизованъ и содержитъ большое количество кристалловъ граната и слюды, то онъ называется *чиполино*.

Въ *гранитогнейсахъ* сланцеватость сильно затушевана и

обнаруживается лишь однообразной ориентировкой листочковъ слюды, которые здѣсь уже не образуютъ непрерывныхъ слоевъ. Между гранитогнейсами и настоящимъ гранитомъ существуетъ цѣлый рядъ переходовъ. *Гранитъ* состоитъ изъ тѣхъ же характерныхъ элементовъ, что и гнейсъ. Нѣкоторые ученые, вѣроятно, правильно смотрятъ на гранитъ, какъ на конечную стадію метаморфизма и, быть можетъ, такимъ же образомъ слѣдуетъ объяснять происхожденіе основныхъ гранитовидныхъ породъ, какъ напр., *сіенитовъ*, *діоритовъ*, *габбро* и др.

Въ гранитахъ всѣ минералы, образующіе породу, представлены большими зернами, видимыми невооруженнымъ глазомъ, обыкновенно хорошо развитыми во всѣхъ направленіяхъ, и лишь крупные кристаллы ортоклаза составляютъ иногда исключеніе и придаютъ граниту ложную порфировидную внѣшность. Въ гранитахъ не наблюдается ни основной массы, *ни тѣмъ болѣе* остатковъ стекловатаго вещества, но тѣмъ не менѣе можно очень опредѣленно распознать двѣ послѣдовательныя стадіи затвердѣванія: характерными особенностями первой стадіи будутъ болѣе древніе, частью разбитые, частью корродированные кристаллы апатита, циркона, сфена, біотита, двойныхъ силикатовъ, олигоклаза, ортоклаза; вторая стадія выразилась новымъ появленіемъ кристалловъ, послужившихъ цементомъ для элементовъ предшествовавшей стадіи и состоитъ преимущественно изъ ортоклаза и кварца, смѣшанныхъ иногда съ бѣлой слюдой. Такимъ образомъ, особенностью гранитовъ будетъ *ксеноморфное*, состояніе элементовъ второй стадіи затвердѣванія.

Въ *гранулитахъ*, наоборотъ, эти элементы являются отчасти *автоморфными*; кварцъ обыкновенно имѣетъ въ нихъ свойственныя ему двупирамидальныя формы. Бѣлая слюда является въ нихъ преобладающей, и довольно часто встрѣчается турмалинъ.

Наконецъ, въ *пегматитахъ* кварцъ и полевой шпатъ выкристаллизовались одновременно, въ результатѣ чего возникла структура, называемая графическою.

Весьма вѣроятно, впрочемъ, гранулиты и пегмититы имѣютъ происхожденіе совершенно отличное отъ происхожденія настоящихъ гранитовъ.

Въ кислыхъ гранитовыхъ породахъ кварцъ и бѣлая слюда являются элементами, которые выкристаллизовались послѣдними. Нѣкоторые ученые предполагаютъ, что кристаллы кварца могли развиться вторичнымъ путемъ при очень низкой температурѣ, послѣ образованія магмы существенно полевошпатовой.

Основныя гранитныя породы не содержатъ кварца, ортоклазъ въ нихъ замѣненъ триклиническими полевыми шпатами, а черные элементы представлены біотитомъ, роговой обманкой, авгитомъ, ромбическими пироксенами.

Всѣ эти *гранитныя* неслоистыя породы были объединены общимъ названіемъ *плутоническихъ* или *абиссальныхъ горныхъ породъ*. Вопросъ о ихъ происхожденіи можетъ разсматриваться одновременно съ вопросомъ о происхожденіи кристаллическихъ сланцевъ.

Общія условія метаморфизма. Изъ всего вышеизложеннаго мы можемъ сдѣлать первый очень важный въ виду своихъ послѣдствій выводъ, именно, что *метаморфизмъ создаетъ новыя кристаллическія породы почти исключительно изъ осадочныхъ породъ громадной мощности*. Слѣдовательно, метаморфизмъ обусловленъ существованіемъ геосинклиналей. И дѣйствительно, метаморфическія горныя породы образуются почти всегда изъ осадочныхъ породъ, которыя скоплялись въ геосинклиналяхъ, при чемъ измѣненіямъ подвергались глубоко лежащіе слои. Метаморфизмъ представляетъ, слѣдовательно, явленіе глубинное. Правда, въ видѣ исключенія встрѣчаются и не особенно мощныя породы, лежащія на поверхности земли и отложившіяся въ неглубокихъ бассейнахъ, которыя метаморфизовались отъ соприкосновенія съ изверженными породами. Въ такомъ случаѣ метаморфизмъ породы почти всегда обусловленъ простымъ ея накаливаніемъ и распространяется на незначительное разстояніе вокругъ изверженной массы. Это такъ называемый *контактный метаморфизмъ*.

Представители прежней плутонической школы, по примѣру Геттона, приписывали превращеніе осадочныхъ породъ въ кристаллическія лишь дѣйствію центральнаго жара земли. Они предполагали, что отложенія нагрѣвались до расплавленнаго состоянія, послѣ чего происходила ихъ кристаллизація. Но, вопреки этому мнѣнію, никогда не удавалось обнаружить въ метаморфической горной породѣ расплавленныхъ элементовъ. Нѣкоторые кристаллы даже содержатъ жидкія включенія, что совершенно несовмѣстимо съ предположеніемъ о чрезвычайно высокихъ температурахъ. Кромѣ того, если нагрѣть метаморфическую породу до расплавленнаго состоянія и потомъ оставить эту сухимъ путемъ расплавленную массу охлаждаться, то получится силикатовое стекло, а не кристаллическая порода.

При дальнѣйшемъ изложеніи мы увидимъ, что породы образовавшіяся въ результатѣ затвердѣнія расплавленныхъ массъ, имѣютъ структуру совершенно отличную отъ структуры метаморфическихъ горныхъ породъ.

Другая школа, насчитывающая еще и теперь много послѣдователей, приписываетъ преобладающее значеніе при образованіи кристаллическихъ сланцевъ механическимъ воздѣйствіямъ. Она предполагаетъ, что одной работы силъ, создающихъ складчатость породъ, т. е. одного давленія достаточно, чтобы превратить глинистые сланцы въ кристаллическіе сланцы и гранитовидныя породы въ настоящій гнейсъ.

Совокупность этихъ явленій была названа *динамометаморфизмомъ*.

Въ дальнѣйшемъ мы увидимъ, что измѣненія породы, вызванныя орогеническими движеніями бываютъ весьма сильны, но что они имѣютъ чисто механическій характеръ и не отражаются на минералогическомъ составѣ породы; порода въ такомъ случаѣ подвергается сильнымъ дислокаціямъ, но не обнаруживаетъ никакихъ слѣдовъ метаморфизма.

Нѣкоторые же геологи думаютъ, что кристаллическіе сланцы и гранитныя породы происходятъ отъ измѣненія осадочныхъ породъ при дѣйствіи воды, безъ всякаго участія давленія и высокой температуры. Правда, намъ извѣстны многочисленныя химическія измѣненія породъ верхнихъ слоевъ земной коры, вызванныя циркулирующими въ нихъ водами. Но эти измѣненія, которыми мы займемся въ спеціальной главѣ, имѣютъ совершено особый характеръ и никогда не порождаютъ кристаллическихъ силикатовъ въ породахъ, содержавшихъ лишь обломочные элементы; мы здѣсь имѣемъ дѣло лишь съ явленіями гидратаціи, окисленія, цементаціи, удаленія извести и съ другими явленіями, не имѣющими ничего общаго съ метаморфизмомъ. Они составляютъ категорію измѣненій, называемую *метасоматозомъ*.

Такимъ образомъ ни температура, ни давленіе, ни циркуляція воды, *взятыя въ отдѣльности*, не являются причиной метаморфизма, но совмѣстное дѣйствіе этихъ трехъ агентовъ или, другими словами, дѣйствіе воды подъ давленіемъ и при высокой температурѣ особенно въ присутствіи щелочей обусловливаетъ образованіе кристаллическихъ сланцевъ и даже нѣкоторыхъ гранитовидныхъ породъ за счетъ осадочныхъ. Первую попытку объясненія метаморфизма совмѣстнымъ дѣй-

ствіемъ температуры, давленія и воды далъ 1847 г. норвежскій ученый изъ Христіаніи Шеереръ (6). Позднѣе Добре произвелъ рядъ замѣчательныхъ синтетическихъ опытовъ съ силикатами, онъ подвергалъ ихъ дѣйствію водяныхъ паровъ подъ большимъ давленіемъ и получилъ раствореніе ихъ, образованіе новыхъ соединеній и кристаллизацію, происходившую много ниже температуры плавленія.

Три необходимыя условія метаморфизма дѣйствительно осуществляются въ глубокихъ областяхъ геосинклиналей.

Вода есть во всѣхъ осадкахъ, можно сказать во всѣхъ породахъ и проникаетъ очень глубоко, при извѣстныхъ условіяхъ, которыя мы разсмотримъ впослѣдствіи.

Давленіе является результатомъ мощности и плотности скопившихся осадковъ. Громадная мощность слоевъ нѣкоторыхъ геосинклиналей краснорѣчиво свидѣтельствуетъ о силѣ давленія на самые нижніе слои, отложившіеся ранѣе остальной толщи осадковъ.

Температура въ глубокихъ частяхъ геосинклиналей также очень высока, но лишь въ видѣ исключенія она достигаетъ температуры плавленія силикатовыхъ породъ.

Необходимо сейчасъ же доказать это послѣднее положеніе.

Геотермія (глубинная температура). Колебанія температуры, зависящія отъ смѣны временъ года, ощущаются въ земной корѣ лишь до извѣстной глубины, которая неодинакова для различныхъ широтъ. Такъ, напр., термометръ, находящійся въ подвалѣ Парижской обсерваторіи на глубинѣ 28 м., уже съ 1783 г. показываетъ одинаковую температуру $11^{0}8$.

Но съ глубиной, начиная съ пояса постоянной температуры, начинается ея повышеніе. Наблюденія, сдѣланныя въ рудникахъ, при чемъ температура измѣрялась не въ воздухѣ галлерей, а въ самой породѣ, показали что это повышеніе идетъ въ правильной прогрессіи. Глубина, на которую нужно опуститься, чтобы температура поднялась на одинъ градусъ, была названа *геотермическимъ градіентомъ*.

Было установлено, что геотермическій градіентъ неодинаковъ для различныхъ рудниковъ, при чемъ эти колебанія зависятъ отъ теплопроводности породы, отъ того проходятъ или нѣтъ въ породѣ рудныя жилы, отъ большей или меньшей близости вулканическихъ породъ. Въ металлическихъ рудникахъ геотермическій градіентъ равняется въ среднемъ 41 м. Въ каменно-

угольныхъ же шахтахъ геотермическій градіентъ вдвое ниже этой цифры, такъ какъ находящіяся здѣсь породы не такіе хорошіе проводники тепла. Въ вулканическихъ областяхъ геотермическій градіентъ также очень малъ, но въ этомъ случаѣ быстрое увеличеніе температуры, достигающее, напр., въ окрестностяхъ Ріома (Мишель Леви) 6° на каждые 100 м., при буреніи на глубину 1200 м., объясняется теплотой, сохранившейся въ породахъ со времени послѣдняго изверженія.

Измѣренія температуры воды, бьющей изъ артезіанскихъ колодцевъ, представляютъ приблизительно согласныя данныя, и даютъ возможность установить среднюю величину геотермическаго градіента въ 31 м. Вода артезіанскаго колодца въ Гренеллѣ глубиной 548 м. имѣетъ температуру 28° и, наоборотъ, зная температуру горячаго источника, можно опредѣлить глубину, съ которой онъ поднимается.

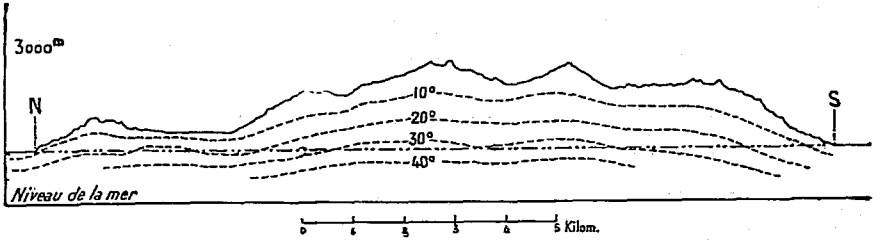
Очень точныя измѣренія температуры могли быть сдѣланы при буреніяхъ въ Шперенбергѣ около Берлина. Факторъ теплопроводности былъ здѣсь устраненъ, такъ какъ до глубины въ 1273 м. буръ проходилъ все время по однородной массѣ каменной соли. Средняя изъ многихъ наблюденій опредѣляетъ геотермическій градіентъ въ 33,7 м. При буреніи же въ Шладебахѣ въ Саксоніи, достигшемъ глубины въ 1748 м., полученная средняя была нѣсколько выше и равнялась 35,7 м. Буреніемъ же въ Парушовицѣ въ Верхней Силезіи была достигнута въ 1893 г. глубина нѣсколько выше 2000 м. и наблюдалась температура въ 69,3 средній геотермическій градіентъ былъ вычисленъ въ 34,1 м.

При всѣхъ этихъ изслѣдованіяхъ путемъ буренія было установлено послѣдовательное повышеніе температуры съ глубиной, но, повидимому, геотермическій градіентъ увеличивается по мѣрѣ углубленія хотя и очень медленно, во всякомъ случаѣ онъ никогда не уменьшается. Но принимая во вниманіе незначительность отступленій и считая средній геотермическій градіентъ равнымъ 33 м., можно опредѣлить, что на глубинѣ 5000 м. температура не ниже 150° и можно заключить о существованіи температуры не ниже 2000°, т. е. достаточной для того, чтобы поддерживать всѣ извѣстныя горныя породы въ расплавленномъ состояніи, на глубинѣ въ 66 км. ничтожной по сравненію съ величиной земного радіуса. Очевидно, что внутри земли существуетъ свой источникъ тепла и уменьшенія теплоты по мѣрѣ удаленія отъ центра къ периферіи объяс-

няется излученіемъ теплоты въ холодное міровое пространство. Вопросомъ же о томъ жидко ли внутреннее ядро земли и о томъ, дѣйствительно ли земная кора имѣетъ такую ничтожную толщину, на какую указываютъ геотермическія данныя, мы можемъ цѣлесообразно заняться лишь въ дальнѣйшемъ.

Попытаемся теперь приложить къ геосинклиналямъ только что полученныя свѣдѣнія.

Намъ извѣстно, что температура на днѣ морей регулируется циркулирующими океаническими теченіями, внутренній источникъ тепла не имѣетъ на нее никакого вліянія. Такимъ образомъ, можно считать весьма вѣроятнымъ, что температура такъ же правильно повышается къ центру земли, начиная съ океаническаго дна, какъ она на континентахъ повышается начиная съ зоны постоянной температуры. Мы называемъ *изогеотермами* поверхности внутри земли съ одинаковой темпе-



Фиг. 40.—Изогеотермы въ массивѣ прорѣзанномъ Сенъ-Готардскимъ тоннелемъ (по Альб. Гейму).

ратурой и, очевидно, что эти изогеотермы идутъ болѣе или менѣе параллельно поверности литосферы. Въ всякомъ случаѣ, онѣ дальше другъ отъ друга въ полярныхъ областяхъ и болѣе сближены въ экваторіальныхъ; кромѣ того [1]) онѣ нѣсколько опускаются подъ высокими горными массивами вслѣдствіе низкой температуры, господствующей на большихъ высотахъ (фиг. 40).

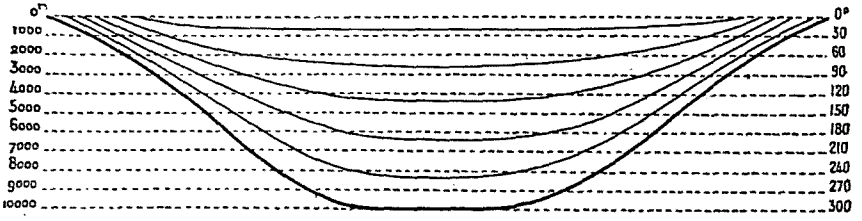
Въ виду того, что въ геосинклинали при постоянной глубинѣ бассейна безпрерывно скопляются осадки, наиболѣе древнія

[1]) Наблюденія, сдѣланныя въ тоннеляхъ, прорытыхъ въ высокихъ Альпійскихъ горахъ показали, что подъ горами температура нѣкоторой данной точки зависитъ не отъ абсолютной ея глубины, но отъ разстоянія ея отъ земной поверхности. Такъ, при работахъ въ Сенъ-Готардскомъ тоннелѣ максимальная температура горной породы равнялась 38,8° при температурѣ въ воздухѣ въ 35°. Наблюденія въ Симплонскомъ тоннелѣ показали, что геотермическій градіентъ больше въ складчатыхъ, чѣмъ въ горизонтально лежащихъ слояхъ, обнаруживая только въ связи съ дислокаціями колебанія отъ 30 до 60 м.

отложенія должны погружаться въ зоны все болѣе высокихъ температуръ, какъ это изображено на фиг. 41. Отложеніе осадковъ въ 1000 м. вызоветъ повышеніе температуры прежняго морского дна градусовъ на 30, а такъ какъ въ геосинклиналяхъ отложенія въ 10000 м. мощности не являются исключеніемъ, то самые нижніе слои постепенно достигнутъ глубины гдѣ температура въ 300°.

Конечно, можно также предположить, что первоначальное дно бассейна остается неизмѣннымъ и что осадки накопляются такъ, что цѣликомъ заполнятъ впадину.

Въ этомъ случаѣ изогеотермы будутъ постепенно повышаться и образуютъ мало-по-малу не вогнутыя, а прямыя поверхности, температура осадковъ, отложившихся вначалѣ, будетъ тогда обусловлена мощностью напластованія. Этимъ путемъ Беббеджъ



Фиг. 41.—Погруженіе слоевъ геосинклинали въ области все болѣе и болѣе высокихъ температуръ.

(1) и Гершель (2) объясняли повышеніе температуры дна прежняго бассейна. Они считали это повышеніе достаточнымъ и для того, чтобы вызвать расширеніе слоевъ, имѣющее слѣдствіемъ движенія земли и для образованія метаморфическихъ породъ.

Во всякомъ случаѣ, изъ предыдущаго вытекаетъ, что въ геосинклиналяхъ мощность отложеній является достаточной для того, чтобы мы имѣли основаніе предположить, что температура самыхъ глубокихъ слоевъ должна быть исчисляема сотнями градусовъ. Эта температура достаточна, чтобы совмѣстно съ давленіемъ и водой объяснить метаморфизацію породъ.

Въ нѣкоторыхъ крайнихъ случаяхъ температура быть можетъ повышалась достаточно для того, чтобы привести въ расплавленное состояніе наиболѣе тугоплавкіе силикаты.

Отношеніе гранита къ соприкасающимся съ нимъ породамъ. Геттонъ еще въ концѣ XVIII в. высказалъ взглядъ, что гранитъ происходитъ изъ обломочныхъ породъ,

расплавленныхъ дѣйствіемъ господствующей подъ океанами высокой температуры земныхъ глубинъ (1, 2). Это воззрѣніе на гранитъ, какъ на метаморфическую породу, было усвоено и другими учеными Шеереромъ (5), Вирлэ д'У (3, 5, 7), Делессомъ, считавшими, что гранитъ произошелъ не путемъ плавленія, а гидротермическимъ путемъ. Делессъ въ 1862 г. слѣдующимъ образомъ формулировалъ свой взглядъ. „Плутоническія горныя породы образуются за счетъ метаморфическихъ и представляютъ высшій предѣлъ интенсивности или крайнюю ступень общаго метаморфизма.

Взглядъ на природу гранита, какъ на метаморфическую, принятый въ Америкѣ (Стерри-Хэнтъ (14), Дена, Ле Контъ) не получилъ признанія въ Европѣ. Большинство европейскихъ геологовъ считали и считаютъ гранитъ за первоначальную твердую кору, образовавшуюся на поверхности земного шара или же за настоящую изверженную породу; гнейсы же въ глазахъ европейскихъ ученыхъ, подпавшихъ подъ вліяніе динамометаморфическихъ теорій, являются или расплющенными отъ давленія гранитами (Розенбушъ) или также результатомъ первоначальнаго затвердѣванія земли (I. Ротъ), или, наконецъ, химическими осадками, образовавшимися при особыхъ условіяхъ (Гюмбель).

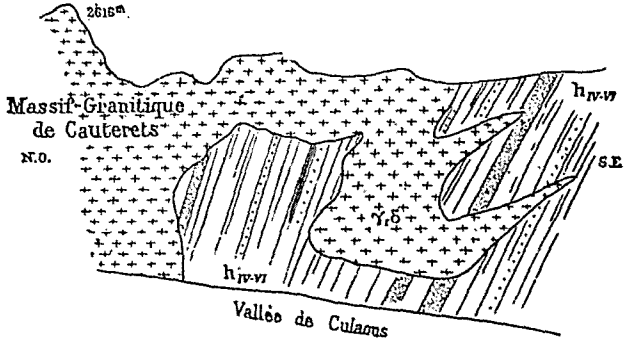
Намъ необходимо, въ виду этихъ разногласій, выяснить себѣ отношеніе гранита къ соприкасающимся съ нимъ породамъ.

Всюду, гдѣ мы встрѣчаемъ гранитъ, неприкрытый другими болѣе новыми породами, мы все-таки имѣемъ данныя утверждать, что нѣкогда онъ былъ прикрытъ мощной толщей осадочныхъ породъ, которыя впослѣдствіи были смыты. Гранитъ встрѣчается или въ такихъ областяхъ, которыя подвергались сильнымъ дислокаціямъ, какъ Альпы, гдѣ гранитъ и кристаллическіе сланцы образуютъ обособленные антиклинальные массивы, часто достигающіе большой высоты; или на днѣ долинъ, глубоко прорѣзающихъ горныя цѣпы; или въ странахъ, которыя были болѣе или менѣе совершенно нивеллированы атмосферными агентами и превращены въ такъ называемыя пенеплены (предѣльныя равнины).

Въ этомъ послѣднемъ случаѣ гранитъ выступаетъ среди сланцевъ округлыми или эллипсоидальными площадями, представляющими горизонтальные разрѣзы массивовъ (*culots*) тѣмъ болѣе обширныхъ, чѣмъ глубже денудирована страна. Преимущественно въ верхнихъ своихъ частяхъ эти массивы даютъ отростки—*апофизы* простые, или вѣтвистые, иногда извилистые,

которые проникаютъ въ окружающія породы (фиг. 42). Очевидно, чтобы пустить эти развѣтвленія гранитъ долженъ былъ представлять изъ себя по меньшей мѣрѣ пластичную массу, но замѣчательно, что иногда окружающія его осадочныя породы не обнаруживаютъ никакого слѣда метаморфизма [1]). Кажется, будто уже порядочно остывшая пластичная масса была втиснута какимъ то механическимъ дѣйствіемъ въ трещины окружающей породы.

Во всякомъ случаѣ, эти примѣры гранита, проникающаго въ сосѣднія породы и нисколько ихъ не измѣняя, являются исключеніемъ. Вообще же окружающія породы сильно измѣнены какъ около апофизъ, такъ и вокругъ гранитныхъ массивовъ.



Фиг. 42.—Апофизъ амфиболоваго гранита ($\gamma_1\delta$) Котерѐ въ нижнекаменноугольныхъ сланцахъ и известнякахъ (по А. Брессону).

Выходы гранита окружены концентрическими полосами метаморфическихъ породъ и степень ихъ метаморфизма уменьшается по мѣрѣ удаленія отъ кристаллической породы. Розенбушъ (12) намѣтилъ вокругъ Андлау въ Эльзасѣ слѣдующія зоны въ контактѣ съ гранитомъ, прорѣзающимъ сланцы Штейге (фиг. 43, 44).

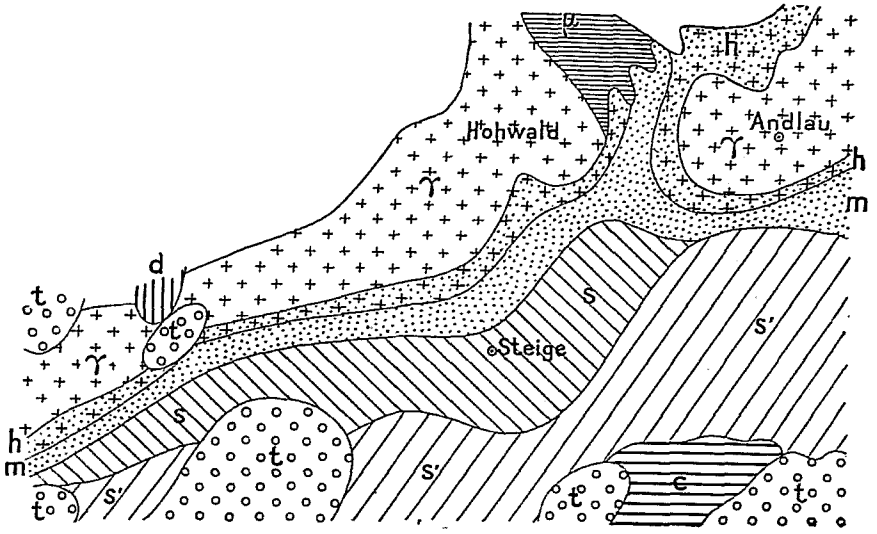
1. Зона андалузитоваго роговика (*Andalusithornfels*) отличающаяся исчезновеніемъ сланцеватости и углистаго вещества и обиліемъ кристалловъ андалузита, часто, впрочемъ, микроскопическихъ.

2. Зона узловатыхъ слюдистыхъ сланцевъ (*Knotenglimmerschiefer*), отличающаяся кристалличностью всей массы, замѣной хлорита черной слюдой, присутствіемъ небольшихъ кристалловъ ставролита и темныхъ, почти неизмѣненныхъ стяженій.

---

[1]) P. Termier. Sur le granite de Pelvoux C. R. Ac. Sc. C. XXIV, стр. 317—320.

3. Зона узловатыхъ и пятнистыхъ глинистыхъ сланцевъ (*Knotenthonschiefer*), отличается скопленіемъ пигмента породы въ черныхъ пятнахъ на общемъ обезцвѣченномъ фонѣ, почти

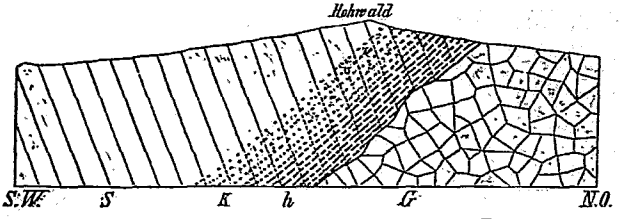


Фиг. 43.— Схематическая карта области контактовъ гранита Гохвальда со сланцами Штейге (по Розенбушу).

γ. гранитъ; h, роговикъ съ андалузитомъ; m, узловатые слюдистые сланцы и пятнистые глинистые сланцы; s, сланцы Штейге; s,′ сланцы Вилле; d, девонъ; c, карбонъ; t, тріасъ; μ, микрогранулитъ.

не отличающемся отъ незатронутыхъ метаморфизмомъ сланцевъ, съ которыми эта зона незамѣтно сливается.

Анализы многочисленныхъ образцовъ породъ этихъ зонъ, сдѣланные Розенбушемъ, показали замѣчательное постоянство ихъ химическаго состава; самое большое уклоненіе выразилось уменьшеніемъ воды и углистыхъ веществъ въ наиболѣе метаморфизованныхъ породахъ. Не наблюдалось никакого прибавленія минераловъ около гранита, и породы трехъ метаморфическихъ зонъ отличаются отъ неметаморфизованнаго сланца лишь перегруппировкой молекулъ.



Фиг. 44.— Профиль контакта гранита Гохвальда (Эльзасъ) со сланцами Штейге (по Розенбушу).

S, сланцы Штейге; *G*, гранитъ; *K*, узловатый глинистый сланецъ и узловатый слюдистый сланецъ; *h*, роговикъ.

Кольцевыя полосы, окружающія граниты въ Андлау, сдѣлались классическимъ примѣромъ контактнаго метаморфизма; многіе другіе ученые дали уже послѣ Розенбуша описаніе подобныхъ серій. Такъ, напр., въ Рудныхъ горахъ въ Гарцѣ, въ нѣкоторыхъ областяхъ Пиринеевъ, встрѣчаются породы, подвергшіяся контактному метаморфизму также безъ измѣненія минералогическаго состава. Сіениты, нѣкоторые діабазы, габбро, ведутъ къ совершенно аналогичнымъ метаморфическимъ явленіямъ. Наблюдается большое сходство между явленіями контактнаго метаморфизма, вызваннаго гранитными породами и тѣми измѣненіями, которыя наблюдались въ контактахъ съ другими несомнѣнно изверженными породами. Различіе заключается лишь въ большей или меньшей степени интенсивности измѣненій, но какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ причиной несомнѣнно, является дѣйствіе теплоты, обусловленное сосѣдствомъ съ пластичной массой.

Сходство становится особенно сильно, если окружающей породой является известнякъ. Въ массѣ известняка въ мѣстахъ соприкосновенія какъ съ гранитомъ или другими гранитовидными породами, такъ и съ вулканическими породами, образуются известковые силикаты, какъ: гранаты, везувіанъ, волластонитъ и т. д. Прибавленіе кремнезема, который замѣняетъ часть углекислоты, становится при этомъ несомнѣннымъ.

Всѣ эти факты, повидимому, подтверждаютъ взглядъ на гранитныя породы, какъ на изверженныя. На основаніи этого многіе петрографы считаютъ, что различія въ кристаллическихъ структурахъ эндогенныхъ породъ произошли благодаря неодинаковымъ условіямъ ихъ кристаллизаціи то абиссальной, то поверхостной, какъ, напр., въ излившихся вулканическихъ породахъ. Поэтому можно предположить, что обѣ породы произошли изъ одной жидкой изначальной магмы.

Выше мы видѣли, какъ трудно допустить огневое происхожденіе гранита, а, наоборотъ, другіе факты намъ подтверждаютъ, что кольцевыя полосы контактнаго метаморфизма являются не единственными измѣненіями, обусловленными сосѣдствомъ съ гранитными массами.

Прежде всего есть немало областей, гдѣ контактныя явленія не подходятъ подъ схему Розенбуша.

Такъ, напр., часто въ зонѣ соприкосновенія съ гранитами и гранулитами встрѣчается много кристалловъ или турмалина, или топаза, или фтористой слюды, что указываетъ на приносъ

въ соприкасающуюся съ гранитомъ породу борной кислоты, фтороводорной кислоты, т. е. веществъ, которымъ Эли де Бомонъ правильно приписывалъ роль *минерализаторовъ*. Мы еще вернемся къ этому явленію, когда будемъ говорить о рудныхъ жилахъ, въ частности о мѣсторожденіяхъ олова, почти всегда сопровождающихъ жилы пегматита.

Кромѣ того, въ мѣстахъ соприкосновенія съ гранитомъ наблюдаются еще приносы другого рода, имѣющіе важное теоретическое значеніе.

У самаго контакта гранита съ окружающими его породами, Мишель-Леви (13, 16, 19), Барруа (15), Лякруа (22) и другіе ученые наблюдали узкую полосу, въ которой обильно развились кристаллы полевого шпата, видимые даже невооруженнымъ глазомъ. Въ этой полевошпатовой зонѣ появленіе щелочей натровой или калійной, является несомнѣннымъ. И именно въ этой зонѣ, мощность которой часто достигаетъ всего нѣсколькихъ метровъ, сосредоточена большая часть слоисто-кристаллическихъ породъ: слюдистые сланцы, гнейсъ-амфиболиты, лептинолиты, (слюдисто-полевошпатовые сланцы); эта полоса расширяется и пріобрѣтаетъ все большее значеніе по мѣрѣ того, какъ эрозія обнажаетъ намъ корни гранитныхъ массивовъ на большую глубину. Мало-по-малу достигается тотъ уровень, гдѣ на большихъ пространствахъ развиваются полевошпатовые сланцы, ничѣмъ не отличающіеся отъ гнейса. Такимъ образомъ, *контактный метаморфизмъ постепенно на глубинѣ сливается съ общимъ метаморфизмомъ* (Мишель Леви).

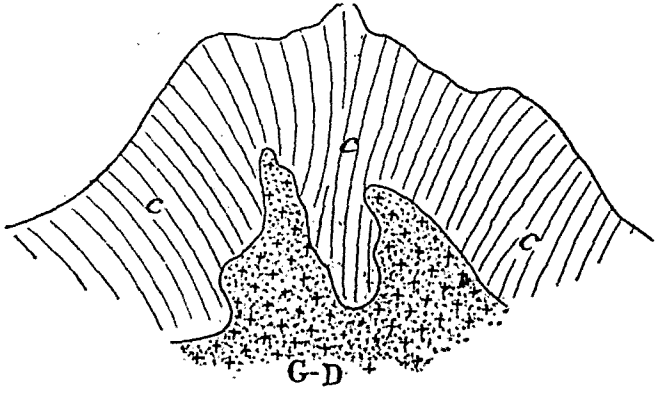
Развитіе полевыхъ шпатовъ происходитъ то путемъ *прониканія*, при чемъ структура породы остается существенно неизмѣненной, то путемъ *внѣдренія* самаго гранита между листочками сланцевъ. Мишель Леви неоднократно описалъ эти явленія въ Центральномъ массивѣ Франціи, въ массивѣ Монъ-Блана, въ Западной Нормандіи (19); подобныя же описанія были даны Барруа для Бретани (15) и Лякруа для Аріежъ (22).

Такимъ образомъ, гнейсы являются ничѣмъ инымъ, какъ сланцами, проникнутыми полевымъ шпатомъ на большихъ пространствахъ въ сосѣдствѣ съ гранитными массами, съ которыми они незамѣтно сливаются. Амфиболиты можно считать соотвѣтствующими известковымъ слоямъ, залегающимъ среди сланцевъ.

Этотъ видъ метаморфизма, повидимому, свойственъ самымъ глубокимъ мѣстамъ геосинклиналей.

Метаморфическія явленія, обусловленныя соприкосновеніемъ

или сосѣдствомъ гранита можно назвать *экзоморфными*, въ отличіе отъ *эндоморфныхъ* измѣненій, происходящихъ въ гранитѣ при прохожденіи имъ породъ опредѣленнаго состава. Мишель Леви уже давно (13) указалъ на то, что граниты, соприкасаясь съ известняками, становятся основными, обогащаются роговой обманкой и теряютъ кварцъ. Лякруа въ своихъ недавно вышедшихъ прекрасныхъ очеркахъ о гранитѣ Пиринеевъ и о явленіяхъ въ его контактѣ привелъ много примѣровъ эндоморфныхъ метаморфическихъ явленій. При соприкосновеніи съ палеозойными известняками въ Верхнемъ Арьежѣ, гранитъ сильно измѣняетъ свой минералогическій составъ, при чемъ эти измѣненія еще усиливаются въ томъ случаѣ, когда вслѣдствіе переплавленія



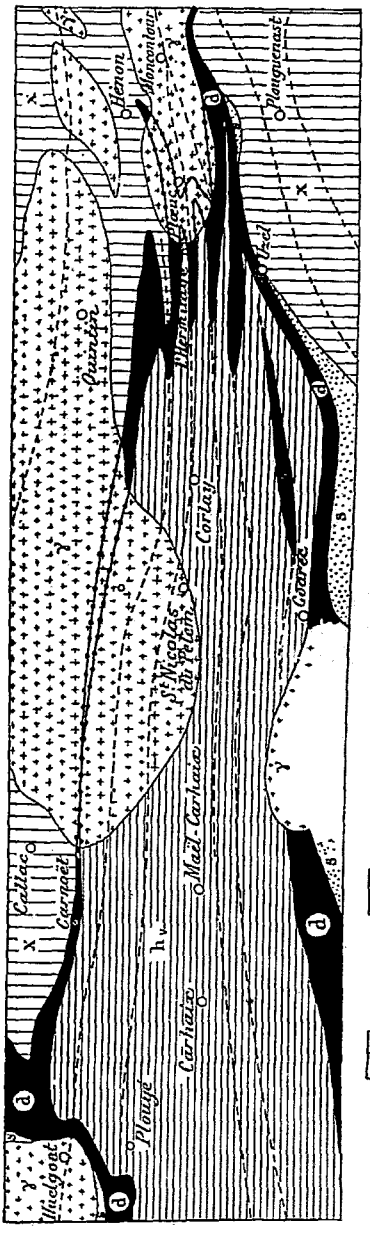
Фиг. 45.—Роговообманковый гранитъ переходящій въ діоритъ (G-D) вслѣдствіе ассимиляціи известковыхъ слоевъ (C) чередующихся съ тонкими прослойками роговиковъ и гранатитовъ. Верхняя часть долины Лауренти, въ деп. Арьежъ (по Лякруа).

и поглощенія гранитомъ окружавшихъ его сланцевъ, значительные известковые слои въ нихъ залегавшіе оказались теперь включенными въ гранитную массу. Изверженная порода, окружающая эти включенія известняка, уже не является обыкновеннымъ гранитомъ, а превращается то въ роговообманковый гранитъ, то въ діоритъ кварцевый или безкварцевый (фиг, 45). Въ тѣхъ же мѣстахъ, гдѣ непрерывность включенныхъ известковыхъ слоевъ нарушается, появляются еще болѣе основныя породы — нориты оливиновые и безъоливиновые, горнблендиты (роговыя обманки и біотитъ) и, наконецъ, роговообманковые перидотиты.

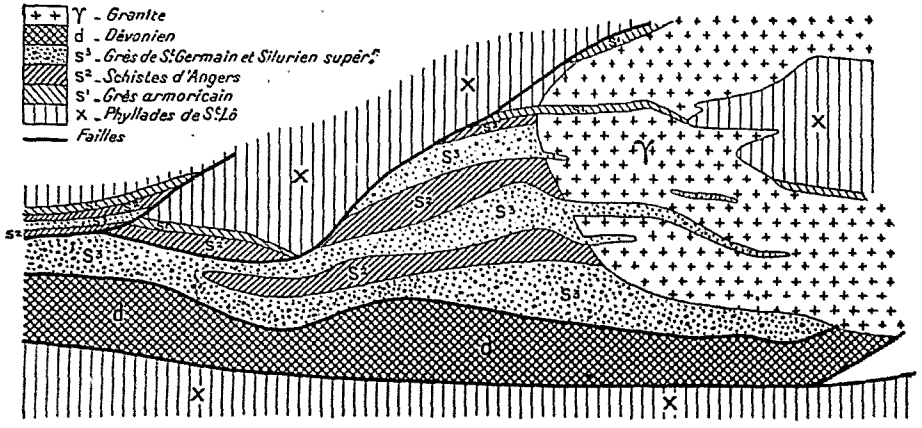
Въ гранитныхъ массивахъ, не сопровождающихся контактной полевошпатовой зоной, т. е. такихъ, какіе описаны у Розенбуша, не наблюдается ничего подобнаго; такъ что петрогра-

фамъ нѣмецкой школы приходится отрицать вліяніе окружающихъ породъ на гранитную магму.

Болѣе того, въ гранитахъ часто встрѣчаются въ томъ или иномъ количествѣ *включенія* породъ, отличающихся по своему составу отъ остальной массы. Эти включенія не надо смѣшивать съ *выдѣленіями*, кислыми или основными, которыя часто наблюдаются въ гранитныхъ породахъ и которыя состоятъ изъ тѣхъ же минераловъ, что и самая порода, но лишь въ другомъ количественномъ соотношеніи. Включенія же въ собственномъ смыслѣ слова являются кусками породъ, чуждыхъ общей массѣ породы; Лякруа называетъ ихъ эналлогенными (*énallogènes*), въ противоположность гомеогеннымъ (*homeogènes*) включеніямъ, обнаруживающимъ съ включающей ихъ породой большую или меньшую близость по минеральному составу и происхожденію.


Granite
Terrain Carbonifère
Terrain Dévonien
Terrain Silurien
Algonkien
Axes anticlinaux
Contour de l'affleurement dévonien avant l'intrusion granitique
Bénon
Bonconbur
Pleyben
Pont-Triffen
Quimerch
Quimper
Plonéis
Plogonnec
Plogastel
Cornouaille
Cornouaille
Cornouaille

видѣть на поверхности парижскихъ тротуаровъ, гдѣ они особенно замѣтны послѣ сильнаго дождя. Сланцеватость ихъ ясно выражена, причемъ часто они сохраняютъ направленіе сосѣднихъ сланцевъ. Иногда включенія отчасти растворяются, и по краямъ незамѣтно переходятъ въ гранитную массу. Здѣсь встрѣчаются всѣ контактные минералы полевошпатовой зоны. Очевидно, что включенія являются остатками неассимилированной или не вполнѣ поглощенной породы, которая раньше находилась на мѣстѣ гранита. Песчаники растворяются труднѣе, чѣмъ сланцы и Барруа констатировалъ въ окрестностяхъ Бреста, что мета-



Фиг. 47.—Схематическая карта массива Кольнъ (деп. Котъ-дю-Норъ) показывающая поглощеніе силурскихъ сланцевъ и сохраненіе песчаныхъ прослоекъ въ гранитѣ (по Барруа).

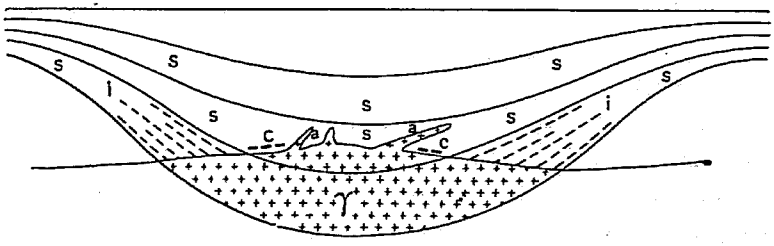
γ—гранитъ; d—девонъ; s³—Сенъ-Жерменскій песчаникъ и верхній силуръ; s²—Анжерскіе сланцы; s'—Арморикскій песчаникъ; × — филлиты Сенъ-Ло. Черныя линіи обозначаютъ обросы.

морфизованные слои песчаника остались среди гранита послѣ болѣе или менѣе полной ассимиляціи имъ сланцевъ, съ которыми первоначально эти песчаники переслаивались (фиг. 46, 47).

Изъ всѣхъ этихъ фактовъ Мишель Леви сдѣлалъ тотъ выводъ, что гранитъ можетъ заполнять собой опредѣленное пространство, не нарушая сильно положеніе слоевъ, черезъ которые онъ поднимается вслѣдствіе медленной и частичной ассимиляціи породъ, мѣсто которыхъ онъ занимаетъ (19). Смежность же съ изверженной породой должна была вызвать чрезмѣрное поднятіе изотермическихъ кривыхъ въ глубокихъ сланцевыхъ областяхъ, и сильную циркуляцію минерализаторовъ (вѣроятно щелочныхъ).

Лякруа предполагаетъ, что на уровнѣ контактовъ въ Верхнемъ Арьежѣ, гранитная магма была близка къ предѣлу своего поднятія, такъ какъ эндоморфныя включенія не смѣшались съ новыми, идущими изъ глубины, массами нормальнаго состава (22).

Не отрицая возможности поднятія гранитной магмы, которое при извѣстныхъ условіяхъ является весьма вѣроятнымъ, мы тѣмъ не менѣе должны подумать надъ тѣмъ, является ли необходимымъ всегда предполагать существованіе идущей съ глубины магмы. Постепенное образованіе геосинклинали, какъ мы уже видѣли, вполнѣ объясняетъ намъ повышеніе температуры и давленія и сильное дѣйствіе минерализаторовъ. Если предположить постепенное опусканіе дна геосинклинали все въ болѣе и болѣе глубокія области, то можно допустить, что осадочные



Фиг. 48.—Схематическій разрѣзъ объясняющій превращеніе дна геосинклинали состоящей изъ сланцевъ (s) въ гранитъ (γ), съ боковымъ проникновеніемъ (i), образованіемъ контактныхъ полосъ (c) и апофизъ (a) на меньшихъ глубинахъ.

слои, погружающіеся въ изотермическія зоны все повышающейся температуры (фиг. 48), окажутся, наконецъ, въ такихъ условіяхъ температуры и давленія, при которыхъ вліяніе минерализаторовъ будетъ достаточнымъ, чтобы превратить ихъ вполнѣ или отчасти въ гранитную магму. Послѣ охлажденія, на мѣстѣ осадочныхъ породъ окажется, смотря по ихъ природѣ, или гранитъ, или другія гранитовидныя породы. По бокамъ же, и слѣдовательно, какъ это видно на фиг. 48, на меньшей глубинѣ (въ тѣ же слои) внѣдрится или ихъ пропитаетъ гранитная магма благодаря дѣйствію минерализаторовъ, работа которыхъ облегчается слоистостью.

Въ болѣе высокихъ частяхъ превращенной въ гранитъ зоны, эти явленія охватываютъ не такое широкое поле, а на еще большей высотѣ или другими словами на меньшей глубинѣ, притокъ минерализаторовъ будетъ достаточенъ только для того, чтобы образовать гранитную магму, но онъ не будетъ въ со-

стоянiи измѣнить химическiй составъ контактныхъ концентрическихъ полосъ.

Только въ видѣ исключенiя и, вѣроятно, дѣйствiемъ орогеническихъ движенiй, нѣкоторыя части гранитной магмы, еще пластичной, но уже застывающей, могутъ быть втиснуты въ ранѣе существовавшiя пустоты и подняты въ верхнiя части земной коры. Въ этомъ случаѣ явленiя контактнаго метаморфизма будутъ очень слабо выражены. Бальтцеръ (24) приводитъ довольно убѣдительный примѣръ подобнаго поднятiя въ Аарскомъ массивѣ въ Швейцарiи.

Очень легко представить себѣ вертикальное поднятiе минерализующихъ жидкостей, проникновенiе газовъ черезъ слои литосферы, но чтобы объяснить поднятiе расплавленной магмы, нужно допустить раньше существовавшiя трещины и особаго рода механическiя воздѣйствiя, причину которыхъ мы постараемся выяснить въ дальнѣйшемъ. Нѣтъ основанiй предполагать, что въ большинствѣ случаевъ гранитъ поднимался этимъ способомъ, какъ поднимаются вулканическiя породы.

Поднятiю минерализаторовъ также способствуетъ ранѣе существовавшiя щели; многочисленныя доказательства этого мы увидимъ при изученiи жильныхъ формацiй, но, повидимому, они могутъ проникать и въ не имѣющiе трещинъ слои. Термье (25) далъ такое объясненiе существованiя прослоевъ основныхъ кристаллическихъ породъ (габбро, перидотитовъ, амфиболитовъ и хлоритизованныхъ слюдистыхъ сланцевъ) въ громадной серiи мезозойныхъ, блестящихъ сланцевъ (Schistes Lustris) въ Пiемонтскихъ Альпахъ. Но нигдѣ не удавалось обнаружить *канала*, наличность котораго допускала бы возможность поднятiя расплавленной магмы. „Зеленыя горныя породы“, образуютъ линзообразныя включенiя между слоями образовавшiяся вокругъ полосъ или столбовъ проницаемой породы расположенныхъ въ плоскости слоевъ, и эти включенiя развиты не одинаково, а въ зависимости отъ степени проницаемости породы. Составъ этихъ образованiй зависѣлъ исключительно отъ тѣхъ потерь, какiя въ каждой точкѣ испытывала проницаемая для жидкихъ веществъ полоса.

Въ концѣ концовъ метаморфизмъ сводится, какъ мы видѣли, къ дѣйствiю минерализаторовъ, которымъ благопрiятствуетъ повышенная температура и давленiе. Главнѣйшими минерализаторами являются, повидимому, слѣдующiе: во-первыхъ, кремнеземъ, вода, щелочи (и другiя основанiя: магнезiя, окись желѣ-

за и т. д.) т. е. вещества способныя образовать кварцъ и полевые шпаты, во-вторыхъ борная кислота, хлористыя и фтористыя соединенія, которыя должны были участвовать въ образованіи турмалина и слюдъ.

Тогда какъ осадки, приводимые образованіемъ геосинклиналей на громадныя глубины, должны совершенно расплавляться и превращаться въ огненно-жидкую магму, тѣ, которые достигаютъ изогеотермъ соотвѣтствующихъ болѣе низкимъ температурамъ, совершенно проникаются минерализаторами, дѣйствующими подъ давленіемъ и при температурѣ, вѣроятно, въ нѣсколько сотъ градусовъ. Эти минерализаторы, надо думать, происходятъ изъ находящихся ниже жидкихъ массъ.

Слои, которые сильно подверглись дѣйствію минерализаторовъ, превращаются въ зависимости отъ ихъ природы въ гранитъ или въ основныя гранитныя породы. Выше проникновеніе минерализаторовъ въ сланцы происходитъ послойно, а развитіе полевыхъ шпатовъ ведетъ къ образованію гнейсовъ, тогда какъ известняки кристаллизуются и обогащаются известковыми силикатами. Еще выше минерализующіе газы проникаютъ въ слои путемъ инфильтраціи и кристаллизуютъ всю массу, а въ нѣкоторыхъ мѣстахъ образуютъ линзообразныя включенія неслоистыхъ кристаллическихъ породъ.

Часто, работа воды просачивающейся съ поверхности, измѣняетъ составъ минераловъ порожденныхъ общимъ метаморфизмомъ, или проходящая вулканическая жила вызываетъ мѣстное измѣненіе своею высокой температурой, или, наконецъ, механическое дѣйствіе орогеническихъ движеній присоединяется къ дѣйствію другихъ агентовъ метафорфизма. Часто бываетъ трудно опредѣлить насколько значительны были измѣненія вызванныя той или иной причиной. Въ послѣдующихъ главахъ мы разсмотримъ тѣ силы, которыя иногда маскируютъ нормальное дѣйствіе метаморфизма [1]).

---

[1]) Въ этой главѣ пришлось воздержаться отъ сообщенія подробностей о минералогическомъ составѣ метаморфическихъ породъ и объ ихъ структурѣ, т. е. о способахъ группировки ихъ составныхъ элементовъ. Эти свѣдѣнія можно найти въ курсахъ петрографіи.

1.—Th. Babbage. Observations on the Temple of Serapis at Pozzuoli, near Naples; with Remarks on Certain Causes which may produce Geological Cycles of great Extent. *Proc. Geol. Soc. of London*. II, стр. 72-76, 1834.

2.—Sir. John F.-W. Herschell. On Phenomena connected with the interior Temperature of the Earth. *Ibid.*, стр. 548-551, 596-598, 1837-1838.

3.—Virlet. Question de la transmutation des roches. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 1re sér., VIII, стр. 306-308, 1837.

4. H. de Collegno. Peut-on distinguer dens la nature des roches véritablement primitives? Thése Fac. Sc. de Paris, in-4°, 16 стр., Paris, 1838.

5.—Virlet d'Aoust. Note sur l'origine métamorphique du granite des environs de Vire (Calvados). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 2-e sér., III, стр. 94-97, 1745.

6.—Th. Scheerer. Discussion sur la nature plutonique du granite et des silicates qui s'y rallient (traduit de l'allemand par L. Frapolli) *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 2-e sér., IV, стр., 468-495, 1847.

7.—Virlet d'Aoust. Observations sur le métamorphisme normal et la probabilité de la non-existence de véritables roches primitives à la surface du globe. *Ibid.*, 2-e sér., IV, стр., 498-505, 1847.

8.—Delesse. Recherches sur l'origine des roches. *Ibid.*, 2-e sér., XV, стр. 728, 782, 1858.

Réimprimé: In-8°, 74 стр., Paris. 1865.

9.—E. Mitscherlich. Ueber die Metamorphie der Gesteine durch erhöhte Temperatur. *Abh. d. k. Akad. d. Wiss. zu Berlin*, 1865, стр., 67-78.

10.—Daubrée. Etudes et expériences synthétiques sur le métamorphisme et sur la formation des roches cristallines. *Mém. présentés par divers savants à l'Acad. des Sc.*, XVII, стр. 1-126, 1862.

11.—Delesse. Études sur le métamorphisme des roches. *Ibid.*, XVII, стр. 127-220, 1862.

12.—H. Rosenbusch. Die Steiger Schiefer und ihre Contactzone an den Granititen von Barr-Andlau und Hohwald *Abh. z. geol. Specialkarte v. Els.-Lothr.* I, n° 2, 315 стр., 2 таб., 1 карта 1877.

13.—A. Michel Lévy. Note sur la formation gneissique du Morvan et comparaison avec quelques autres régions de même nature. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 3-e sér., VII, стр. 857-871, 1882.

14.—Ch. Sterry Hunt. The Origin of Cristalline Rocks, a historical and critical Review with an account of she Crenetic Hypothesis. *Trans. R. Soc. Canada*, II, 3, 67 стр. 1884.

15.—Ch. Barrois. Le granite de Rostrenen, ses apophyses et ses contacts. *Annales Soc. géol. du Nord*, XII, стр. 1-119, 1884.

16.—Michel Lévy. Sur l'origine des terrains cristallins primitifs. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3e sér., XVI, стр. 102-113, 1888.

17.—J. Lehmann. Untersuchungen über die Entstehung der altkrystallinischen Schiefergesteine, mit besonderer Bezugnahme auf das Sächsische Granulitgebirge, Erzgebirge. etc. 1 vol. gr. in-4°, 278 стр., 5 таб.; атласъ, 28 фотогр. таб. Bonn, 1884.

18.—H. Rosenbusch. Zur Auffassung des Grundgebirges. *N. Jahrb.*, 1889, II, стр. 81-97.

19.—Michel Lévy. Contribution à l'étude du granite de Flamanville et des granites français en général. *Bull. Serv. Carte géol.*, V, n° 36, 44 стр., 5 таб. 1893.

20.—W. C. Brögger. Die Eruptivgesteine des Kristianiagebietes. II. Die

Eruptionsfolge der triadischen Eruptivgesteine bei Predazzo in Südtyrol. 1 vol. gr. in-8⁰ 183 стр., Kristiania, 1895.

21.—J. J. Sederholm. Ueber eine archäische Sedimentformation im südwestlichen Finland. *Bull. Comm. géol. de la Finlande*, n⁰ 6, 257 стр., 2 карты, 5 таб., 97 фиг., 1899.

22.—A. Lacroix. Le granite des Pyrénées et ses phénomènes de contact. I, II, *Bull. Serv. Carte géol.*, nos 64, 71, 68 стр., 3 таб., 68 стр., 3 таб., 1898, 1900.

23.—Pierre Termier. Les trois séries cristallophylliennes des Alpes occidentales. *C. R. Ac. Sc.*, CXXXIII, стр. 964-966. 1901.

24.—A. Baltzer. Die granitischen Intrusivmassen des Aarmassivs. *N. Jahrb.*, Beil. Bd. XVI, стр. 292-324, таб. XIII-XVI, 1903.

25.—Pierre Termier. Les schistes cristallins des Alpes occidintales. *Congrès géol. intern. C. R. de la IXe sèssion*, Vienne, 1903, стр. 571-586.

26.—V. Grubenmann. Die kristallinen Schiefer. I, Allgemeiner Theil, 1 vol. n-8⁰, 105 стр., 7 фиг., 2 таб., Berlin, 1904. II, Specieller Teil, 175 стр., 8 фиг., 8 таб. Berlin. 1907.

27.—Ch. R. van Hise. A. Treatise on Metamorphism. *Monogr. of. the U. S. Geol. Surv.*, XLVII, 1286 стр., 32 фиг. 1904.

28.—Michel-Lévy. Sur les particularités de nature, de gisement et de métamorphisme des roches éruptives de profondeur. *Revue scientifique*, 5e sér., IV, стр. 769-776. 16 déc. 1905.

І. Д. Лукашевичъ. Неорганическая жизнь земли. Часть 2: Жизнь горныхъ породъ. 311 стр. С.-Петербургъ, 1909.

А. Карпинскій. Изслѣдованія произведенныя въ Южномъ Уралѣ лѣтомъ 1884 г. Изв. Геол. Комит. т, IV, 1885 г.

А. Иностранцевъ. Геологическій очеркъ Повѣнецкаго уѣзда Олонецкой губерніи. Матер. для геологіи Россіи т. VII, 1877 г.

Е. Федоровъ. Богословскій Горный округъ. С.-Петербургъ, 1900 г.

А. Герасимовъ. Геологическія изслѣдованія въ бассейнахъ р. Вачи и Кадали въ Ленскомъ горномъ округѣ въ 1900 г. Геол. Изсл. въ золотоносн. обл. Сибири. Ленскій золотоносный районъ вып. 1, 1901 г.

І. Морозевичъ. Гора Магнитная. Труды Геол. Комит. т. XVIII, №1, 1901 г.

І. Морозевичъ. Объ авгитогранатовой теоріи. Горн. журн. 1903 г.

Л. Дюпаркъ и Л. Мразекъ. Троицкое мѣсторожденіе желѣзныхъ рудъ въ Кизеловской дачѣ на Уралѣ. Труды Геол. Комит. н. серія, вып. 15, 1904 г.

Ф. Левинсонъ-Лессингъ. Петрографическая экскурсія по р. Тагилу. Изв. С.-Петерб. Политехн. Инст. 1905 г.

Ф. Левинсонъ-Лессингъ. Мѣсторожденіе магнитнаго желѣзняка горы Высокой. Тамъ-же, 1906 г.

Ф. Левинсонъ-Лессингъ. Гороблагодатское мѣсторожденіе магнитнаго желѣзняка. Тамъ-же, 1907 г.

В. Никитинъ. Геологическія изслѣдованія центральной группы дачъ Верхъ-Исетскихъ заводовъ, Ревдинской дачи и Мурзинскаго участка. Труды Геол. Ком. н. серія, вып. 22, 1907 г.

Мейстеръ. Горныя породы и условія золотоносности южной части Енисейскаго горнаго округа. Изд. Геол. Комит. С.-Петербургъ, 1910 г.

В. Обручевъ. Геологическая карта Ленскаго золотоноснаго района. Описаніе листовъ V—1 и V—2. Геол. изсл. въ золотоносн. областяхъ Сибири. С.-Петербургъ, 1910 г.

ГЛАВА XIV.

Складчатость.

Діастрофизмъ. Изученіе складокъ на поперечныхъ разрѣзахъ. Изученіе складокъ въ продольномъ направленіи. Группировка складокъ. Области воздыманія и области погруженія. Складки въ разнородныхъ массахъ. Послѣдовательное образованіе складокъ въ одной и той же области.

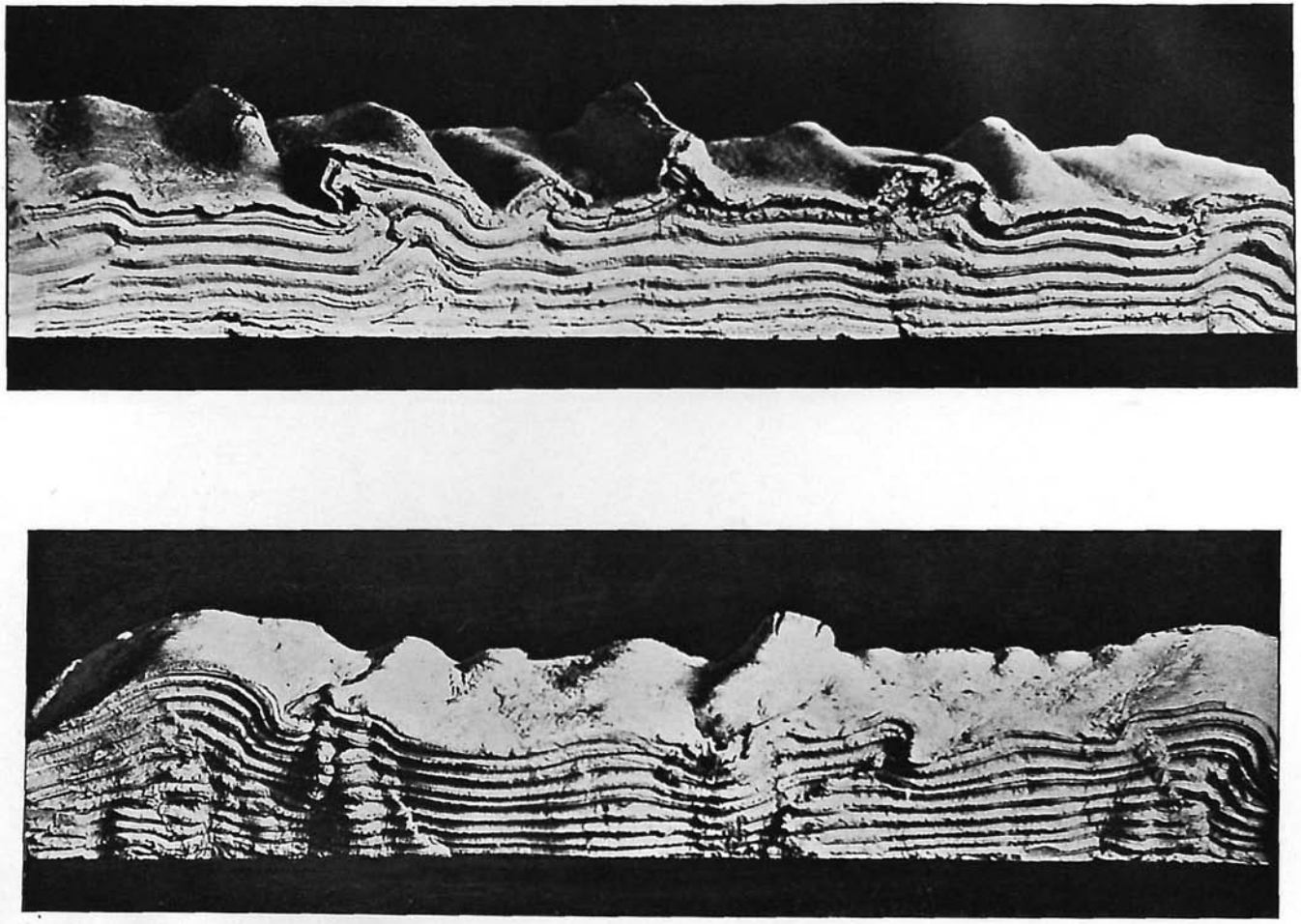
Діастрофизмъ. При изученіи геосинклиналей мы коснулись категоріи явленій совершенно иного порядка, чѣмъ тѣ, о которыхъ мы говорили раньше. Это явленія *діастрофизма*; этимъ именемъ американскіе геологи обозначаютъ *дислокаціи* и *измѣненія* формы слоевъ, происшедшія уже послѣ ихъ отложенія и затвердѣнія.

За начальную стадію этихъ явленій можно считать образованіе геосинклиналей, за которой слѣдуютъ новыя измѣненія слоевъ въ видѣ появленія *складокъ* и *разрывовъ*, къ изученію которыхъ мы сейчасъ и приступимъ.

Въ предшествующихъ главахъ, когда мы разсматривали явленія литогенезиса, мы пользовались обыкновеннымъ методомъ прямого наблюденія; теперь же намъ придется оставить этотъ методъ въ силу того, что орогеническія движенія очень рѣдко приходится наблюдать непосредственно, и потому здѣсь современныя явленія лишь въ рѣдкихъ случаяхъ могутъ выяснить намъ древнія событія изъ жизни земли.

Иногда орогеническія движенія можно яснѣе себѣ представить, пользуясь экспериментальнымъ методомъ; путемъ опытовъ иногда очень остроумныхъ было воспроизведено большое число типовъ дислокацій (табл. V); но явленіе, воспроизведенное въ лабораторіи, все же протекаетъ не при такихъ условіяхъ, при какихъ оно совершалось въ природѣ, а потому и къ результамъ этихъ экспериментовъ нужно относиться весьма осмотрительно.

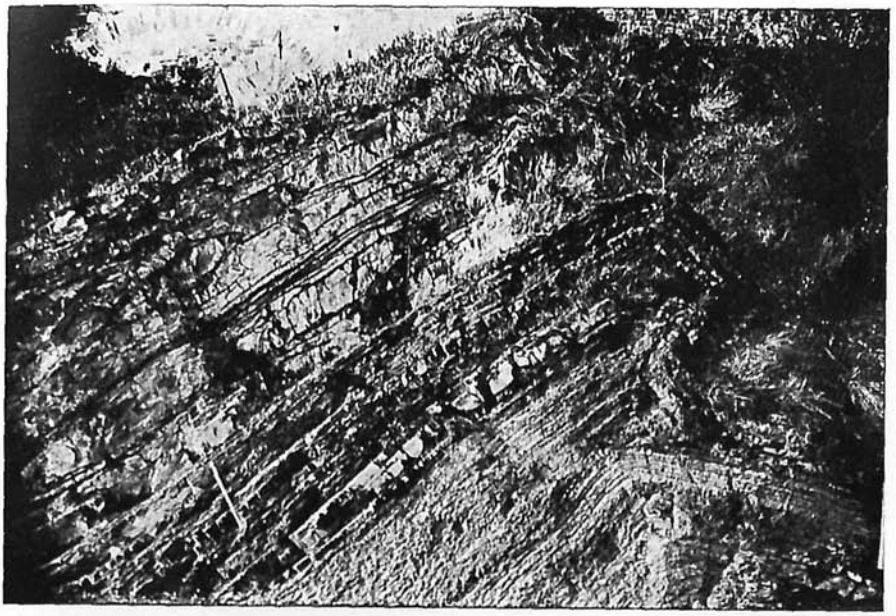
Наоборотъ, кропотливое аналитическое изученіе дислокацій и измѣненій формы слоевъ приведетъ насъ къ важнымъ выво-



По Альфонсу Фавру.

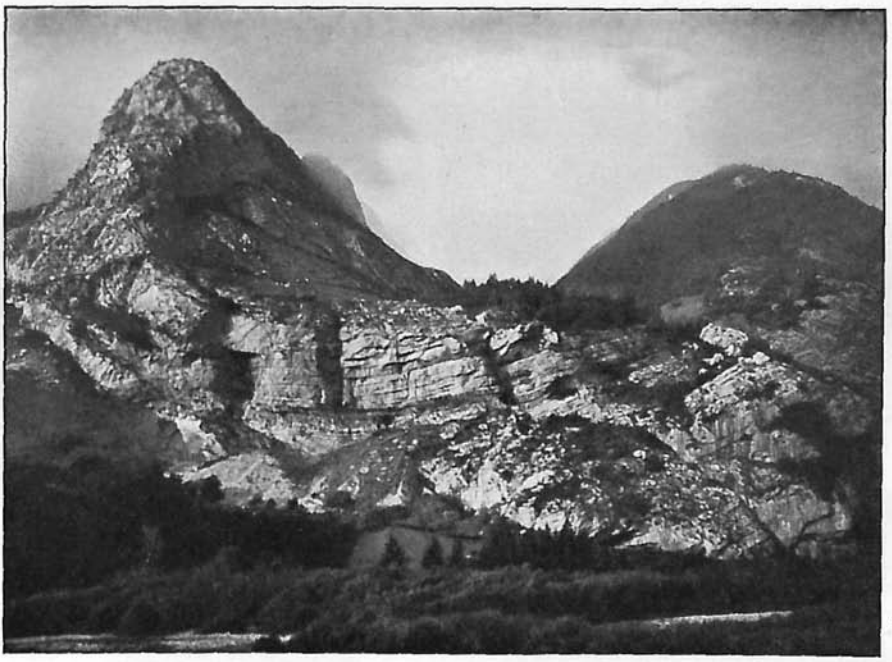
Слои глины сжатые до $^2/_3$ ихъ длины.

Экспериментальное воспроизведеніе складокъ земной коры (опыты Альфонса Фавра).



Негат. Ж. Шмитца.

Прямая антиклиналь
въ угленосныхъ сланцахъ и песчаникахъ, подъ цитаделью Намюра.



Негат. Павла Корбенъ.

Синклиналь горы Дебу близъ Тонъ
(Верхняя Савойя).
Ургонскіе известняки, съ нуммулитовымъ ядромъ.

дамъ о природѣ этихъ измѣненій; этотъ путь изученія сдѣлался возможнымъ не только благодаря искусственному обнаженію слоевъ при разработкѣ рудниковъ, при прорытіи тоннелей, въ выемкахъ и каменоломняхъ, но главнымъ образомъ благодаря тѣмъ естестественнымъ разрѣзамъ, которые встрѣчаются на склонахъ долинъ, въ скалистыхъ утесахъ горныхъ странъ или въ обрывахъ морского побережья. Мы увидимъ ниже, что даже простое изученіе поверхности почвы, часто даетъ намъ довольно правильное понятіе о ходѣ дислокацій.

Мы будемъ послѣдовательно изучать *складки* и *разрывы* или другими словами *тангенціальныя* и *вертикальныя* движенія земной коры (4, 6, 8; 0, 22).

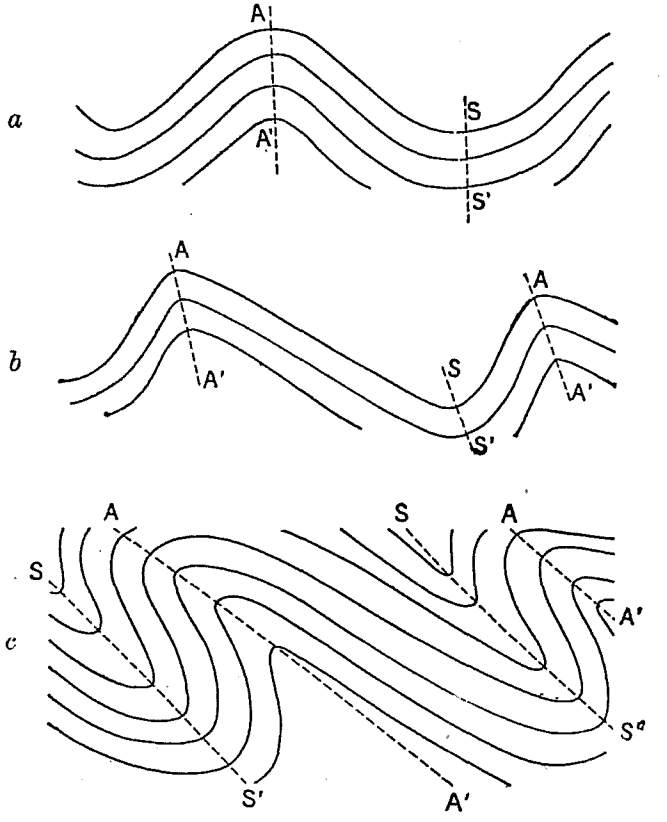
Изученіе складокъ на поперечныхъ разрѣзахъ. Основнымъ элементомъ складчатости является *складка*, состоящая изъ выпуклой или *антиклинальной* части (фиг. 49 *a*,A), и вогнутой или *синклинальной* (фиг. 49 *a*,S). Нѣкоторые ученые считаютъ каждую изъ этихъ частей за отдѣльную складку, но правильнѣе считать то и другое вмѣстѣ за одну складку. Правда, въ нѣкоторыхъ исключительныхъ случаяхъ встрѣчаются очень простые антиклинальные изгибы, не сопровождаемые синклиналями и, наоборотъ, синклинальная складка не всегда непремѣнно сопровождается антиклинальной. Какъ та, такъ и другая форма можетъ быть встрѣчена неожиданно въ серіи горизонтально лежащихъ слоевъ.

Въ самыхъ простыхъ антиклинальныхъ складкахъ, называемыхъ также *сводами* [1]), слои начиная отъ вершины изгиба, склоняются (падаютъ) въ разныя стороны (табл. VI, 1), откуда и происходитъ ихъ названіе (*ἄντι* напротивъ, *κλίνω* наклоняю) введенное впервые Бёкландомъ и Конибиромъ. Въ синклинальной складкѣ (отъ *σὺν* вмѣстѣ и *κλίνω*), называемой также *мульдой*, слои спускаются съ обѣихъ сторонъ къ серединѣ (табл. VI, 2).

Крыльями антиклинальной или синклинальной складки называютъ оба болѣе или менѣе плоскіе бока, которые соединяютъ изгибы или такъ называемые замки складокъ. Различаютъ замóкъ антиклинальный и замóкъ синклинальный. *Осевой плоскостью* называется поверхность побольшей части плоская, прохо-

[1]) Въ русской терминологіи употребляется еще названіе сѣдло или сѣдловина. Вмѣсто названій антиклинальная и синклинальная складка употребляютъ также названія антиклиналь и синклиналь. *Ред.*

дящая по изгибамъ всѣхъ слоевъ, участвующихъ въ образованіи складки (фиг. 49 *a*, *b*, *c*, AA^1, SS^1). *Осью* же складки удобно называть линію пересѣченія осевой плоскости не съ поверхностью земли, а съ горизонтальной плоскостью, принятой за основаніе; иногда же осью складки называется самый изгибъ нѣкотораго опредѣленнаго слоя. Мы сейчасъ увидимъ, что лишь



Фиг. 49.—*a*, прямая складка; *b*, косыя складки; *c*, опрокинутыя складки. Поперечные разрѣзы.

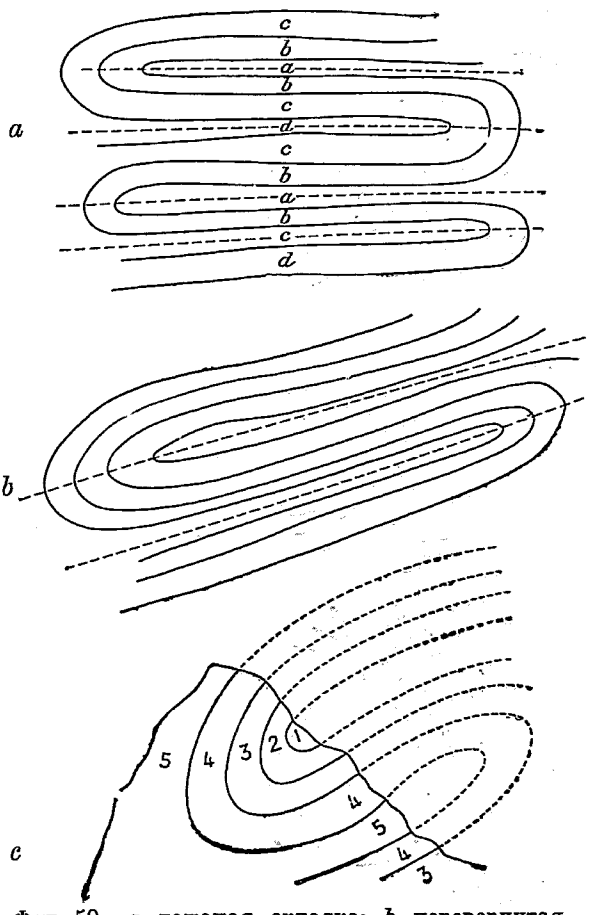
AA′, пересѣченія осевыхъ плоскостей антиклинальныхъ складокъ съ плоскостью разрѣза. SS′, пересѣченія осевыхъ плоскостей синклинальныхъ складокъ съ плоскостью разрѣза.

въ извѣстной категоріи складокъ ось и замокъ расположены на одной вертикали.

Въ геологическихъ работахъ принято изображать складки въ разрѣзахъ перпендикулярныхъ къ ихъ осевой плоскости. Если рѣка течетъ перпендикулярно къ направленію складки или ряда параллельныхъ складокъ, то склоны этой такъ называемой *поперечной долины* даютъ нормальные естественные

разрѣзы этихъ складокъ. Представимъ себѣ, что осуществленъ именно этотъ случай и прежде всего изучимъ разнообразные виды, какіе могутъ принимать простыя складки и группы складокъ въ поперечномъ разрѣзѣ, а въ слѣдующемъ параграфѣ перейдемъ къ разсмотрѣнію складокъ въ продольномъ направленіи.

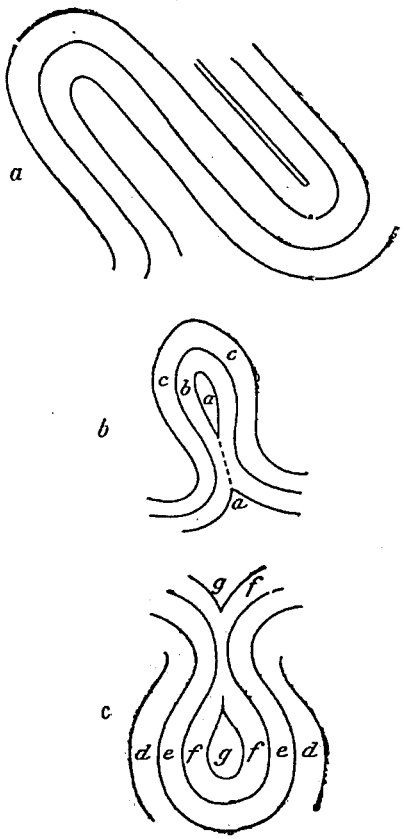
Простыя складки.—Различія простыхъ складокъ между собой выражаются наклономъ ихъ крыльевъ, угломъ подъ которымъ онѣ расходятся и ихъ мощностью.



Фиг. 50.—*a*, лежачая складка; *b*, перевернутая складка; *c*, ложная антиклиналь и ложная синклиналь.

Складки, имѣющія вездѣ одинаковую мощность крыльевъ называются *нормальными складками*. Если осевая плоскость складки является вертикальной, а оба крыла, отходя въ различныя стороны, образуютъ одинаковые углы съ горизонтомъ, мы имѣемъ дѣло съ *прямой складкой* (фиг. 49 *a*). Когда осевая плоскость наклонена, а наклонъ крыльевъ неодинаковъ, то складка называется *косой* (фиг. 49 *b*). Если одно изъ крыльевъ является слегка опрокинутымъ, то и складка называется *опрокинутой* (фиг. 49 *c*, табл. VII, I). Если крылья лежатъ почти горизонтально, складка называется *лежачей* (фиг. 50 *a*). Какъ въ этомъ случаѣ, такъ и въ предшествующемъ, мы называемъ *нормальнымъ*, то крыло склацки, въ которомъ слои сохраняютъ естественную послѣдовательность, а *обращеннымъ крыломъ* (flanc inverse)

называемъ то, въ которомъ слои лежатъ въ обратномъ порядкѣ, т. е. болѣе древніе слои лежатъ на болѣе новыхъ. Въ нормальной лежачей складкѣ на одной и той же вертикальной линіи наблюдается троекратное повтореніе однихъ и тѣхъ же слоевъ, сначала въ правильной послѣдовательности *a*, *b*, *c*, потомъ въ обратной послѣдовательности *c*, *b*, *a* и, наконецъ, опять въ правильномъ порядкѣ *a*, *b*, *c*. Иногда складка бываетъ опрокинута за горизонтальную линію и тогда называется *перевернутой* (фиг. 50 *b*). Часто складки этой категоріи, если ихъ изгибы или замки почему нибудь недоступны для наблюденія, представляютъ большія затрудненія при опредѣленіи, такъ какъ легко антиклинальный изгибъ принять за синклинальный, разрѣшить же этотъ вопросъ можно только опредѣливъ послѣдовательность слоевъ, на основаніи стратиграфическихъ и палеонтологическихъ данныхъ (фиг. 50 *c*). Ошибочно опредѣленныя въ подобныхъ случаяхъ складки называются *ложно-антиклинальными* или *ложно-синклинальными*.



Фиг. 51.—*a*, Изоклинальная складка. *b*, Вѣерообразная антиклиналь съ зажатымъ ядромъ. *c*, Вѣерообразная синклиналь съ зажатымъ ядромъ.

Опрокинутыя, лежачія и перевернутыя складки часто встрѣчаются въ такихъ областяхъ, гдѣ процессъ образованія складокъ проявился особенно сильно, какъ, напр., въ Альпахъ.

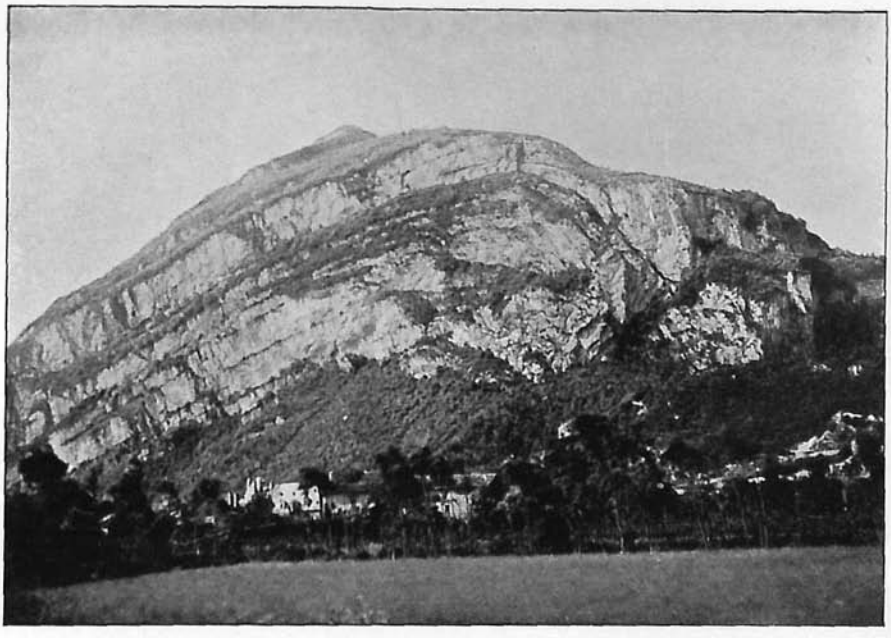
Обыкновенно крылья складокъ, образуютъ между собою уголъ; у антиклинальныхъ складокъ онъ обращенъ внизъ, а у синклинальныхъ вверхъ. Если же крылья складокъ идутъ параллельно другъ другу, то складки называются *изоклинальными* (фиг. 51 *a*). Случается даже, что въ антиклинальной складкѣ уголъ, образованный крыльями, открытъ вверхъ, а въ синклинальной внизъ. Подобныя складки называются *вѣерообразными* (фиг. 51 *b*, *c*). Центральная часть складки (или



Негат. В. Кильяна.

Сильно опрокинутая складка.

Маллявалласъ, близъ Сенъ-Жюльена (Варъ).
Верхнеюрскіе известняки опрокинутые на неокомъ.

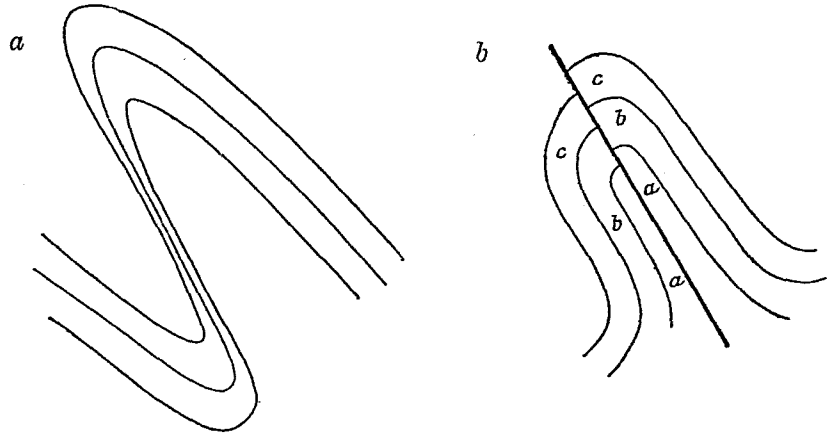


Негат. В. Кильяна.

Складка-сдвигъ у Сассенажъ
(Изеръ)
Ургонскіе известняки.

ядро складки) бываетъ тогда сильно сжата и путемъ раздавливанія можетъ быть совершенно заключена въ сравнительно новые слои, если это антиклинальная складка (фиг. 51 *b*), и въ болѣе древніе слои, если это синклинальная (фиг. 51 *c*).

Разсмотримъ теперь случай, когда, вслѣдствіе неодинаковаго напора дѣйствующаго на̀ слои болѣе или менѣе пластичные, одно изъ крыльевъ *растягивается*, сплющивается (фиг. 52). Это явленіе встрѣчается преимущественно въ опрокинутыхъ и лежачихъ складкахъ, при чемъ это утоненіе слоевъ большею частью наблюдается въ обращенномъ крылѣ. Намъ кажется, что въ этомъ случаѣ былъ притокъ вещества въ область замка̀ и въ нормальное крыло.



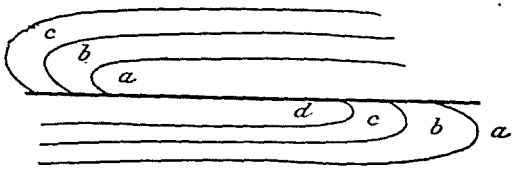
Фиг. 52.—*a*, Складка съ вытянутымъ обращеннымъ крыломъ. *b*, складка-сдвигъ.

Это утоненіе можетъ порой доходить до полнаго исчезновенія расплющеннаго крыла; въ нѣкоторыхъ случаяхъ причиной исчезновенія можетъ быть разрывъ по направленію, болѣе или менѣе параллельному осевой плоскости складки. Складка, лишенная опрокинутаго крыла, называется *складкой-сдвигомъ* (фиг. 52 b, таб. VII, 2). Чтобы соединить слои, составляющіе синклинальный или антиклинальный замо̀къ, нужно мысленно сблизить ихъ, перемѣщая ихъ назадъ по плоскости растяженія или разрыва, т. е. дѣлая движеніе, въ направленіи противоположномъ тому, въ какомъ дѣйствовалъ создавшій складку напоръ.

Особенно сильное горизонтальное перемѣщеніе, вслѣдствіе растяженія или разрыва слоевъ, наблюдается у лежачихъ складокъ; одна половина складки при этомъ выдается здѣсь далеко впередъ сравнительно съ другимъ крыломъ. Въ этомъ случаѣ

происходитъ *перекрываніе или наволокъ* (надвигъ) [1]) (фиг. 53), при чемъ наблюдается *покрытіе* серіи слоевъ, образующихъ нормальное крыло синклинали, такою же серіей нормальнаго крыла антиклинали, вслѣдствіе чего происходитъ повтореніе однихъ и тѣхъ же слоевъ въ правильной послѣдовательности: *a*, *b*, *c*, *d*, *a*, *b*, *c* (фиг. 53). Эти анормальныя перекрытія часто захватываютъ громадныя пространства, такъ что въ нѣкоторыхъ случаяхъ горизонтальное перемѣщеніе произведенное наволокомъ равнялось 30 и 50 км., а въ Швеціи достигало даже 130 км.

Впервые эти явленія были констатированы Эшеръ фонъ-деръ Линтомъ, который наблюдалъ налеганіе юрскихъ и мѣловыхъ отложеній на третичныя, на обширныхъ площадяхъ въ Глярусскихъ Альпахъ; эта область сдѣлалась съ тѣхъ поръ объектомъ упорныхъ трудовъ Альберта Гейма (4). Общераспространенность наволоковъ въ горныхъ цѣпяхъ была установлена потомъ Марселемъ Бертраномъ (7).



Фиг. 53.—Надвигъ или наволокъ (charriage).

Группировка складокъ.—Горная мѣстность рѣдко представляетъ собой одну складку, обыкновенно же поперечные разрѣзы горной цѣпи даютъ прекрасную картину послѣдовательности примыкающихъ одна къ другой складокъ. Сейчасъ мы дадимъ краткій очеркъ различныхъ видовъ сочетанія складокъ.

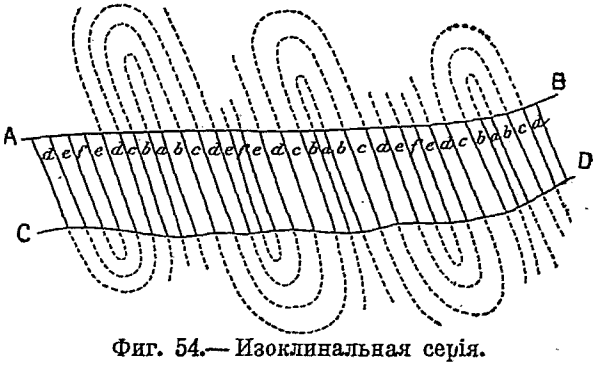
Въ нѣкоторыхъ горныхъ цѣпяхъ наблюдаются преимущественно прямыя складки, правильно расположенныя другъ возлѣ друга и имѣющія болѣе или менѣе постоянную вышину и ширину. Этотъ видъ складокъ распространенъ въ большей части Юрской цѣпи и потому такое сочетаніе складокъ можно называть *юрскимъ* (фиг. 2).

Въ другихъ случаяхъ преобладаютъ опрокинутыя складки, при чемъ направленіе ихъ наклона одинаково во всей цѣпи. Вся масса является въ этомъ случаѣ диссимметричной и, какъ это было установлено Зюссомъ (0,22), подобная диссимметрія характерна для очень многихъ складчатыхъ горъ. Апеннины являются однимъ изъ общепризнанныхъ примѣровъ диссимметричныхъ горъ.

---

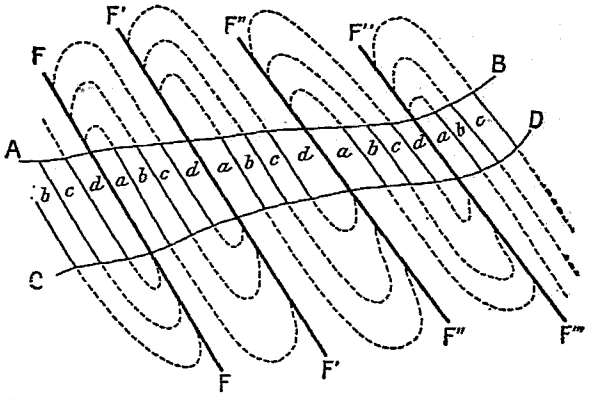
[1]) Въ русской литературѣ употребляется и французскій терминъ шарьяжъ (charriage); намъ кажется, что русское слово наволокъ лучше всего передаетъ точный смыслъ этого термина. *Прим. ред.*

Иногда, въ случаѣ преобладанія изоклинальныхъ складокъ, наклонъ слоевъ бываетъ очень правиленъ. Въ такихъ *изоклинальныхъ областяхъ* сѣдла могутъ быть разрушены дѣйствіемъ атмосферныхъ агентовъ, тогда какъ синклинальные перегибы скрыты далеко отъ поверхности земли; въ этомъ случаѣ представляются большія затрудненія при опредѣленіи послѣдовательности слоевъ, наклоненныхъ въ одномъ и томъ же направленіи и повторяющихся то въ прямой то въ обратной послѣдовательности, т. е. *a, b, c, d, e, f, f, e, d, c, b, a, a, b, c, d, e, f, f, e, d, c, b, a* и т. д. (фиг. 54). Лишь съ помощью палеонтологіи стратиграфія можетъ установить послѣдовательность во времени образованія слоевъ и отличить болѣе древніе слои, образующіе антиклинали отъ болѣе новыхъ составляющихъ синклинали и пополнить чертежъ пунктирными линіями, изображающими перегибы складокъ (воздушныя складки).



Фиг. 54.—Изоклинальная серія.

Непосредственно видна только часть между линіями AB и CD. Замки, изображенные пунктирными линіями, возстановлены.



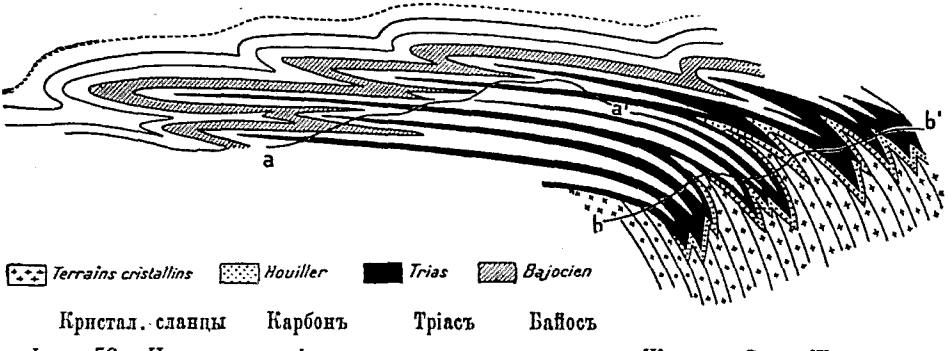
Фиг. 55.—Чешуйчатая серія.

FF, F'F', F''F'', F'''F''', Складки-сдвиги. Непосредственно видны только части между линіями AB и CD.

Въ серіи опрокинутыхъ въ одинаковомъ направленіи складокъ всѣ обращенныя крылья часто бываютъ вытянуты и разрушены, такъ что наблюдается неоднократно повторяемая послѣдовательность нормальныхъ серій *a, b, c, d, a, b, c, d, a, b, c, d* и т. д. соприкасающихся другъ съ другомъ путемъ складки сдвига (фиг. 55). Подобная складчатость называется *чешуйчатымъ* или

черепичнымъ строеніемъ. Впервые подобное расположеніе складокъ было описано Биттнеромъ, въ Альпахъ въ Нижней Австріи.

Иногда встрѣчаются также *наложенныя другъ на друга лежачія складки*, всѣ опрокинутыя въ одномъ направленіи; подобное расположеніе складокъ было описано М. Бертраномъ и Е. Риттеромъ на горѣ Жоли, около Сенъ-Жерве (въ Верхней Савойѣ) (фиг. 56). Здѣсь складки имѣютъ прямые корни, состоящіе около синклинальныхъ замковъ изъ вертикальныхъ или слегка опрокинутыхъ слоевъ, тогда какъ крылья наложенныхъ



Фиг. 56.—Нагроможденіе лежачихъ складокъ горы Жоли у Сенъ-Жерменъ-ле-Бень (Верхняя Савойя). Замки актиклиналей всѣ разрушены эрозіей до линіи aa′. Въ профилѣ bb′, сохранились только прямые корни (по М. Бертрану и Е. Риттеру).

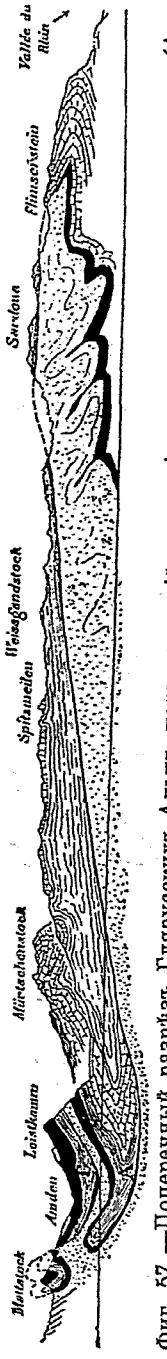
одна на другую складокъ горизонтальны или выгнуты сводомъ, а антиклинальные перегибы могутъ образовать даже перевернутыя складки.

Наконецъ, обращенныя крылья наложенныхъ другъ на друга лежачихъ складокъ могутъ быть разрушены, и тогда мы имѣемъ передъ собой лежащіе одинъ на другомъ покровы наволоковъ (*nappes de charriage superposées*). Подобный порядокъ вещей былъ констатированъ Морисомъ Люжономъ и нами въ массивѣ Сюлансъ въ Савойѣ, и кромѣ того онъ наблюдается въ еще бо́льшихъ размѣрахъ въ бо́льшей части Швейцарскихъ Альпъ (фиг. 57), какъ это было установлено Люжономъ (II).

Хотя горныя цѣпи бываютъ по большей части диссимметричными, но иногда складки бываютъ опрокинуты на обоихъ склонахъ въ противоположныхъ направленіяхъ отъ средней оси, которая иногда совпадаетъ съ орографической осью. Въ такомъ случаѣ расположеніе горной цѣпи является *сложновѣерообраз-*

нымъ (фиг. 58)[1]). Оба крыла этого вѣера могутъ имѣть чешуйчатое строеніе. Какъ наиболѣе типичный примѣръ такой структуры часто указывались Западныя Альпы, гдѣ складки французскаго склона обращены къ Франціи, складки итальянскаго склона къ Италіи, при чемъ среднюю ось составляетъ Бріансонская каменноугольная полоса.

Въ другихъ случаяхъ опрокинутость съ обѣихъ сторонъ направлена къ оси симметріи, и тогда передъ нами *обратная сложновѣерообразная структура*. Это расположеніе складокъ не такъ часто встрѣчается, какъ это предполагали одно время, но въ нѣкоторыхъ мѣстахъ наблюдаются двѣ лежачія другъ противъ друга складки въ такомъ положеніи, что выпуклость ихъ сѣделъ направлена въ противоположномъ направленіи (фиг. 59)[2]).



Фиг. 57.—Поперечный разрѣзъ Гларусскихъ Альпъ, показывающій налеганіе двухъ наволочныхъ покрововъ (А. и С.), происшедшихъ вслѣдствіе растяженія обращеннаго крыла двухъ лежачихъ складокъ (по М. Ложону). Масштабъ: 1/250000.

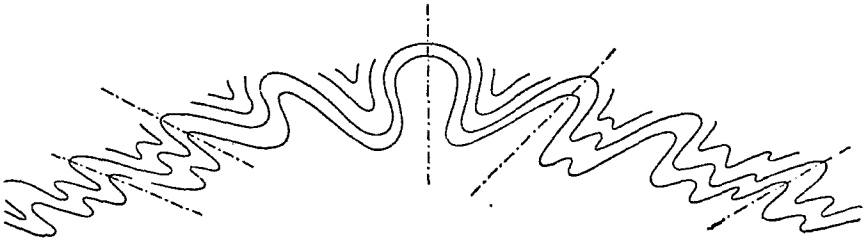
Изученіе складокъ въ продольномъ направленіи.—До сихъ поръ мы изучали виды складчатости въ перпендикулярномъ къ ихъ направленію разрѣзѣ. Важно теперь посмотрѣть, что дѣлается со складками, если прослѣживать ихъ вдоль ихъ протяженія, т. е. перемѣщаясь параллельно ихъ оси.

На поверхности земной коры складка представляется волнообразнымъ изгибомъ какого-либо слоя, а вся совокупность этихъ волнообразныхъ изгибовъ поверхности, образуетъ *структурную поверхность* слоя. Очевидно, что если данная мѣстность не подвергалась дѣйствію эрозіи, то структурная поверхность самаго верхняго слоя совпадаетъ какъ разъ съ топографической поверхностью. Въ этомъ случаѣ антиклинали являются сводами въ топографическомъ смыслѣ, а синклинали соотвѣтствуютъ долинамъ, при чемъ горизонтали поверхности обозначаютъ одновременно и форму рельефа и изгибы структурной поверхности

[1]) *Антиклинорій* американскихъ геологовъ. *Прим. ред.*

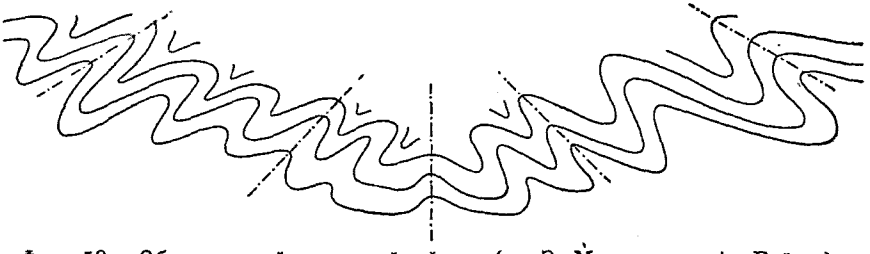
[2]) *Синклинорій* американскихъ геологовъ. *Прим. ред.*

(фиг. 60 *a*). Но это является скорѣе исключеніемъ встрѣчающимся, напр., на небольшихъ пространствахъ въ юрской цѣпи. Почти всегда структурная поверхность глубоко изрѣзана внѣшними динамическими агентами и топографическая поверхность не совпадаетъ со структурной. На геологическихъ картахъ обыкновенно изображается пересѣченіе топографической поверхности со структурной каждаго изъ напластованій, выступа-



Фиг. 58.—Сложный вѣеръ (по Э. де Маржери и А. Гейму).

ющихъ на поверхность въ предѣлахъ изображаемой области. Полосы, окрашенныя въ условный цвѣтъ, изображаютъ поверхности, въ предѣлахъ которыхъ эти напластованія выступаютъ наружу; эти полосы даютъ возможность возстановить складчатость, если, конечно, въ достаточномъ числѣ пунктовъ обозначенъ наклонъ слоевъ (фиг. 60 *b*).

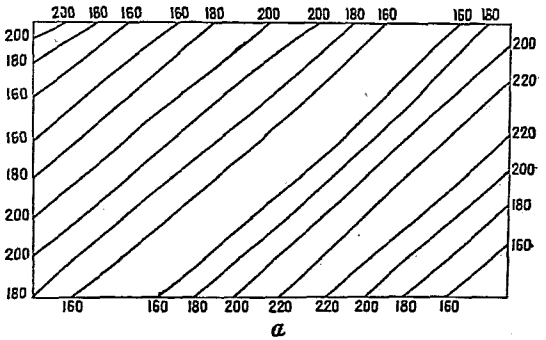


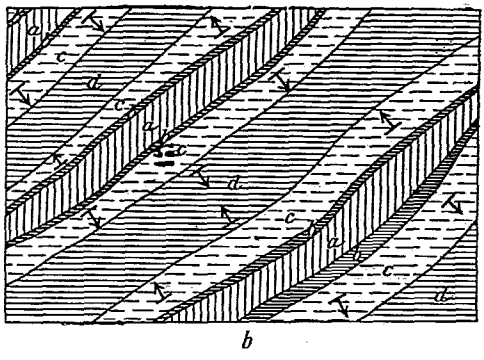
Фиг. 59.—Обращенный сложный вѣеръ (по Э. Маржери и А. Гейму).

Представимъ себѣ, что въ данной мѣстности встрѣчается много прямыхъ параллельныхъ складокъ, ширина которыхъ одинакова, такъ же какъ и высота остается неизмѣнной по направленію оси складокъ. Структурная поверхность каждаго слоя будетъ тогда представлена горизонталями параллельными между собою (фиг. 60 *a*). Геологическая карта представляетъ большую или меньшую сложность въ зависимости отъ большаго или меньшаго разнообразія топографіи.

Теперь мысленно представимъ себѣ страну, которая дѣйствіемъ атмосферныхъ агентовъ превратилась въ предѣльную равнину (пенепленъ). Тогда линіи выходовъ различныхъ на-

пластованій на дневную поверхность будутъ прямыми параллельными линіями, а стрѣлки, обозначающія наклонъ слоевъ, расположатся симметрично по обѣимъ сторонамъ оси складокъ (фиг. 60 *b*). При этихъ условіяхъ геологическая карта будетъ имѣть видъ параллельныхъ полосъ: примѣромъ подобной карты можетъ быть карта Бретани, гдѣ съ запада на востокъ тянутся длинныя полосы докембрійскихъ гранитовъ и сланцевъ, обозначающія положеніе антиклиналей, а полосы каменноугольныхъ отложеній указываютъ мѣста синклиналей.





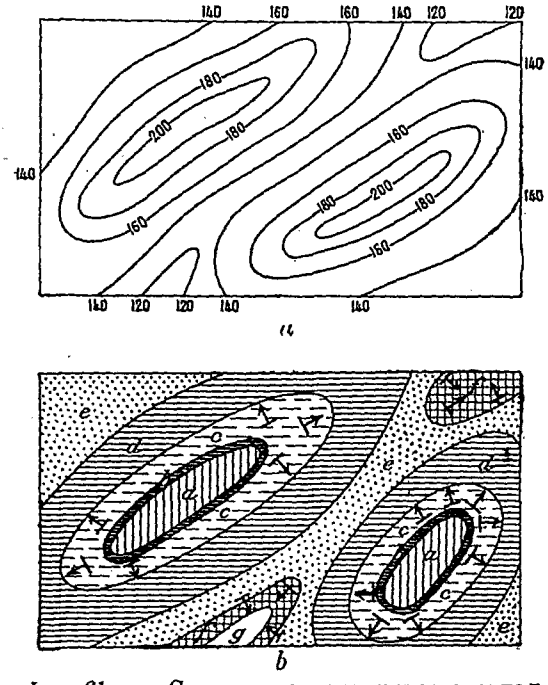
Фиг. 60.—*a*, Структурная поверхность согнутаго въ складки слоя. *b*, Геологическая карта той же складчатой области при допущеніи, что она выровнена эрозіей.

Предположимъ теперь, что тѣ же прямыя параллельныя антиклинали быстро понижаются по мѣрѣ того, какъ мы слѣдимъ за ними вдоль ихъ протяженія. Тогда горизонтали, выражающія форму структурной поверхности, не остаются параллельными, а попарно между собою соединяются (фиг. 61 *a*). Также и на геологической картѣ полосы одного цвѣта будутъ между собою соединяться; а стрѣлки, изображающія наклонъ слоевъ, будутъ расходиться во всѣ стороны отъ центральной точки, лежащей на оси складки (фиг. 61 *b*). Въ этомъ случаѣ говорятъ, что складки имѣютъ *периклинальное окончаніе*. Всѣ складки болѣе или менѣе быстро заканчиваются такимъ образомъ, по крайней мѣрѣ на одномъ своемъ концѣ, если, конечно, не переходятъ въ другую складку.

Въ синклиналяхъ стрѣлки наклона сходятся какъ радіусы полукруга къ одной точкѣ расположенной на оси.

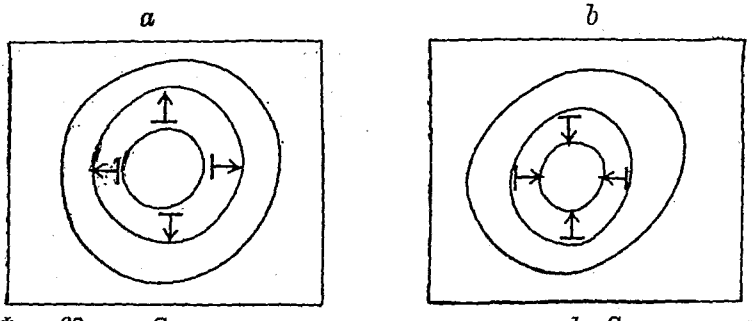
Если антиклиналь на обоихъ и притомъ болѣе или менѣе близкихъ концахъ имѣетъ *переклинальное окончаніе*, то она

называется *брахиантиклиналью* (Ш. Лори), а синклиналь, имѣющая недалеко отстоящіе другъ отъ друга периклинальныя окончанія, называется *брахисинклиналью*. Структурныя поверхности *брахиантиклиналей* и *брахисинклиналей* выражаются концентрическими горизонталями, имѣющими видъ болѣе или менѣе вытянутыхъ эллипсисовъ (фиг. 61 *a*). На геологической картѣ въ этихъ случаяхъ получатся концентрическія полосы, границы которыхъ имѣютъ формы эллипсовъ или подобныхъ имъ фигуръ (фиг. 61 *b*).



Фиг. 61.—*a*, Структурная поверхность складчатой области съ периклинальными окончаніями. *b*, Геологическая карта той же области при допущеніи, что она выровнена эрозіей.

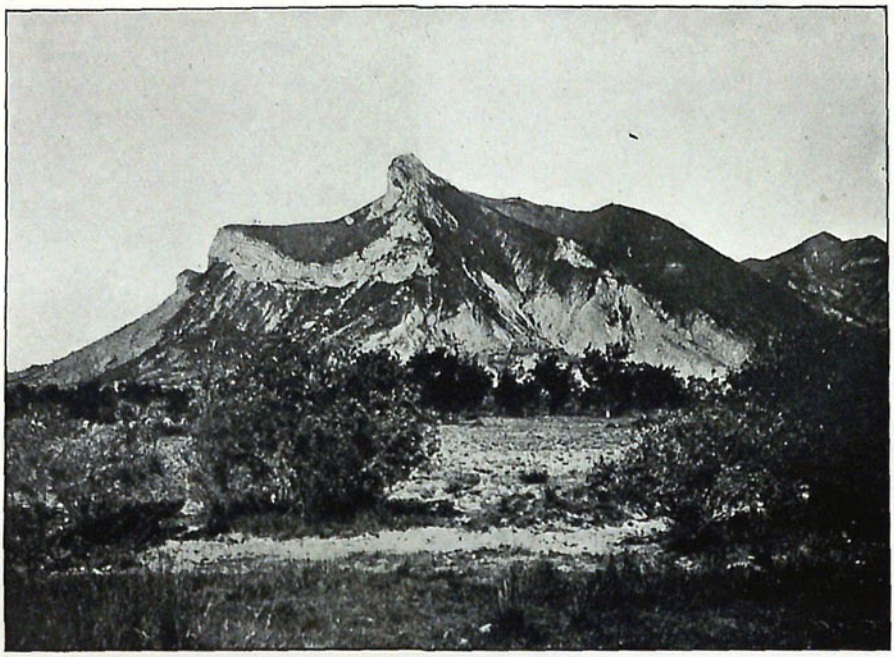
Если точки, изъ которыхъ исходятъ или къ которымъ сходятся стрѣлки наклона, стремятся слиться въ одну, и если эллипсы стремятся превратиться въ концентрическіе круги, то брахиантиклинали становятся *куполами* [1]) а брахисинклинали



Фиг. 62.—*a*, Структурная поверхность купола. *b*, Структурная поверхность чаши.

чашами (cuvettes) (фиг. 62 *a*, *b*). Брахиантиклинали и куполы, брахисинклинали и чаши являются въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ

[1]) Тектоническіе куполы не слѣдуетъ смѣшивать съ вулканическими.



Негат. Э. Ога.

Кювета Буа де ла Фай.

Восточный край, видъ отъ Монетье-Аллемонъ (Верхніе Альпы).

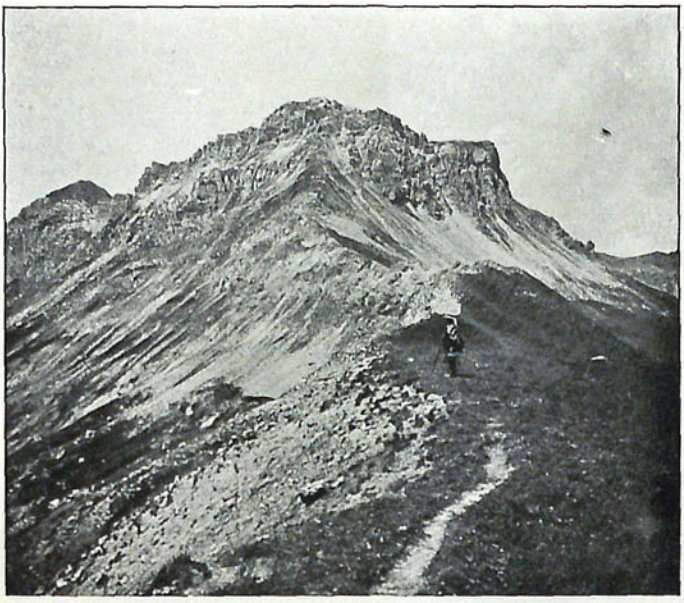
Размытые среднеюрскіе мергеля; верхнеюрскіе известняки образующіе утесы; нижнемѣловые мергеля и известняки, образующіе дно кюветы.



Негат. В. Кильяна.

Покровный лоскутъ Большой Сеоланы, близъ Барселоннетты.

Песчаникъ съ большими нуммулитами (въ основаніи) верхнеюрскіе известняки (утесы), лейасовые известняки (вершина), опрокинутые на черные мергеля нуммулитоваго флиша.



Негат. Э. Ога.

Ля Пюстерль, близъ Шоржъ (Верхніе Альпы).

Покровный лоскутъ верхнеюрскихъ известняковъ, лежащій на нуммулитовомъ флишѣ.



Негат. Э. Ога.

Ля Меа или „Сахарная голова".

Видъ изъ Аньельс, близъ Барселонетты.

Верхнеюрская антиклиналь съ лейасовымъ ядромъ надвинутая на флишъ.



Негат. Э. Ога.

Окно Гальштадской соляной копи (Австрія).

Появленіе соленоснаго покрова изъ подъ покрова Дахштейна.



Негат. Павла Корбенъ.

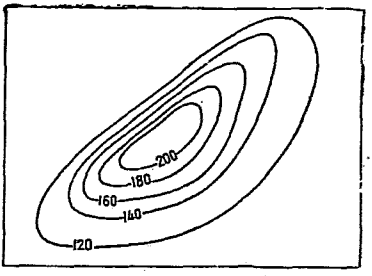
Малая Сеоляна.

Видъ съ перевала Аньелье, близъ Барселонетты.

Останецъ наволочнаго покрова согнутый въ антиклиналь (юра на нуммулитовыхъ слояхъ
На перевалѣ: тріасовые карніоли, заключенные между покровомъ и автохтоннымъ. чернымъ флишемъ; направо: стѣна Большой Сеоляны (см. табл. VIII, 2).

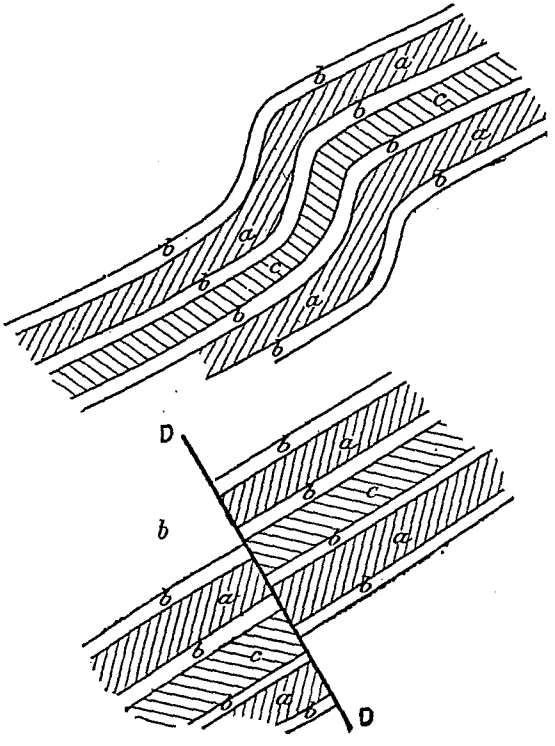
преобладающими тектоническими особенностями. Въ качествѣ примѣра первыхъ, можно назвать окрестности Туниса, гдѣ структурная поверхность юрскихъ породъ иногда совпадаетъ съ топографической поверхностью отдѣльно стоящихъ горъ. Эллиптическія и рѣже круглыя чаши часто встрѣчаются въ окрестностяхъ Систерона, гдѣ онѣ играютъ роль мѣловыхъ останцовъ среди юрскихъ породъ (табл. VIII, 1).

Все только что сказанное относилось къ прямымъ складкамъ, но, очевидно, что достаточно было бы лишь очень немного измѣнить наши описанія, чтобы они стали пригодны и для ассимметричныхъ складокъ. На нашихъ чертежахъ было бы достаточно сблизить горизонтали (фиг. 63) или сузить полосы выходовъ напластованій на сторонѣ, соотвѣтствующей крутому крылу складки. Изобразить структурную поверхность опрокинутой или тѣмъ болѣе лежачей складки очень трудно и даже невозможно. Складка-сдвигъ можетъ быть представлена прямой линіей, къ которой горизонтали будутъ сходиться, но не будутъ сливаться одна съ другой. На геологической картѣ изображаютъ линію ея пересѣченія съ топографической поверхностью; эта *линія анормальнаго соприкосновенія* будетъ при пересѣченіи съ долинами образовать входящіе углы, а при пересѣченіи съ гребнями—выступы; лишь въ случаѣ совершенно плоской топографической поверхности эта линія будетъ прямою. Конечно, линія анормальнаго соприкосновенія, соотвѣтствующая болѣе или менѣе горизонтальной плоскости наволока (шарьяжа), будетъ извилистой и будетъ итти близко къ горизонтали (фиг. 74). Понятно теперь, что въ томъ случаѣ когда, вслѣдствіе разрушительной работы атмосферныхъ агентовъ, отъ надвинутаго покрова (наволока) уцѣлѣлъ оторванный отъ цѣлаго остатокъ, этотъ *покровный лоскутъ* (*lambeau de recouvrement*) будетъ казаться останцомъ слоя, нѣкогда нормально покоившагося на своемъ основаніи. Такъ, напр. Марсель Бертранъ обнаружилъ въ Боссе въ департаментѣ Варъ лоскуты тріасовыхъ известняковъ, которые, какъ шапки, покрываютъ мѣловые слои; они являются ничѣмъ инымъ какъ пощаженными эрозіей останцами, уцѣлѣвшими отъ большой лежачей складки, съ разрушеннымъ



Фиг. 63.—Структурная поверхность ассиметричной брахиантиклинали.

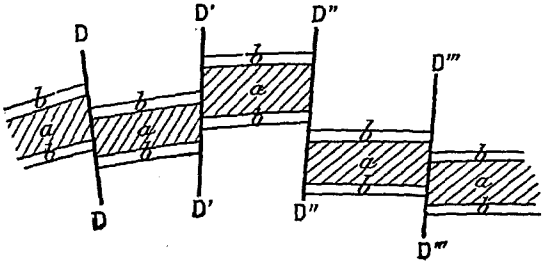
перевернутымъ крыломъ. Съ тѣхъ поръ было указано еще много другихъ примѣровъ покровныхъ лоскутовъ въ Альпахъ, гдѣ ихъ часто обозначаютъ нѣмецкимъ терминомъ *Klippen—утесы*, такъ какъ они возвышаются въ видѣ утесовъ твердыхъ породъ, среди окружающаго ихъ болѣе спокойнаго пейзажа. (Табл. VIII, 2, IX).



Фиг. 64.—*a*, Уклонившіяся складки изображенныя въ плоскости. *b*, Горизонтальное смѣщеніе двухъ параллельныхъ складокъ впослѣдствіи срѣзанныхъ эрозіей.

Наоборотъ, *окнами* были названы отверстія, образовавшіяся вслѣдствіе эрозіи въ наволочныхъ покровахъ; эти отверстія даютъ намъ возможность распознать лежащіе подъ *этими покровами* болѣе новые слои (табл. X, I).

Часто вдоль линіи анормальнаго соприкосновенія складки-сдвига или вдоль *наволочнаго покрова* встрѣчаются остатки напластованія, втиснутые между лежащей въ основаніи и надвинутой массой; они являются остатками обращеннаго крыла или независимой складки, лежавшей внизу и вытянутой въ четкообразную форму. Это такъ называемые *напорные отрывы* (lambeaux de poussée).



Фиг. 65.—Многократное смѣщеніе одной и той же складки.

Но вернемся къ нашей исходной точкѣ, т. е. къ изображенію складки или группы складокъ на плоскости. Мы взяли случай прямолинейнаго направленія складокъ и надо сказать, что

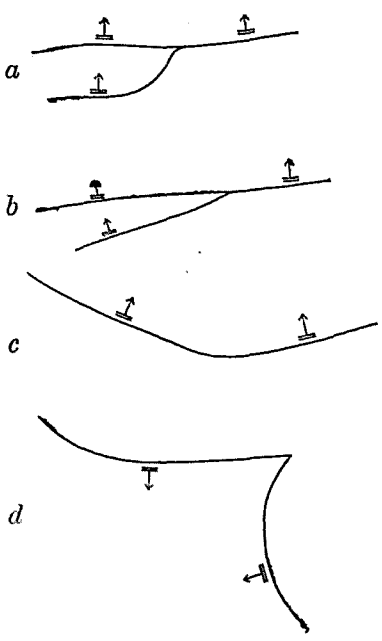
это наиболѣе частый случай; но на ряду съ этимъ есть много складокъ, представляющихъ изгибы, уклоненія, даже извилины. Если мы представимъ въ видѣ линіи ихъ ось, которая, повторяемъ, является линіей пересѣченія ихъ осевой плоскости не съ топографической поверхностью, а съ произвольно взятой горизонтальной плоскостью, то эта линія будетъ то итти прямо, то уклоняться отъ своего направленія, то снова къ нему возвращаться (фиг. 64, *a*); она будетъ то изогнута, то извилиста [1]).

Уклоненія въ направленіи складокъ должны быть приписаны, вѣроятно, неодинаковой силѣ напора въ различныхъ мѣстахъ Подобно тому какъ недостаточная пластичность слоевъ вызываетъ внезапный переходъ опрокинутой складки въ складку-сдвигъ, точно также вмѣсто внезапнаго отклоненія складки въ сторону можетъ произойти ея поперечный разрывъ, который называется *горизонтальнымъ сдвигомъ* (нѣмецкій терминъ Blatt). (фиг. 64, *b*). Этотъ разрывъ, болѣе или менѣе перпендикулярный къ оси, выражается тѣмъ, что слои передвигаются въ сторону. Крылья складки больше уже не совпадаютъ по обѣ стороны разрыва (фиг. 64, 65); чтобы прослѣдить за его предѣлами или перегибъ слоевъ, или продолженіе одного изъ слоевъ складки нужно перемѣститься въ сторону, часто на сотни метровъ по направленію разрыва. Напр., въ Арморикскомъ массивѣ складки очень часто перерываются подобнымъ образомъ, при чемъ горизонтальнымъ смѣщеніямъ подвергались какъ прямыя складки, такъ и косыя, какъ опрокинутыя такъ и лежачія, какъ складки нормальныя, такъ и складки съ обращенными и расплющенными крыльями.

Группировка складокъ.—Въ горныхъ цѣпяхъ складки иногда тянутся долгое время параллельно другъ другу, но большею частью онѣ пересѣкаются соединяясь то вдругъ (фиг. 66, *a*), то постепенно, образуя острый уголъ (фиг. 66, *b*), то, мало-по-малу изгибаясь, и образуя широко открытую кри-

[1]) При передачѣ въ тектонической схемѣ лежачей складки могутъ встрѣтиться большія затрудненія, такъ какъ, несмотря на прямолинейность ея оси, ея антиклинальный перегибъ можетъ быть изогнутъ или извилистъ, такъ какъ интенсивность надвига не была повсюду одинакова. Въ такомъ случаѣ можно изобразить особымъ знакомъ передовой перегибъ какого-нибудь опредѣленнаго слоя.

вую (фиг. 66, *c*) [1]). Въ случаѣ соединенія складокъ подъ острымъ угломъ слѣдуетъ различать соединеніе опрокинутыхъ въ одномъ направленіи складокъ и соединеніе складокъ, перегибы которыхъ поправлены съ разныя стороны. Подобное соединеніе складокъ можно назвать смыканіемъ. Зюссъ называетъ его (*Schaarung*), но его можно также разсматривать какъ *поворотъ назадъ* или *загибъ* (*rebroussement*) кривой, описанной одной и той же складкой (фиг. 66, *d*). Фестоны или гирлянды складокъ, образующіе такіе углы, являются характерной особенностью нѣкоторыхъ складчатыхъ системъ. Въ южной Азіи, начиная съ Малой Азіи и до Индо-Китая, складчатость имѣетъ видъ такихъ дугъ, обращенныхъ вогнутостью къ сѣверу и соединяющихся подъ острымъ угломъ поворота (angles de rebroussement) открытымъ къ югу, т. е. въ направленіи опрокинутости складокъ (фиг. 67).



Фиг. 66.—*a*, *b*, *c*, *d*, Различные способы соединенія двухъ складокъ.

Складки могутъ соединяться въ группы и образовать цѣлый *пучекъ* складокъ или *тектоническую зону*. Когда этотъ пучекъ расходится снопомъ, и складки, отдаляясь одна отъ другой, постепенно теряются въ сосѣдней равнинѣ, то получается тотъ видъ складчатости, который Зюссъ называетъ *виргаціей* (фиг. 69, *a*). Если же складки, раздѣлившись на короткое время отдѣльными вѣтвями, снова соединяются, то такая складчатость называется *миндалевидной*, она часто встрѣчается въ древнихъ нагорьяхъ западныхъ Альпъ (фиг. 69, *b*).

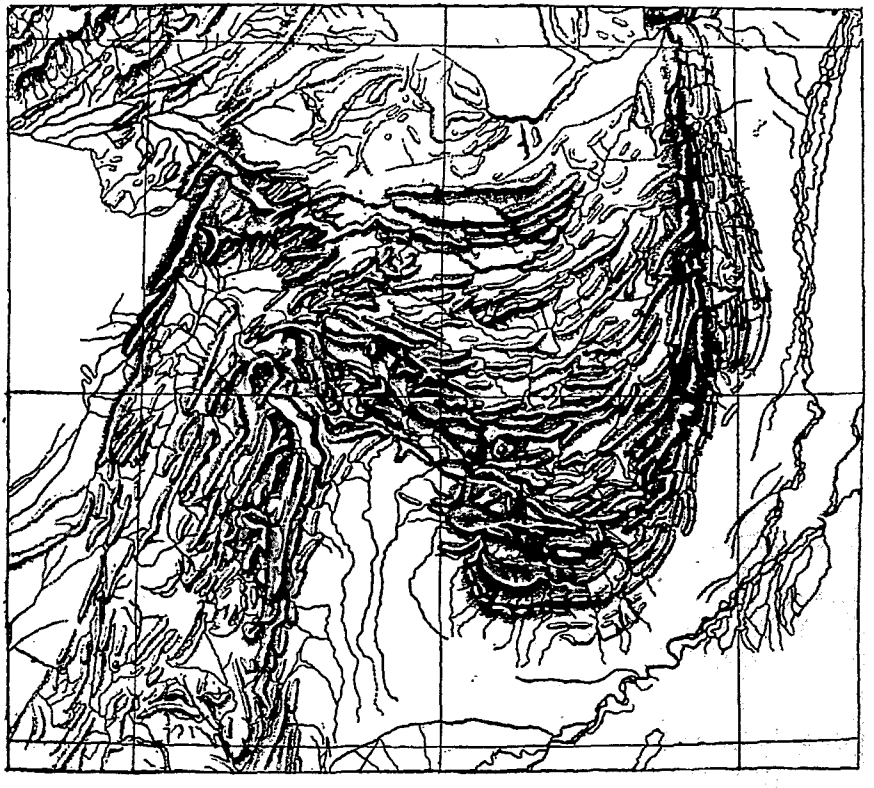
Пучки складокъ рѣдко тянутся на большое разстояніе; когда же они прерываются, сосѣдній пучекъ мѣняетъ свое направленіе, становясь продолженіемъ прервавшагося. Подобное явленіе называется *подставой* или *замѣщеніемъ* (*relaiement*), и очень часто встрѣчается на краю горныхъ цѣпей, гдѣ складки,

---

[1]) Эти различные способы соединенія складокъ были спеціально изучены Цюрхеромъ (9).

шедшія сначала параллельно, могутъ подставляться одна вмѣсто другой и образовать внѣшніе отроги (фиг. 69, *c*).

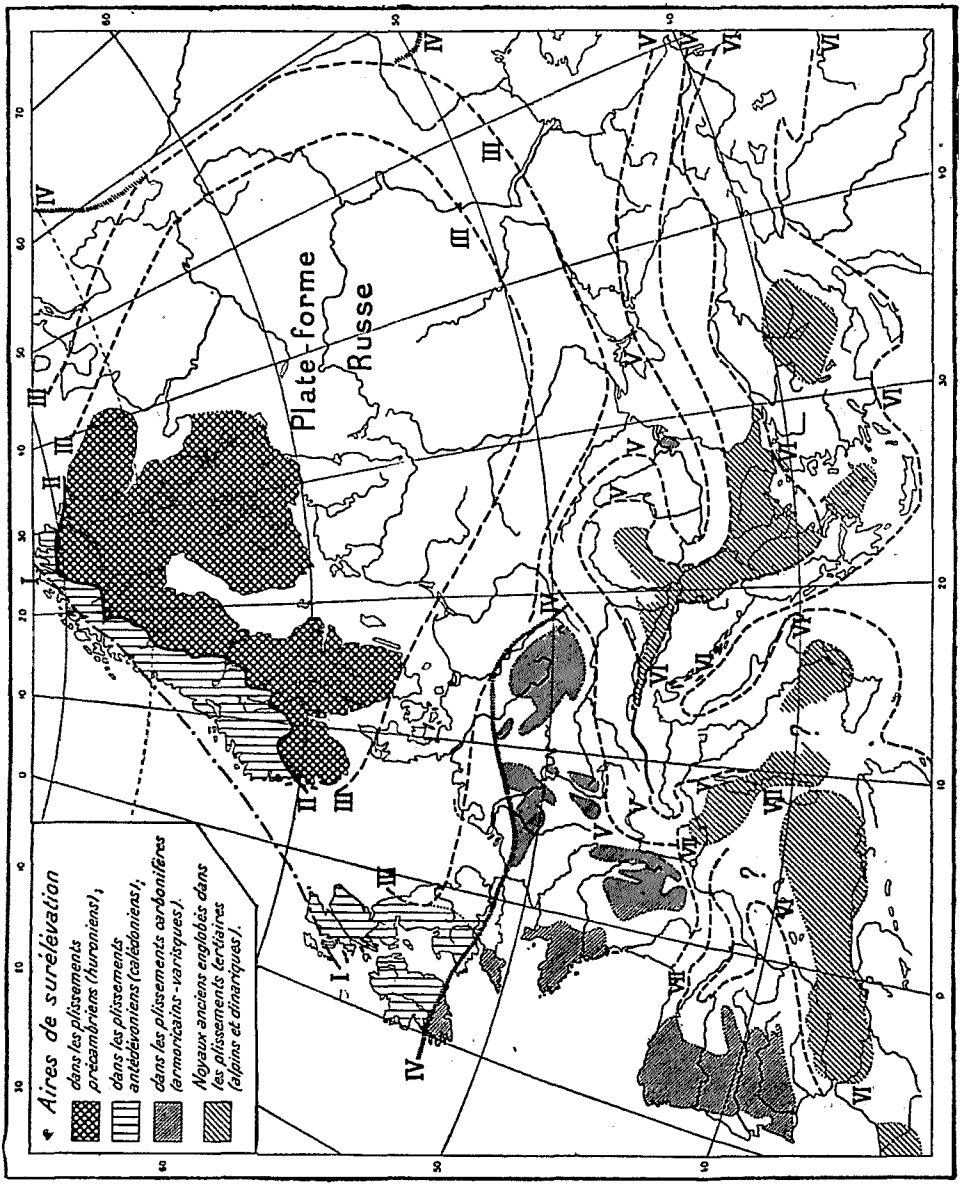
На южномъ склонѣ Альпъ, многочисленные пучки складокъ постепенно обрѣзываются вкось по краю долины По. Точно также и въ Атласѣ внутреннія цѣпи Сахарскаго Атласа становятся на востокѣ прибрежными, подставляясь въ Тунисѣ на



Фиг. 67.—Сеистанская дуга, примѣръ южно-азіатской гирлянды (по 44 листу Географическаго атласа Вивьенъ де Сенъ-Мартена и Ф. Шрадера, нарисованному Ж. Бажземъ, оттискъ полученъ отъ издателей Гашеттъ и К°).

мѣсто Телльскаго Атласа, при чемъ на южномъ краю цѣпи, почти всѣ складки очень скошены и образуютъ на границѣ пустыни какъ бы рядъ выступовъ. Такое распредѣленіе складокъ Зюссъ называетъ кулиснымъ.

Отмѣтимъ еще уклоненія складокъ или пучковъ складокъ, наблюдаемыя вблизи купола или чаши, когда складки болѣе или менѣе точно обрисовываютъ ихъ очертанія; на многочисленные примѣры этого явленія въ верхнемъ Провансѣ указали Кильянъ и Леонъ Бертранъ.



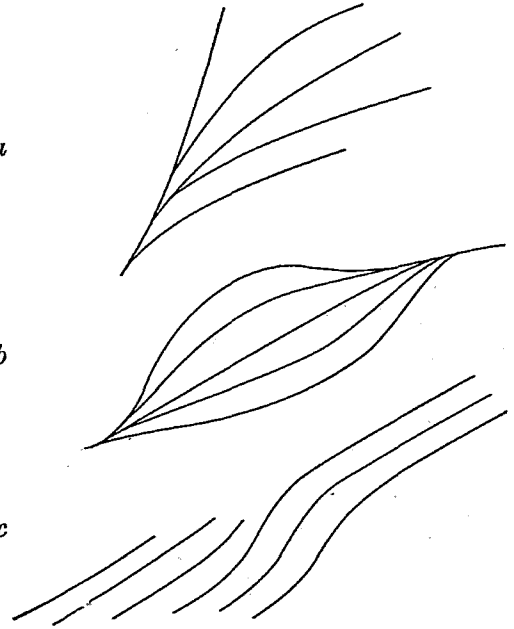
Фиг. 68.—Распространеніе складчатыхъ полосъ въ Европѣ (по Э. Зюссу, М. Бертрану, І. І. Седергольму, Э. Огу).

I—I, Сѣверная граница каледонскихъ складокъ; II—II, сѣверный край скандинавскаго наволочнаго покрова; III—III, периферическая складчатая полоса вокругъ скандинавскаго щита и русской платформы; IV'—IV', сѣверный и западный край арморикско-варисскихъ складокъ; V—V, альпійскія складки; VI—VI, Динариды; VII—VII, пиренейскія складки.

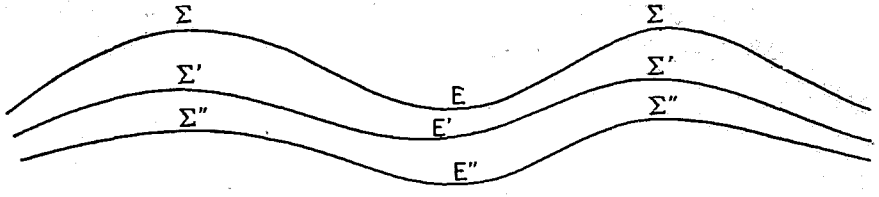
Штриховки обозначающія области воздыманія:

сѣтка — въ декембрійскихъ (гуронскихъ) складкахъ.
вертик.—въ додевонскихъ (каледонскихъ) складкахъ.
косая частая —въ каменноугольныхъ (арморикско-варисскихъ) складкахъ.
косая рѣдкая—древнія ядра включенныя въ третичныя складки (альпійскія и динарскія).

Области воздыманія и области погруженія.— (Aires de surélévation et aires d'ennoyage). Какъ отдѣльная складка можетъ дѣлать волнообразные изгибы вдоль своей оси, такъ что отдѣльныя мѣста ея то поднимаются выше другихъ, то опускаются внизъ, также и группа складокъ можетъ имѣть болѣе выдающіяся вверхъ (воздымающіяся) и болѣе низкія части, вслѣдствіе того, что оси всѣхъ складокъ, входящихъ въ группу, поднимаются или опускаются до одной поперечной линіи (фиг. 70). На основаніи этого мы различаемъ *области воздыманія (aires de surélévation)*, гдѣ оси всѣхъ складокъ, входящихъ въ извѣстную группу, достигаютъ ихъ максимальной высоты и *области погруженія (aires d'ennoyage)*, гдѣ оси опускаются до ихъ минималь-



Фиг. 69.—*a*, виргація; *b*, миндалевидный пучекъ; *c*, подстава одного пучка складокъ вмѣсто другого.

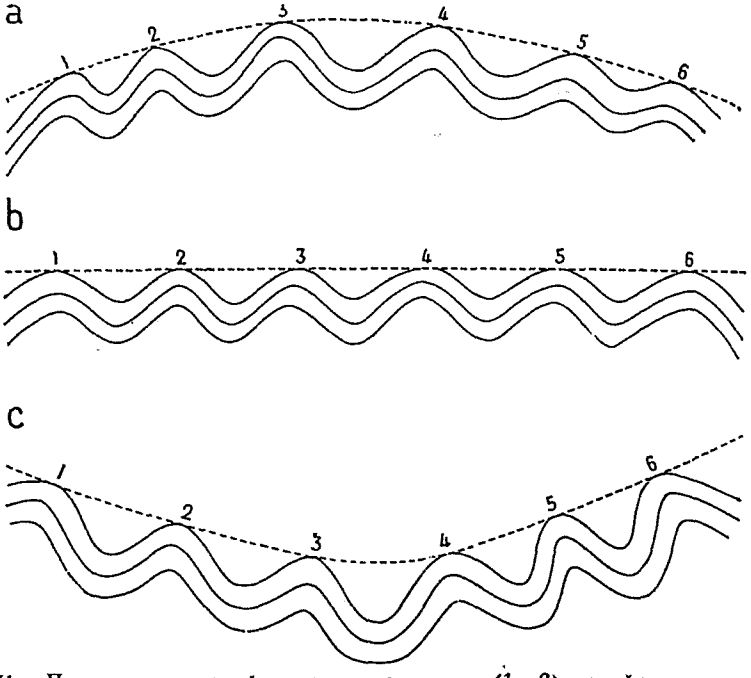


Фиг. 70.—Волнообразное изгибаніе осей трехъ складокъ одного и того же пучка; изображенное въ проэкціи на одну вертикальную плоскость.

Σ, Σ', Σ'', воздыманія осей; E, E' E'', погруженія.

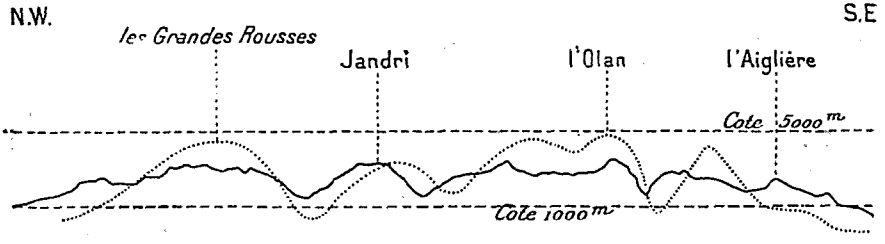
ной вышины. Если провести касательную поверхность къ сѣдламъ какого-либо слоя во всей группѣ складокъ, то эта поверхность образуетъ куполъ въ области воздыманія (фиг. 71, *a*); а подобная же поверхность, проведенная въ области погруженія, очертитъ чашу (фиг. 71 *c*). Въ области воздыманія будутъ выведены на дневную поверхность самые древніе слои данной мѣстности, а въ области погруженія самые новые, независимо

отъ того являются ли эти новые слои сами складчатыми или они отложились во впадинѣ уже послѣ процесса образованія складокъ, такъ что складки образующія пучекъ, какъ бы



Фиг. 71.—Поперечные разрѣзы пучка складокъ (1—6) послѣдовательно воздымающагося (a) и погружающагося (c).

утонули или погрузились въ этотъ покровъ, какъ онѣ погрузились бы подъ уровень моря, если бы оно залило впадину, соотвѣтствующую области погруженія.

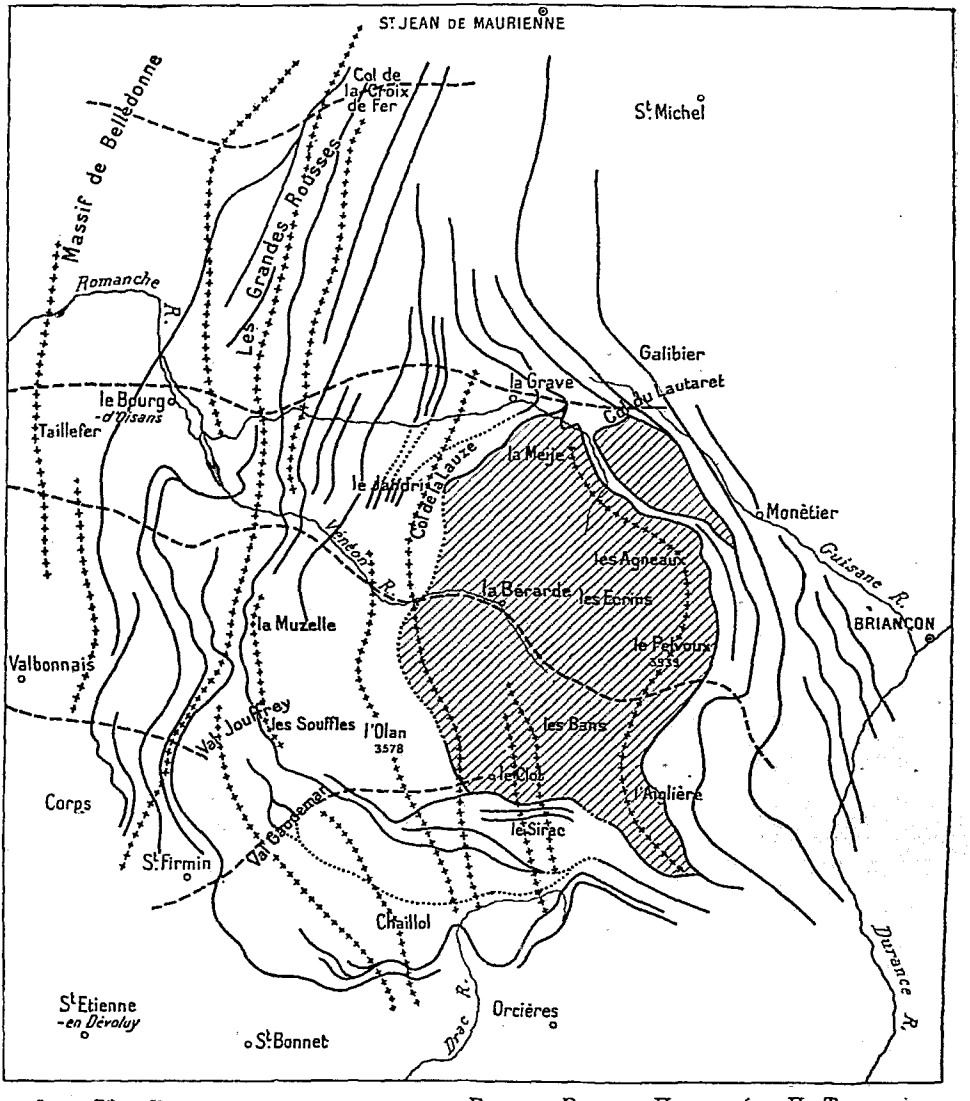


Фиг. 72.—Продольные волнообразные подъемы оси складки въ массивѣ Грандъ-Руссъ (пунктирная линія) (по П. Термье).

Сплошная линія обозначаетъ профиль нынѣшней топографической поверхности.

П. Термье приводитъ замѣчательный примѣръ группы складокъ въ Западныхъ Альпахъ, называемой Грандъ-Руссъ (Grandes-Rousses), которая образуетъ нѣсколько областей воздыманія,

отдѣленныхъ одна отъ другой поясами погруженія, напр., впадиной Ля Романшъ (la Romanche), которая обнаруживаетъ какъ бы поперечную складчатость (фиг. 72). Затѣмъ вся эта группа



Фиг. 73.—Карта складокъ массивовъ Грандъ-Руссъ и Пельву (по П. Термье).
Масшт. 1 : 500000.
—— Синклинальныя складки третичнаго возраста.
++++ дотріасовыя складки ---- Поперечные волнообразные изгибы.
Заштрихованныя поверхности обозначаютъ миндалевидныя области воздыманія.

складокъ примыкаетъ къ миндалевидному нагорью Экренъ (les Ecrins) (фиг. 73).

Болѣе грандіознымъ примѣромъ могутъ служить Арморикскій массивъ и Центральный массивъ Франціи, образующіе двѣ области воздыманія, выводящія на дневную поверхность первичныя напластованія и отдѣленныя другъ отъ друга областью погруженія; эта область—ворота Пуату занятыя смятыми въ складки вторичными породами. Парижскій бассейнъ также является громадною областью погруженія, заключенною между воздымающимися массивами, на западѣ—Арморикскимъ, на востокѣ Вогезами и Арденами, складки которыхъ, хотя и очень ослабленныя, проходятъ въ томъ же направленіи въ третичныхъ породахъ бассейна.

Далѣе, на сѣверѣ Финно-Скандинавскій массивъ является такою же областью воздыманія, отдѣленною отъ древнихъ массивовъ Великобританіи областью погруженія, послѣднимъ слѣдомъ которой является Сѣверное море.

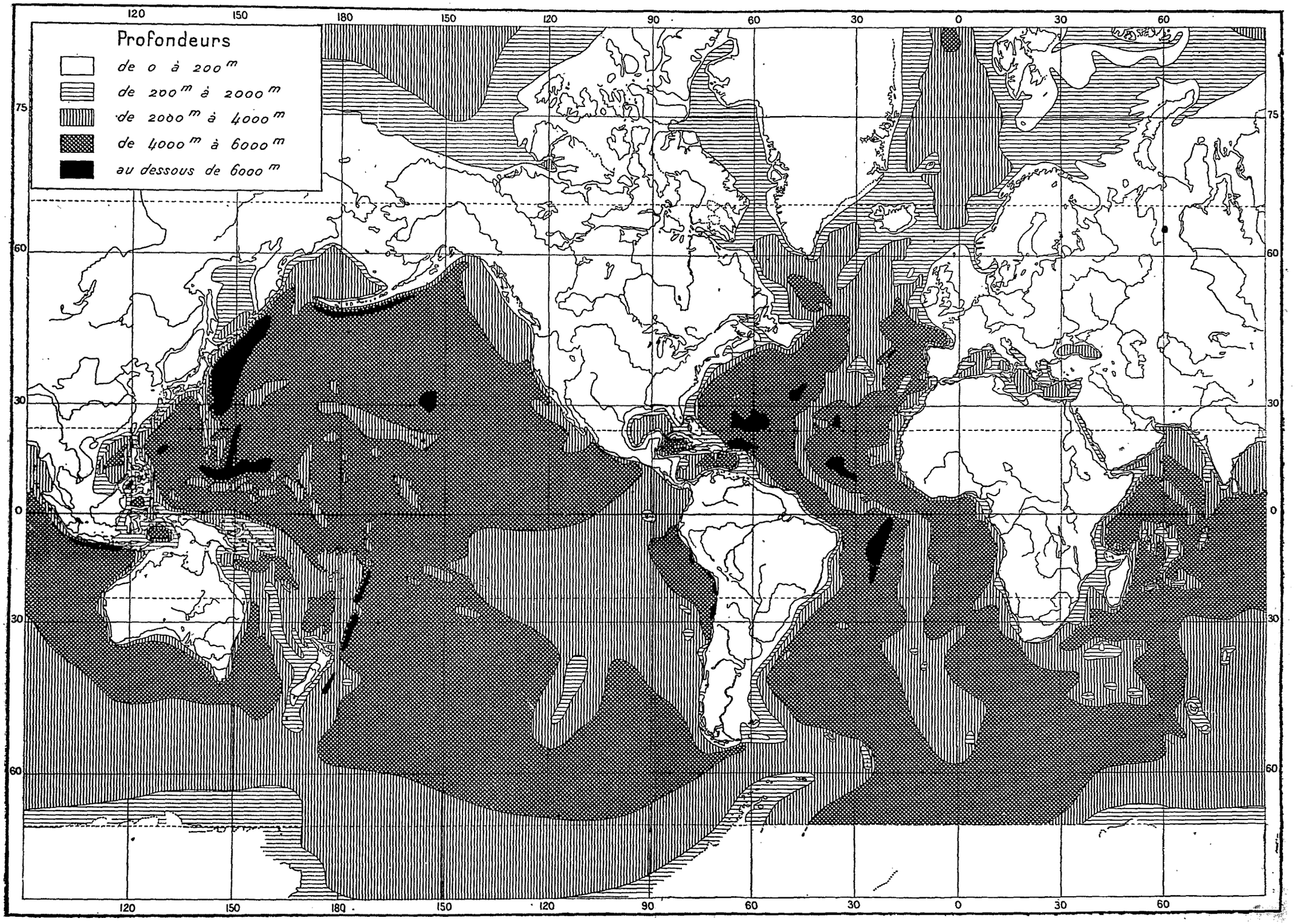
Области погруженія, будучи наиболѣе низменными частями складчатой мѣстности, могутъ быть, вслѣдствіе напора въ незанятое пространство, выполнены наволочными покровами, корни которыхъ находятся въ болѣе внутреннихъ тектоническихъ зонахъ горной цѣпи.

Нами была описана область погруженія (12) Амбрюнэ, заключенная между двумя областями воздыманія Пельву и Меркантуръ, въ которую проникли многочисленные наложенные другъ на друга наволочные покровы, берущіе начало на краю Бріансонской зоны.

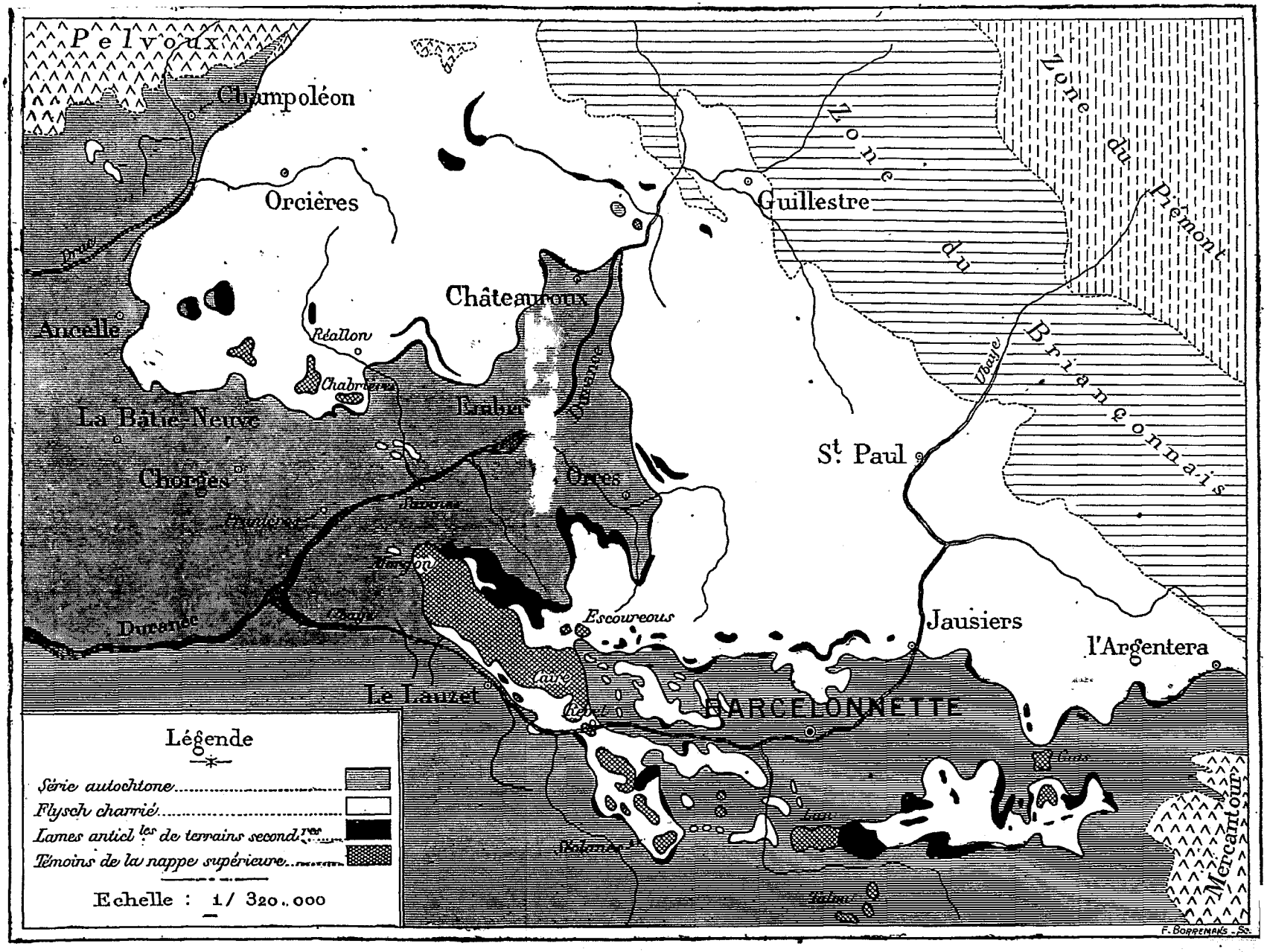
Складки въ разнородныхъ массахъ. — До сихъ поръ мы совершенно не принимали во вниманіе природы той матеріи, которая подверглась процессу складчатости, т. е. не касались состава слоевъ, претерпѣвшихъ измѣненія, а, наоборотъ, предполагали ихъ *однородность*: на самомъ же дѣлѣ они являются разнородными какъ, въ вертикальномъ направленіи, такъ что наложенныя другъ на друга массы могутъ представлять различную степень пластичности, такъ и въ горизонтальномъ направленіи, такъ что противоположные края слоя могутъ отличаться по своей мощности и минералогическому составу.

Разнородность въ горизонтальномъ направленіи.—Измѣненія въ мощности слоевъ въ горизонтальномъ направленіи, имѣютъ большое вліяніе на мѣста возникновенія (локализацію) явленій складчатости.

Уменьшеніе мощности опредѣляетъ собою линію слабости



Фиг. 5.—Распредѣленіе океаническихъ глубинъ (по Джону Меррею, А. Зупану и по картѣ Принца Монакскаго).



Фиг, 74.— Схематическая карта показывающая нынѣшнее распространеніе наволочныхъ покрововъ Эмбрюне и Юбѣ. (Клише получено отъ Revue générale des Sciences).

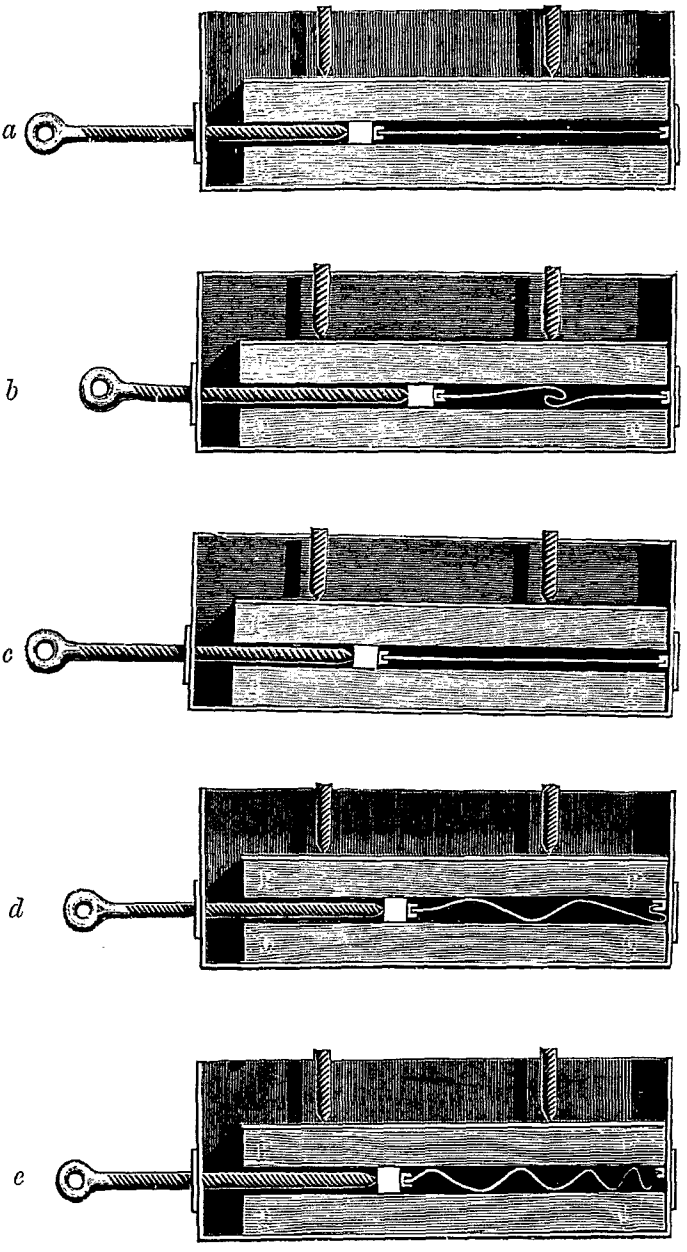
Легенда. Горизонт. штрих.—Автохтонная серія.

Бѣлое—Надвинутый флишъ.

Черное—Расплющенныя антиклинали вторичныхъ породъ.

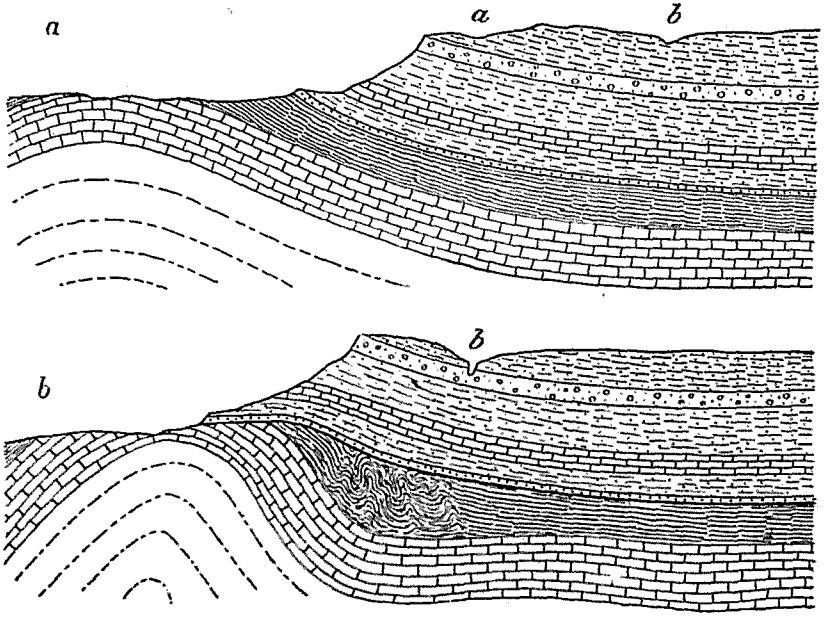
Сѣтка —Останцы верхняго покрова.

Масштабъ $^{1}/_{320.000}$.



Фиг. 75.—Экспериментальное воспроизведеніе складокъ, путемъ бокового сжиманія свинцовыхъ пластинъ утоненныхъ въ средней части (*a*, *b*) или къ одному краю (*c*—*e*) (по Daubree, Études Synthétiques de Géologie expérimentale)

породы, вдоль которой главнымъ образомъ складчатость и проявится и притомъ съ большей интенсивностью, чѣмъ въ другихъ мѣстахъ. Добре произвелъ любопытный опытъ, подвергая боковому давленію свинцовые листы, утоненные то въ серединѣ, то ближе къ краю (фиг. 75); при этомъ онъ констатировалъ, что въ болѣе тонкихъ частяхъ образовались опрокинутыя складки, а въ нормальныхъ—прямыя.



Фиг. 76.—*a*, разрушенная эрозіей антиклиналь.—*b*, она же въ дальнѣйшей степени развитія и съ перекрытіемъ возникшимъ подъ вліяніемъ продолжающейся работы тангенціальныхъ силъ и атмосферныхъ агентовъ (по Бэли Уиллису).

Бэли Уиллисъ (8) установилъ, что образуются особаго рода надвиги (*erosion thrusts*) вдоль складокъ, перегибъ которыхъ былъ разрушенъ атмосферными агентами. Если напоръ, вызвавшій появленіе складки продолжается, то въ томъ мѣстѣ, гдѣ складка потерпѣла отъ эрозіи, образуется разрывъ, сопровождающійся надвигомъ (фиг. 76).

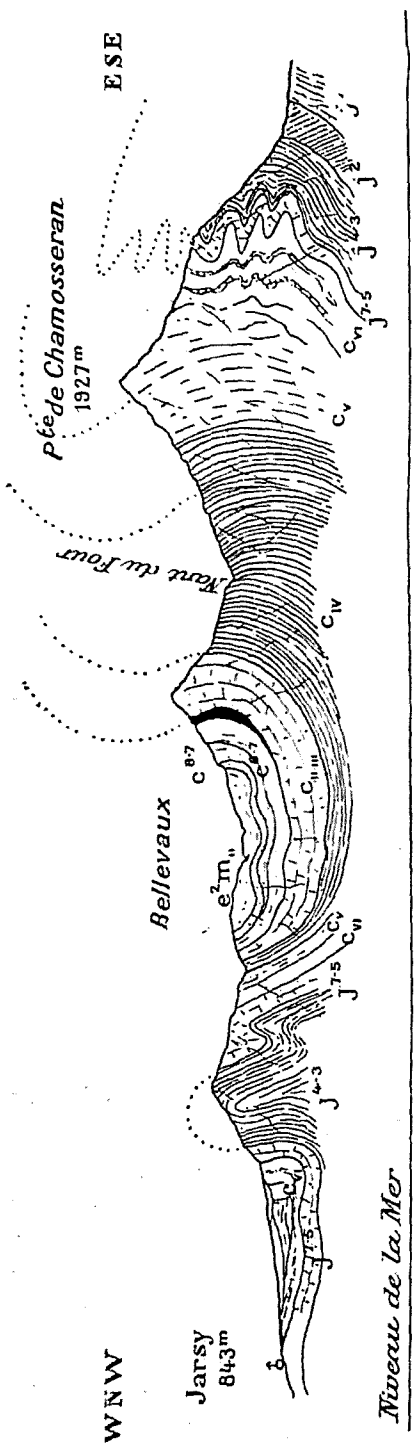
Кромѣ того, было неоднократно отмѣчено, особенно въ Альпахъ, что крупныя тектоническія измѣненія каковы, напр., куполы, складки-сдвиги, поверхности наволоковъ, часто совпадаютъ по мѣсту своего появленія съ измѣненіями фацій въ горизонтальномъ направленіи. Такъ, въ Нижнихъ Альпахъ граница между дофинской и роданской фаціями [1]) почти всегда

[1]) См. выше стр. 164.

отмѣчается линіей анормальнаго соприкосновенія. Въ Предъ-Альпахъ (Ш), въ Юбэ, (12) въ Зальцкаммергутѣ каждый изъ наложенныхъ другъ на друга наволочныхъ покрововъ отличается особой фаціей вторичныхъ породъ.

Разнородность въ вертикальномъ направленіи.— Если слоистая масса однородна въ вертикальномъ направленіи, т. е. если наложенные другъ на друга слои одинаковы по своему минералогическому составу и по своей пластичности, то складки, образованныя боковымъ давленіемъ, будутъ имѣть совершенно параллельные между собой изгибы; такая складчатость называется *гармонической*. Если же силѣ давленія одновременно подверглась разнородная въ вертикальномъ направленіи масса, т. е. такая масса, слои которой неодинаковы по своему минералогическому составу, а слѣдовательно, и по пластичности, то изгибы различныхъ слоевъ не будутъ больше совпадать и будутъ отличаться и по своему числу, и по кривизнѣ изгиба. Наименѣе пластичные слои, напр., неслоистые известняки будутъ образовать большія часто прерванныя складки, а сланцы образуютъ многочисленные небольшіе изгибы (табл. XI). Складчатость перестаетъ въ этомъ случаѣ быть гармонической, и часто осевая поверхность складки становится неплоской, а волнистой, если, конечно, возможно привести во взаимную связь складки каждаго слоя.

Складчатость, происшедшая при такихъ условіяхъ называется *дисгармонической*. Лучшимъ ея примѣромъ являются Савойскія известковые Альпы. Въ Женевскихъ Альпахъ, т. е. въ горахъ между Арвой и озеромъ Аннеси (E. Haug) и въ горахъ Божъ (M. Люжонъ), послѣдовательные члены осадочной серіи имѣютъ совершенно независимую другъ отъ друга складчатость (фиг. 77); ясно слоистые байосскіе и верхнеюрскіе известняки сложены здѣсь въ многочисленныя складки, и наоборотъ, компактные ургонскіе известняки обнаруживаютъ простыя и пологія складки съ разрывами, а втиснутыя между этими породами мергелистые слои отдѣляютъ ихъ другъ отъ друга. Е. Риттеръ и М. Бертранъ констатировали, что лежачія складки массива Монъ-Жоли, о которомъ мы уже говорили и которыя состоятъ изъ тріасовыхъ и нижнеюрскихъ породъ, какъ бы въ слабой степени и отдаленно отражаются на верхнеюрскихъ и мѣловыхъ слояхъ (фиг. 56). Здѣсь, кромѣ различной пластичности слоевъ разнаго минералогическаго состава, несомненно дѣйствовала и другая причина: очевидно, что интенсивность образованія складокъ проявъ-



Фиг. 77.—Дисгармоническія складки въ Божъ, Савоя (по М. Люжону).

Уровень моря.

J', J²J³ J⁷·⁵, Оолитовыя серіи (доггеръ) средняя и верхняя; C IV-VI, неокомъ; C II-III, Ургонъ C 7-8, Сеноне; e² m II, нуммулитовые слои.

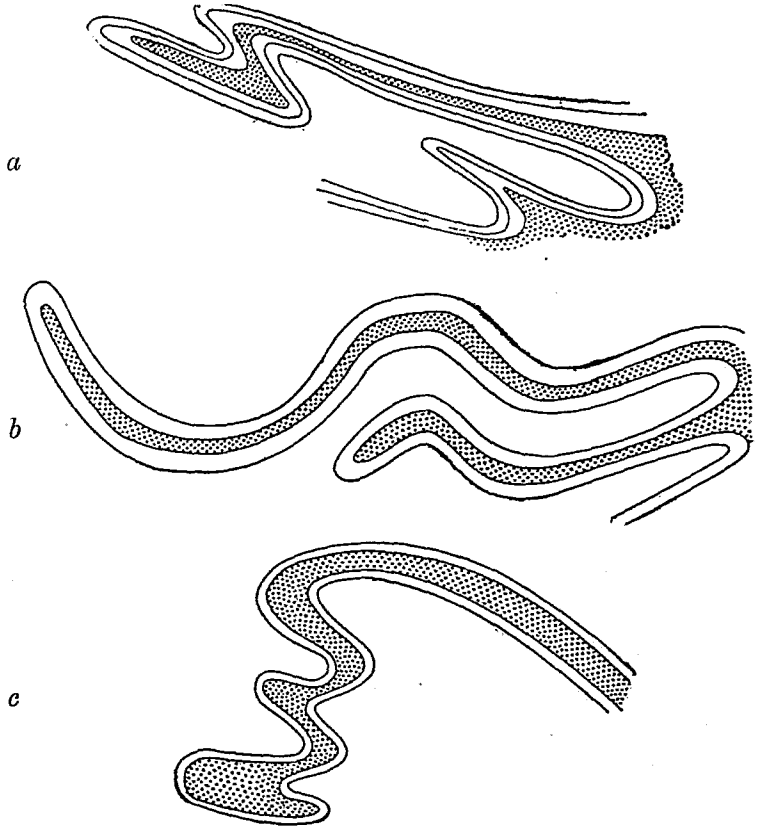
лялась въ большей степени въ глубинѣ, чѣмъ на поверхности. Въ дальнѣйшемъ мы постараемся объяснить эту замѣчательную особенность, поттвержденіе которой можно найти и въ другихъ складчатыхъ областяхъ.

Послѣдовательное образованіе складокъ въ одной и той же области.—До сихъ поръ въ нашихъ разсужденіяхъ мы допускали, что тѣ или иныя силы, измѣняющія форму слоевъ, дѣйствуютъ если не въ теченіе очень короткаго времени, то во всякомъ случаѣ безпрерывно, безъ скачковъ, безъ обычной смѣны фазъ покоя и движенія.

Дѣйствительно, много складокъ произошло подъ вліяніемъ силъ, которыя въ теченіе извѣстнаго времени дѣйствовали неизмѣнно; первоначально образовавшіяся складки подвергнутся при этомъ новымъ перегибамъ, и если это были диссимметричныя складки, то осевая поверхность станетъ сильно волнообразной. Эта налагающаяся складчатость дастъ въ результатѣ или странныя формы, въ родѣ тѣхъ,

какія описаны Геймомъ въ Гларисскихъ Альпахъ (фиг. 78, *a*), или настоящія фестонные складки (*plis en cascades*), подобныя тѣмъ какія наблюдались нами въ долинѣ Юбэ (фиг. 78, *c*).

Серія наложенныхъ одна на другую лежачихъ складокъ или наволочныхъ покрововъ, можетъ въ свою очередь быть смята въ складки, какъ и нормальная серія послѣдовательно отложившихся



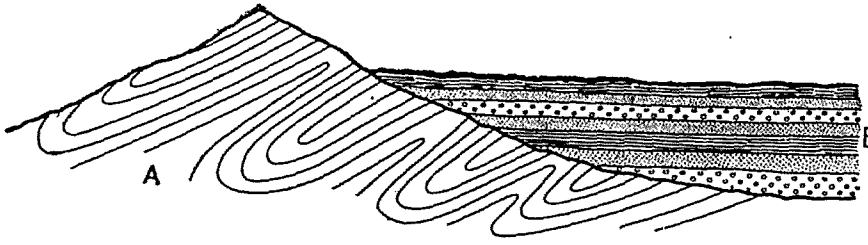
Фиг. 78.— *a*, изоклинальная складка вторично изогнутая въ складку; *b*, лежачія складки вторично изогнутыя; *c*, складка вторично изогнутая фестонами.

слоевъ. Термье, Киліаномъ и нами было доказано, что покровы Бріансонскій и Юбэйскій уже послѣ того какъ они надвинулись другъ на друга были изогнуты въ правильные волнообразные изгибы, идущіе параллельно первоначальнымъ складкамъ, переразвитіе которыхъ и вызвало образованіе покрововъ (фиг. 78, *b*; табл. X, 2).

Въ этомъ примѣрѣ, какъ и въ предшествовавшемъ, повидимому, оба движенія слѣдовали другъ за другомъ безъ большого

перерыва, но иногда обѣ фазы процесса образованія складокъ соотвѣтствуютъ двумъ особымъ орогеническимъ фазамъ, отдѣленнымъ другъ отъ друга періодами глиптогенезиса и литогенезиса и, слѣдовательно, принадлежатъ къ двумъ различнымъ цикламъ. Въ западныхъ Альпахъ, напр., было установлено четыре или пять орогеническихъ фазъ, результаты работы которыхъ являются наложенными другъ на друга и относятся къ такому же числу отдѣльныхъ цикловъ.

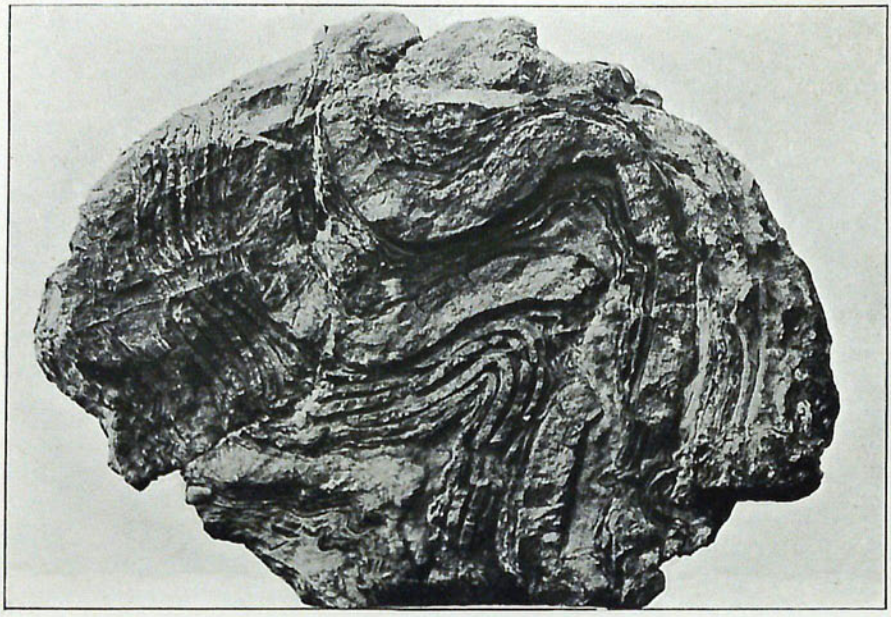
Опредѣленіе возраста складчатости.—Лишь рядомъ упорныхъ трудовъ и въ сравнительно недавнее время альпійскіе геологи пришли къ этой идеѣ. Для этого потребовался рядъ детальныхъ наблюденій и установленіе прерывистости, которая выражается несогласнымъ напластованіемъ послѣдовательныхъ осадочныхъ серій. Въ другихъ горныхъ цѣпяхъ, геологическая



Фиг. 79.—Несогласное напластованіе горизонтальной серіи B на серію A, позволяющее опредѣлить максимальный и минимальный возрастъ складчатости.

исторія которыхъ не такъ сложна, существуютъ лишь двѣ несогласныя между собой осадочныя серіи. Часто даже одна изъ нихъ бываетъ сосредоточена на краю горной цѣпи. Если она при этомъ залегаетъ несогласно на приподнятыхъ и смятыхъ въ складки слояхъ болѣе древней серіи, изъ которой состоитъ самая горная цѣпь, то очевидно, что орогеническія движенія произошли въ промежутокъ между эпохами отложенія обѣихъ серій (фиг. 79).

Это и есть тотъ указанный Эли де Бомономъ методъ, съ помощью котораго можно опредѣлить время орогеническаго движенія, при чемъ это опредѣленіе будетъ тѣмъ точнѣе, чѣмъ ближе обѣ серіи одна къ другой по возрасту, и чѣмъ меньше стратиграфическій перерывъ между ними. Такъ, напр., эпоха поднятія Пиренеевъ можетъ быть очень точно пріурочена къ концу такъ называемаго Парижскаго періода и къ началу Тонгрскаго, такъ какъ конгломератъ палассу, относящійся къ нижнему тонгру, несогласно налегаетъ на приподнятые и сложен-



Негат. Г. Раго.

Дисгармоническая складчатость чередующихся известковыхъ и глинистыхъ слоевъ.
(Пиренеи).



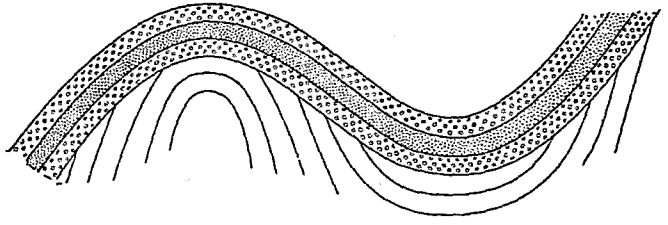
Негат. Г. Раго.

Плойчатость метаморфическихъ угленосныхъ слоевъ.
Ле Ушъ (Верхняя Савойя).

ные въ складки слои Парижскаго яруса. Наоборотъ, время проявленія главной складчатости создавшей Арденнскія горы опредѣляется далеко не такъ точно на основаніи несогласнаго залеганія среднемѣловыхъ слоевъ на сложенныхъ въ складки каменноугольныхъ отложеніяхъ.

Налеганіе одной на другую складчатыхъ системъ различнаго возраста.—Если въ какой-либо мѣстности многократныя орогеническія движенія, отмѣченныя такимъ же числомъ несогласныхъ напластованій, такъ сказать накладывались одно на другое, то мы тогда должны разсмотрѣть рядъ отдѣльныхъ случаевъ.

Если направленіе орогеническаго напора было одно и то же въ обѣихъ послѣдовательныхъ фазахъ образованія складокъ, то обѣ системы складокъ являются правильно наложенными другъ



Фиг. 80.—Налеганіе двухъ системъ складокъ различнаго возраста, при чемъ направленіе напора оставалось одинаковымъ въ продолженіе обоихъ орогеническихъ фазъ.

на друга, т. е. имѣютъ одно и то же направленіе и антиклинали второй системы образуются на мѣстѣ антиклиналей первой (фиг. 80). Этотъ законъ впервые высказанный Годвиномъ Аустеномъ былъ полнѣе формулированъ Марселемъ Бертраномъ (16) и былъ провѣренъ въ Парижскомъ бассейнѣ, гдѣ складки послѣтретичнаго періода образовались какъ разъ на мѣстѣ складокъ конца первичной эры; но въ другихъ областяхъ этотъ законъ не подтверждается.

Если направленіе новаго напора нѣсколько уклоняется отъ того, подъ дѣйствіемъ котораго образовались первыя складки то обѣ серіи не вездѣ совпадутъ: онѣ то пойдутъ въ одномъ направленіи, то будутъ пересѣкаться и часто какой-нибудь изгибъ, принадлежащій одной системѣ, будетъ соединяться со слѣдующимъ за нимъ изгибомъ второй. Особенно часто это явленіе наблюдается въ складкахъ-сдвигахъ.

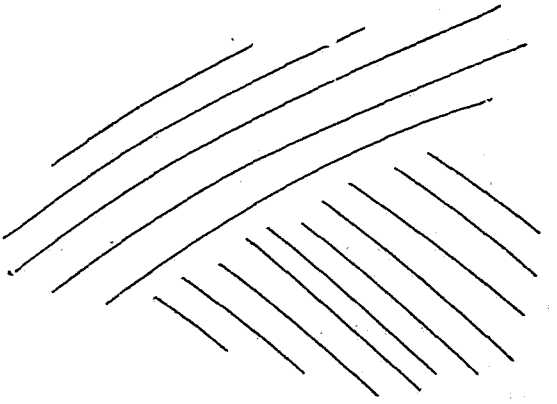
Наконецъ, направленіе новаго напора можетъ быть болѣе или менѣе перпендикулярно къ направленію перваго. Въ этомъ

случаѣ складки обѣихъ системъ, если онѣ были прямыми, будутъ взаимно пересѣкаться, достигая наибольшей высоты въ точкахъ пересѣченія. Но предположимъ теперь, что въ первой фазѣ складчатости образовались прямыя антиклинали и синклинали съ правильными между ними промежутками и что позже во второй фазѣ произошелъ наволокъ; тогда антиклинали явятся препятствіями къ распространенію покрова, а въ промежуткахъ, гдѣ синклинали, его движеніе будетъ продолжаться безпрепятственно. Въ результатѣ край наволочнаго покрова будетъ заканчиваться какъ бы *фестонами*, соотвѣтствующими синклиналямъ лежащей внизу серіи, а входящіе углы ихъ будутъ лежать противъ антиклиналей. Эти послѣднія будутъ играть роль задерживающихъ выступовъ, опредѣляя точки обратнаго движенія кривой. Совершенно такое явленіе имѣло мѣсто въ Нижнихъ Альпахъ между Динь и Гапъ, гдѣ нами было констатировано два орогеническихъ движенія, одно въ направленіи W. S. W.—E. N. E. относящееся къ дотонгрскому времени и другое болѣе сильное въ направленіи W.—E. происшедшее послѣ средненеогеновой эпохи. Здѣсь красные тонгрскіе песчаники отложились несогласно на вторичныхъ складчатыхъ слояхъ, и были покрыты тріасовыми и юрскими слоями, обнаруживающими сильный наволокъ на мѣстахъ синклиналей, лежащихъ въ основаніи породъ и, наоборотъ, замедленіе въ движеніи покрова на мѣстахъ антиклиналей тѣхъ же породъ.

Рядомъ лежащія складчатыя области различнаго возраста.—Иногда складки, образующіяся въ результатѣ новой орогенической фазы, размѣщаются не на мѣстѣ болѣе древнихъ складокъ, а занимаютъ мѣсто рядомъ съ ними; такимъ путемъ обѣ системы являются не налегающими одна на другую, а расположенными рядомъ. Большею частью складки новой системы (13—17) образуются впереди болѣе древней складчатой зоны, т.-е. въ той полосѣ, по направленію къ которой наклонены складки первой системы; складки обѣихъ системъ обыкновенно имѣютъ одинаковое направленіе наклоновъ, но складки болѣе поздней системы захватываютъ болѣе новые слои, которые иногда несогласно налегаютъ на древнюю складчатую серію. Мы увидимъ въ дальнѣйшемъ, что въ Европѣ существуетъ цѣлая серія различныхъ зонъ складчатости, охватывающихъ по мѣрѣ удаленія на югъ все болѣе и болѣе новые слои (фиг. 68); на сѣверѣ Шотландіи и Норвегіи находится зона докембрійской складчатости или *гуронская горная цѣпь*; въ центрѣ Велико-

британіи и Скандинавіи находится зона девонской складчатости или *Каледонская горная цѣпь*. Далѣе на югѣ по центральной Европѣ какъ бы шарфомъ расположена складчатая каменноугольная зона, или цѣпь Арморикская и Варисская; наконецъ, въ южной Европѣ проходитъ зона третичныхъ складокъ или *Альпійская* цѣпь. Подобная послѣдовательность была констатирована и на другихъ континентахъ.

Общее направленіе складокъ этихъ послѣдовательно расположенныхъ зонъ является далеко не всегда параллельнымъ, хотя въ нѣкоторыхъ случаяхъ и наблюдается параллельность. Въ другихъ же случаяхъ направленія двухъ смежныхъ зонъ пересѣкаются между собой подъ угломъ (фиг. 81), приближающимся порой къ прямому.



Фиг. 81.— Встрѣча двухъ системъ складокъ разнаго направленія и разнаго возраста.

Въ Ирландіи и въ южномъ Уэльсѣ каледонскія складки пересѣкаются подъ угломъ почти въ 45° съ арморикскими складками.

Къ западу отъ Вѣны варисскія складки Богемскаго массива встрѣчаются подъ прямымъ угломъ съ альпійскими складками. Часто болѣе новыя складки, такъ сказать, облекаютъ области воздыманія болѣе древнихъ складчатыхъ зонъ, какъ будто бы имъ пришлось приспособляться къ неровностямъ рельефа. Ниже мы иллюстрируемъ это положеніе многочисленными примѣрами.

Часто трудно бываетъ опредѣлить то, что происходитъ на глубинѣ подъ видимыми складками самой новой складчатой зоны. Есть основаніе предполагать, что болѣе древнія складки сосѣдней области продолжаются подъ болѣе новыми, сохраняя свое первоначальное направленіе, какъ будто на уровнѣ несогласія существуетъ нѣкоторый расколъ между древней и новой серіями, и обѣ серіи смяты въ складки независимо одна отъ другой.

1. — J. Thurmann, Essai sur les soulèvements jurassiques du Porrentruy. *Mém. Soc. Hist. Nat. Strasbourg*, I, 84 стр., 5 таб., 1832.

2. — Id. Essais sur les soulèvements jurassiques. Second cahier. 1 br. in-4⁰, 51 стр., 5 профилей, 1 панорамическій видъ, 1 карта 1 : 96 000. Porrentruy, 1836.

3. — H. D. Rogers. On the Laws of Structure of the more Disturbed Zones of the Earth's Crust. *Trans. Royal Soc. of Edinburgh.*, XXI, стр. 431-471, 8 фиг., 1856

4. — Albert Heim. Der Mechanismus der Gebirgsbildung. 2 vol. in-4⁰, 346 и 246 стр., атласъ изъ 17 таб. Basel, 1878.

5. — Ch. Lapworth. The Secret of the Highlands. *Geol. Mag.*, N. S., Dec II, X, стр. 120-126, 193-199, 337-344, таб. V, VIII, 1883.

6. — Emm. de Morgerie et Albert Heim. Les dislocations de l'écorce terrestre. Essai de définition et de nomenclature. in-8⁰, 154 стр., французскій и нѣмецкій текстъ, 110 фиг., Zürich, 1888.

7. — M. Bertrand. Rapports de structure des Alpes de Glaris et du bassin houiller du Nord. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3⁰ sér., XII, стр. 318-330, фиг. 1-8 таб. XI, 1884.

8. — Bailey Willis. The mechanics of Appalachian Structure. *13th Ann. Rep. of the U. S. Geol. Surv.*, II, стр. 211-283, таб. XLVI-XCVI, фиг. 16, 17, 1893.

9. — Ph. Zürcher. Note sur la structure de la région de Castellane *Bull. Serv. Carte géol.*, VII, n⁰ 48, 37 стр., 6 таб., 6 фиг. 1895.

10. — Émile Haug. Article „Tectonique". *La Grande Encyclopédie.* t. XXX, стр. 1004-1011, 11 фиг. 1901.

11. — Maurice Lugeon. Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 4⁰ sér., I, стр. 723-825 фиг. 1-14, таб. XIV-XVII, 1902.

12. — Émile Haug. Les grands charriages de l'Embrunais et de l'Ubaye. *Revue gén. des Sc.*, 30 déc. 1903, стр. 1241-1249, 2 фиг.

13. — Eduard Suess. Ueber unterbrochene Gebirgsfaltung. *Sitzb. d. k. Akad. d. Wiss. Math.-naturw. Cl.*, XCIV, стр. 111-117, 1886.

14. — Marcel Bertrand. La chaîne des Alpes et la formation du continent européen. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3⁰ sér., XV, стр. 423-447, 5 фиг. 1887.

15. — Id. Sur la distribution géographique des roches éruptives en Europe. *Ibid.*, 3⁰ sér., XVI, стр. 573-617, 10 фиг. 1888.

16. — Id. Sur la continuité du phénomène de plissement dans le bassin de Paris. *Ibid.*, 3⁰ sér., XX, стр. 118-165, фиг. 1-11, таб. V, 1892.

17. — Eduard Suess. Ueber neuere Ziele der Geologie. *Abh. d. Naturf. Ges. zu Görlitz*, XX, 21 стр., 1 карта, 1893.

V. aussi : 0,1-4; 0,22.

Г. Штейнманнъ. Очеркъ геологическаго строенія Альпійской горной системы. Переводъ съ нѣмецкаго В. И. Коровицкаго и В. Д. Ласкарева. *Зап. Крымско-Кавк. Горнаго клуба.* Одесса 1909.

ГЛАВА XV.

Внутреннія измѣненія горныхъ породъ при орогеническихъ движеніяхъ.

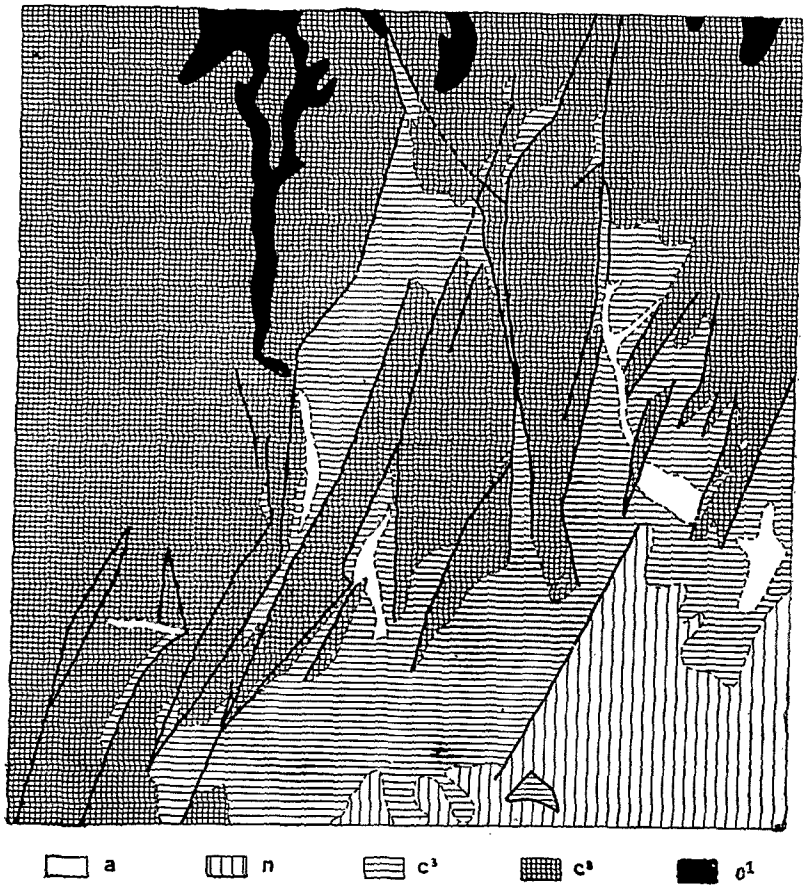
Скручиваніе.—Давленіе.—Сплющиваніе.—Истираніе.—Динамометаморфизмъ.

Передъ нами теперь стоитъ вопросъ, вызываютъ ли сильныя искривленія и огромныя перемѣщенія слоевъ подъ дѣйствіемъ орогеническихъ движеній глубокія измѣненія въ сложеніи дислоцированныхъ горныхъ породъ. Новѣйшія изслѣдованія даютъ положительный отвѣтъ на этотъ вопросъ и устанавливаютъ причинную связь между процессомъ образованія складокъ и структурными измѣненіями породъ въ складчатыхъ областяхъ.

Механическими воздѣйствіями, которыя то отдѣльно, то совмѣстно производятъ эти внутреннія структурныя измѣненія породъ являются: *скручиваніе, давленіе, сплющиваніе, истираніе.* Сейчасъ мы перейдемъ къ ихъ послѣдовательному разсмотрѣнію.

Скручиваніе. — Орогеническое движеніе, порождающее образованіе складки, лишь въ рѣдкихъ случаяхъ проявляется съ одинаковой силой на всемъ ея протяженіи. Такъ, складка, являющаяся въ одномъ мѣстѣ прямою, можетъ въ другомъ мѣстѣ подъ дѣйствіемъ болѣе сильнаго напора, постепенно измѣняясь, превратиться въ косую, еще далѣе въ опрокинутую и, наконецъ, въ лежачую. Въ результатѣ этихъ измѣненій въ продольномъ направленіи происходитъ *искривленіе, скручиваніе* слоевъ, которые будутъ измѣняться не только соотвѣтственно цилиндрическимъ поверхностямъ, но принимать искривленныя формы. Тогда какъ складчатость обыкновенно не сопровождается разрывами, искривленіе большею частью ведетъ къ образованію трещинъ въ перекрученныхъ слояхъ.

Иногда эти трещины сопровождаются вертикальными перемѣщеніями по ту и другую сторону плоскости, по которой произошелъ разрывъ. Происходятъ *сбросы* совершенно подобные тѣмъ, о которыхъ мы будемъ говорить въ слѣдующей главѣ. Прекраснымъ примѣромъ такихъ дислокацій является „поле разломовъ"



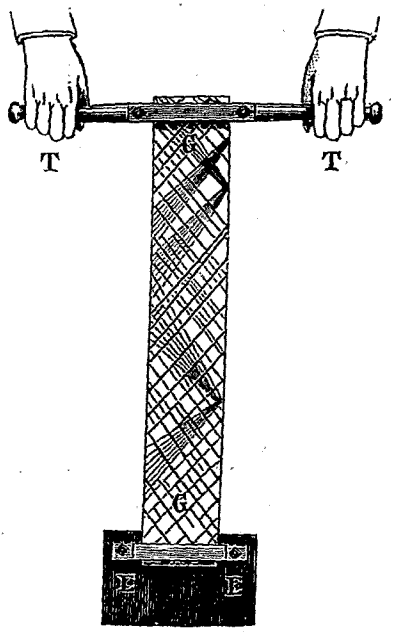
Фиг. 82.—Схематическая карта поля разломовъ Банона, (*Нижнія Альпы*). Масштабъ 1:160.000 (по В. Киліану).

a, аллювій, n, нуммулитовая прѣсноводная серія; c^3, сеноманъ и гольтъ (средній мѣлъ); c^2, аптъ; c^1, барремъ.

у Банона на южномъ склонѣ горы Люръ (фиг. 82). Киліанъ, посвятившій изученію этого вопроса очень серьезный трудъ, приписываетъ скучиванію образованіе ряда сбросовъ, параллельныхъ между собой и болѣе или менѣе перпендикулярныхъ къ оси антиклинали Люръ. Такъ же и въ Гра де Лярдешъ существуетъ рядъ трещинъ по направленію N—S, происхожденіе

которыхъ можетъ быть приписано искривленію вторичныхъ слоевъ, подъ дѣйствіемъ неодинаковаго напора. Въ томъ и другомъ случаѣ можно сравнить полосы породъ, заключенныя между трещинами, съ неодинаково опущенными клавишами рояля.

Обыкновенно, образованіе разрывовъ вслѣдствіе искривленія не сопровождается перемѣщеніемъ слоевъ по обѣимъ сторонамъ трещины. Разрывы эти представляютъ собой простыя трещины, съ давнихъ поръ извѣстныя камнеломамъ подъ именемъ *отдѣльности*. Онѣ раздѣляютъ слои на параллелепипеды. Прежніе геологи уже давно подмѣтили эту особенность, но смотрѣли на нее то какъ на результатъ извѣстнаго рода кристаллизаціи, то какъ на явленіе обусловленное сокращеніемъ породъ, вслѣдствіе ихъ охлажденія или вслѣдствіе высыханія отложеній. Но теперь, благодаря прекраснымъ трудамъ Добре (1), намъ извѣстно, что образованіе отдѣльностей произошло вслѣдствіе растяженія слоевъ. Этотъ ученый сумѣлъ экспериментальнымъ путемъ воспроизвести трещины, совершенно аналогичныя отдѣльностямъ; для этого онъ подвергалъ прямоугольныя пластинки стекла или зеркала легкому растяженію укрѣпивъ одинъ конецъ пластинки въ тискахъ, а другой зажавъ въ рукоятку для вращенія (фиг. 83). Искривленіе вызываетъ въ зеркалѣ двѣ взаимно-связанныя системы трещинъ (табл. XII). Главнѣйшія отдѣльности въ слояхъ также группируются въ двѣ связныя системы, изъ которыхъ одна соотвѣтствуетъ простиранію, а другая паденію слоевъ. Кромѣ того довольно часто встрѣчается третья система, которая расположена подъ угломъ къ двумъ предшествовавшимъ. Одно изъ направленій обыкновенно идетъ параллельно къ главнѣйшимъ сбросамъ данной области.

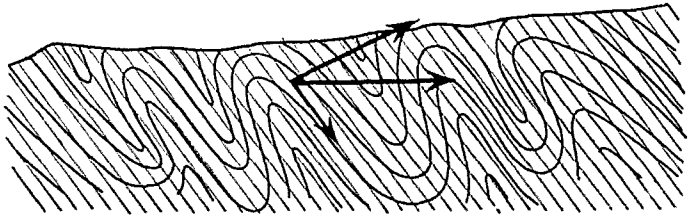


Фиг. 83.— Стеклянная пластина GG зажатая у EE и вращаемая рукояткой TT (по Добре Étude synthétiques de Géologie expérimentale).

Добре предложилъ замѣнить ничего незначащій терминъ отдѣльности терминовъ *діаклаза* (*diaclase*), въ противоположность *параклазъ*-термину, которымъ обозначаются сбросы, сопровождаемые относительнымъ перемѣщеніемъ слоевъ.

Діаклазы очень часто встрѣчаются въ песчаникахъ Фонтенбло, въ тріасовыхъ песчаникахъ сѣверныхъ Вогезъ, въ мѣловыхъ песчаникахъ Саксоніи. Они также свойственны мѣловымъ породамъ Парижскаго бассейна, кремнистымъ известнякамъ байосскаго яруса въ Ардешскомъ департаментѣ (табл. XIII, I) и друг. Трещины же глинистыхъ формацій, повидимому, произошли скорѣе отъ высыханія слоевъ.

Давленіе.—Діаклазы наблюдаются преимущественно въ мало дислоцированныхъ слояхъ; въ областяхъ же, гдѣ слои подверглись сильной складчатости мы наоборотъ, можемъ констатировать, существованіе плоскостей раздѣленія болѣе сближенныхъ, тоже пересѣкающихъ направленіе слоистости; но углы пересѣченія здѣсь не одинаковы какъ въ случаѣ діаклазъ, а измѣняются въ зависимости отъ изгиба слоевъ, такъ какъ эти плос-

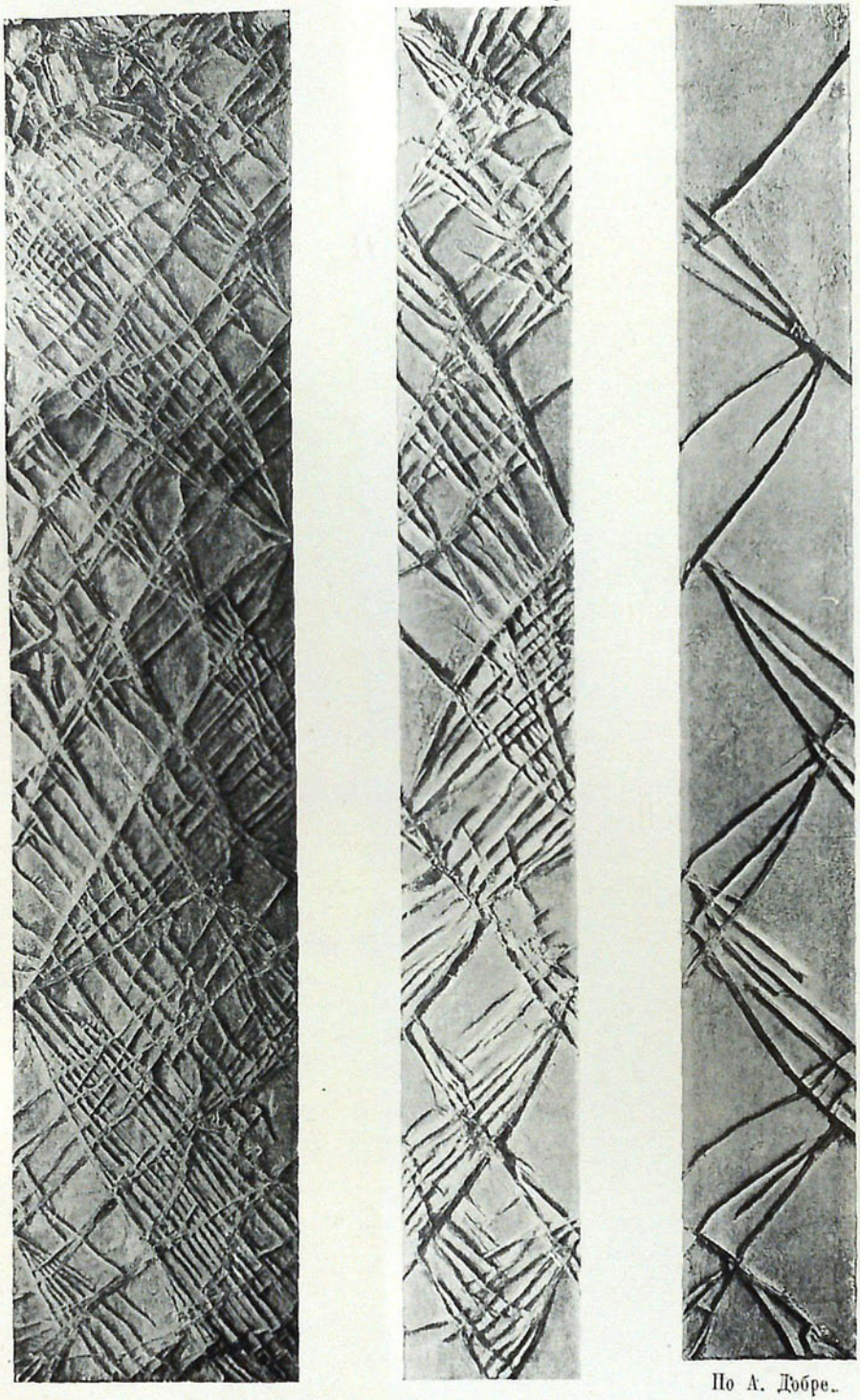


Фиг. 84.—Образованіе въ складчатой серіи плоскостей сланцеватости одинаково наклоненныхъ.

кости раздѣленія обнаруживаютъ неизмѣнный наклонъ къ горизонту (фиг. 84). Однако направленіе этихъ плоскостей болѣе или менѣе соотвѣтствуетъ общему простиранію слоевъ.

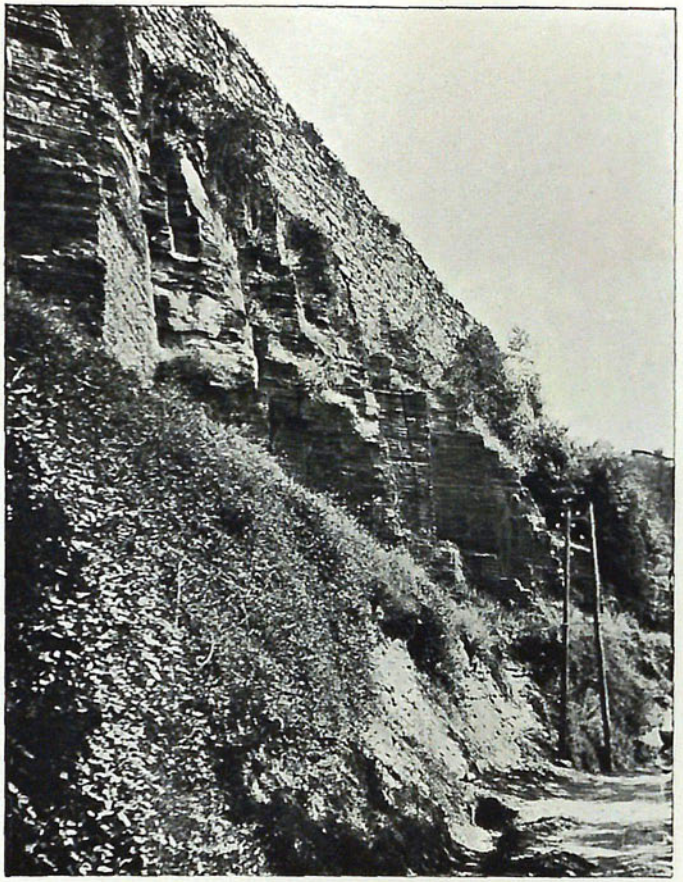
Такое раздѣленіе породъ на тонкія листоватыя части, направленіе которыхъ при этомъ часто не соотвѣтствуетъ направленію первоначальной слоистости, называется сланцеватостью (табл. XIV, I). Ископаемыя, находящіяся въ слояхъ, пересѣкаются тогда поперекъ или вкось плоскостями сланцеватости. Лишь въ исключительныхъ случаяхъ сланцеватость совпадаетъ съ слоистостью. Иногда сланцеватость даже яснѣе выражена, чѣмъ слоистость, и легко было бы ихъ смѣшать, если бы измѣненія цвѣта и минералогическаго состава и строенія не указывали намъ первоначальную слоистость.

Опредѣлить причину этого явленія удалось также при помощи экспериментальнаго метода. Сланцеватость была воспроизведена сильнымъ давленіемъ на неслоистую глину вызвавшимъ



По А. Добре.

Экспериментальное воспроизведеніе діаклазъ.
Крученыя стекла.

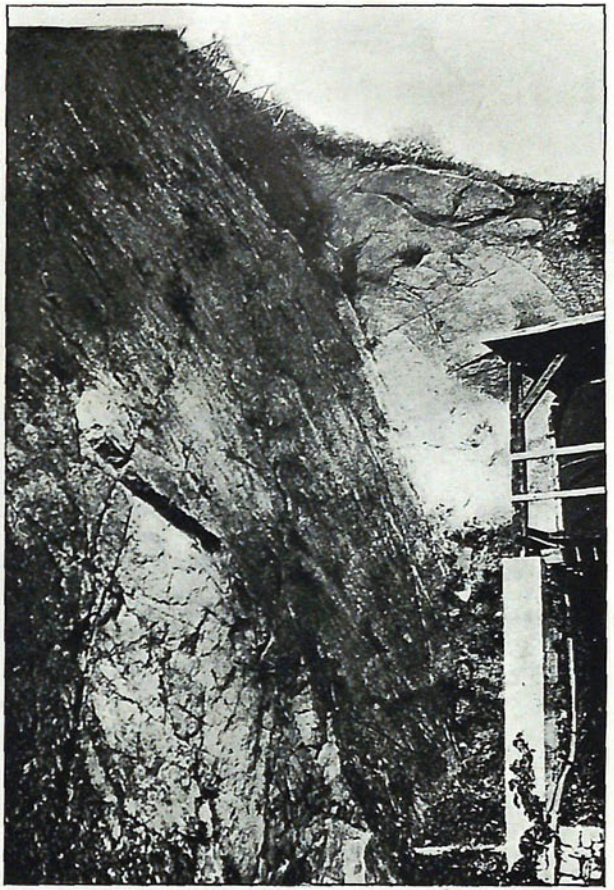


Негат. Э. Ога.

Діаклазы

въ кремнистыхъ байосскихъ известнякахъ (Средне-юрская серія).

Привасъ (Ардешъ).



Негат. Ля Марль (у Мишель Леви)

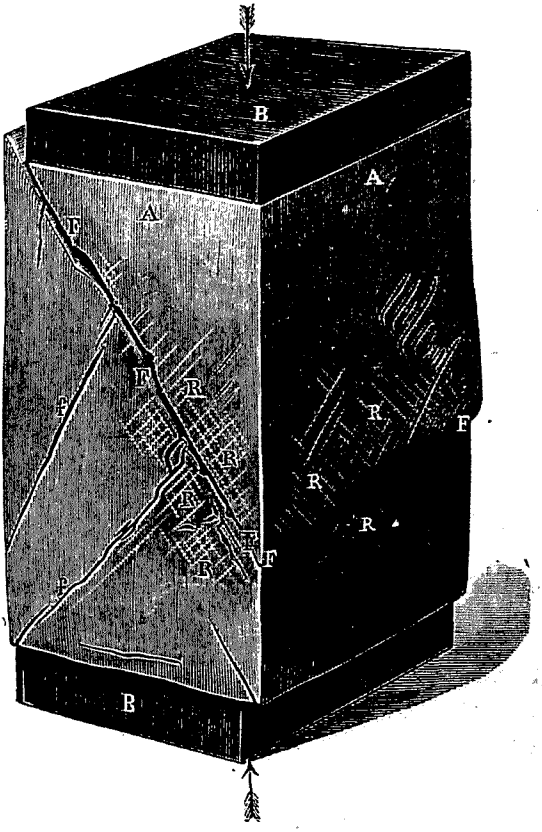
Сбросъ у Бурбуль

позади старой водолѣчебницы.

Налѣво, гранитъ; направо, неогеновые вулканическіе туфы.

возникновеніе плоскостей раздѣленія, перпендикулярныхъ къ направленію давленія.

Послѣ этого понятна причина одинаковаго направленія плоскостей сланцеватости. Тангенціальную силу, вызывающую опрокинутость складокъ въ направленіи противоположномъ напору можно разложить на двѣ силы (фиг. 84), изъ которыхъ одна вызываетъ образованіе сланцеватости перпендикулярно къ своему направленію, а другая дѣйствуетъ по направленію параллельному крыльямъ складки, вызывая скольженія, о которомъ еще будетъ рѣчь впереди. Понятно почему при этихъ условіяхъ горизонтали плоскостей сланцеватости совпадаютъ съ направленіемъ осей складокъ.



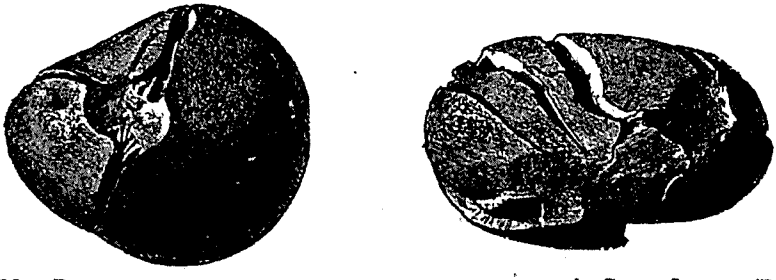
Фиг. 85.—Призма скульптурнаго воска сдавленная гидравлическимъ прессомъ въ вертикальномъ направленіи.

BB, надавливающія желѣзныя пластины; FF, главный расколъ со смѣщеніемъ; f, f расколы связанные съ предыдущимъ; RR, сѣть тонкихъ почти перпендикулярныхъ трещинъ образовавшихся на выпучившихся частяхъ четырехъ сторонъ призмы. Масшт. 1/5 (по Добре. Daubrée. Études synthétiques de Géologie expérimentale).

Давленіе вызываетъ сланцеватость лишь въ мелкозернистыхъ породахъ, какъ глина, глинистый песчаникъ и др. Крупнозернистыя же породы подъ давленіемъ дѣлятся на очень мощныя полосы; подобное явленіе можно наблюдать на нѣкоторыхъ гранитахъ, напр., на протогинѣ въ Альпахъ. Компактныя породы, каковы не глинистые известняки, при давленіи раскалываются болѣе или менѣе правильно. Въ нихъ происходятъ настоящіе разрывы, сопровождаемые небольшими перемѣщеніями. Это явленіе было воспроизведено Добре (I) при помощи гидравлическаго пресса, давившаго на кусокъ скульптурнаго воска (фиг. 85),

вслѣдствіе чего на послѣднемъ образовалась система взаимносвязанныхъ трещинъ. Въ известнякахъ образующіяся пустоты могли оставаться незаполненными крайне непродолжительное время и затѣмъ заполнялись выкристаллизованнымъ изъ просачивающейся воды кальцитомъ. Въ породахъ въ этомъ случаѣ проходятъ какъ бы прожилки и она становится похожей на мраморъ. Кремень же подъ дѣйствіемъ давленія принимаетъ иногда видъ потрескавшагося фарфора.

Въ породахъ разнороднаго состава давленіе сказывается неодинаково на различныхъ слагающихъ ихъ элементахъ. Такъ напр., въ конгломератахъ подъ давленіемъ цементъ скучивается, гальки раскалываются, отдѣльныя части перемѣщаются; подобное явленіе можно наблюдать иногда въ конгломератѣ *Нагельфлю*

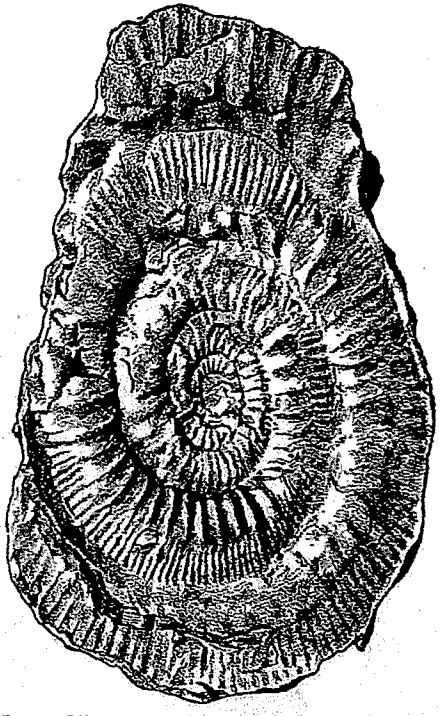


Фиг. 86.—Раздавленныя гальки подледниковаго аллювія Сенъ-Фонсъ (Рона). $^3/_4$ нат. вел.

вдоль края Швейцарскихъ Альпъ, въ конгломератахъ вогезскаго песчаника, въ подледниковыхъ наносахъ окрестностей Ліона и въ другихъ мѣстахъ (фиг. 86). Когда гальки соприкасаются между собою, онѣ оказываютъ другъ на друга давленіе и могутъ вызывать трещины, расходящіяся радіально отъ точки, гдѣ отчетливо обозначается мѣсто контакта. Раздавливаніе здѣсь очевидно. Во многихъ случаяхъ, впрочемъ, не является необходимымъ прибѣгать для объясненія этого явленія къ орогеническимъ движеніямъ, такъ какъ достаточно одного вѣса налегающихъ слоевъ чтобы вызвать раздавливаніе.

Осѣданіе слоевъ до ихъ затвердѣнія можетъ привести къ своеобразнымъ результатамъ, какъ напр., къ образованію *стилолитовъ*, которые имѣютъ видъ призмъ съ очень неправильнымъ основаніемъ и съ вертикальными желобками на бокахъ. Ихъ образованіе приписывается тому, что конкреція или ископаемое предохранили пластичную массу отъ давленія которое сказалось на окружающихъ частяхъ породы.

Сплющиваніе.—Изъ предшествующей главы намъ уже извѣстно, что въ опрокинутыхъ и лежачихъ складкахъ одно изъ крыльевъ, вслѣдствіе неодинаково сильнаго напора, можетъ быть растянуто и сплющено до полнаго уничтоженія. Въ большинствѣ случаевъ этому измѣненію подвергается обращенное крыло. Происходятъ дифференціальныя движенія, которыя выражаются скольженіями по плоскостямъ напластованія слоевъ; сами слои деформируются, удлиняются въ направленіи напора, что сопровождается утоненіемъ или, другими словами, расплющиваніемъ. Обыкновенно эти измѣненія *не сопровождаются* разрывами вслѣдствіе пластичности слоевъ, но иногда все таки образуются разрывы поперечныхъ трещинъ, которыя заполняются жилами кальцита.



Фиг. 87.—Вытянутый аммонитъ (*Coeloceras Bayleanum*), нижній оолитъ (Байосъ), Шале д'Арсинъ, близъ Виллярь д' Аренъ (Верхнія Альпы). Уменьш. до 1/3.

О сплющиваніи слоевъ свидѣтельствуютъ растянутыя ископаемыя, въ нихъ находимыя. Такъ, аммониты, скрученные спиралью, принимаютъ эллиптическую форму (фиг. 87); трилобиты то удлинняются, то сокращаются, то вытягиваются вбокъ, въ зависимости отъ того, расположены ли они въ направленіи давленія, или подъ прямымъ, или косымъ угломъ къ нему (3) (фиг. 88); ископаемыя рыбы претерпѣваютъ такія же измѣненія и незнаніе этого явленія и его причинъ привело къ напрасному установленію особыхъ видовъ (4). Белемниты, ростры которыхъ состоятъ изъ лучеобразныхъ кальцитовыхъ волоконъ, не расплющиваются, но разламываются на отдѣльные кусочки, которые, отдѣлившись другъ отъ друга вслѣдствіе растягиванія породы, цементируются бѣлымъ кальцитомъ (6) (фиг. 89).

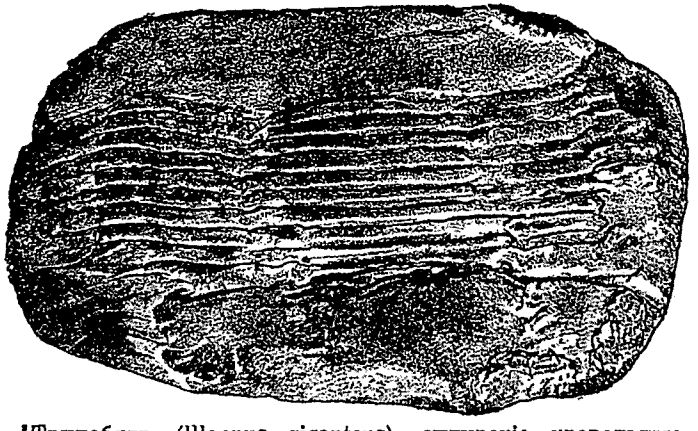
Эд. Жаннетта (5) нашелъ еще другое доказательство растянутости сланцевъ въ неодинаковой теплопроводности ихъ

по направленію растяженія и по направленію поперечному. Если поверхность расплющеннаго сланца смазать жиромъ и нагрѣвать въ какой-либо точкѣ эту поверхность, то образуется эллипсъ, длинная ось котораго лежитъ по направленію удлиненія; если же этотъ опытъ повторить съ нерастянутой породой, то получится кругъ.



a

Наблюденія А. Гейма (6) показали, что измѣненія безъ разрыва, явившіяся слѣдствіемъ сплющиванія, могутъ происходить совершенно одинаково въ породахъ очень различнаго состава и разной степени пластичности и что однѣ и тѣ же породы при измѣненіяхъ въ одномъ мѣстѣ деформировались съ разрывомъ, а въ другомъ безъ разрыва. Въ одномъ и томъ же образцѣ породы можно обнаружить деформаціи безъ разрыва и съ разрывомъ; очевидно это послѣдовательныя деформаціи.

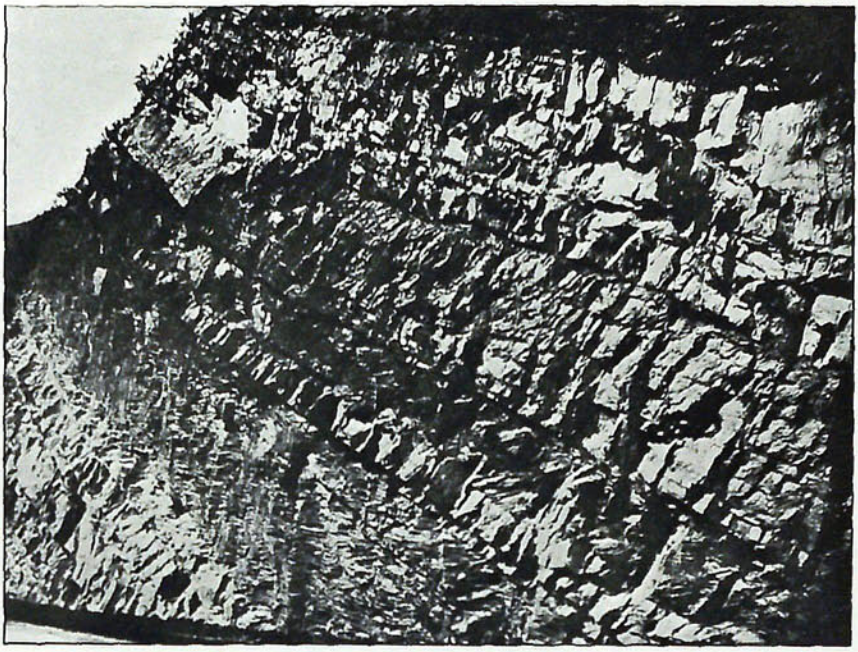


b

Фиг. 88.—$\frac{1}{2}$ Трилобитъ (Illaenus giganteus), силурскіе кровельные сланцы близъ Анжера.

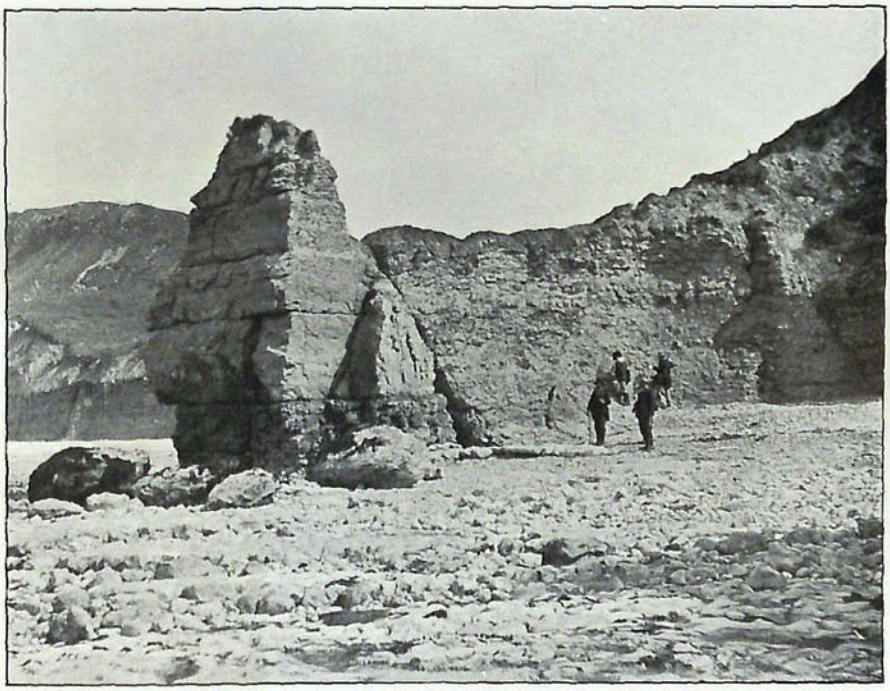
a, вытянутъ въ продольномъ направленіи; *b*, вытянутъ по ширинѣ. Умен. до $\frac{1}{3}$.

Тотъ же ученый доказалъ—и явленія, наблюдаемыя въ складчатыхъ областяхъ, нерѣдко подтверждаютъ это—что, въ тѣхъ слу-



Негат. Ш. Веленъ

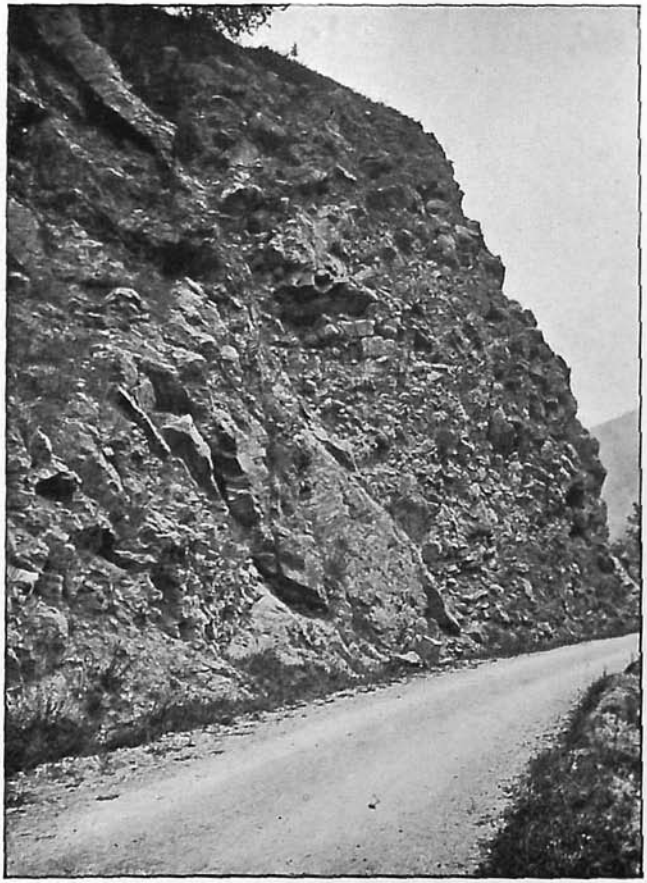
Слоистость и сланцеватость,
въ нижнедевонскихъ сланцахъ Уаньи (Мёзъ).



Негат. А. Бига.

Сбросъ Гашеттъ, береговой утесъ Сентъ-Ононринъ-де-Пертъ, близъ Байё.

Налѣво основаніе бѣлаго оолита (верхній байосъ), съ лежащими подъ нимъ желѣвистымъ оолитомъ (средній байосъ) и Ля Мальеръ (верхній ааленскій яр.); направо верхняя часть бѣлаго оолита и нижняя часть бата.



Негат. П. Корбенъ.

Дислокаціонная брекчія.

Основаніе покрововъ Сюлянсъ.

Дорога изъ Фавержъ въ Серравалъ (Верхняя Савойя).



Негат. Э. Ога.

Эпигенетическое ущелье.

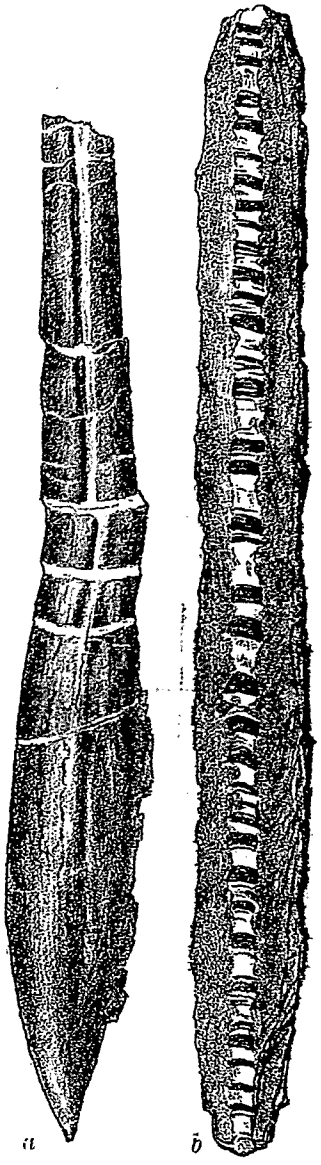
Долина Ля Романшъ (Изеръ).

Налѣво впадина занятая донной мореной.

чаяхъ, когда складки сжаты и опрокинуты, мощность одного и того же слоя значительно больше въ области замка́ по сравненію съ крыльями, какъ будто бы былъ притокъ вещества къ линіи изгиба. Этотъ притокъ можетъ кромѣ того, выражаться усиленіемъ процесса складчатости, который часто сопровождается образованіемъ мелкихъ болѣе или менѣе параллельныхъ расколовъ, имѣющихъ характеръ складокъ сдвиговъ въ миніатюрѣ (фиг. 90). Увеличиваясь въ числѣ эти расколы образуютъ какъ бы *ложный кливажъ*.

Сланцеватость, которая не имѣетъ ничего общаго съ раздробленіемъ твердыхъ породъ, обыкновенно сильнѣе проявляется около замко́въ, чѣмъ въ области крыльевъ складки. Отсюда можно сдѣлать тотъ выводъ, что складчатость и кливажъ представляютъ собою два одновременныя проявленія одной и той же силы.

Гейму удалось также установить, что деформація слоевъ, не сопровождаемая разрывомъ, увеличивается съ увеличеніемъ вертикальнаго разстоянія отъ первоначальной поверхности и въ непластичныхъ породахъ осуществляется лишь на большой глубинѣ. На поверхности же эти самыя породы деформируются съ разрывомъ. Это обстоятельсто приводитъ насъ къ выводу, что пластичность слоевъ увеличивается съ глубиной. По выраженію Гейма, на глубинѣ породы обладаютъ *скрытой пластичностью*, такъ что давленіе распространяется тамъ во всѣхъ направленіяхъ, какъ въ жидкой средѣ.

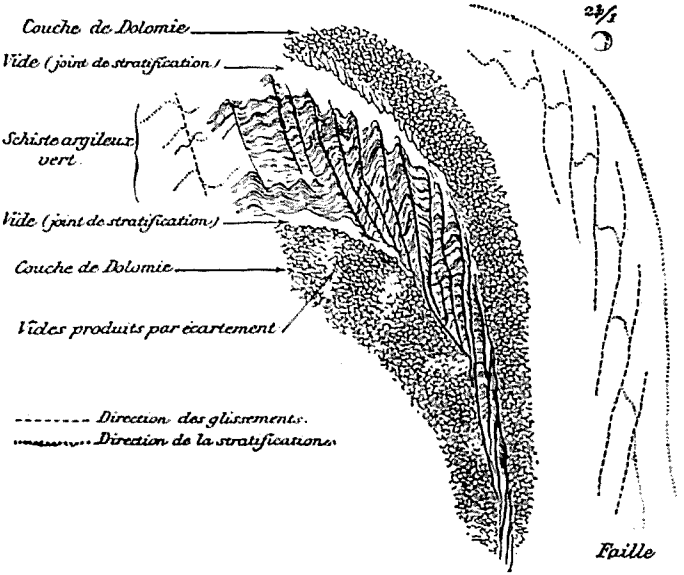


Фиг. 89, *a*, *b*. — Раздѣленные на кусочки белемниты, оксфордскіе мергеля Фретдъ-де-Сайль, Водуазскія Альпы (по Альб. Гейму).

Очевидно, что наиболѣе энергичный процессъ складчатости могъ произойти лишь подъ значительной нагрузкой вышеле-

жавшихъ массъ, и потому детали мы можемъ теперь изучать лишь благодаря позднѣйшей денудаціи. Вѣроятно, въ силу этого обстоятельства орогеническія движенія сосредоточены въ геосинклиналяхъ, гдѣ въ силу громадной мощности слоевъ какъ разъ осуществляется необходимое условіе.

Сходство сильно сдавленныхъ породъ съ жидкостями подтверждается опытами Треска и Добре (1). Оперируя надъ металлами, Треска достигъ того, что подъ давленіемъ гидравлическаго пресса мало пластичные металлы истекали черезъ узкое,



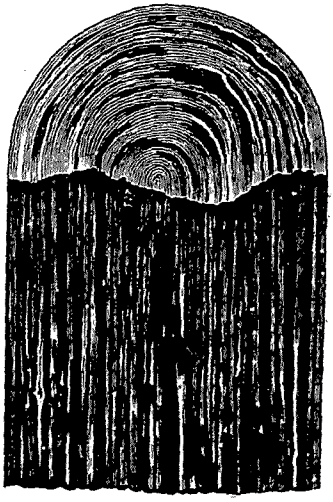
Фиг. 90.—Микроскопическія складки-сдвиги (псевдо-Кливажъ) въ тріасовомъ доломитѣ Тёди (по А. Гейму).

Внизу и вверху рисунка доломитъ, въ серединѣ зеленый глинистый сланецъ, между доломитомъ и сланцемъ пустыя пространства, образовавшіяся вслѣдствіе раздвиганія слоевъ по плоскостямъ наслоенія.

круглое отверстіе. Добре при тѣхъ же условіяхъ заставилъ истекать глину черезъ круглое или прямоугольное отверстіе. Въ первомъ случаѣ образовался цилиндръ сланцеватой структуры, листоватые элементы котораго расположились концентрически по отношенію къ поверхности цилиндра (фиг. 91); во второмъ случаѣ плоскости сланцеватости расположились параллельно широкой сторонѣ струи, имѣвшей прямоугольное сѣченіе. Кромѣ того, Добре примѣшалъ къ глинѣ листочки слюды, и они, въ частяхъ, ставшихъ сланцеватыми вслѣдствіе истеченія, расположились своими широкими поверхностями параллельно плоскостямъ сланцеватости. Весьма вѣроятно, что таково происхожденіе слюдистыхъ сланцевъ.

Послѣ этихъ опытовъ значеніе *истеченія* въ обращенномъ расплющенномъ крылѣ склади не подлежитъ больше сомнѣнію. Оно было еще подтверждено трудами Адамса и Никольсона (9), которымъ удалось деформировать мраморъ, подвергая его давленіямъ, превосходившимъ силу его сопротивленія раздавливанію. При 300 и 400° деформація не сопровождалась разрывами, и мраморъ становился пластичнымъ, какъ металлъ.

Истираніе. Измѣненія формы породъ, совершающіяся съ разрывомъ, можно разсматривать какъ своего рода истираніе. При истираніи образовавшіеся обломки до ихъ цементированія окатываются, растираются другъ о друга, и въ результатѣ образуется такъ называемая *брекчія тренія*. Такая порода часто встрѣчается въ основаніи наволочныхъ покрововъ (табл. XV, 1), вдоль складокъ-сдвиговъ, и вдоль обыкновенныхъ сбросовъ. Это въ сущности обломочная порода, хотя участіе воды въ ея образованіи ограничивается только цементированіемъ обломковъ. Отдѣльные ея элементы то угловатые, то болѣе или менѣе скругленные бываютъ различной величины, начиная отъ микроскопическихъ размѣровъ и до громадныхъ глыбъ.



Фиг. 91.—Образованіе славцеватой и концентрической структуры въ глинѣ, выдавливаемой черезъ круглое отверстіе. На образцѣ видны два разрѣза, одинъ по оси, другой въ перпендикулярномъ направленіи. Увеличено вдвое (по Daubrée. Études synthétiques de Géologie expérimentale).

Гранитовидныя и вулканическія породы, истертыя такимъ образомъ, имѣютъ особую такъ называемую *катакластическую* структуру. Кристаллы являются въ нихъ растертыми, изломанными, разорванными и, наконецъ, вновь сцементированными (Mörtelstructur, цементная структура). Цементомъ въ этомъ случаѣ является кальцитъ, кварцъ или минералы, претерпѣвшіе химическое измѣненіе. Часто при этомъ образуется много серицита, который въ породахъ ставшихъ сланцеватыми отъ давленія, часто покрываетъ всѣ листоватые элементы.

Динамометаморфизмъ. Исходя изъ этихъ данныхъ многіе ученые приписывали происхожденіе большинства мета-

морфическихъ и въ частности сланцевато-кристаллическихъ породъ динамическому воздѣйствію орогеническихъ движеній. Основываясь на томъ фактѣ, что кристаллическіе сланцы, почти всегда сильно смяты въ складки, и метаморфизацію этихъ породъ приписывали самому процессу складчатости. Такимъ образомъ и развилось ученіе о *динамометаморфизмѣ*, которое было развито главнымъ образомъ Розенбушемъ (XIV, 18) и его школой.

Тогда какъ французскіе геологи смотрятъ на гнейсы, какъ на осадочные сланцы, ставшіе кристаллическими подъ дѣйствіемъ глубинныхъ минерализаторовъ, нѣмецкіе геологи приписываютъ имъ внутреннее происхожденіе и считаютъ ихъ гранитовидными породами, которыя стали сланцеватыми вслѣдствіе расплющиванія, которому онѣ подверглись. Если эта теорія и приложима къ нѣкоторымъ гранито-гнейсамъ, подобнымъ *протогину*, который въ сущности является гранитомъ съ катакластической стуктурой, то она совершенно непримѣнима къ глазчатымъ, или узловатымъ гнейсамъ и къ сѣрымъ гнейсамъ.

Динамометаморфизму приписывали еще и другія явленія. Думали, что давленіе, происходящее отъ орогеническихъ движеній, могло вызвать въ расплющенныхъ породахъ образованіе кристаллическихъ минераловъ, подобныхъ тѣмъ, какіе образуются при контактномъ метаморфизмѣ. Такъ, напр., присутствіе граната, цоизита, черной слюды въ белемнитовыхъ сланцахъ въ ущельѣ Нюфененъ въ Валисѣ приписывали также сплющенности породъ: этимъ же путемъ объясняли образованіе гнейса изъ аркозовъ и слюдистыхъ сланцевъ изъ филлита. По мнѣнію Госселэ развитіе оттрелита, граната, амфибола въ кембрійскихъ сланцахъ Арденнъ произошло благодаря складчатости, которой подверглись сланцы и сосѣдству со сбросомъ. Но тогда какъ возникновеніе катакластическихъ стуктуръ, какъ результата орогеническихъ процессовъ не подлежитъ сомнѣнію, образованіе подъ ихъ вліяніемъ кристаллическихъ силикатовъ является очень спорнымъ вопросомъ. Въ глазахъ многихъ ученыхъ эти минералы имѣютъ глубинное происхожденіе и развились in situ въ тѣхъ мѣстахъ, куда вслѣдствіе дислокацій былъ облегченъ доступъ минерализаторамъ. Складчатость же лишь благопріятствовала метаморфизму, такъ какъ увеличивала поверхность соприкосновенія съ измѣняющими агентами.

Чрезмѣрное увлеченіе теоріей динамометаморфизма прошло, и теперь, по крайней мѣрѣ во Франціи, ученые опять впада-

ютъ въ другую крайность, утверждая, что „динамическія причины только деформируютъ, а не вызываютъ болѣе глубокихъ превращеній“. На самомъ же дѣлѣ часто можно бываетъ признать, что кристаллическіе силикаты образуются въ сланцахъ или глинистыхъ известнякахъ только подъ дѣйствіемъ давленія, безъ всякаго приноса вещества изъ глубинъ. Замѣчательные труды В. Шпринга (11) доказали, что при сильномъ давленіи соприкасающіеся металлы не только спаиваются, но могутъ также образовать сплавы путемъ диффузіи, и что кромѣ того, давленіе можетъ вызвать настоящія химическія реакціи между веществами, находящимися въ твердомъ состояніи. Теплота при этомъ не играетъ роли. Такимъ образомъ неоспоримо, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ образованіе кристаллическихъ известковыхъ или алюминіевыхъ силикатовъ, изъ смѣси известняка и глины вызывается только дѣйствіемъ давленія.

---

1. — A. Daubrée. Études synthétiques de géologie expérimentale. 1 vol. in-8⁰, 828 стр., 181 фиг. Paris, 1879.

2. — L. Duparc et A. Le Royer. Contributions à l'étude expérimentale des diaclases produites par torsion. *Arch. des Sc. phys. et nat.*, 3e pér., XXII, стр. 297-313, таб. III, 1889.

3. — Henry Dufet. Note sur les déformations des fossiles contenus dans les roches schisteuses et sur la détermination de quelques espéces du genre *Ogygia*. *Ann. scient. de l'École normale supérieure*, 2e sér., VI, стр. 183—190, 4 фиг., 1875.

4. — A. Wettstein. Ueber die Fischfauna des Tertiaeren Glarnerschiefers. *Mém. Soc. Pal. Suisse*, XIII, 103 стр., 71 таб., 1886.

5. — Ed. Jannettaz. Mémoire sur les clivages des roches (schistosité, longrain) et sur leur reproduction. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3e sér., XII, стр. 211-236, 12 фиг., 1884.

6. — Albert Heim. Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung. In-4⁰, t. II. Allgemeine Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbilbung, 246 стр. Bâle, 1878.

7. — Id. Geologische Nachlese, n⁰ 12. Gneissfältelung in alpinem Centralmassiv, ein Beitrag zur Kenntniss der Stauungsmetamorphose. *Vierteljahrschr. d. Naturf. Ges. in Zürich*, XLV, стр. 205-237, таб. VIII, IX, 1900.

8. — A. Rothpletz. Ueber eigenthümliche Deformationen jurassischer Ammoniten durch Drucksuturen und deren Beziehungen zu den Stylolithen. *Sitzungsber. d. math.-phys. Cl. d. k. bayer. Akad. d. Wiss.* XXX, стр. 3—32, 1 фиг. 1900.

9. — Frank D. Adams and John Th. Nichorlson. An Experimental Investigation into the Flow of Marble. *Philos. Trans. of the Roy. Soc. of London*, Ser. A, CXCV, стр. 363-401, 8 фиг., таб. III-XXV, 1901.

10. — W. Spring. La plasticité des corps solides et ses rapports avec la formation des roches. *Revue générale des Sciences*, XI, стр. 1036-1041, 1900.

11. — E. Weinschenk, Mémoire sur le dynamomètamorphisme et la piézocristallisation. *Congrés géol. intern. C. R. de la VIIIe session*, стр. 326-341, 1901.

ГЛАВА XVI.

Вертикальныя движенія земной коры.

Сбросы и флексуры. Изученіе сбросовъ въ поперечномъ разрѣзѣ. Изученіе сбросовъ въ планѣ. Связь сбросовъ со складчатостью. Явленія, сопровождающія образованіе сбросовъ. Абсолютное значеніе вертикальныхъ движеній земной коры.

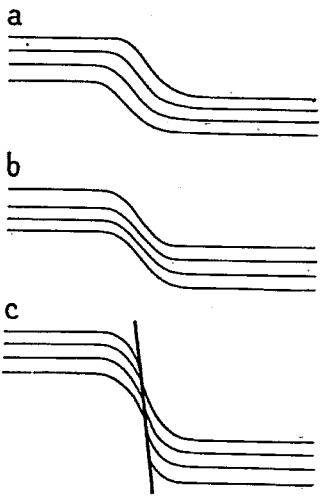
Сбросы и флексуры. Значеніе тангенціальныхъ силъ становится очевиднымъ при аналитическомъ изученіи складчатости даже и не особенно глубокомъ. Само собой понятно, что, если эти силы перестаютъ дѣйствовать, должно происходить разжатіе, растяженіе, которое облегчитъ смѣщеніе участковъ земной коры подъ дѣйствіемъ тяжести подобно тому, что происходитъ въ сводѣ, который обрушивается, если его устои больше его не поддерживаютъ. Такимъ образомъ ослабленіе тангенціальныхъ силъ вызываетъ опусканіе обширныхъ площадей земной коры подъ дѣйствіемъ одной только силы тяжести.

Такое опусканіе участковъ земной коры можетъ происходить безъ разрыва въ тѣхъ случаяхъ, когда не прерывается связь между осѣвшими частями и сосѣдними, которыя не поддавались силѣ тяжести. Эти части соединяются между собою посредствомъ двойного изгиба слоевъ и промежуточной наклоненной плоскости, которая и соединяетъ обѣ горизонтальныя поверхности, нѣкогда находившіяся на одномъ уровнѣ. Подобную форму изгиба пластовъ земной коры принято называть *флексурой* или *моноклинальной складкой* (фиг. 92, *a*).

Иногда въ нихъ, какъ и въ настоящихъ складкахъ, созданныхъ тангенціальными силами, связующее крыло можетъ растягиваться, утоняться (фиг. 92, *b*) вплоть до полнаго изчезновенія или, другими словами, оно можетъ разорваться вслѣдствіе натяженія. Тогда вдоль плоскости разрыва наблюдается двойной изгибъ (фиг. 92, *c*). Впрочемъ, въ большинствѣ случаевъ опус-

каніе происходитъ внезапно, опустившаяся часть отдѣляется отъ оставшейся разрывомъ по плоскости близкой къ вертикальной. Подобное явленіе называется *сбросомъ* или *изломомъ*. Его иногда также называютъ *параклазой*, противопоставляя его этимъ термину *діаклаза*, которымъ обозначается разрывъ слоевъ, не сопровождаемый ихъ перемѣщеніемъ.

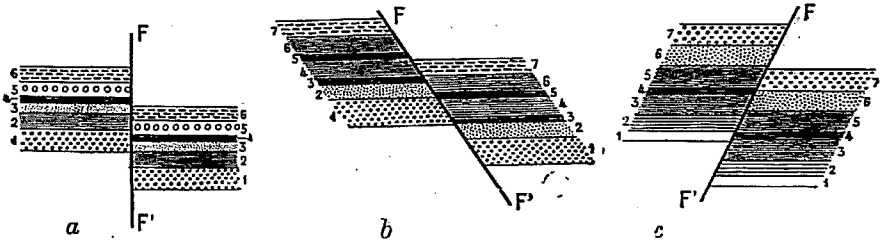
Діаклазы, какъ мы уже видѣли (стр. 245), образуются вслѣдствіе скручиванія слоевъ при орогеническихъ движеніяхъ и не имѣютъ ничего общаго съ дислокаціями при вертикальныхъ движеніяхъ земной коры, которыми мы занимаемся въ этой главѣ.



Фиг. 92.—Флексуры въ поперечныхъ разрѣзахъ.

a, нормальная флексура; b, флексура съ растянутымъ среднимъ крыломъ; c, флексура сопровождаемая разрывомъ.

Оставивъ въ сторонѣ флексуры, которыя, вопреки прежнимъ взглядамъ (1), имѣютъ лишь второстепенное значеніе въ архитектоникѣ земного шара, мы приступимъ къ изученію сбросовъ и разсмотримъ ихъ въ томъ же порядкѣ, въ какомъ разсматривали складки, а именно сначала въ поперечномъ разрѣзѣ, т. е. болѣе или менѣе перпендикулярномъ къ ихъ направленію, затѣмъ въ направленіи ихъ протяженія.

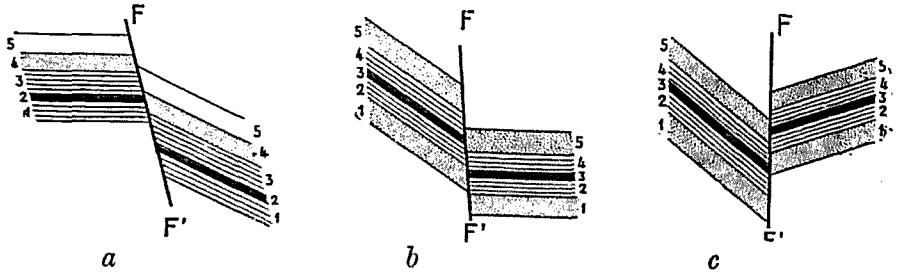


Фиг. 93.—Разные типы сбросовъ (FF') въ горизонтальныхъ слояхъ (1—7). *a*, вертикальный сбросъ; *b*, нормальный сбросъ; *c*, обращенный сбросъ.

Сбросы въ поперечномъ разрѣзѣ. На склонахъ долины, идущей болѣе или менѣе перпендикулярно къ направленію сброса, имѣются какъ бы естественные разрѣзы, на которыхъ мы можемъ наблюдать природу этихъ тектоническихъ явленій.

Мы легко распознаемъ существованіе сброса, слѣдя за слоемъ вдоль его обнаженія въ береговомъ разрѣзѣ; мы видимъ какъ слой внезапно прерывается и уступаетъ мѣсто въ той же горизонтальной полосѣ другому болѣе новому или болѣе древнему слою, а самъ вновь появляется выше или ниже (фиг. 93). То же явленіе замѣчается и на другихъ слояхъ, обнажающихся на склонѣ долины всѣ они прерываются на той же прямой линіи, къ нимъ перпендикулярной или пересѣкающей ихъ почти подъ прямымъ угломъ. Эта линія является линіей пересѣченія плоскости сброса съ поверхностью земли (табл. XIV, 2).

Края слоевъ, рѣзко оборванные при сбросѣ называются *крыльями* сброса, при этомъ соотвѣтственно относительному перемѣщенію слоевъ различаютъ *поднятое* и *опущенное* крыло.



Фиг. 94. — Разные виды наклона слоевъ по ту и другую сторону сброса.

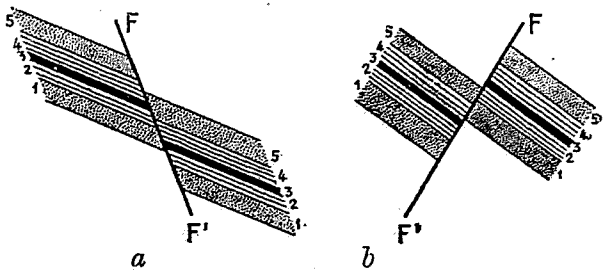
Обыкновенно крылья остаются въ тѣхъ же соотвѣтственныхъ плоскостяхъ какъ и слои, которые въ нихъ оканчиваются, но случается также, что они бываютъ изогнуты вдоль сброса, какъ во флексурахъ съ вытянутымъ связующимъ крыломъ.

Амплитудой или *размахомъ сброса* называютъ величину относительнаго перемѣщенія слоевъ, которому подвергся какой нибудь данный слой. Эта величина обыкновенно выражается вертикальнымъ разстояніемъ между двумя поверхностями одного и того же слоя по обѣимъ сторонамъ сбросовой трещины.

Направленіе плоскости сброса бываетъ большею частью вертикальнымъ (фиг. 93, *a*), но часто также она бываетъ наклонена въ направленіи опущеннаго крыла (фиг. 93, *b*). Этотъ видъ сбросовъ даже принято называть *нормальнымъ сбросомъ*. Наоборотъ, если плоскость сброса нависаетъ надъ опущеннымъ крыломъ, сбросъ называется *обращеннымъ сбросомъ* или *взбросомъ* (фиг. 93, *c*). Часто обращенный сбросъ трудно бываетъ отличить отъ опрокинутой складки-сдвига, особенно въ томъ случаѣ, когда ея замки невидимы.

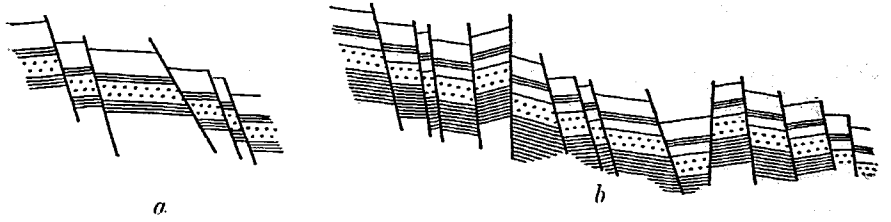
При нормальномъ сбросѣ пространство, занимаемое слоями, оказывается больше, чѣмъ оно было до разрыва, при обращенномъ же сбросѣ наблюдается какъ разъ противоположное явленіе, такъ какъ верхнее крыло перекрываетъ нижнее.

До сихъ поръ мы предполагали, что слои подвергшіеся сбросу оставались горизонтальными, но часто осѣвшіе слои являются наклонными, а слои, не измѣнившіе своего положенія, остаются горизонтальными (фиг. 94, *a*). Иногда же происходитъ какъ разъ обратное (фиг. 94, *b*); или же и тѣ и другіе слои наклоняются въ противоположныя стороны (фиг. 94, *c*).



Фиг. 95.—*a*, сбросъ согласно падающій; *b*, сбросъ несогласно падающій.

Иногда, наконецъ, слои имѣютъ одинаковый наклонъ по обѣимъ сторонамъ трещины, которая съ своей стороны имѣетъ наклонъ то одинаковый со слоями (рис. 95, *a*), то противоположный имъ (рис. 95, *b*). Въ зависимости отъ этого, сбросъ называется или *согласно падающимъ*, или *несогласно падающимъ* (табл. XIV, 6).



Фиг. 96. — *a*, ступенчатые сбросы; *b*, сбросы компенсаціонные (по Эм. де Маржери и Альб. Гейму.)

Если опусканіе части земной коры сравнительно съ сосѣдней площадью происходитъ только по одной сбросовой трещинѣ, то такой сбросъ называется *простымъ*. Но опусканіе можетъ произойти и путемъ образованія болѣе или менѣе значительнаго количества, сравнительно небольшихъ сбросовъ, размахи которыхъ прибавляются одинъ къ другому, такъ что мы спускаемся отъ болѣе высокаго участка къ болѣе низкому какъ бы по ступенькамъ лѣстницы. Такіе сбросы или вѣрнѣе системы сбросовъ называются *ступенчатыми* (фиг. 96, *a*).

Впрочемъ, понпженіе не всегда идетъ совершенно правильно, такъ какъ размахи послѣдовательно расположенныхъ сбросовъ не всѣ бываютъ направлены въ одну сторону. Наоборотъ, среди сбросовъ иногда попадается сбросъ съ размахомъ въ противоположномъ направленіи сравнительно съ сосѣдними, который и уничтожаетъ то, что ими достигнуто. Такіе сбросы называютъ *компенсаціонными* (*failes à rejet compensateur*) (фиг. 96, *b*).

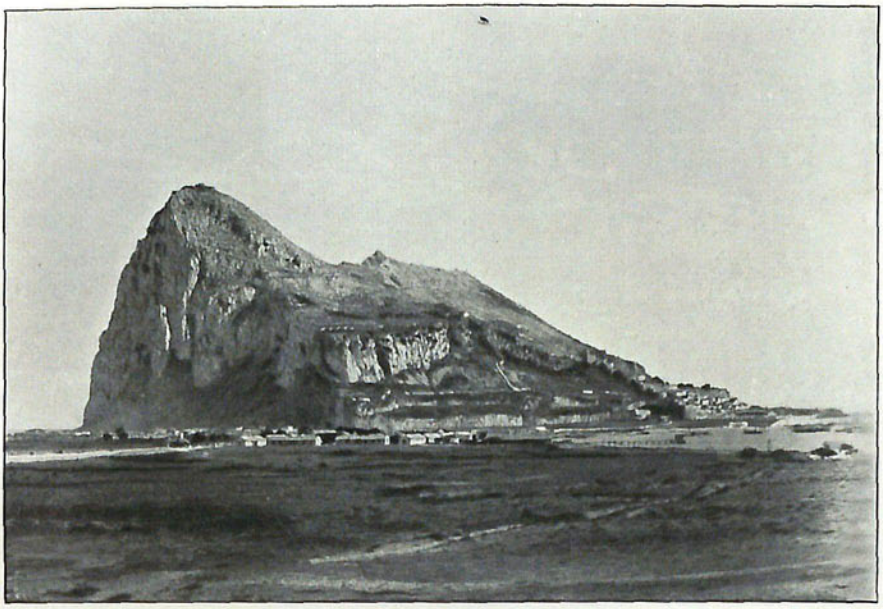
Таковы въ общихъ чертахъ особенности сбросовъ, которыя можно изучать на ихъ поперечныхъ разрѣзахъ, чтобы узнать каковы они въ направленіи ихъ протяженія, нужно изучать ихъ въ планѣ, наблюдая ихъ направленіе по земной поверхности.

Изученіе сбросовъ въ планѣ. Здѣсь мы изучимъ отдѣльно простые сбросы и группы сбросовъ.

Простые сбросы. На поверхности земной коры сбросъ часто проявляется измѣненіемъ уровня, такъ какъ площадь, сохранившаяся на своемъ мѣстѣ образуетъ плато, возвышающееся надъ опустившимся пространствомъ, какъ разъ на высоту, равную размаху сброса. Обрывъ, которымъ заканчивается плоскогоріе, первоначально совпадаетъ съ положеніемъ сбросовой трещины. Въ томъ случаѣ, когда нужно обозначить *направленіе* или сторону горизонта, къ которой обращенъ этотъ обрывъ, его называютъ *лбомъ* или *фасомъ* сброса. Такъ, напр., о Юрѣ, гдѣ опущеннымъ крыломъ обыкновенно бываетъ западное или сѣверо-западное, говорятъ, что ея сбросы имѣютъ „французскій фасъ („le regard français“).

Конечно, не слѣдуетъ предполагать существованіе сброса вездѣ, гдѣ плоскогоріе оканчивается обрывомъ; нерѣдко путешественники подъ вліяніемъ предвзятой ложной идеи злоупотребляли словами и называли сбросами всѣ обрывистые утесы, которые на самомъ дѣлѣ обязаны своимъ происхожденіемъ атмосфернымъ агентамъ, или текучей водѣ, а не дислокаціямъ слоевъ.

Кромѣ того, утесы совпадаютъ съ трещинами лишь въ томъ случаѣ, когда первоначальное измѣненіе уровня не было позднѣе замаскировано денудаціей. Часто даже положеніе линіи сброса не сказывается на топографіи мѣстности какимъ-либо измѣненіемъ рельефа и обнаруживается лишь благодаря рѣзкому соприкосновенію слоевъ различнаго возраста. Лишь прослѣживая шагъ за шагомъ границу этихъ двухъ слоевъ, геологъ имѣетъ возможность зачертить на картѣ такой сбросъ.



Утесъ Гибралтаръ,
видъ изъ Линьй.
Вертикальный обрывъ лейасовыхъ известняковъ, обусловленный сбросомъ.

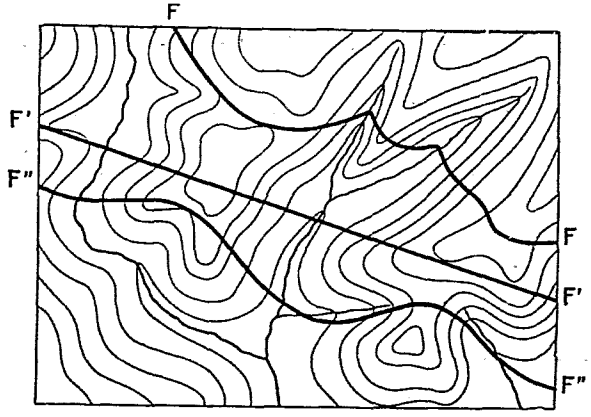


Негат. Э. Ога.

Городъ Либфрауэнбергъ, близъ Вёрта (Эльзасъ),
видъ отъ французскаго памятника у Фрешвиллера.
Лоскутъ нижняго тріаса образующій выступъ среди опустившагося средняго и верхняго тріаса.

Если эта линія будетъ совершенно прямой линіей, несмотря на всѣ неровности почвы, мы имѣемъ право сказать, что сбросовая трещина имѣетъ вертикальное положеніе (фиг. 97, F′ S′). Но часто эта черта описываетъ кривыя на гребняхъ водораздѣловъ и углы при пересѣченіи долинъ. Наклонъ такого сброса и направленіе наклона легко опредѣлить, если посмотрѣть въ какую сторону направлены отверстія угловъ. (рис. 97, FF, S″S″).

Существуютъ также сбросы, хотя и вертикальные, но обозначающіеся на поверхности земли кривыми линіями; это показываетъ, что сама сбросовая трещина здѣсь искривлена, и ея пересѣченіе съ ея горизонтальной поверхностью даетъ кривую линію.



Фиг. 97. — Пересѣченіе трехъ сбросовъ съ топографической поверхностью. FF, сбросъ съ плоскостью наклоненной къ верховьямъ долинъ; F′F′, сбросъ съ вертикальной плоскостью; F″F″, сбросъ съ плоскостью наклоненной къ низовой части долинъ.

По отношенію къ простиранію слоевъ сбросы могутъ имѣть самое разнообразное положеніе. Если сбросъ параллеленъ съ простираніемъ слоевъ или другими словами перпендикуляренъ къ направленію ихъ паденія, то такой сбросъ называется *продольнымъ*; если сбросъ пересѣкаетъ простираніе слоевъ подъ угломъ онъ называется *діагональнымъ*; если же онъ перпендикуляренъ къ простиранію слоевъ, то онъ называется *поперечнымъ* (табл. XIV, 6).

Группы сбросовъ. Ступенчатые сбросы и сбросы съ компенсирующимъ размахомъ, о которыхъ мы уже говорили выше, могутъ идти параллельно очень долгое время, пока ихъ размахъ не сойдетъ на нуль, и они не уничтожатся; но иногда они приближаются попарно и встрѣчаются, сливаясь въ одинъ

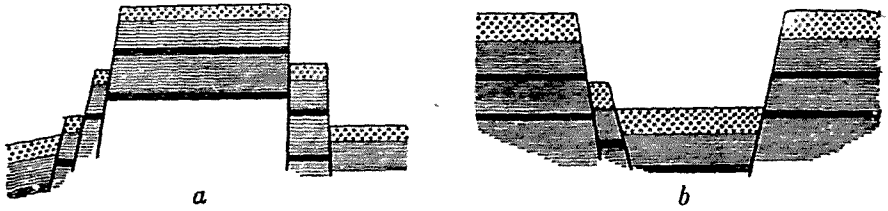
сбросъ; и, наоборотъ, сбросовая трещина можетъ развѣтвляться, отдѣлять отъ себя боковыя вѣтви (фиг. 98). Если нѣсколько сбросовъ сходятся въ одной точкѣ, то получается такъ называемый *пучекъ сбросовъ*.

Опустившаяся часть земной поверхности, расположенная между двумя неосѣвшими зонами и ограниченная двумя параллельными сбросами или двумя ступенчатыми системами сбросовъ, лбы которыхъ обращены другъ къ другу, называется *сбросовымъ рвомъ* (Graben) (фиг, 99, *b*). Классическимъ его при-



Фиг. 98.—Развѣтвленный сбросъ (по Э. де Маржери и А. Гейму.

мѣромъ является Рейнская долина, расположенная между Базелемъ и Майнцемъ; она въ сущности представляетъ собою широкую опустившуюся полосу между двумя возвышенными массивами—Вогезами на западѣ, и Шварцвальдомъ на востокѣ—



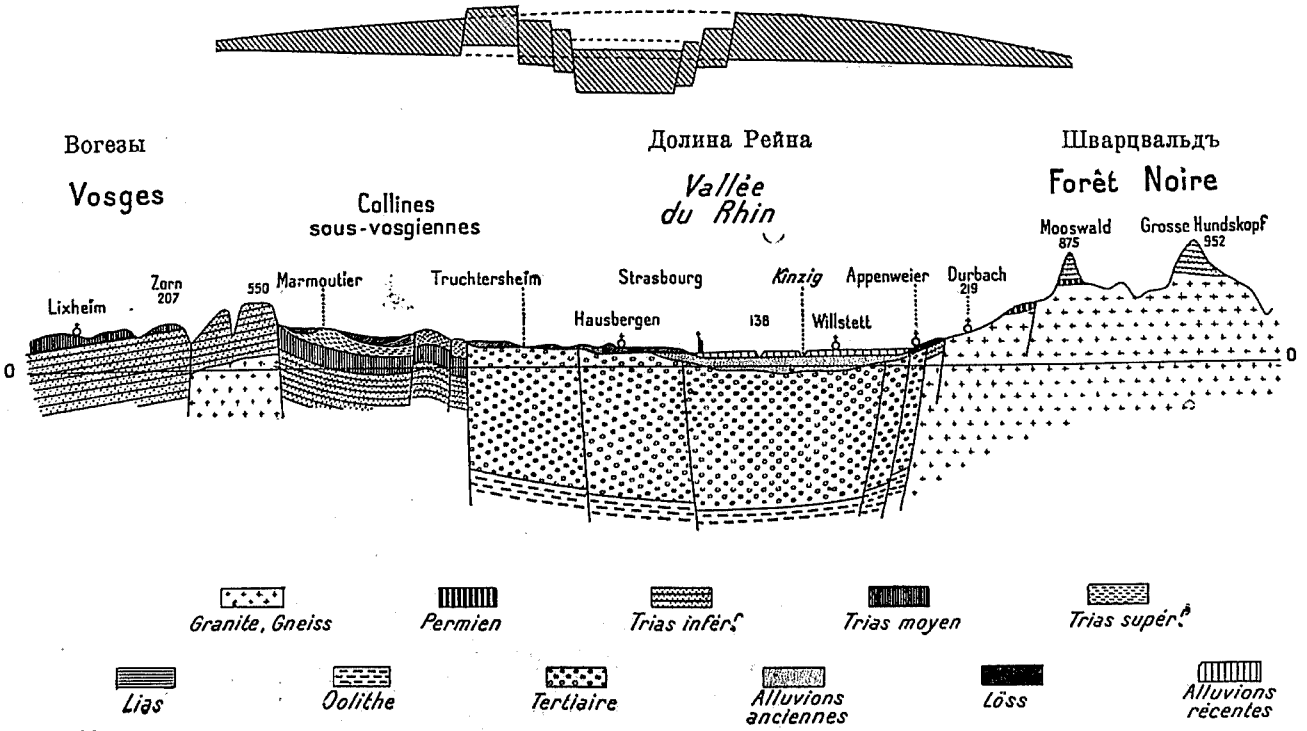
Фиг. 99.—*a*) горстъ; *b*) сбросовый ровъ (схематическіе разрѣзы).

и ограничена двумя параллельными сбросами съ очень значительнымъ размахомъ, которые мѣстами замѣнены ступенчатыми сбросами (фиг. 100, 101).

Обѣ Лимани—Лиманъ Алльe и Луарская Лиманъ—тоже представляютъ собою двѣ опустившіяся полосы, далеко врѣзывающіяся въ Центральное плато.

Красное море также представляетъ собою сбросовый ровъ, осѣвшую полосу земной коры, расположенную между Египтомъ и Аравіей, точно такъ же какъ и озера, расположившіяся полосой въ восточной Африкѣ, считаются за сбросовые рвы, ограниченные двумя большими параллельными сбросами.

Въ противоположность этому явленію существуютъ приподнятыя полосы, расположенныя между двумя осѣвшими областями и ограниченныя двумя параллельными сбросами или двумя

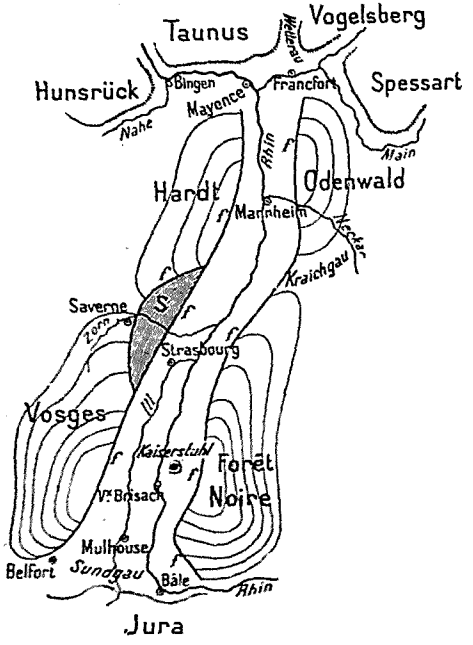


Фиг. 100.—Поперечный разрѣзъ (W—E) сбросоваго рва долины Рейна; масштабъ: 1/600.000 схематическій разрѣзъ помѣщенный сверху показываетъ неодинаковое опусканіе частей свода (по Л. ванъ-Вервеке).

Крестики—гранитъ и гнейсъ; толст. вертик. штрихи—пермь; гориз. штрихи съ точками—нижній тріасъ; частые верт. штрихи—средній тріасъ; мелк. разб. штрихи—верхній тріасъ; гориз. штрихи — лейасъ; толст. разбит. штрихи—оолитъ (доггеръ); кружочки—третичн. система; точки—древній аллювій; косые штрихи—лёссъ; рѣдкіе вертик. штрихи—новый аллювій.

системами сбросовъ, лбы которыхъ по тому и другому краю обращены въ противоположныя стороны (фиг. 99, *a*). Эти приподнятые массивы называютъ иногда *сбросовыми выступами*, но чаще принятымъ почти повсемѣстно терминомъ Зюсса — „*горстъ*“.

Горстъ на одномъ или на другомъ концѣ своемъ можетъ окончиться постепеннымъ уменьшеніемъ до нуля размаховъ обоихъ ограничивающихъ его главныхъ сбросовъ, или же оба эти сброса сходятся и соединяются вмѣстѣ, образуя клинообразный массивъ (Табл. XVI, 2): иногда же, а можетъ быть даже и большею частью, поперечные или діагональные сбросы пересѣкаются съ главными сбросами. При пересѣченіи же двухъ взаимно связанныхъ или сопряженныхъ системъ сбросовъ образуется настоящая инкрустація—цѣлая система небольшихъ ромбовъ изъ которыхъ одни приподняты, другіе опущены (фиг. 102).



Фиг. 101.— Схематическая карта сбросоваго рва долины Рейна. Это опустившаяся внизъ полоса, прорѣзывающая два купола Гардта-Оденвальда и Вогезъ-Шварцвальда, структурная поверхность которыхъ представлена горизонталями (по Е. Шумахеру).

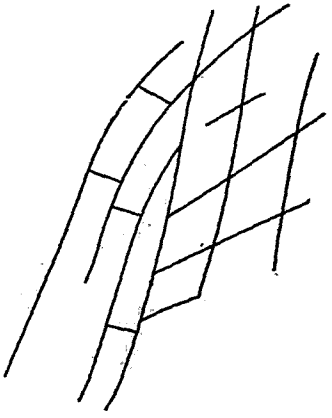
f) главные сбросы; *S*) саверпская впадина.

Прекраснымъ примѣромъ горста можетъ служить массивъ Морванъ, поднимающійся надъ Лиманью на западѣ и надъ долиной Роны на востокѣ и отдѣленный отъ этихъ осѣвшихъ мѣстностей параллельными сбросами, которые идутъ съ сѣвера на югъ и выражены въ топографіи мѣстности крутыми обрывами. На сѣверѣ же Морванскій массивъ опускается очень полого, такъ какъ размахъ двухъ меридіональныхъ сбросовъ здѣсь сходитъ на нѣтъ. Вогезы и Шварцвальдъ являются двумя большими диссимметричными горстами, которые возвышаются другъ противъ друга по краямъ Рейнской долины (фиг. 100, 101). Тюрингенскій лѣсъ (фиг. 103), также является горстомъ, который подобно Морванскому массиву, выступаетъ гребнемъ среди опустившейся области.

Синай тоже представляетъ горстъ, расположенный угломъ между двумя сбросовыми рвами, образующими заливы Суэцкій и Акабскій. Этотъ послѣдній заливъ продолжается на сѣверъ въ Сирійскую впадину или впадину Мертваго моря.

Нѣкоторые горсты какъ и нѣкоторые сбросовые рвы, ограничены не сбросами, а флексурами, такъ что въ такихъ случаяхъ осѣданіе мѣстности произошло безъ разрыва. Такіе случаи извѣстны въ центральной части Соединенныхъ Штатовъ.

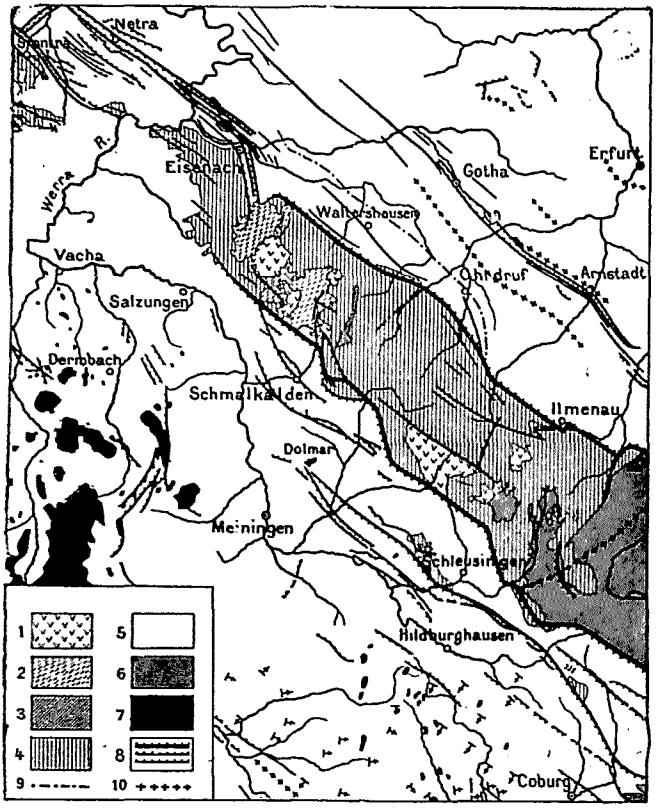
Опустившіяся области, иногда бываютъ ограничены не параллельными сбросами, а вѣнцомъ *периферическихъ сбросовъ*. Въ этомъ случаѣ обыкновенно наблюдается также связанная съ ними система *радіальныхъ* сбросовъ (фиг. 104). Существуютъ подобныя округлыя какъ бы рѣзцомъ изваянныя впадины, и весьма вѣроятно что многіе полукруглые заливы вырѣзаны подобнымъ образомъ въ береговой полосѣ суши.



Фиг. 102.— Сопряженные сбросы.

Связь сбросовъ съ полосами складчатости. — Осѣданія земной коры, ведущія къ образованію горстовъ и сбросовыхъ рвовъ, происходятъ большею частью въ складчатой области, подвергшейся впослѣдствіи морской трансгрессіи и покрытой осадочной серіей новаго цикла, несогласно налегающей на складчатую серію предшествовавшаго цикла. Сбросы разрываютъ данную область на рядъ отдѣльныхъ участковъ, сложенныхъ изъ горизонтально наслоенныхъ пластовъ, изъ подъ которыхъ выступаютъ, особенно часто въ горстахъ, древнія породы, обнаженныя дѣйствіемъ атмосферныхъ агентовъ. *Столовое плоскогорье* (*architecture tabulaire*) является характерной топографической формой подобныхъ областей; впрочемъ, было бы неправильно думать что сбросы неизбѣжно связаны съ этимъ морфогеническимъ типомъ, такъ какъ сбросы часто встрѣчаются въ складчатой области и не подвергавшейся морской трансгрессіи, и гдѣ, слѣдовательно, топографическій характеръ мѣстности обусловленъ складчатостью. Въ этомъ случаѣ однако сбросы имѣютъ своеобразный характеръ и опредѣленную связь со складчатостью, которую мы сейчасъ и постараемся выяснить.

Поперечные сбросы. — Поперечными сбросами называютъ такіе, которые пересѣкаютъ складчатыя зоны подъ прямымъ или близкимъ къ прямому угломъ. Своимъ положеніемъ они напоминаютъ горизонтальные сдвиги, но не сопровождаются горизонтальнымъ перемѣщеніемъ оси складокъ. Они часто соста-



Фиг. 103.—Горстъ Тюрингенскаго лѣса и его краевые сбросы (по Р. Лепсіусу и С. Регельманну. въ E. Suess, la Face de la Terre, т. II).

1) гранитъ; 2) гнейсъ и кристал. сланцы; 3) кембрій; 4) пермь и порфировыя породы; 5) тріасъ; 6) юра; 7) третичные базальты; 8) сбросы (толщина черты пропорціональна размаху смѣщенія; зубцы указываютъ опущенное крыло); 9) синклинали; 10) антиклинали.—Масштабъ 1 : 100.000

вляютъ цѣлую систему параллельныхъ сбросовъ, но обыкновенно не образуютъ ни горстовъ, ни сбросовыхъ рвовъ.

Классическимъ примѣромъ поперечнаго сброса является сбросъ извѣстный подъ именемъ „термальной линіи“; онъ идетъ отъ Вѣны къ югу и рѣзко обрываетъ складки сѣверныхъ известковыхъ Альпъ. Такую же роль, хотя и въ менѣе грандіозномъ масштабѣ играетъ, для южныхъ известковыхъ Альпъ, сбросъ Скіо въ Венеціанской области. Громадный сбросъ Фо-

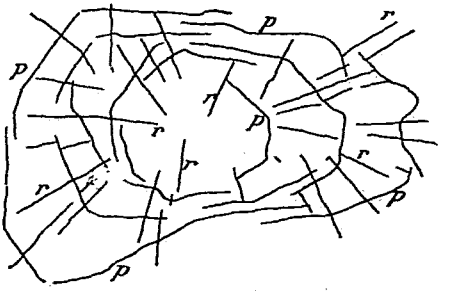
резъ пересѣкаетъ подъ косымъ угломъ почти всѣ складки Центральнаго массива Франціи.

Продольные сбросы, наоборотъ, согласуются съ общимъ направленіемъ складокъ, вслѣдствіе чего ихъ легко принять за складки-сдвиги.

Руанскій сбросъ является одною изъ главнѣйшихъ дислокацій въ Парижскомъ бассейнѣ; онъ тянется отъ Маромма до Версаля на протяженіи слишкомъ 120 км. Онъ болѣе или менѣе параллеленъ общему направленію складокъ, въ которыя въ этой области согнуты мѣловые и третичные слои, т.-е. идетъ въ направленіи N.W—S.E.

Продольные сбросы играютъ также немаловажную роль въ Юрѣ въ особенности въ той части цѣпи, которая заходитъ въ Франшъ-Конте, гдѣ сбросы ограничиваютъ многочисленныя плоскогорія, обрамленныя пучками складокъ.

Не менѣе часто продольные сбросы встрѣчаются въ восточныхъ Альпахъ, въ Гималаяхъ, въ Андскихъ Кордильерахъ и др. горныхъ цѣпяхъ; но связь между ними и складчатостью не вездѣ выяснена.



Фиг. 104.—Периферическіе сбросы (*p*) и радіальные сбросы (*r*) образующіе круговую впадину (по Э. де-Маржери и А. Гейму.

Углы обратнаго загиба гирляндовидныхъ пучковъ складокъ (см. выше стр. 226) очевидно являются слабыми зонами въ складчатыхъ областяхъ, такъ какъ въ нихъ особенно часты простые изломы и сбросовыя впадины, положеніе которыхъ нерѣдко почти точно совпадаетъ съ выступами загибовъ.

Въ Центральномъ плато сбросовые рвы Лимани расположены въ непосредственномъ сосѣдствѣ съ мѣстомъ смыканія Арморикскихъ и Варисскихъ складокъ. Сбросовый ровъ Христіаніи расположенъ въ углу загиба докембрійскихъ складокъ Скандинавскаго массива. Въ Японіи „большой ровъ“ является широкимъ сбросовымъ рвомъ, мѣстоположеніе котораго какъ разъ соотвѣтствуетъ мѣсту смыканія двухъ гирляндъ складокъ въ центрѣ острова Ниппона.

Существуетъ еще много болѣе яркихъ примѣровъ, но мы о нихъ будемъ говорить при разсмотрѣніи вопроса о связи вулкановъ со сбросами. Изученію же законовъ, опредѣляющихъ

географическое распространеніе большихъ расколовъ въ литосферѣ, мы посвятимъ особую главу, и тогда мы увидимъ, какъ произошло расчлененіе древнихъ континентальныхъ площадей вслѣдствіе опусканій земной коры.

Явленія, сопровождающія образованіе сбросовъ. — Опусканіе свода земной коры по сбросовой трещинѣ обыкновенно сопровождается очень сильнымъ треніемъ крыльевъ сброса другъ о друга. Шероховатыя края крыльевъ вслѣдствіе тренія сглаживаются и иногда превращаются въ совершенно полированныя поверхности, которыя называются „зеркаломъ сброса“ (табл. XIV, 2). Почти всегда, впрочемъ, на нихъ остаются параллельныя бороздки, расположеніе которыхъ и опредѣляетъ направленіе тренія. Въ настоящихъ сбросахъ эти бороздки идутъ вертикально, а въ горизонтальныхъ сдвигахъ горизонтально; такимъ образомъ онѣ являются цѣнными указаніями при опредѣленіи направленія и природы движенія.

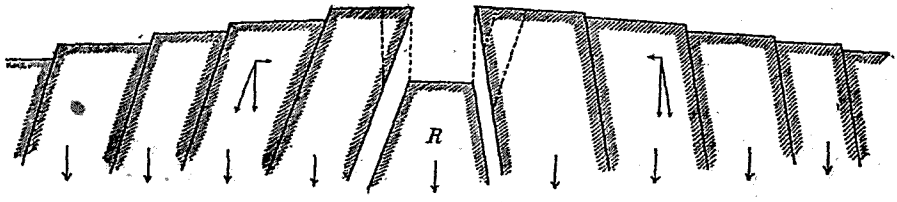
Вслѣдствіе того, что осѣданіе земной коры происходитъ отъ прекращенія дѣйствія тангенціальныхъ силъ и вслѣдствіе того, что образованіе нормальнаго сброса соотвѣтствуетъ увеличенію поверхности дислоцированныхъ слоевъ, вполнѣ естественно, что нерѣдко встрѣчаются *открытые или зіяющіе сбросы,* наряду съ *закрытыми,* на которыхъ обнаруживаются слѣды тренія.

Часто въ трещину попадаютъ обломки слоевъ и направленія, въ которыхъ они тамъ располагаются чрезвычайно спутаны. Брекчія же, которая часто наблюдается вдоль сбросовъ, образуется вслѣдствіе размельченія кусковъ породы, оторванныхъ отъ крыльевъ, при ихъ смѣщеніи; она называется *брекчіей тренія* или *дислокаціонной брекчіей.* Точно такое же явленіе встрѣчается и въ складкахъ-сдвигахъ.

Открытыя трещины сбросовъ часто послѣ своего образованія заполняются снизу продуктами вулканическаго происхожденія, которые образуютъ *дейки,* о которомъ мы еще будемъ говорить впослѣдствіи. Также и горячіе источники, появленіе которыхъ часто бываетъ обусловлено существованіемъ сбросовъ, отлагаютъ на стѣнкахъ трещинъ минеральныя вещества въ кристаллическомъ видѣ, и трещины, ими заполненныя, называются „*жилами*“. Ихъ мы тоже будемъ изучать позже.

Абсолютное значеніе вертикальныхъ движеній земной коры. — До сихъ поръ мы все время предпола-

гали въ нашихъ разсужденіяхъ, что образованіе сбросовъ обусловлено осѣданіемъ одного изъ крыльевъ сброса, тогда какъ другое крыло сохраняетъ свое первоначальное положеніе; но на самомъ дѣлѣ въ большинствѣ случаевъ можно только утверждать, что произошло относительное движеніе обоихъ крыльевъ причемъ одно изъ нихъ ближе подвинулось къ центру земли, чѣмъ другое. Есть даже случаи, когда нѣтъ никакихъ основаній предполагать, что было осѣданіе, а, напротивъ, приходится думать, что послѣ образованія трещины одно изъ крыльевъ было приподнято вверхъ, а другое осталось на мѣстѣ. Этимъ обстоятельствомъ вѣроятно слѣдуетъ объяснить образованіе куполовъ, обрѣзанныхъ съ одного края сбросомъ. Въ этихъ явленіяхъ, очень частыхъ, напр., въ Тунисѣ (5), процессъ поднятія извѣстной площади сопровождался разрывомъ по плоскости симметріи, при

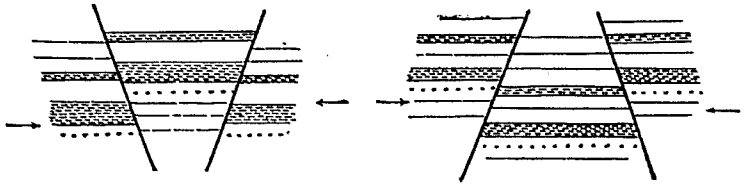


Фиг. 105.—Образованіе долины Рейна (по А. Андрее).

чемъ одна половина купола поднялась, а другая осталась на мѣстѣ. Также и въ Ардешскомъ департаментѣ вдоль юго-восточнаго края Центральнаго массива, между ля-Вультъ и Ванъ проходитъ сбросъ мѣстами, очень наклонный и образовавшійся вслѣдствіе поднятія древняго массива, при чемъ этимъ восходящимъ движеніемъ совсѣмъ не были захвачены прилегающія вторичныя породы, или онѣ были захвачены и приподняты только мѣстами (6).

Было уже неоднократно отмѣчено, что образованію сбросоваго рва предшествовало поднятіе свода, или купола, центральная часть котораго затѣмъ осѣла. Этимъ путемъ со времени Эли де Бомона объясняютъ происхожденіе сбросоваго рва Рейнской долины между Вогеземи и Шварцвальдомъ, которые образуютъ какъ бы склоны единаго свода, замкóвая часть котораго осѣла. Причину же опусканія центральной части А. Андре (3, 4) видитъ въ появленіи ряда нормальныхъ сбросовъ съ противоположными наклонами. Эти сбросы первоначально образовались по краямъ свода, а затѣмъ захватили центральныя части. Тогда осевая

часть свода, лишившись опоры съ боковъ, опустилась между двумя наклоненными въ разныя стороны сбросами (фиг. 105). Наконецъ возможно также, что клинъ, заключенный между двумя



Фиг. 106.—Приподнятый клинъ (а) и опущенный клинъ (в) боковымъ давленіемъ осѣдающихъ сосѣднихъ массъ (по Э. де Маржери и А. Гейму).

сбросами, трещины которыхъ сходятся книзу, будетъ приподнятъ боковымъ давленіемъ осѣдающихъ массъ земной коры, расположенныхъ по ту и другую сторону этихъ двухъ трещинъ (фиг. 106).

1.—Johannes Walther. Ueber den Bau der Flexuren an den Grenzen der Kontinente. *Jenaische Zeitschr. f. Naturw.*, XX, стр. 243-278, таб. X-XII, 1886.

2.—Fr. Leslie Ransome. The Directions of Movement and the nomenclature of Faults. *Economic Geology*, 1, стр. 777-787, фиг. 62-65. 1906.

3.—A. Andreae. Eine theoretische Reflexion über die Richtung der Rheinthalspalte und Versuch einer Erklärung, warum die Reinthalebene als schmaler Graben in der Mitte des Schwarzwald-Vogesenhorstes einbrach. *Verh. d. Naturhist.-Med. Ver. zu Heidelberg*, N. F., IV, стр. 16-25, 6 фиг., 1887.

4.—Id. Beiträge zur Kenntniss des Rheinthalspaltensystemes. *Ibid.*, 9 стр., 5 фиг., 1887.

5.—Émile Haug. Sur quelques points théoriques relatifs à la Géologie de la Tunisie. *A. F. A. S. C. R. 26e session.* St-Étienne, 1897, стр. 366-376, 5 фиг., 1898.

6.—Id. Sur les dislocations de la bordure du Plateau Central, entre la Voulte et les Vans. *C. R. Ac. Sc.* CXLIII, стр. 705-708, 1906.

V. aussi: 0,1-4; 0,22; XII, 12; XIV, 6; XIV, 10.

ГЛАВА XVII.

Вулканическія изверженія.

Опредѣленіе.— Физическій характеръ вулканическихъ продуктовъ.— Типы изверженій.

Опредѣленіе. — Вулканическими явленіями называются проявленія внутренней энергіи земного шара, пріуроченныя къ опредѣленнымъ мѣстамъ земной поверхности, которыя называются *вулканами*. Вулканъ же можно опредѣлить какъ устье канала, черезъ которое постоянно или періодически выбрасываются изъ земныхъ нѣдръ наружу вещества высокой температуры. Такой каналъ, по которому вещества изнутри земли поднимаются къ поверхности, обыкновенно открывается на вершинѣ вулканическаго конуса и его устье называется *кратеромъ*.

Проявленія вулканической дѣятельности обыкновенно называютъ *изверженіями*; они имѣютъ перемѣжающійся характеръ. И дѣйствительно, на ряду съ дѣйствующими вулканами встрѣчаются *потухшіе* или, по крайней мѣрѣ, считающіеся потухшими, такъ какъ они не производили изверженій за историческое время. Къ нимъ принадлежатъ вулканы Оверни, изъ которыхъ самые недавніе—вулканы цѣпи Пюи—относятся къ четвертичному періоду, а другіе—вулканы Монъ-Доръ и Канталь—потухли въ болѣе раннюю эпоху. Нѣтъ никакихъ достовѣрныхъ данныхъ, чтобы категорически утверждать, что дѣятельность этихъ вулкановъ прекратилась навсегда.

Дѣйствующіе же вулканы постоянно переходятъ отъ состоянія покоя къ дѣятельному состоянію; ихъ дѣятельность иногда проявляется послѣ очень продолжительнаго періода покоя.

Такъ, напр., въ древности никто не считалъ Везувій за вулканъ, однако, его конусъ, сложенный изъ продуктовъ очень древнихъ изверженій, существовалъ и тогда. Пробужденіе вул-

кана произошло въ 79 г. по Р. Х., и во время этого перваго изверженія, сохранившагося въ памяти исторіи, были разрушены Геркуланумъ и Помпея. Съ тѣхъ поръ изверженія повторялись болѣе или менѣе регулярно каждые сто лѣтъ. Съ 1301 г. по 1631 вулканъ опять находился въ стадіи покоя. Съ 1712 г. все время чередовались фазы почти непрерывной дѣятельности, продолжавшіяся иногда болѣе 25-ти лѣтъ, съ кратковременными фазами покоя отъ двухъ до семи лѣтъ.

Другіе вулканы обнаруживаютъ болѣе равномѣрную дѣятельность. Такъ, напр., вулканъ Стромболи отличается быстрой и сравнительно правильной смѣной той и другой фазы. Его изверженія, выражающіяся поднятіемъ лавы въ глубинѣ кратера и слабымъ взрывомъ, происходятъ черезъ очень короткіе промежутки, то очень правильные и продолжающіеся не болѣе двухъ минутъ, то менѣе правильные и болѣе продожительные.

Въ нашемъ изученіи мы прежде всего остановимся на физическихъ особенностяхъ продуктовъ вулканическихъ изверженій, а потомъ перейдемъ къ обзору различныхъ типовъ изверженій (1—5). Въ слѣдующей главѣ мы займемся внутреннимъ строеніемъ вулканическихъ аппаратовъ. Затѣмъ мы познакомимся въ общихъ чертахъ съ газообразными выдѣленіями вулкановъ и съ изверженными породами. Наконецъ, очеркомъ географическаго распредѣленія вулкановъ и общими соображеніями о причинахъ вулканизма мы закончимъ нашъ очеркъ вулканическихъ явленій.

Физическій характеръ вулканическихъ продуктовъ. — Продукты вулканическихъ изверженій обыкновенно дѣлятся на три категоріи: *газы*, *твердые матеріалы и лавы*; но теперь, послѣ изверженія Лысой горы въ 1902—1903 гг., слѣдуетъ упомянуть еще о выпираемыхъ изъ кратера *вязкихъ выступахъ*.

Газообразные продукты. — Сейчасъ мы не будемъ касаться временныхъ или постоянныхъ газообразныхъ продуктовъ, выдѣляемыхъ на склонахъ или краяхъ вулкановъ изъ такъ называемыхъ *фумароллъ*, ими мы займемся позже. Въ настоящей же главѣ мы остановимся лишь на *выдѣленіяхъ газовъ со взрывомъ*, которымъ газы съ силой выбрасываются изъ кратера или рѣже изъ большихъ трещинъ, образующихся на склонахъ конуса.

Ихъ химическій составъ плохо изученъ и о немъ судятъ,



Негат. Новачека.

Изверженіе Везувія,
6 апрѣля 1906 г., видъ изъ Неаполя.



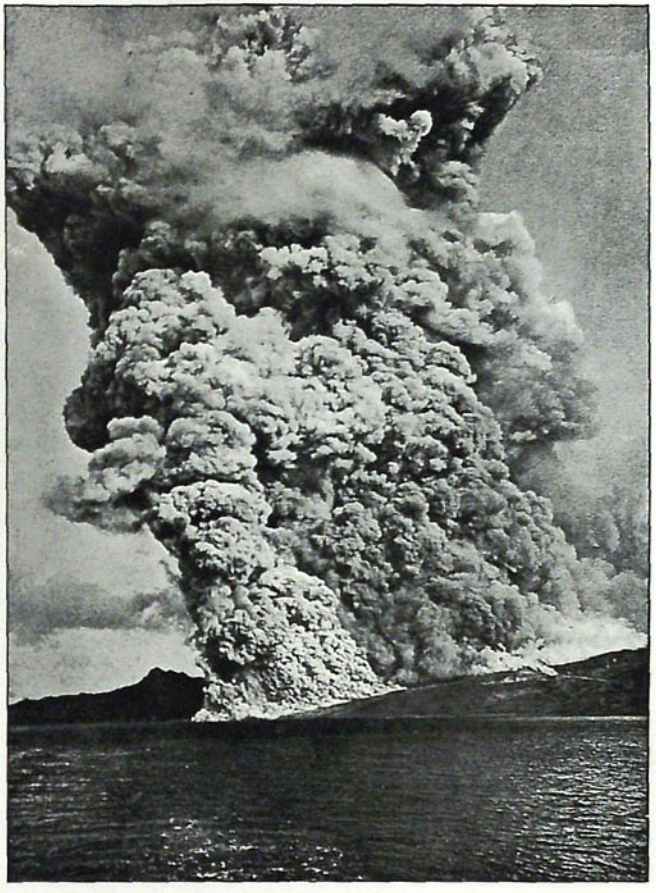
Негат. Новачека.

Выпаденіе пепла у Оттаяно.
Изверженіе Везувія, апрѣль 1906 г.



Негат. Фумагалли.

Везувій во время извержения (вулканская фаза).
(13 апрѣля 1906 г.).



Негат. А. Лякруа.

Горячая туча горы Пеле.
Туча 16 декабря 1902 г. подходящая къ морю.
(Высота 4000 метровъ).

главнымъ образомъ, на основаніи изученія газовъ, выдѣляемыхъ фумароллами. Водяной паръ является преобладающимъ элементомъ въ этихъ выдѣленіяхъ, кромѣ него въ нихъ содержатся углекислота, окись углерода, азотъ, метанъ, водородъ. Два послѣдніе газа способны воспламеняться, вслѣдствіе чего иногда изъ кратера выбрасывается настоящее пламя.

Взрывчатыя изверженія газа увлекаютъ за собой въ болѣе или менѣе значительномъ количествѣ и твердыя вещества. Нѣкоторые вулканы выбрасываютъ вертикальный столбъ газа очень высокой температуры, который можно видѣть только ночью, благодаря выбрасываемымъ вверхъ раскаленнымъ камнямъ. Подобное явленіе можно наблюдать, напримѣръ, на Стромболи.

У другихъ вулкановъ количество твердыхъ матеріаловъ, выбрасываемыхъ взрывомъ, значительно больше, такъ какъ къ каменнымъ глыбамъ присоединяется еще пепелъ, такъ что вертикальный потокъ газовыхъ выбросовъ принимаетъ видъ столба дыма и разстилается какъ крона итальянской сосны или пиніи (табл. XVII, 1).

Эти клубящіяся облака пепла кажутся густыми и очень темными, почти черными, они часто прорѣзываются молніей (табл. XVIII, 1).

Изверженіе горы Пеле на о-вѣ Мартиникѣ познакомило геологовъ съ совершенно особымъ типомъ газообразныхъ выбросовъ (11). При этомъ изверженіи по склонамъ конуса спускались *раскаленныя тучи* газовъ и паровъ, увлекая за собой громадное количество вулканическаго пепла и камней (табл. XVIII, 2). Въ отличіе отъ обыкновенныхъ газовыхъ изверженій эти тучи выбрасывались изъ кратера не вертикально, а катились по склонамъ горы до ея основанія съ все возрастающей быстротой, которая равнялась, а иногда и превосходила скорость сильнаго урагана. Высота ихъ достигала 4000 м. и увеличивалась по мѣрѣ опусканія тучи, вслѣдствіе расширенія водянаго пара. Температура ихъ была очень высока. Лякруа, помѣстивъ на пути одной изъ этихъ тучъ проволоки металловъ различной плавкости, могъ отмѣтить, что она, даже почти достигнувъ моря, еще имѣла температуру ниже 230°, но выше 125°. Одной изъ такихъ тучъ и былъ разрушенъ городъ Сенъ-Пьеръ 8 мая 1902 г. Всѣ зданія въ немъ были снесены, какъ цикломъ; люди были сожжены горячимъ водянымъ паромъ, хотя платье на нихъ и не воспламенилось при этомъ.

Твердые продукты вулканическихъ изверженій. Твердыя каменныя массы, увлекаемыя взрывами газовъ, имѣютъ различное происхожденіе и величину, начиная отъ глыбъ въ нѣсколько кубическихъ метровъ и кончая тончайшими пылинками.

Нѣкоторыя изъ извергаемыхъ каменныхъ глыбъ отрываются отъ жерла вулкана или отъ осадочныхъ породъ, лежащихъ въ его основаніи, каковы известковыя глыбы Соммы; другія происходятъ изъ большихъ глубинъ, какъ, напр., глыбы оливиновой породы, выбрасываемыя нѣкоторыми вулканами.

Надо, впрочемъ, замѣтить, что большинство извергаемыхъ рыхлыхъ матеріаловъ являются по своему составу однородными съ лавами. Происхожденіе ихъ одно и то же, а внѣшній видъ бываетъ различенъ, въ зависимости отъ степени плавкости магмы, изъ которой они произошли.

Самыя большія глыбы называются *бомбами*. Если магма легкоплавка, то онѣ выбрасываются въ расплавленномъ состояніи. Въ серединѣ такой бомбы почти всегда находится угловатый обломокъ, происходящій изъ большой глубины, большею частью это бываетъ перидотитъ, иногда гранитъ; снаружи онъ бываетъ окруженъ стекловатой лавой; внѣшній видъ бомбы бываетъ веретенообразный или миндалевидный, что обусловливается вращательнымъ движеніемъ ея еще въ незатвердѣвшемъ состояніи (табл. XIX, 1). Падая на землю, неостывшая бомба болѣе или менѣе расплющивается.

При болѣе вязкой консистенціи магмы, свойственной магмамъ кислымъ, бомбы не носятъ никакихъ слѣдовъ вращательнаго движенія, поверхность ихъ при охлажденіи потрескалась, въ серединѣ онѣ пористы, снаружи состоятъ изъ стекловатой массы. Ихъ сравнивали *съ коржами хлѣба* (табл. XIX, 2).

Изверженные твердые продукты меньшихъ размѣровъ называются *лапиллями*. Они имѣютъ пористый видъ вслѣдствіе многочисленныхъ газовыхъ пузырей, которые существовали въ магмѣ во время взрыва. Это настоящіе *шлаки* изъ расплавленнаго стекла. Въ кислыхъ тугоплавкихъ магмахъ встрѣчается масса мелкихъ пузырьковъ, такъ что изверженные продукты очень пористы и настолько легки, что могутъ плавать на поверхности воды. Ихъ называютъ *пемзой*. Обыкновенная пемза является лучшимъ примѣромъ такой затвердѣлой пѣны.

Расплавленная магма иногда во время изверженій вытягивается въ длинныя волокна, напоминающія стеклянныя нити, они далеко относятся вѣтромъ. На вулканѣ Килауэа на островѣ

Гавайи, гдѣ часто наблюдается этотъ оригинальный видъ вулканическихъ выбросовъ, ихъ называютъ „волосами Пелеи“.

Большая часть жидкой магмы сильно измельчается во время взрыва и извергается въ видѣ *песка* или *пепла* (табл. XVII, 2), состоящихъ или изъ мелкихъ осколковъ стекла, или изъ застывшихъ капелекъ расплавленнаго стекла, или изъ кристалликовъ полевого шпата, лейцита, агвита, магнетита и др. Часто кристаллики минераловъ бываютъ въ большей или меньшей степени покрыты стекломъ.

Пепелъ падаетъ главнымъ образомъ на склоны и края вулкана и покрываетъ ихъ бѣлой пеленой, напоминающей снѣгъ. Но нѣкоторая часть пепла уносится вѣтромъ, часто на очень большія разстоянія. Напр., пепелъ, выброшенный однимъ изъ вулкановъ Исландіи въ 1875 г., былъ перенесенъ вѣтромъ въ Швецію, и падалъ дождемъ на улицахъ Стокгольма. При послѣднемъ взрывѣ вулкана Кракатоа въ августѣ 1883 г. была выброшена въ атмосферу огромная масса мельчайшаго пепла, который оставался въ атмосферѣ въ теченіе многихъ мѣсяцевъ и, благодаря его присутствію, даже въ Парижѣ съ наступленіемъ зимы наблюдались красивыя вечернія зори.

Что же касается грязевыхъ изверженій, то они представляютъ второстепенное явленіе, о которомъ мы еще будемъ говорить впереди.

Пепелъ, покрывающій склоны вулкановъ, имѣетъ важное значеніе при отложеніи осадковъ. Онъ уносится ручьями и рѣками въ низкія области суши и даже въ моря, гдѣ и отлагается въ видѣ *вулканическихъ туфовъ*, которые тамъ чередуются съ отложеніями обломочнаго характера или съ химическими осадками.

Лавовые потоки.—Вытекающее расплавленное вещество, или *лава*, образуетъ *лавовые потоки* которые разстилаются по склонамъ вулкана соотвѣтственно наибольшимъ уклонамъ (табл. XX, I).

Составъ лавъ чрезвычайно разнообразенъ; но можно отмѣтить два главнѣйшихъ вида лавъ: основныя и кислыя, первыя изъ нихъ изливаются въ состояніи значительно болѣе жидкомъ.

Лава выливается черезъ края кратера, который или сохраняетъ свою первоначальную округлую форму, или, что бываетъ чаще, его края съ какой нибудь стороны бываютъ разрушены. Иногда лава вытекаетъ черезъ боковыя отверстія или черезъ

трещины образовавшіяся на склонахъ вулкана. Лавовые потоки, стекая по наиболѣе наклонной поверхности, наполняютъ впадины и обходятъ препятствія. Если наклонъ мѣстности недостаточно крутъ или если лава застываетъ въ передней части потока или съ поверхности, ея движеніе останавливается. Надо замѣтить, что охлажденіе лавовыхъ массъ происходитъ очень медленно; даже послѣ затвердѣнія поверхностныхъ частей середина потока еще долгое время остается жидкой и сохраняетъ высокую температуру въ теченіе многихъ лѣтъ.

Застывшая поверхность основныхъ болѣе жидкихъ лавъ бываетъ обыкновенно гладкая или морщинистая (табл. XX, XXI); у менѣе же жидкихъ лавовыхъ потоковъ и при быстромъ ихъ охлажденіи, поверхность бываетъ очень неровна, такъ какъ отдѣльныя уже затвердѣвшія части продолжаютъ двигаться увлекаемыя еще расплавленной главной массой потока (табл. XXII, XXIII).

При охлажденіи лавы изъ нея выдѣляются газы, вслѣдствіе чего, поверхность лавоваго потока имѣетъ пузыристый шлакообразный видъ, тогда какъ внутренній потокъ остается компактнымъ, и онъ бываетъ разбитъ трещинами, и раздѣляется на призмы, о которыхъ мы еще будемъ говорить.

Зубчатыя лавы Оверни — *Cheires* представляютъ хорошо извѣстные примѣры лавовыхъ потоковъ, излившихся изъ нынѣ уже потухшихъ кратеровъ. Они располагаются и по вершинамъ плато и спускаются въ долины, и хорошо сохранили свою крайне неровную поверхность (табл. XXIV, I).

Грязевые потоки вытекаютъ не изъ самаго кратера, но образуются по склонамъ эруптивнаго конуса, вслѣдствіе того, что пепелъ смѣшиваясь съ атмосферными осадками, дѣлается полужидкимъ и стекаетъ внизъ въ видѣ потока грязи. Это явленіе совершенно тождественно съ явленіями, происходящими въ мѣстностяхъ съ глинистой почвой и не имѣетъ непосредственной связи съ вулканическими изверженіями. Мы на немъ еще остановимся подробнѣе, когда будемъ изучать дѣятельность водныхъ потоковъ.

Сухія лавины тоже не имѣютъ непосредственной связи съ вулканическими явленіями. Лякруа наблюдалъ въ 1906 г. на Везувіѣ, что онѣ отрывались отъ краевъ катера, гдѣ обыкновенно скопляются массы изверженныхъ продуктовъ и катились внизъ съ все возрастающей быстротой, подобно снѣговымъ лавинамъ, съ которыми онѣ имѣютъ поразительное сходство. Какъ

тѣ такъ и другія, низвергаясь внизъ, прорѣзываютъ себѣ глубокія ложа, отдѣленныя одно отъ другого островерхими гребнями (табл. XIX, 4).

Выступы кислыхъ лавъ.—Мы уже видѣли, что кислыя лавы не такъ жидки какъ основныя, поэтому онѣ рѣже истекаютъ большими потоками. Въ областяхъ потухшихъ вулкановъ онѣ были давно извѣстны и имѣютъ видъ довольно правильныхъ куполовъ безъ кратера на вершинѣ; таковы трахитовые куполы Оверни, фонолитовые куполы въ Веле и Хегау. Прежде предполагали, что эти вулканы должны были образоваться подъ покровомъ рыхлыхъ вулканическихъ выбросовъ, теперь исчезнувшихъ, которые и препятствовали растеканію лавы. Но извержения горы Пеле опровергли это толкованіе, такъ какъ дали возможность многимъ геологамъ присутствовать при образованіи андезитоваго „обелиска", которое является лишь особымъ случаемъ образованія вулканическихъ куполовъ. Вотъ какъ по наблюденію Лякруа постепенно поднимался такой обелискъ (11).

Послѣ того какъ въ древнемъ кратерѣ вулкана, имѣвшемъ большую выемку на южномъ краѣ, имѣли мѣсто взрывы и когда окончилось выбрасываніе изъ него раскаленныхъ тучъ, на мѣстѣ этого кратера образовалось скопленіе андезитовой лавы, которая почти совершенно заполнила прежнее углубленіе. И вотъ на этомъ накопленіи образовавшемъ куполъ отъ 7 до 800 м. въ діаметрѣ и отъ 350—400 м. высотою въ началѣ октября 1902 г. началъ медленно возвышаться остроконечный обелискъ, который къ 31 мая слѣдующаго года достигъ своихъ максимальныхъ размѣровъ, (476 м. вышины отъ основанія и 1608 м. высоты надъ уровнемъ моря) (табл XX). По мѣрѣ выдвиганія обелиска на его бокахъ образовывались выступы, а также отрывались глыбы, которыя скатывались въ верхнюю часть долины рѣки Бланшъ. По ночамъ видны были раскаленныя полосы, указывающія на образованіе трещинъ. Возвышеніе обелиска шло неравномѣрно, часто его высота уменьшалась вслѣдствіе обрушиваній вершины, изъ которыхъ послѣднее значительно понизило высоту обелиска.

Поднятіе происходило сначала по вертикальному, а затѣмъ по наклонному направленію. Въ началѣ поперечный разрѣзъ обелиска былъ многоугольнымъ, двѣ его грани были почти плоскія и имѣли вертикальныя борозды. Позднѣе его форма стала цилиндрической. Образованіе такого обелиска на горѣ Пеле Лякруа приписываетъ *выпиранію* застывшей массы андезитовой

лавы черезъ отверстіе въ основаніи вулкана, подобно тому какъ при вытягиваніи проволоки металлъ протискивается черезъ отверстіе въ стальной дощечкѣ.

Снаружи масса затвердѣвала, а внутри оставалась еще вязкой, производила взрывы газа, выбрасывала горячія тучи, что обыкновенно сопровождалось ея разрушеніемъ, за которымъ непосредственно слѣдовало быстрое повышеніе массы.

Для того чтобы образовать куполъ, магма должна быть очень вязкой. Лишь кислыя трудно плавящіяся магмы обладаютъ этимъ качествомъ, вслѣдствіе чего породы, образующія куполы относятся преимущественно къ петрографическимъ типамъ богатымъ кремневой кислотой. „Но такого рода вязкость можетъ быть свойственна и основнымъ болѣе плавкимъ лавамъ; для этого нужно чтобы онѣ появлялись при менѣе высокой температурѣ или, что сводится къ тому-же, чтобы онѣ выступали менѣе быстро, что дѣлало бы возможнымъ достаточно быстрое ихъ охлажденіе. Такимъ образомъ теоретически вполнѣ допустимы вулканическіе куполы и изъ основныхъ лавъ... Образованіе купола зависитъ не столько отъ химическаго состава образующей его магмы, сколько отъ тѣхъ условій, при которыхъ происходитъ его образованіе“ (11).

Разные типы изверженій.—Изъ всего вышеизложеннаго вытекаетъ, что *химическій составъ* магмы хотя и имѣетъ вліяніе на общій характеръ изверженій, но какъ это доказалъ Лякруа, главнѣйшимъ факторомъ являются ея *физическое состояніе*, степень ея плавкости, бо́льшая или меньшая ея вязкость во время изверженія.

Сообразно этому принципу можно различить нѣсколько типовъ изверженій, изъ которыхъ каждый имѣетъ свои динамическія особенности.

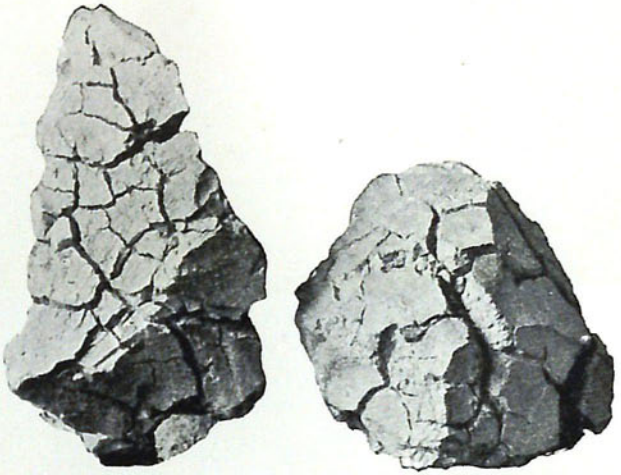
Гавайскими изверженіями называются истеченія чрезвычайно жидкой расплавленной магмы. Изъ обоихъ вулкановъ Сандвичевыхъ острововъ Килауэа и Мауна-Лоа (9) базальтовая лава течетъ, какъ вода, падая каскадами съ крутыхъ обрывовъ (табл. XXI, I). Во время сильныхъ изверженій она наполняетъ громадные круглые кратеры до тѣхъ поръ пока не начнетъ выливаться черезъ ихъ края (табл. XX, 2; табл. XXI, 2) или она выбивается изъ трещинъ. Ея изверженіе не сопровождается сильными взрывами. Благодаря очень жидкому ея состоянію, газы легко выдѣляются, образуя бьющіе фонтаны расплавленной



Негат. А. Лякруа.

Бомбы типа Стромболи.

Базальтовый вулканъ Гравенуаръ (Пюи-де-Домъ).



Негат. А. Лякруа.

Вулканическія бомбы (направо коркообразная).

Андезитовый вулканъ горы Пеле (Мартиника).

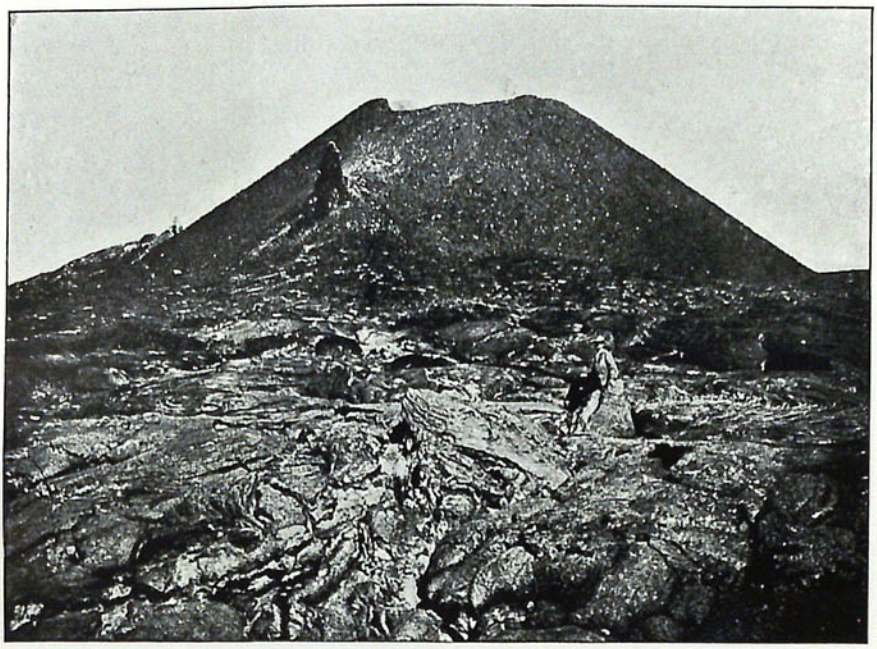


Изверженіе типа Стромболи
изъ вершиннаго конуса Везувія.



Негат. А. Лякруа.

Баранкосы прорытые на сѣверномъ склонѣ вершиннаго конуса Везувія сухими лавинами (1906 г.)



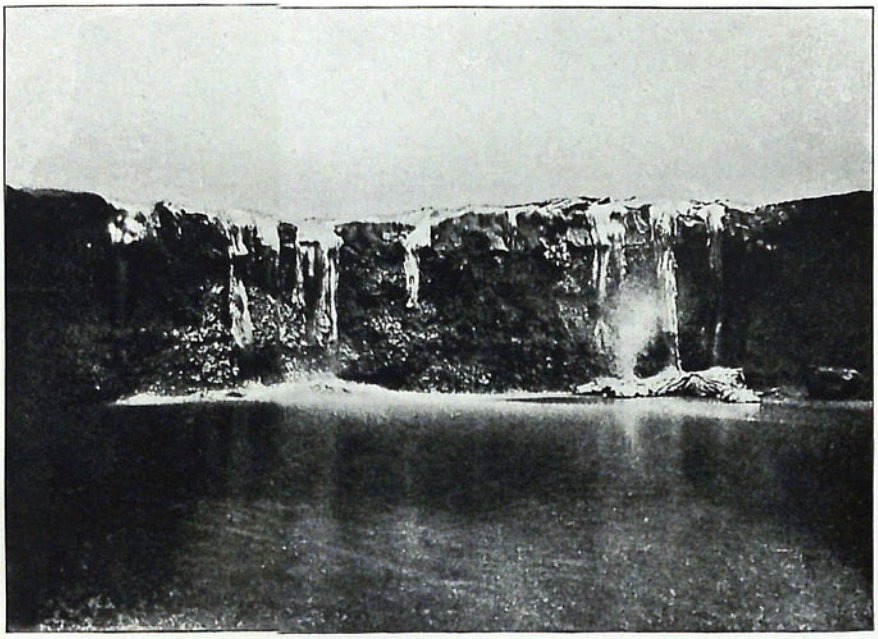
Негат. Ш. Веленъ.

Центральный конусъ Везувія,
съ лавовымъ потокомъ 1892 г.



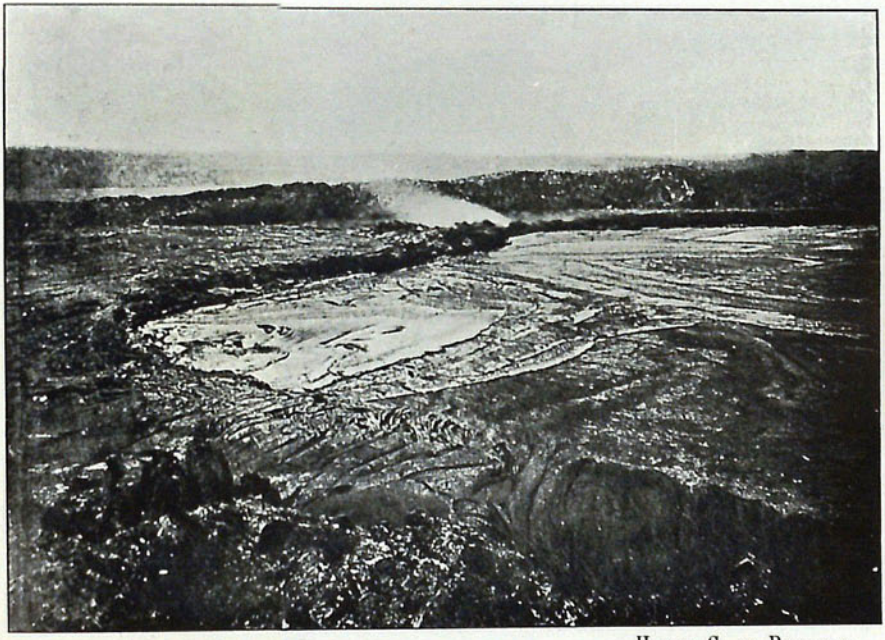
Негат. С. де Вариньи.

Лавовый воротникъ на восточномъ краю южнаго озера.
Галемаумау, Килауэа (Сандвичевы острова).



Негат. С. де Варинь.

Потокъ стекловатой лавы Килауэа,
вливающійся въ озеро (Сандвичевы острова).



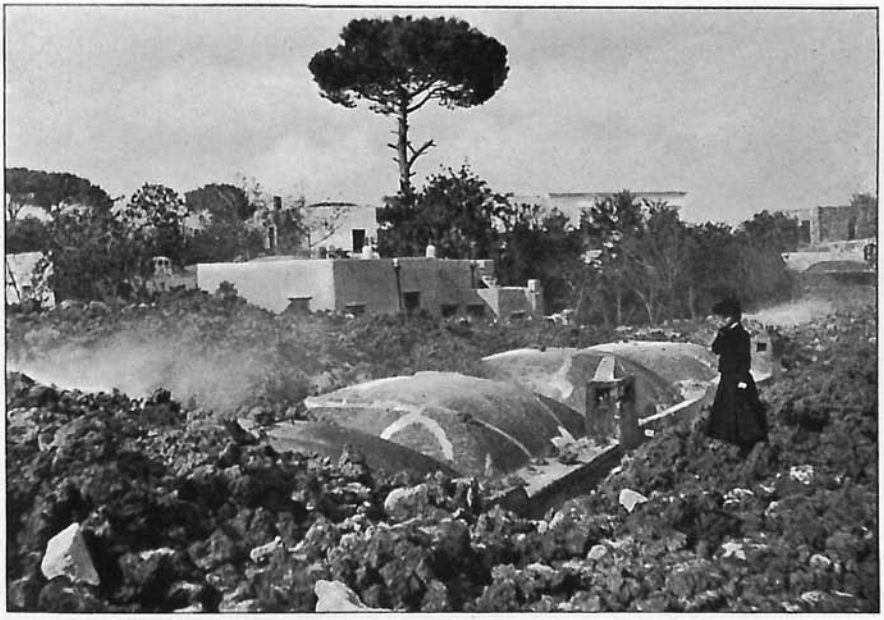
Негат. С. де Варинь.

Новое озеро (New Lake) лавовое озеро,
образовавшееся въ 1898 г., Килауэа (Сандвичевы острова).



Негат. Новачека.

Конецъ лавоваго потока на улицѣ Боскотреказе.
Изверженіе Везувія, апрѣль 1906 г.



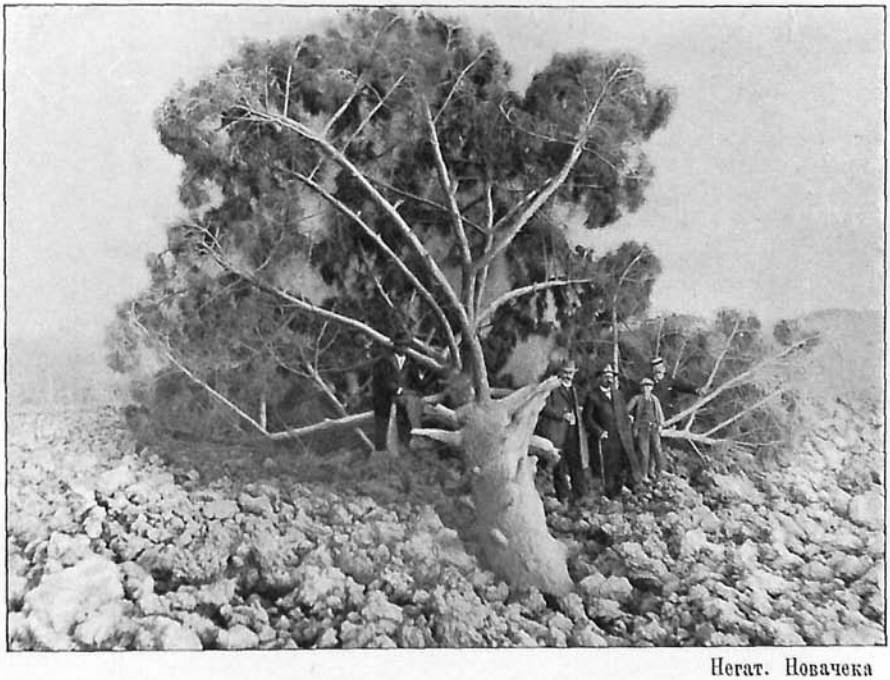
Негат. Новачека.

Домъ въ Боскотреказе залитый потокомъ лавы.
Изверженіе Везувія, апрѣль 1906 г.



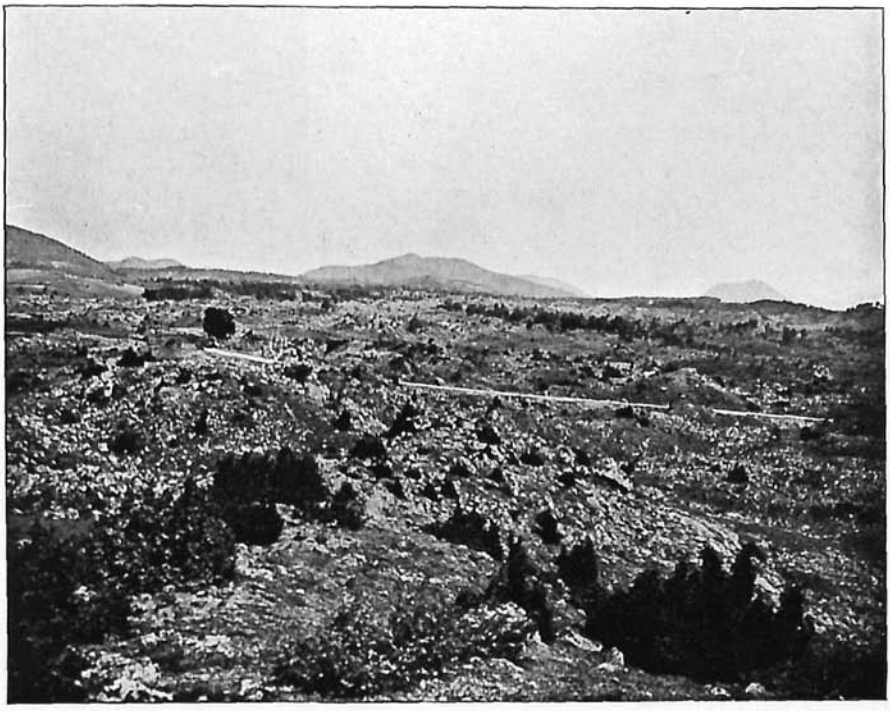
Негат. Новачека.

Лавовый потокъ
двигавшійся по выемкѣ круговезувской ж. д. и прошедшей подъ мостомъ.
Изверженіе Везувія, апрѣль 1906 г.



Негат. Новачека

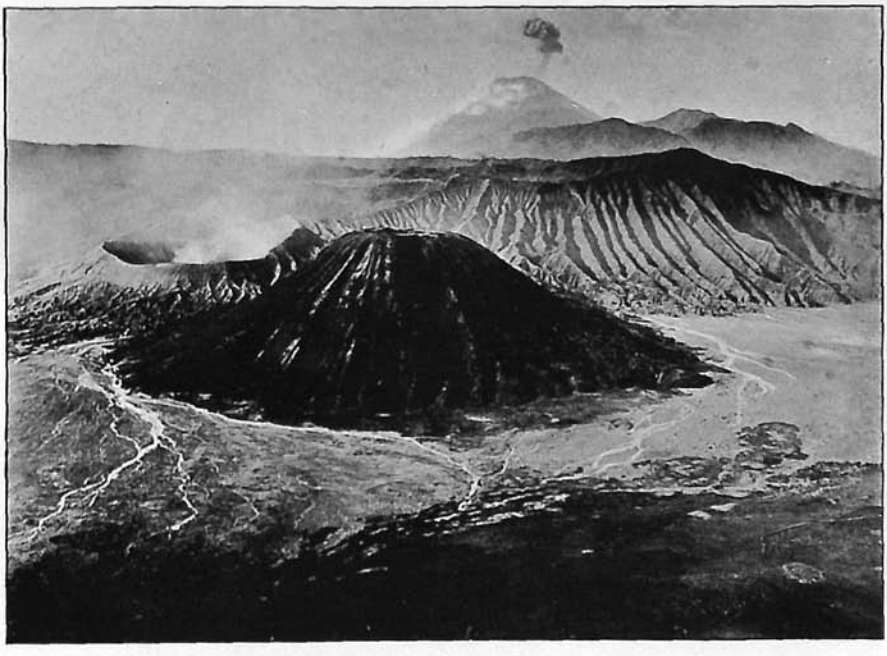
Сосна охваченная лавовымъ потокомъ
и обугленная только у основанія ствола.
Изверженіе Везувія, апрѣль 1906 г.



Негат. Э. Ога.

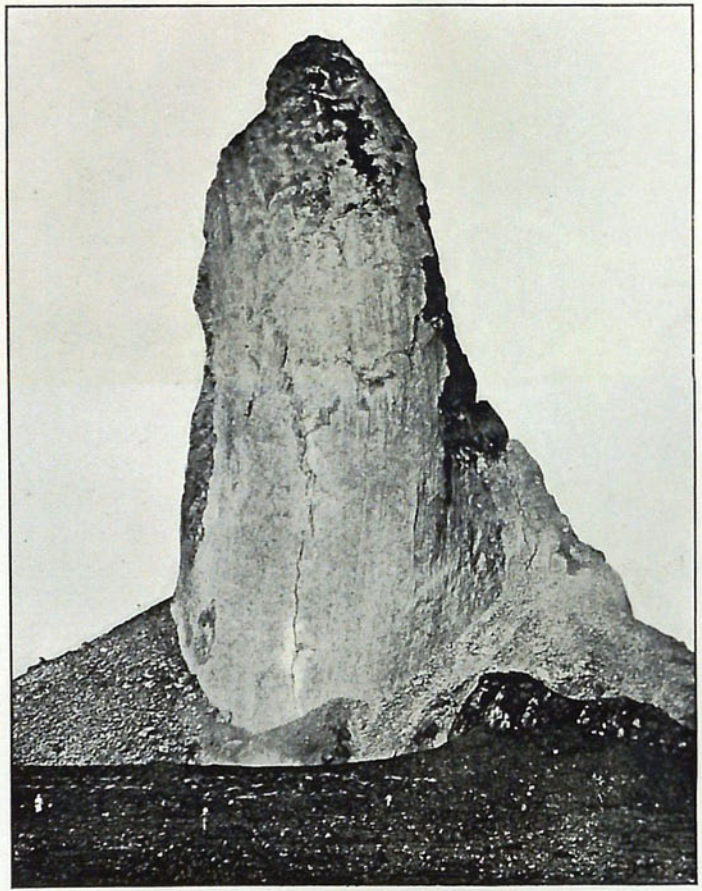
Зубчатая лава озера Эйда (Пюи-де-Домъ).

Потокъ шероховатой лавы четвертичныхъ базальтовыхъ вулкановъ Пюи-де-Лассолясъ и де-ля-Вашъ.



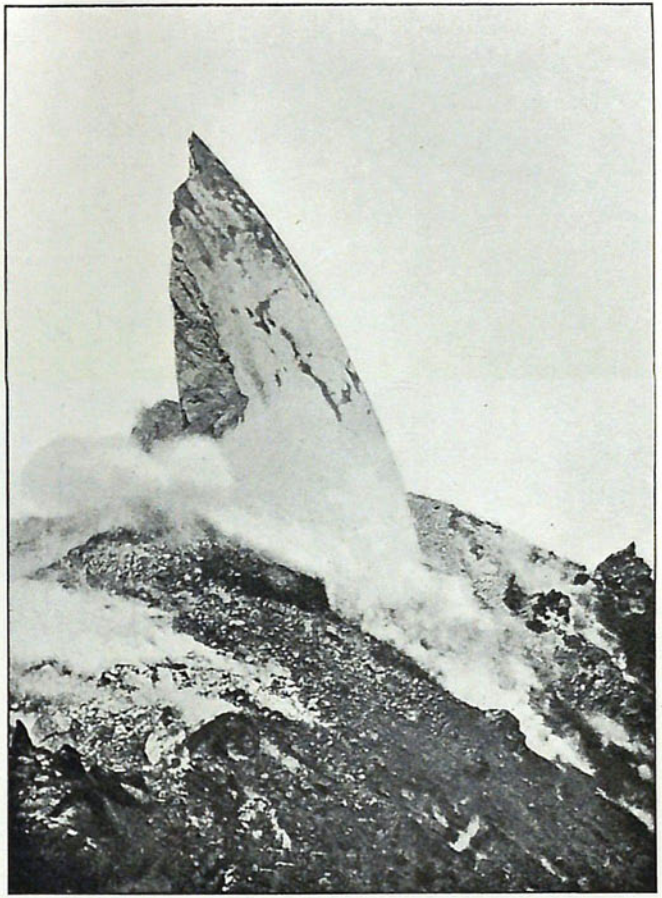
Негат. Э. Куркдьянъ.

Вулканическіе конусы Бромо, Батокъ, Видодаренъ, Смерое, видъ изъ санаторіи Тозари (Ява).



Негат. Лякомба (экспед. Лякруа).

Конечный обелискъ горы Пеле,
сѣверная сторона, мартъ 1903 г.



Негат. А. Лякруа.

Тотъ же обелискъ,
южная сторона, мартъ 1903 г.

лавы. Выброшенныя капельки лавы вытягиваются въ нити, образуя такъ называемые „волосы Пеле“. Изверженія не сопровождаются выбрасываніемъ ляпиллей или пепла.

Базальтовые потоки Гавайскихъ вулкановъ покрываютъ громадныя площади и достигаютъ большой мощности. Съ ними могутъ сравниться лишь изверженія одинаковаго съ ними характера нѣкоторыхъ Исландскихъ вулкановъ, если имѣть въ виду только области нынѣ дѣйствующихъ вулкановъ.

Изверженія типа Стромболи также отличаются очень жидкой консистенціей расплавленной магмы, но здѣсь выдѣляющіеся газы производятъ довольно сильные взрывы, вслѣдствіе чего извергается много рыхлыхъ продуктовъ. Они выбрасываются въ раскаленномъ состояніи и, вслѣдствіе своего неполнаго отвердѣнія, принимаютъ форму веретенообразныхъ бомбъ съ заключеннымъ внутри осколкомъ глубинной породы или они имѣютъ видъ стекловатаго шлака. Пепелъ также почти совершенно отсутствуетъ, такъ что выбрасываемый водяной паръ почти безцвѣтенъ. Лавовые потоки стекаютъ по склонамъ вулканическаго конуса, но обыкновенно они бываютъ сосредоточены на одномъ изъ склоновъ; они останавливаются какъ только склонъ становится болѣе пологимъ и покрываютъ далеко не такія большія площади, какъ лавы Гавайскихъ вулкановъ. На поверхности этихъ застывшихъ потоковъ торчатъ шлаковыя глыбы, съ очень острыми выступами (табл. XXII, XXIII). „Движеніе этой лавы, говоритъ Лякруа (12), сопровождается характернымъ шумомъ отъ столкновенія глыбъ между собой“.

„*Вулканскій типъ*“ изверженій отличается вязкостью выдѣляющейся магмы, онъ наблюдался при изверженіи въ 1888—1889 г г. на островѣ Вулкано, одномъ изъ Липарскихъ острововъ. Здѣсь лава, вслѣдствіе своей вязкости, постоянно стремится закупорить каналъ, такъ что взрывы сопровождаются размельченіемъ продуктовъ изверженія, чѣмъ и объясняется обиліе пепла, придающаго очень густой и темный видъ поднимающимся вверхъ облакамъ. Извергаемыя бомбы имѣютъ трещиноватую поверхность, о которой было упомянуто выше. Потоки лавы появляются рѣже и не такъ обильны какъ при изверженіяхъ предшествующаго типа; такъ какъ вязкая магма течетъ очень медленно, то поверхность потока растягивается, сморщивается, ломается, и при этомъ черезъ образовавшіяся трещины выступаетъ еще незастывшая лава. Этимъ путемъ образуются лавовые потоки съ гладкой, (табл. XX, 1) складчатой и морщини-

стой поверхностью. Потоки этого типа подвигаются безшумно въ противоположность потокамъ изверженій типа Стромболи.

Наконецъ, Лякруа (12) различаетъ еще одинъ типъ изверженій, типъ *Пелейскій*; его можно считать разновидностью Вулканскаго типа, отъ котораго онъ отличается появленіемъ катящихся внизъ по склонамъ горячихъ тучъ. Раскаленныя тучи горы Пеле служатъ наиболѣе замѣчательнымъ примѣромъ такихъ изверженій, хотя можно себѣ представить подобныя тучи, имѣющія и болѣе низкую температуру, и меньшую скорость, чѣмъ у тучъ, причинившихъ гибель Сенъ-Пьера. Этотъ пелейскій типъ изверженій не свойственъ однимъ только вулканамъ Антильскихъ острововъ; Лякруа напоминаетъ (11), что раскаленныя тучи сопровождали изверженія вулкана Санъ-Іорге на Азорскихъ островахъ въ 1580 и 1808 гг. и изверженія андезитовыхъ вулкановъ Японіи и Явы. Повидимому, во всѣхъ этихъ изверженіяхъ магма была настолько вязкой, что взрывы не могли совершенно освободить отъ нея вулканическое жерло, такъ что газы должны были находить себѣ боковой выходъ, а не выбрасывались вверхъ. Лавовые потоки при этомъ почти никогда не образуются, а магма вытѣсняется въ видѣ вязкой массы, что приводитъ къ образованію лавовыхъ куполовъ.

Рѣдко бываетъ такъ, что изверженія вулкана на протяженіи всей его исторіи относятся къ одному и тому же типу, обыкновенно же даже каждое отдѣльное изверженіе послѣдовательно проходитъ нѣсколько фазъ, которыя только что были намѣчены, какъ типы изверженій. Такъ, напр., въ послѣдній разъ изверженія Везувія были сначала типа Стромболи, а затѣмъ Вулканскаго. Одинъ и тотъ же вулканъ то проявляетъ только взрывчатую дѣятельность, что случается послѣ болѣе или менѣе продолжительнаго періода покоя, то производитъ болѣе или менѣе сильныя изверженія, сопровождаемыя излияніями лавы. Лякруа также констатировалъ, что магма горы Пеле, хотя и не измѣнила замѣтнымъ образомъ своего химическаго состава съ теченіемъ времени, но извергалась самымъ различнымъ образомъ: она то далеко распространялась жидкими потоками, то скоплялась въ видѣ очень вязкой лавы у устья вулкана и образовала, какъ напр. въ 1902—1903 гг., куполъ, при чемъ одновременно происходили и сильные взрывы, наконецъ, изверженія взрывчатаго типа нагромождали громадныя толщи пемзы.

Подводныя вулканическія изверженія, происходящія на днѣ

морей; не представляютъ особаго спеціальнаго типа. При нихъ, какъ и при изверженіяхъ субаэральныхъ вулкановъ, изливаются потоки лавы и выбрасываются твердые и газообразные продукты. Пепелъ и пемза далеко разносятся морскими теченіями и смѣшиваются съ обыкновенными морскими осадками. Также и сооруженія, образованныя изъ вулканическихъ продуктовъ, очень быстро разрушаются моремъ: это, напр., было съ островомъ Юліи; онъ образовался въ іюнѣ 1831 г. между Сициліей и Пантелеріей, и уже въ концѣ того же года былъ разрушенъ. Существованіе его было, слѣдовательно, самое эфемерное.

---

1. G. Poulett Scrope. Considerations on Volcanoes, the probable causes of their phenomena, the laws which determine their march, the disposition of their products, and their connexion with the present state and past history of the Globe, leading to the establishment of a new theory of the Earth. 1 vol. in-8⁰, 270 стр., фиг., 4 табл. London, 1825.

2. K. Fuchs. Les volcans et les tremblements de terre. *Bibl. scient. intern.*, XXI, 1 vol. in-8⁰, 279 стр., 36 фиг., 1 карта. Paris, 1876.

3. John W. Judd. Volcanoes, what they are and what they teach. *Intern. Scient. Series.* 1 vol. in-8⁰, 381 стр., 96 фиг. London, 1881.

4. Ch. Vélain. Les volcans. ce qu'ils sont et ce qu'ils nous apprennent. 1 vol. in-8⁰, 127 стр., 43 фиг. Paris, 1884.

5. Tempest Anderson. Volcanic Studies in many Lands, being reproductions of photographs by the author of above one hundred actual objects, with explanatory notes. 1 vol. in-4⁰, 202 стр., 104 табл. London, 1903.

6. F. Fouqué. Santorin et ses éruptions. In-4⁰, 440 стр., 61 табл. Paris, 1879.

7. Ch. Vélain. Recherches géologiques faites à Aden, la Réunion, Amsterdam et Saint-Paul. *Recueil de Mémoires, Rapports et Documents relatifs à l'observation du Passage de Vénus sur le Soleil*, t. II, 2-e partie, n⁰ 2. In-4⁰, 459 стр., 25 табл. Paris, 1879.

8. W. Sartorius von Waltershausen und A. von Lasaulx Der Aetna. 2 vol. in-4⁰, XXVIII + 371 + 548 стр., 40 табл., фиг. Leipzig, 1880.

9. Cl. Edw. Dutton. Hawaïan Volcanoes. 4-th *Ann. Rep. of the U. S. Geol. Surv.*, стр. 75—219, табл. II—XXX, 5 фиг. 1884.

10. H. J. Johnston-Lavis. The South Italian Volcanoes, 1 vol. in-4⁰, 343 стр., 16 табл. Naples, 1891.

11. A. Lacroix. La Montagne Pelée et ses éruptions. 1 vol. gr. in-4⁰. XXII + 662 стр., 30 табл., 238 фиг. Paris, 1904.

12. Id. L'éruption du Vésuve en avril 1906. *Revue gén. des Sciences.*, 17-e ann., стр. 881—899, фиг. 1—26, стр. 923—936, фиг. 1—2, 1906.

13. G. Mercalli. I vulcani attivi della Terra. Morfologia, Dinamismo, Prodotti, Distribuzione geografica, Cause. 1 vol. in-8⁰, 422 стр., 82 фиг., 26 табл. Milano, 1907.

14. Constant Prévost. Notes sur l'île Julia, pour servir à l'histoire de la formation des montagnes volcaniques. *Mèm. Soc. Géol. Fr.*, 1-re sér., II, n° 5, стр. 91—124, табл. V—VII, 1835.

V. aussi: 0,1—4; 0,7; 0,9.

H. J. Johnston-Lavis. The Eruption of Vesuvius in April 1906. 200 стр. съ 16 фототипіями, 2 планами, 2 фиг., 2 картами. Dublin, 1909.

T. G. Bonney. Volcanoes, their Structure and Significans. Third Edition. London, 1912. 379 стр., 21 фиг., 15 таб., 1 карта.

А. П. Павловъ. Вулканы на землѣ и вулканическія явленія во вселенной. С.-Петербургъ, 1899. 37 фиг. и 1 табл. въ краскахъ.

А. П. Павловъ. Вулканическія катастрофы на островѣ Мартиникѣ 1902—1903 г. „Научное слово", ноябрь 1904 г. 19 стр. съ 17 рисунками.

ГЛАВА XVIII.

Строеніе эруптивныхъ аппаратовъ.

Денудація вулканическихъ аппаратовъ.— Значеніе взрывовъ въ разрушеніи вулканическихъ аппаратовъ.—Типы строенія вулканическихъ конусовъ.—Лавовые потоки.—Дейки.—Побочные конусы.—Вулканическія пробки.—Вулканическія горловины.—Лакколиты.—Возрастъ изверженій.

Денудація вулкановъ.— О строеніи дѣйствующихъ вулкановъ мы можемъ имѣть очень неполное представленіе лишь на основаніи наблюденій надъ изверженіями, на основаніи изученія краевъ кратера и склоновъ эруптивнаго конуса; поэтому необходимо пополнить наши свѣдѣнія о строеніи вулкановъ изученіемъ древнихъ потухшихъ вулкановъ, внутренне строеніе которыхъ доступно нашимъ изысканіямъ, благодаря болѣе или менѣе глубокому обнаженію ихъ атмосферными агентами. Э. Зюссъ описалъ цѣлый рядъ потухшихъ вулкановъ, представляющихъ различныя фазы денудаціи и доказалъ громадное значеніе знакомства съ ними въ дѣлѣ изученія внутренняго строенія дѣйствующихъ вулкановъ (0, XXII, т. I, глава IV).

Первою фазой разрушенія вулкана является образованіе узкихъ овраговъ, прорѣзывающихъ склоны конуса (фиг. 107). Эти овраги, расходящіеся радіально отъ вершины эруптивнаго конуса къ его основанію, называются *барранкосами*, они даютъ естественные разрѣзы поверхностныхъ частей массъ вулканической горы [1]).

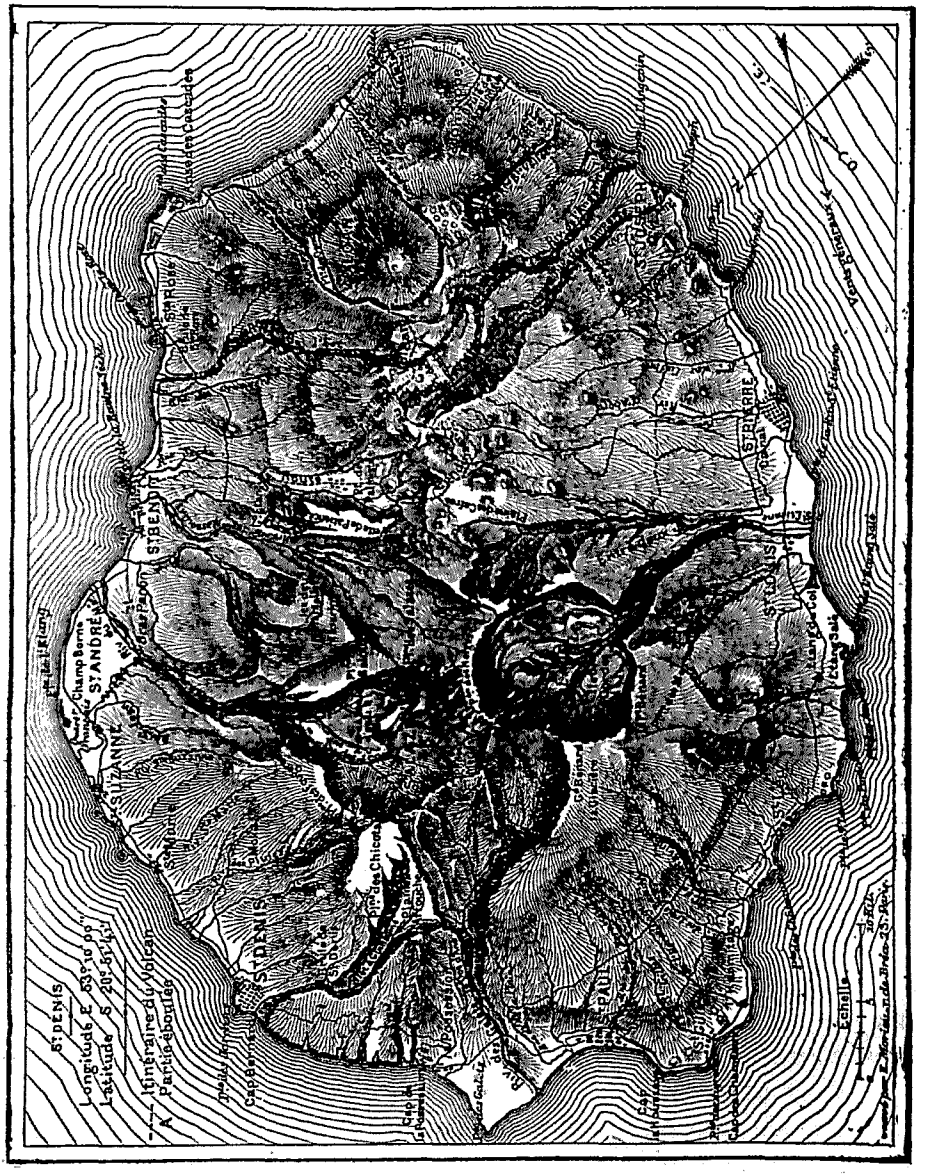
Морскія волны, разбиваясь о вулканическія горы, могутъ также дать хорошія обнаженія болѣе или менѣе глубокихъ частей ихъ.

Дальнѣйшая денудація выражается тѣмъ, что мало-по-малу сносится пепелъ, покрывающій склоны эруптивнаго конуса.

---

[1]) Иногда этотъ терминъ распространяется на борозды, образуемыя сухими лавинами въ эруптивномъ конусѣ.

Такимъ образомъ постепенно обнажаются болѣе глубокія части вулкана. Лавы, застывшія въ трещинахъ вулкана, выдаются


ST DENIS
Longitude E 55°-10' 00"
Latitude S 20°-51'-21"
Partie ebouleé
ST ANDRÉ
STE SUZANNE
STE MARIE
STE ROSE
STE SUZE
STE CLOTILDE
ST PAUL
Cap Bernard
Cap Noir
Cap Fouquet
Cap Bonnet
Cap Jacques
Cap Lahoussaye
Cap Champagne
Cap Carondelet
Cap Anglais
Cap Bellone
Cap Gaillard
Cap Bernica
Cap Bernard
Cap Noir
Cap Fouquet
Cap Bonnet
Cap Jacques
Cap Lahoussaye
Cap Champagne
Cap Carondelet
Cap Anglais
Cap Bellone
Cap Gaillard
Cap Bernica
Pte de Chicoa
Pte des Galets
Pte des Galets
Pte de la Table
Pte de la Table
Pte de la Grande Chaloupe
Pte de la Grande Chaloupe
Pte de la Grande Chaloupe

вулкана отъ скрывающаго его покрова рыхлыхъ продуктовъ вулканической дѣятельности, и на основаніи его центральнаго



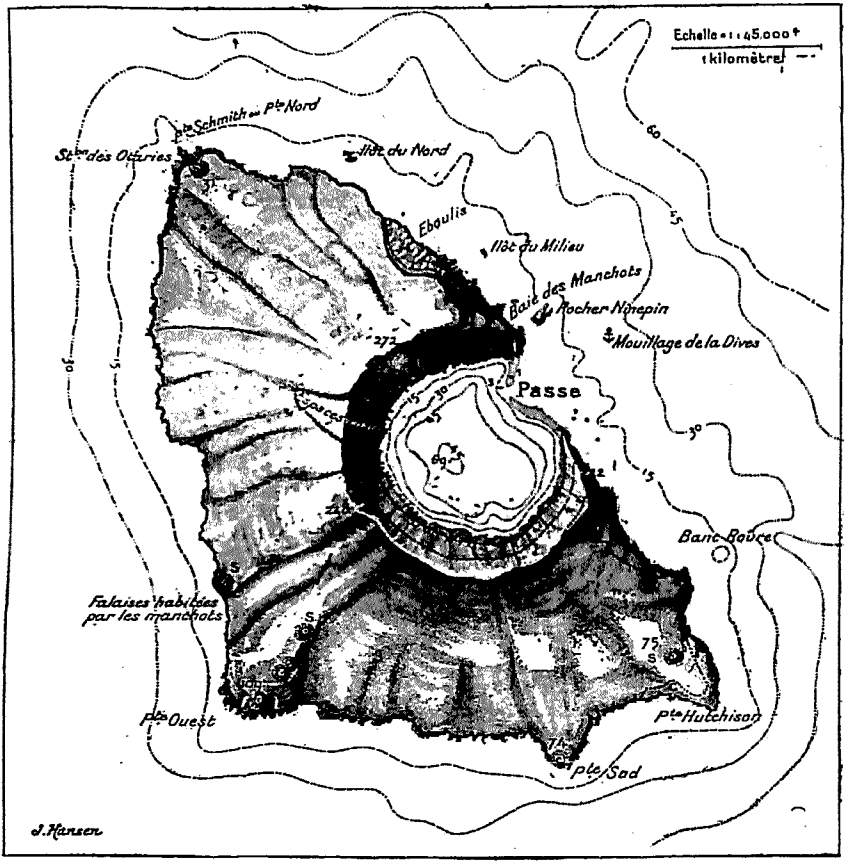
Фиг. 108.—Вершинный кратеръ вулкана Фурнэзъ, островъ Соединенія (по Ш. Вемеръ).

положенія можно заключить, что оно и является древнимъ очагомъ вулкана, наполнившимся лавой [1]); въ нѣкоторыхъ слу-

[1]) Болѣе подходящимъ названіемъ для образованій этого рода было бы „вулканическая пробка". Имъ мы и будемъ преимущественно пользоваться въ дальнѣйшемъ изложеніи. *Прим. ред.*

чахъ, благодаря эрозіи, открываются каналы или горловины вулкановъ, наполнившіеся во время взрывовъ рыхлыми вулканическими выбросами; по терминологіи англійскихъ геологовъ эти образованія называются *пески*.

Еще болѣе глубокая денудація позволяетъ намъ видѣть такіе эруптивные аппараты, которые никогда не достигали поверх-

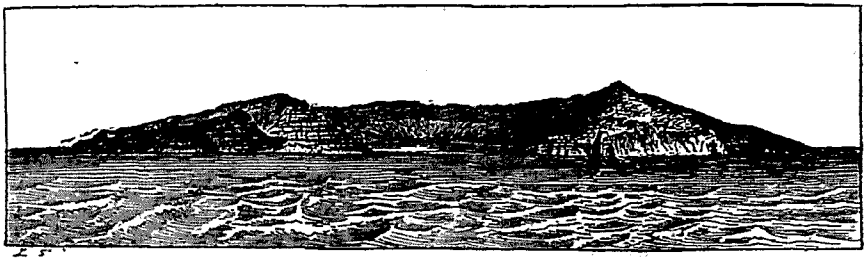


Фиг. 109.—Островъ Св. Павла. (Карта, составленная Ш. Веленомъ по гидрографическимъ съемкамъ Муше и Тюрне де-Борегаръ въ 1874 г.).

ности, и на которыя смотрятъ, какъ на *вторженія* магмы въ слои земной коры.

Значеніе взрывовъ въ разрушеніи вулкановъ. — Взрывы, сопровождающіе иногда изверженіе, способствуютъ разрушенію вулканическихъ аппаратовъ и тѣмъ самымъ благопріятствуютъ изученію глубоко лежащихъ частей ихъ, которыя до взрыва были скрыты отъ глазъ наблюдателя.

Выше мы уже видѣли, что изверженія Вулканскаго типа сопровождаются обыкновенно значительными взрывами, а иногда даже ограничиваются только однократнымъ взрывомъ, который выбрасываетъ въ воздухъ твердые матеріалы, нагромоздившіеся въ очагѣ и увеличиваетъ кратеръ настолько, что превращаетъ его въ громадный циркъ съ отвѣсными и очень высокими краями; такой циркъ называется на Азорскихъ островахъ *кальдерой* (фиг. 108—110). Дно кальдеры послѣ взрыва наполняется продуктами изверженія и можетъ превратиться въ *кратерное озеро* (озеро Иссарлесъ, озеро Буше въ Велэ; озера Альбано и Неми въ Лаціумѣ; *маары* въ Ейфелѣ и др.) и потомъ снова стать мѣстомъ изверженій, такъ что въ его серединѣ



Фиг. 110.—Островъ Св. Павла, видъ, снятый прямо на Рошъ-Килль съ разстоянія одной мили (набросокъ Ш. Веленъ).

могутъ образоваться впослѣдствіи одинъ или нѣсколько эруптивныхъ конусовъ (табл. XXII, 1). Это произошло и съ Везувіемъ. Монте-Сомма есть ни что иное, какъ кальдера, тогда какъ самъ Везувій является громаднымъ эруптивнымъ конусомъ, образовавшимся въ серединѣ цирка и теперь отдѣленъ отъ крутыхъ обрывовъ Соммы подковообразной впадиной, которая называется *Atrio del Cavallo*. Тоже наблюдается и въ группѣ острововъ Санторинъ (табл. XXVI, 2); два большіе острова, Тера и Теразія и скалистый островокъ Аспронизи являются остатками древняго вулкана, тогда какъ изъ центра кальдеры, затопленной моремъ, возвышаются новые вулканы — Палеа Камени (97 г. до Р. Х.), Микра Камени (1573 г.) и Неа Камени (1707 г.). На Этнѣ, наоборотъ, новый вулканическій конусъ занимаетъ эксцентричное положеніе по отношенію къ кальдерѣ, которая называется Валь дель Бове, и онъ на много превышаетъ древній конусъ. Здѣсь, слѣдовательно, произошло перемѣщеніе эруптивнаго центра.

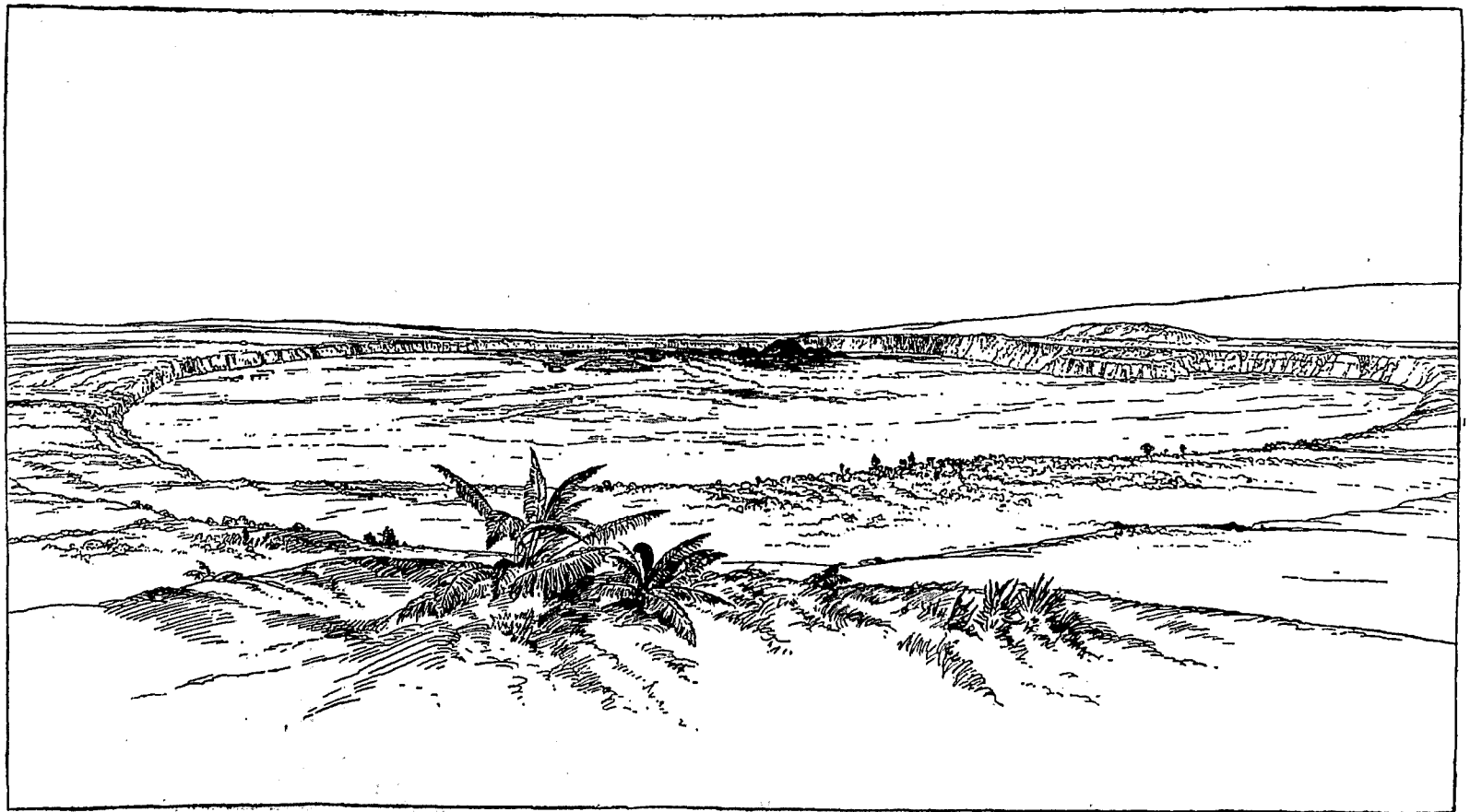
Всѣ эти кальдеры, какъ рѣзцомъ, обрѣзали наложенные другъ на друга слои лавы и другихъ продуктовъ изверженій, изъ которыхъ былъ воздвигнутъ вулканическій конусъ, благодаря чему мы можемъ изучать на ихъ обрывистыхъ стѣнахъ послѣдовательность отложенія разныхъ вулканическихъ продуктовъ.

Взрывы бываютъ иногда настолько сильны, что сносятъ цѣлую половину вулканическаго конуса. Такимъ взрывомъ закончилось изверженіе Кракатоа 27 августа 1883 г., когда сѣверная половина острова обрушилась въ море. Подобное же явленіе, вѣроятно, было причиной осѣданія сѣверо-восточной части острова Св. Павла, гдѣ море проникло въ центральный кратеръ давно потухшаго вулкана (фиг. 109, 110). Вертикальные и прямые края кратера представляютъ прекрасные естественные разрѣзы вулкана и позволяютъ изучать его внутреннее строеніе (табл. XVIII, 7).

Типы строенія эруптивныхъ конусовъ.—Какъ намъ уже извѣстно атмосферные агенты, морскія волны и взрывы газовъ даютъ намъ естественные разрѣзы вулканическихъ горъ и на основаніи ихъ изученія мы можемъ намѣтить нѣсколько категорій вулканическихъ конусовъ, до извѣстной степени соотвѣтствующихъ типамъ изверженій.

Изверженіямъ гавайскаго типа соотвѣтствуетъ *лавовые конусы*, имѣющіе форму очень пологаго купола, образовавшагося вслѣдствіе изліянія одинъ на другой многочисленныхъ и мощныхъ потоковъ лавы вытекавшихъ изъ боковыхъ трещинъ. Въ изверженіи этого типа вулкановъ рыхлые матеріалы совершенно отсутствуютъ. Громадный кратеръ на вершинѣ горы образовался, вѣроятно, не вслѣдствіе взрыва, а благодаря неоднократнымъ осѣданіямъ краевъ, (фиг. 111). Намъ, правда, неизвѣстенъ ни одинъ древній вулканъ съ кратеромъ подобнымъ кратеру Килауэа, но весьма вѣроятно, что громадные лавовые потоки „базальтовыхъ плато“ образующіе овернскіе плосковерхіе горы (planaises) и горы Куаронъ въ Ардешѣ обязаны своимъ происхожденіемъ обильнымъ истеченіямъ *очень жидкой* лавы, по сравненію съ которой количество рыхлыхъ продуктовъ изверженія было совершенно ничтожно.

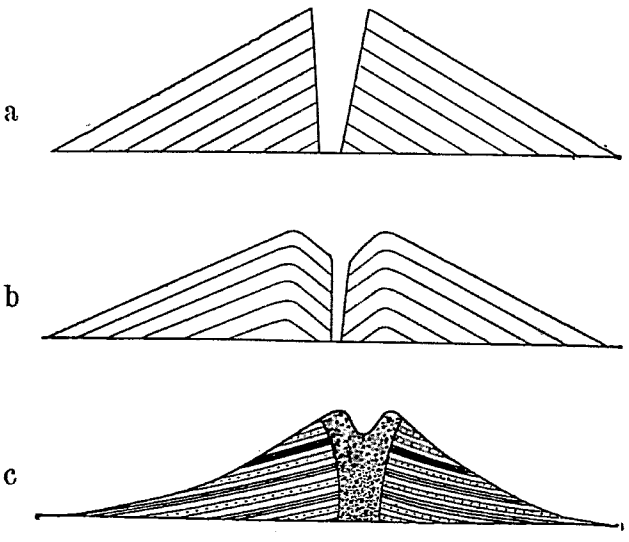
Изверженіямъ типа Стромболи соотвѣтствуютъ главнымъ образомъ *обломочные конусы*, образованные нагроможденіемъ бомбъ и лапиллей. Эти рыхлые выбросы расположены слоями, наклоненными къ периферіи вулкана, подъ угломъ соотвѣтствующимъ



Фиг. 111.—Кратеръ Килауэа (Сандвичевы острова), видъ, снятый отъ Волкано Хаусъ (по Деттону).

углу осыпей (фиг. 112, a). Отвѣсные края кратера обычно бываютъ съ одной стороны разрушены, и черезъ этотъ пониженный край изливаются болѣе или менѣе узкіе потоки лавы. Эти особенности строенія вулкановъ и кратеровъ сохранились у потухшихъ вулкановъ Пюи (табл. XXVII, 1) и Виваре настолько отчетливо, что сразу можно опредѣлить ихъ сравнительно недавнее происхожденіе (1).

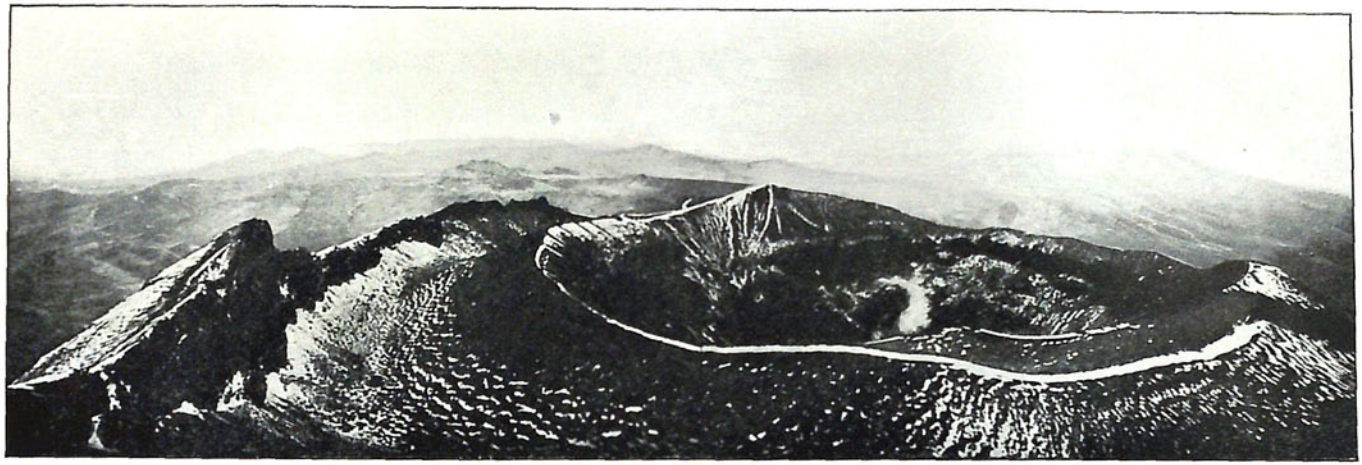
„Вулканскія“ изверженія обыкновенно насыпаютъ пепловые конусы (табл. XXIV, 2), которые отъ обломочныхъ конусовъ отличаются не только характеромъ образующихъ ихъ продуктовъ, но и правильнымъ двойнымъ изгибомъ слоевъ. По склонамъ горы они идутъ полого, а къ кратеру опускаются очень круто (фиг. 112, b).



Фиг. 112.—Схематическіе разрѣзы трехъ типовъ вулканическихъ конусовъ.
a, обломочный конусъ; b, пепловый конусъ; c, смѣшанный конусъ.

Намъ уже извѣстно, что одинъ и тотъ же вулканъ можетъ послѣдовательно проявлять дѣятельность типа Стромболи и типа вулканскаго; въ такомъ случаѣ конусъ бываетъ сложенъ изъ чередующихся потоковъ лавы и слоевъ ляпиллей и пепла и напоминаетъ своей слоистостью осадочныя породы, что и дало поводъ назвать эти конусы *страто-вулканами* или *смѣшанными конусами* (фиг. 112, c). Кратеръ въ такомъ случаѣ обыкновенно имѣетъ видъ кальдеры, и на его вертикальныхъ стѣнкахъ обнаруживаются напластованные одинъ на другой слои лавы и рыхлыхъ продуктовъ изверженій. Потухшіе вулканы Канталь и Монъ-Доръ (фиг. 113) являются прекрасными примѣрами смѣшанныхъ вулканическихъ конусовъ. Весьма вѣроятно, что таково же строеніе Везувія и Этны.

Наконецъ, изверженіямъ пелейскаго типа соотвѣтствуютъ *кучевые вулканы*, конусъ которыхъ образовался вслѣдствіе выпиранія вязкой лавы. Къ этому типу относятся очень многіе изъ потухшихъ вулкановъ.



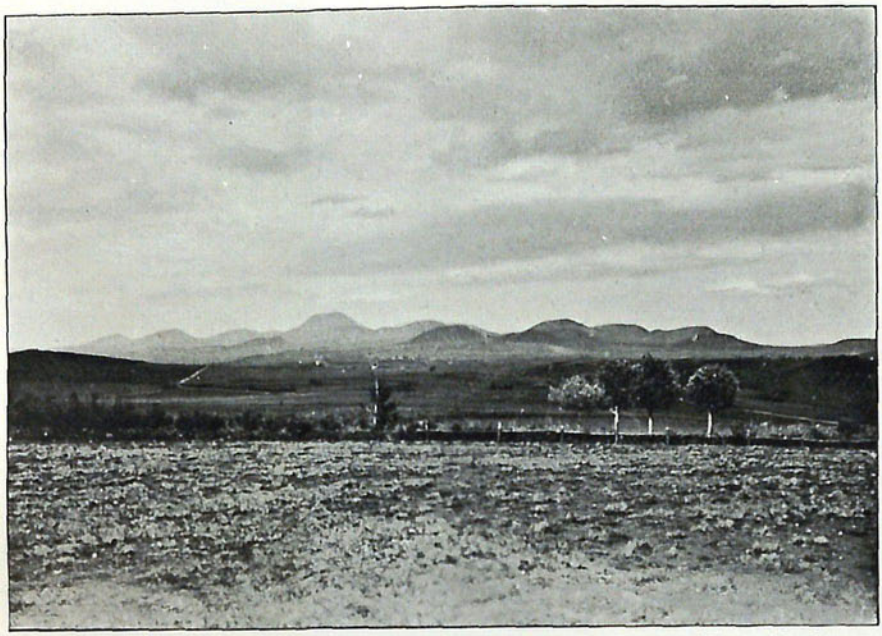
Негат. доставл. Г. А. Дереймсъ.

Кратеръ Мисти, близъ Ареквипа (Перу).



Негат. П. Корбенъ.

Кратеръ древняго вулкана Санторина,
видъ съ сѣверо-восточнаго берега Неа-Камени на Тера.
Въ серединѣ Микра-Камени.

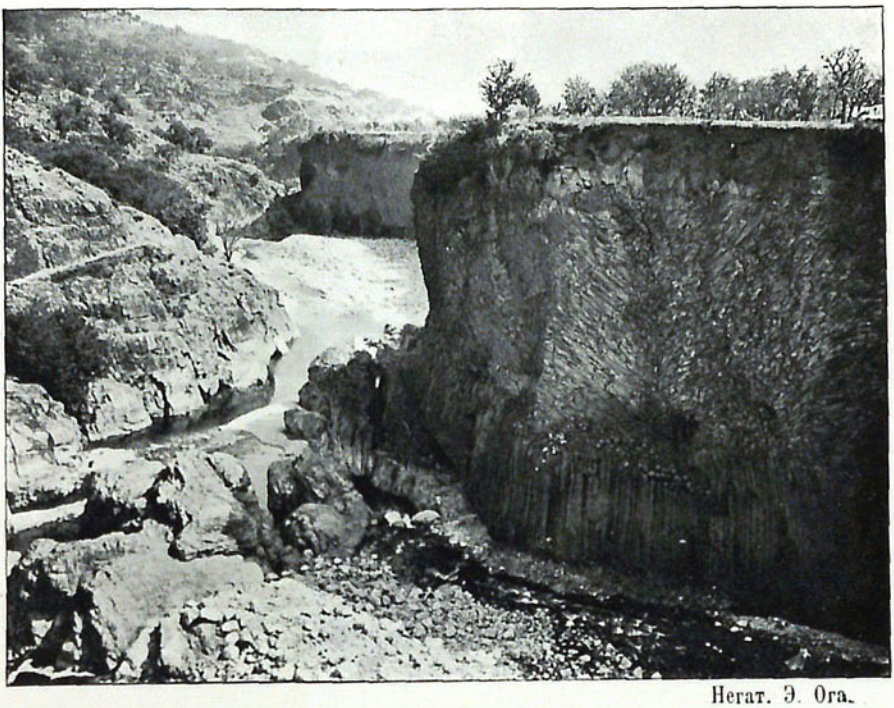


Негат. Э. Ога.

Цѣпь Пюи,
видъ изъ долины Сіуль.

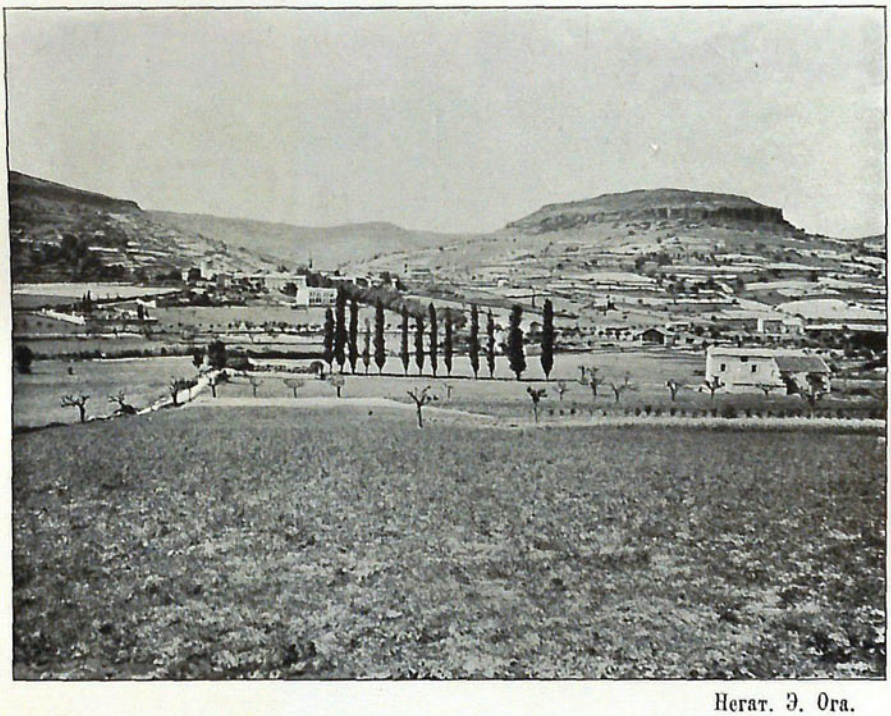


Ля Рошъ-Тюильеръ и Санадуаръ,
близъ Монъ-Дора (Пюи-де-Домъ).
Примѣры фонолитовыхъ куполовъ.



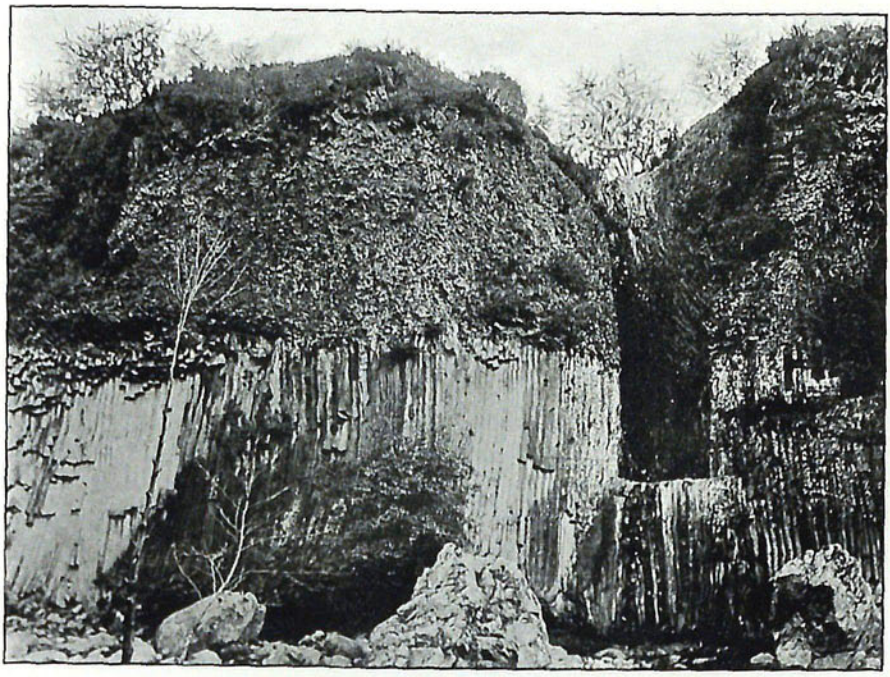
Негат. Э. Ога.

Долинный базальтъ.
Базальтовый потокъ вулкана Жоякъ (Ардешъ).
Долина Линьонъ; справа слюдяные сланцы.



Негат. Э. Ога.

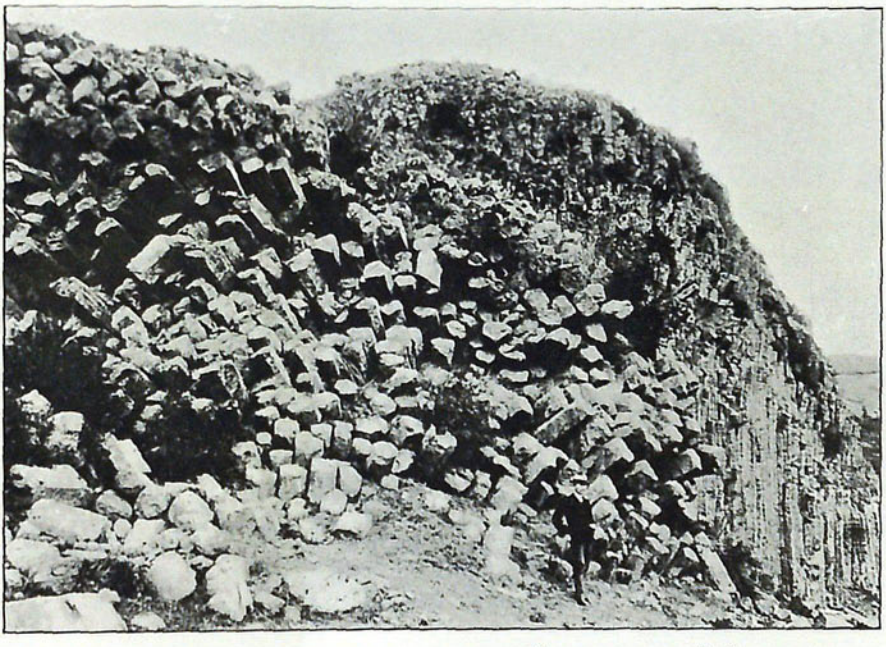
Базальтъ плато.
Лопасти базальтоваго плато Куаронъ, Сенъ-Жанъ-ле-Сантенье (Ардешъ).



Негат. Геологич. Лабораторіи Сорбонны.

Чертово кресло.

Базальтовый потокъ Ля Волянъ, близъ Антрегъ (Ардешъ).



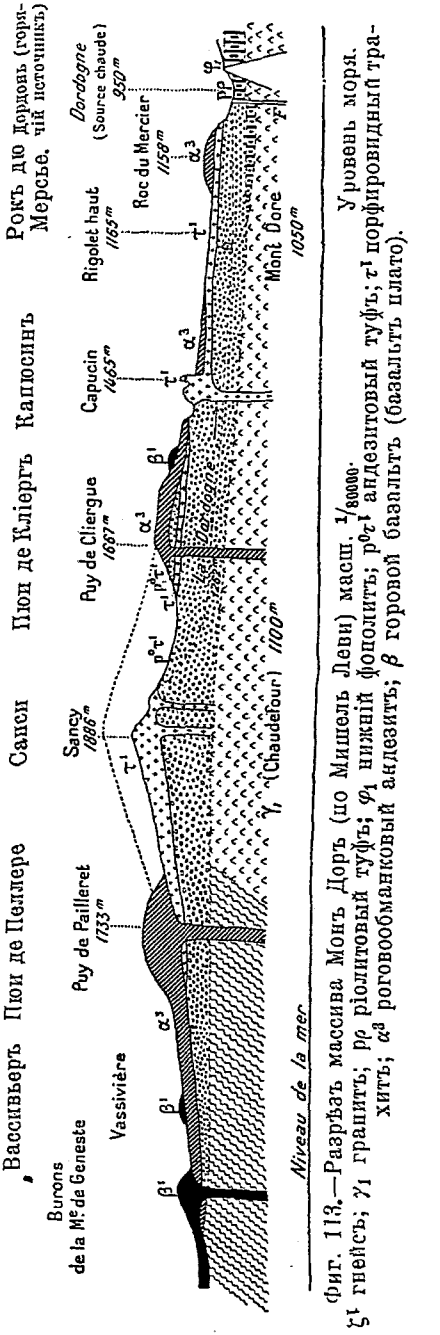
Негат. доставл. Л. Бертраномъ.

Органныя трубы Ля Круа де Пайль (Канталь).

Лавовые потоки.—Не всегда бываетъ возможно установить откуда вылились лавовые потоки древнихъ вулкановъ, такъ какъ потоки чаще сохраняются, чѣмъ сами вулканы. Въ виду этого является необходимымъ установить рядъ характерныхъ признаковъ, на основаніи которыхъ мы могли бы данную каменную породу разсматривать какъ часть лавоваго потока или, другими словами, считать ее не за глубинную, а за излившуюся породу.

Мы можемъ констатировать, что лавовые потоки сравнительно недавно потухшихъ вулкановъ заполняютъ дно долины; обыкновенно по нимъ самимъ или вдоль одного изъ ихъ краевъ современный водной потокъ прорылъ себѣ узкое ложе (табл. XXVIII,I). Наоборотъ, лавовые потоки болѣе древнихъ вулкановъ располагаются на плоскогорьяхъ, глубоко прорѣзанныхъ современными долинами (табл. XXVIII, 2). Но какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ отвѣсные края потоковъ даютъ намъ возможность наблюдать внутреннее строеніе затвердѣвшей лавовой массы.

Если не принимать во вниманіе стекловатаго и пузырчатаго строенія поверхностныхъ частей потока, можно сказать, что его масса болѣе или менѣе однородна, при чемъ центральныя части потока не имѣютъ такого мелко-кристаллическаго строенія, какъ периферическія. Иногда такая порода, занимающая громадную площадь, является совершенно компактной и не носитъ даже слѣдовъ какого либо раздѣленія. Но иногда, когда лавовый потокъ разлился по горизонтальной плоскости, при затвердѣваніи онъ разбивается



Фиг. 113.—Разрѣзъ массива Монъ Доръ (по Мишель Леви) масш. 1/80000. Уровень моря. ζ^1 гнейсъ; γ_1 гранитъ; $p\rho$ ріолитовый туфъ; φ_1 нижній фонолитъ; $p^0\tau^1$ андезитовый туфъ; τ^1 порфировидный трахитъ; α^3 роговообманковый андезитъ; β горовой базальтъ (базальтъ плато).

на рядъ вертикально расположенныхъ призматическихъ столбовъ (табл. XXIX, 1); если же при этомъ лавовый потокъ излился на сравнительно крутой склонъ, то столбы, располагаясь перпендикулярно къ нему, принимаютъ наклонное положеніе. Вообще оси призмъ всегда перпендикулярны къ поверхности охлажденія, чѣмъ и объясняется наблюдаемое иногда снопообразное расположеніе столбовъ (табл. XXIX, 2). Размѣры такихъ столбовъ бываютъ неодинаковы, а въ разрѣзѣ они имѣютъ форму неправильныхъ четырехъ, пяти или шестиугольниковъ; въ рѣдкихъ случаяхъ они бываютъ разбиты плоскостями, перпендикулярными къ ихъ оси.

Столбчатую отдѣльность лавы теперь принято объяснять сжатіемъ, которое обусловлено быстрымъ ея охлажденіемъ; но нельзя безусловно согласиться съ мнѣніемъ, приписывающимъ происхожденіе этого явленія тому обстоятельству, что лавовый потокъ излился на дно озера или въ море. Хотя эти столбы и свойственны преимущественно базальтовой лавѣ, но встрѣчаются также и у большинства изливавшихся на поверхность лавъ и даже у самыхъ кислыхъ.

Въ Оверни и въ Виварэ давно извѣстны замѣчательные потоки застывшей базальтовой лавы, изъ которыхъ одни относятся къ четвертичному періоду и занимаютъ дно долинъ (долинный базальтъ) (табл. XXVIII, 1), а другіе относятся къ концу третичнаго періода и образуютъ *большія плоскогорія, прорѣзанныя* долинами рѣкъ (базальтъ плато). И тѣ и другіе потоки на каждомъ шагу обнаруживаютъ прекрасную столбчатую отдѣльность.

Не менѣе извѣстны и базальтовые потоки Шотландіи и Ирландіи, гдѣ столбчатыя лавы получили названіе „мостовой гигантовъ“ (*giants causeways*).

Прежде всѣ темныя тонкозернистыя породы, составъ которыхъ еще не былъ тогда изученъ, назывались *траппомъ*, при чемъ это названіе примѣнялось преимущественно къ очень древнимъ потокамъ лавы, образующимъ плоскогорія, края которыхъ спускались уступами.

Въ Индіи вся западная часть полуострова состоитъ изъ обширныхъ плоскогорій очень древняго *траппа*. Это, вѣроятно, самыя громадныя площади на земномъ шарѣ, покрытыя лавой.

Иногда вулканическія породы бываютъ смяты въ складки, какъ осадочныя породы. Во Французскихъ Альпахъ мелафиры и спилиты, которые въ сущности представляютъ ничто иное, какъ базальтъ начала вторичной эры, подверглись самымъ силь-

нымъ орогеническимъ движеніямъ. Ихъ вулканическое происхожденіе доказывается ноздреватымъ видомъ породы. То же самое можно сказать и о девонскихъ мелафирахъ Рейнскаго шифернаго массива, среди которыхъ встрѣчаются также сильно измѣненные туфы, извѣстные подъ именемъ шальштейновъ.

Дейки.—Изъ вышеизложеннаго намъ извѣстно, что *дейки* происходятъ вслѣдствіе заполненія лавой тѣхъ трещинъ, по которымъ лава изливалась на поверхность. При разрушеніи вулкана онѣ почти всегда отдѣляются отъ потока, который онѣ породили, но иногда связь между ними сохраняется. Существуютъ дейки, не достигающія земной поверхности, такъ какъ лава затвердѣла въ трещинахъ, не доходившихъ до поверхности земли. Дейки почти всегда ограничены двумя болѣе или менѣе параллельными плоскостями то вертикальными, то наклонными. Часто онѣ исходятъ изъ центра кратера, но могутъ принимать и другія направленія и потому иногда перекрещиваются между собой. Мощность ихъ крайне разнообразна, начиная съ нѣсколькихъ сантиметровъ и кончая сотнями метровъ. Онѣ прорѣзываютъ то скопленія продуктовъ вулканической дѣятельности, то метаморфическія породы, то породы осадочныя, не нарушая ихъ расположенія.

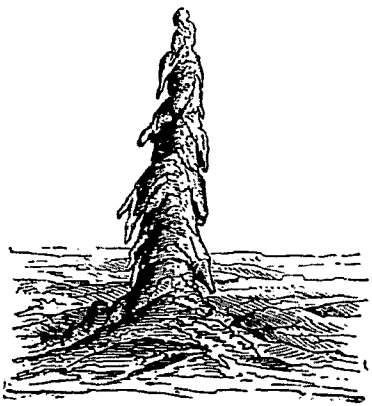
При контактѣ съ ними породы испытываютъ лишь незначительныя измѣненія, обусловленныя высокой температурой. Этотъ метаморфизмъ распространяется лишь на нѣсколько метровъ и даже совершенно отсутствуетъ при контактѣ съ дейками очень небольшой мощности. Такъ, напр., въ ущельи Эскрине въ Ардешскомъ департаментѣ можно найти юрскіе аммониты въ самомъ контактѣ съ бальзатовыми дейками (табл. XXX, 1). Эти аммониты сохранились здѣсь въ точно такомъ же видѣ, какъ и аммониты, находящіеся вдали отъ вулканическихъ породъ.

Въ *зальбандѣ* дейки, т. е. во внѣшнихъ ея частяхъ, соприкасающихся съ сосѣдними породами, наблюдается нерѣдко структура болѣе мелкозернистая, чѣмъ въ центрѣ, гдѣ иногда бываютъ и довольно крупные кристаллы. Отличіе между центромъ и периферіей наблюдается также и въ минералогическомъ отношеніи. Объ этомъ мы еще будемъ говорить въ слѣдующей главѣ.

Дейки, такъ же, какъ и лавовые потоки, часто бываютъ раздѣлены на призмы, оси которыхъ въ этомъ случаѣ перпендикулярны къ бокамъ дейки.

Дѣйствіемъ атмосферныхъ агентовъ дейки обнажаются и выступаютъ надъ поверхностью земли, что особенно хорошо бываетъ видно, если онѣ заключены въ рыхлыя породы. Онѣ тогда образуютъ какъ бы стѣны (табл. XXX, 2), которыя по прямой линіи тянутся на обширныя пространства, пересѣкая гребни горъ и долины. Но иногда наблюдается и обратное: когда сама дейка вывѣтрилась, а порода, которую она прорѣзаетъ, тверда, тогда вмѣсто выступающей стѣнки образуется впадина или настоящій ровъ.

Побочные конусы.—Многіе вулканы, кромѣ главнаго конуса съ его кратеромъ имѣютъ еще *побочные или паразитные конусы*, расположенные то на склонахъ главнаго конуса, то у его подошвы въ кальдерѣ, то по склонамъ древняго конуса, обращеннаго взрывомъ въ кальдеру. Эти добавочные конусы обыкновенно невелики, расположены или безпорядочно, или чаще вдоль линій, которыя идутъ отъ центра вулкана къ периферіи и въ сущности являются ничѣмъ инымъ, какъ трещинами наполнившимися лавой, т. е. вдоль дейкъ. Эти побочные конусы образовались изъ изверженныхъ продуктовъ и сами иногда изливаютъ потоки лавы. Количество ихъ бываетъ различно: такъ, на Этнѣ ихъ насчитываютъ до 900, при чемъ сотня изъ нихъ достигаетъ свыше 10 м. высоты.



Фиг. 114. — Шлаковый конусъ (hornito) на поверхности лавоваго потока Мокуа-Вео-Вео на Гаваи (по Дена, клише получено отъ Ш. Велена).

Побочные конусы не слѣдуетъ смѣшивать съ *шлаковыми конусами* (*hornitos*), которые происходятъ вслѣдствіе того, что въ какомъ-либо мѣстѣ лавоваго потока особенно сильно взрываются газы и, увлекая за собой комья лавы, образуютъ на ней довольно высокія конусообразныя нагроможденія (фиг. 114).

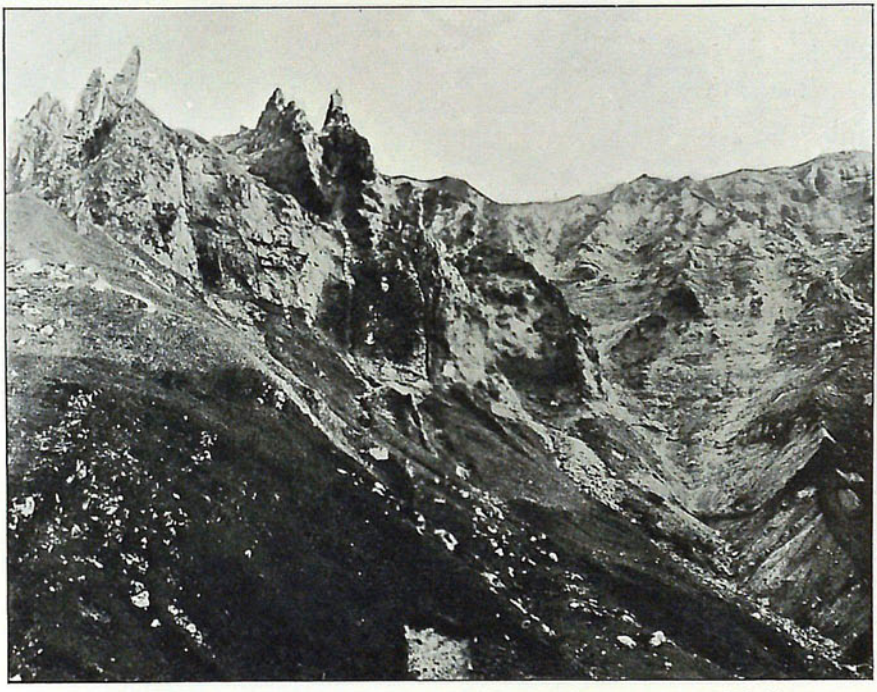
Вулканическія пробки. Лавовыя пробки гораздо рѣже заполняютъ очаги вулкановъ чѣмъ это можно было бы ожидать, и при этомъ почти никогда не бываетъ видна связь этихъ пробокъ съ потоками лавы. Можно думать, что подъ напоромъ газовъ вся жидкая лава выбрасывается наружу и каналъ вулкана, оставшійся пустымъ, быстро заполняется рыхлыми продуктами



Негат. Э. Ога.

Перевалъ Эскрине (Ардешъ).

Дейки базальта, прорѣзывающія арговійскіе мергелистые известняки съ ископаемыми.



Негат. доставл. Ш. Веленъ.

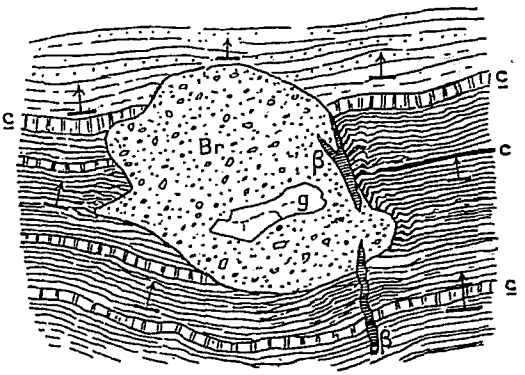
Трахитовыя дейки въ туфахъ.

Адское ущелье (Ravin d'Enfer), близъ Монъ-Дора (Шюи-де-Домъ).

изверженій. Такимъ образомъ лишь при истеченіи вязкой лавы можно надѣяться найти лавовыя пробки, выполняющія каналъ вулкана.

Когда же вулканическій аппаратъ, постепенно разрушаясь, наконецъ, освободится отъ своего пепловаго и шлаковаго покрова, то трудно бываетъ опредѣлить, является ли данный выступъ вулканической породы лавовой пробкой или это результатъ вытѣсненія наружу вязкой лавы, т. е. что либо подобное обелиску горы Пеле.

Какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ лава можетъ раздѣляться на *плиты*, поверхность которыхъ располагается концентрически по отношенію къ периферіи вулканической пробки. Такая чешуйчатая структура, напоминающая расположеніе шелухи на луковицѣ, особенно часто наблюдается у фонолитовыхъ куполовъ Оверни (табл. XXVII, 2), Велэ и сѣверной Богеміи. Она объясняется не явленіями стяженія массы, какъ это предполагали ранѣе, но условіями выступанія лавы. Магма, выходящая въ полужидкомъ состояніи черезъ узкое отверстіе, принимаетъ сланцеватую и въ то же время концентрическую структуру, точно такъ же какъ и глина, которая въ опытѣ Добре, давленіемъ поршня снизу вверхъ вытѣснялась вертикально черезъ круглое отверстіе (стр. 253 фиг. 91).



Фиг. 115.— Планъ вулканической горловины небольшихъ размѣровъ, Сенъ-Монансъ, Файфъ, Шотландія (по А. Гейки).

c, известковыя прослойки; c, слои угля въ черныхъ сланцахъ; Br, обломочная масса выполняющая горловину; *g*, включенная въ массу большая глыба песчаника; *β*, жилы базальта.

Въ областяхъ, подвергшихся сильной денудаціи, выходы вулканическихъ породъ на поверхность часто имѣютъ видъ удлиненныхъ полосъ, похожихъ на срѣзанную дейку. Очевидно въ такомъ случаѣ мы имѣемъ передъ собой примѣры поперечныхъ разрѣзовъ вулканическихъ каналовъ на значительной глубинѣ.

Вулканическія горловины.—Этимъ терминомъ теперь обозначаютъ каналы пробитые въ верхнихъ слояхъ земной коры взрывомъ газовъ. Добре называетъ ихъ діатремами (3).

Область расположенная къ югу отъ Сентъ-Эндрю вдоль сѣвернаго берега Фирсъ-офъ-Форсъ въ Шотландіи представляетъ

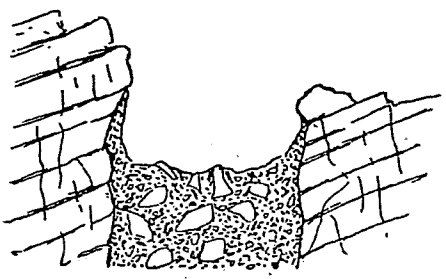
удобнѣйшее мѣсто для изученія этого рода явленій, благодаря наблюдаемымъ по берегу прекраснымъ естественнымъ разрѣзамъ. Арчибальдъ Гейки (4) открылъ до 80 такихъ горловинъ; при чемъ тѣ изъ нихъ, которыя расположены на самомъ берегу, были буквально разсѣчены волнами, такъ что легко наблюдать всѣ ихъ особенности. Въ діаметрѣ онѣ имѣютъ отъ 10 метровъ до 1 километра, а въ поперечномъ разрѣзѣ онѣ обнаруживаютъ болѣе или менѣе круглую элиптическую форму (фиг. 115). Ограничивающая ихъ поверхность уходитъ болѣе или менѣе вертикально



Фиг. 116.—Разрѣзъ трехъ горловинъ прорѣзывающихъ каменноугольные слои. Кернсъ-Милль близъ Сентъ-Эндрьюсъ, Файфъ, Шотландія (по А. Гейки).

вглубь земли, такъ что каждая горловина является столбомъ вулканическихъ породъ, который опускается на извѣстную глубину, прорѣзая толщи каменноугольныхъ слоевъ, слагающихъ эту область (фиг. 116, 117).

Эти каналы не имѣютъ никакой связи со сбросами; мало того, они какъ будто избѣгаютъ сбросовъ, существующихъ въ той же области. Точно также они совершенно не зависятъ отъ складокъ тѣхъ слоевъ, которыя они прорѣзываютъ: ихъ наблюдаютъ и въ антиклиналяхъ и въ синклиналяхъ. Изъ этого слѣдуетъ, что это образованія болѣе поздняго происхожденія сравнительно съ тектоническими измѣненіями данной мѣстности. Они представляютъ собой настоящіе каналы, пробуравленные въ твердой земной корѣ.



Фиг. 117.— Разрѣзъ трещины наполненный скопленіемъ продуктовъ глубиннаго происхожденія и обломками песчаника образующаго ея края. Рокъ-эндъ-Спиндль, близъ Сентъ-Эндрьюсъ, Шотландія (по А. Гейки).

Вулканическія горловины бываютъ наполнены слѣдующими матеріалами:

1. Самыми различными по своимъ размѣрамъ обломками окружающихъ породъ, начиная отъ мелкихъ пылинокъ и кончая глыбами въ нѣсколько метровъ въ діаметрѣ.

2. Вулканическими агломератами состоящими изъ углова-

тыхъ или округленныхъ глыбъ базальта или лимбургита и изъ обломковъ туфовъ и осадочныхъ породъ, при чемъ все это бываетъ облечено зеленоватой или сѣрой массой, состоящей изъ вулканическаго пепла, пемзы, зеренъ кварца и корродированныхъ кристалловъ ортоклаза, роговой обманки, біотита.

3. Глыбами оливиноваго базальта и другихъ близкихъ породъ, заключенными въ основныхъ туфахъ, при чемъ ихъ масса распадается на сфероиды.

Часто вулканическія горловины служили каналами, по которымъ поднималась расплавленная магма, затвердѣвшая потомъ въ видѣ базальта, богатаго включеніями. Эти породы прорѣзываютъ въ видѣ дейки брекчіевидную породу горловинъ и проникаютъ порой въ сосѣднія породы и тамъ развѣтвляются.

Осколки осадочныхъ породъ, встрѣчающіеся въ самыхъ маленькихъ горловинахъ часто совершенно не обнаруживаютъ признаковъ измѣненія, но въ большихъ каналахъ песчаники оказываются отвердѣвшими, глины обожженными, известняки превращенными въ мраморъ.

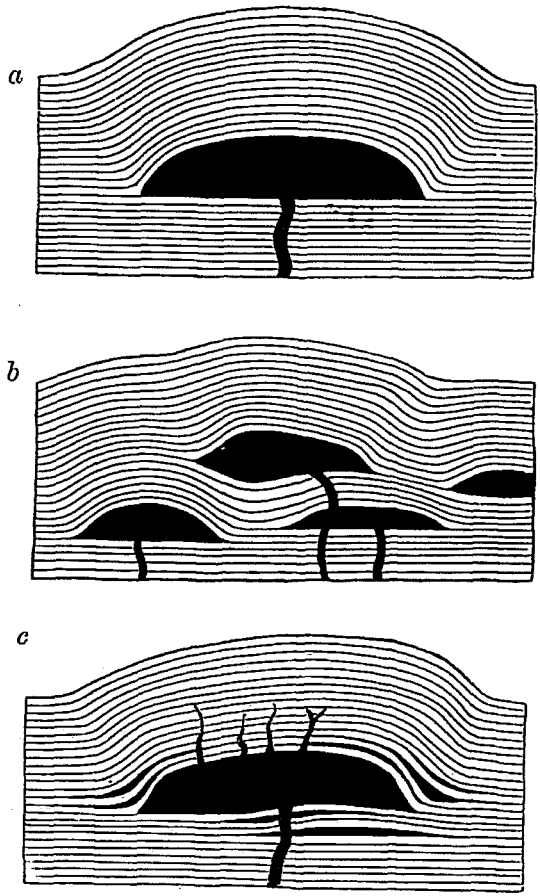
Полное отсутствіе связи горловинъ съ дислокаціями даже съ отдѣльными разломами слоевъ, которые онѣ прорѣзываютъ, несомнѣнно доказываетъ, что пробуравленіе земной коры было вызвано внезапнымъ взрывомъ газа высокой температуры, находившагося подъ громаднымъ давленіемъ внутри земли. Точно такіе же очаги вулкановъ встрѣчаются въ Швабской Юрѣ; Бранко назвалъ ихъ въ своемъ описаніи „эмбріонами вулкановъ“ (4).

Не менѣе большое сходство представляютъ и алмазоносныя горловины Южной Африки, изученіе которыхъ очень облегчается ихъ усиленной разработкой, особенно въ Кимберлей. Онѣ достигаютъ размѣровъ отъ 100 до 600 метровъ въ діаметрѣ и наполнены такъ называемымъ синимъ грунтомъ „blue ground“, представляющимъ собою перидотитовую брекчію, содержащую алмазы. Края ихъ покрыты вертикальными бороздками, а прорѣзываемые ими слои около нихъ приподняты.

Добре удалось воспроизвести эти діатремы экспериментальнымъ путемъ, пробивая различныя породы посредствомъ взрывовъ нитроглицерина или динамита, производимыхъ въ очень прочныхъ цилиндрахъ. Полученныя пробоины были во всѣхъ отношеніяхъ сходны съ алмазоносными каналами. Въ виду этихъ данныхъ Добре въ 1891 г. (3) объяснилъ образованіе этихъ каналовъ и шотландскихъ горловинъ взрывами, происходившими въ нѣдрахъ земли. Присутствіе алмазовъ въ синемъ грунтѣ Капскихъ горловинъ позволяетъ предполагать, что здѣсь были взрывы углеводородистыхъ соединеній.

Лакколиты.—Глубокая денудація верхнихъ слоевъ земной коры обнаруживаетъ иногда такіе эруптивные аппараты, продукты которыхъ никогда не появлялись наружу, а *проникали* между слоями въ формѣ вторженій или интрузивныхъ массъ (*intrusions*).

Американскіе геологи дали описаніе многочисленныхъ примѣровъ такихъ внутреннихъ вторженій магмы, высота которыхъ настолько значительна, что они принимаютъ форму караваевъ хлѣба, втиснутыхъ между слоями. Эти вторженія располагаются на плоской поверхности нижележащихъ слоевъ, а по верхней выпуклой ихъ поверхности слои поднимаются и принимаютъ расположеніе, характерное для куполовъ.

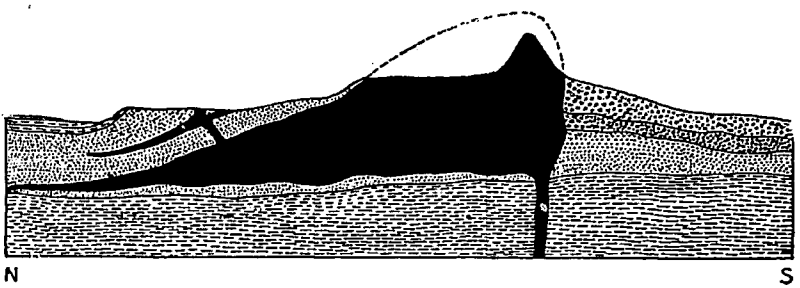


Фиг. 118.—Три схематическіе разрѣза лакколитовъ по Гильберту. a, простой лакколитъ; b, группа лакколитовъ; c, лакколитъ съ интрузивными пластовыми жилами и апофизами.

Прежде ученые предполагали, что въ этихъ случаяхъ расплавленная магма проникла въ ранѣе существовавшую пустоту, образовавшуюся вслѣдствіе приподнятія верхнихъ слоевъ. Отсюда и названіе *лакколиты*, данное имъ Гильбертомъ (6). Но болѣе вѣроятно, что магма, проникая между слоями, приподнимала верхніе слои.

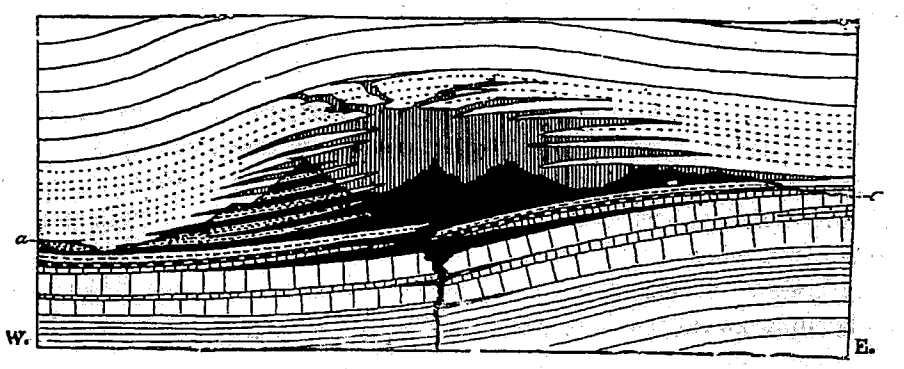
Лакколиты горъ Генри въ штатѣ Юта и лакколиты Лосиныхъ горъ (Elk Mountains) въ Колорадо могли быть изучены Гильбертомъ и В. Кроссомъ (7) благодаря сильной эрозіи, которой подверглись эти поднятія. Каналъ не виденъ ни у одного изъ

описанныхъ ими лакколитовъ, но нерѣдко можно было наблюдать ихъ нижнюю поверхность. Верхняя же часть почти всегда разрушена эрозіей, такъ какъ слои, покрывавшіе лакколитъ, обыкновенно бываютъ смыты; но тѣмъ не менѣе на рядѣ обнаженій можно наблюдать, что слои породы, въ которую проникла магма, бываютъ приподняты вокругъ всего лакколита.



Фиг. 119 —Разрѣзъ лакколита Антрацитоваго хребта, Лосиныя горы (Elk. Mountains), (по Уайтманъ Кроссу).

Простая шапкообразная форма лакколита рѣдко встрѣчается, такъ какъ онъ обыкновенно расщепляется по краямъ на отдѣльныя отвѣтленія, которыя вклиниваются въ сосѣдніе слои



Фиг. 120.—Теоретическій разрѣзъ лакколита горъ Ла-Плата, Колорадо (по Уайтманъ Кроссу).

(фиг. 120). Лакколитъ обычно возвышается среди окружающихъ его породъ въ видѣ болѣе или менѣе правильнаго и округлаго купола отчасти разрушеннаго эрозіей.

Отложенія, среди которыхъ находятся лакколиты Лосиныхъ горъ, относятся къ верхнему отдѣлу мѣлового періода, слѣдовательно, проникновеніе магмы должно было произойти въ третичное время. Мощность этихъ интрузивныхъ массъ достигаетъ 1000 м., а въ діаметрѣ онѣ обыкновенно имѣютъ отъ 3—6 км.

Въ Европѣ лакколиты рѣдко такъ хорошо сохранились и ихъ трудно изучать вслѣдствіе дислокацій, которымъ они подверглись послѣ своего образованія. Шапкообразная сферическая форма встрѣчается очень рѣдко, а проникающая лава обыкновенно болѣе или менѣе плоско распространяется между слоями, и такія скопленія ея принято называть *пластовыми жилами* (англійскій терминъ *sills*). Во Франціи единственными характерными лакколитами являются синіе порфиры массива Эстерель, прекрасно изученные Мишелемъ Леви (8).

Нигдѣ лакколиты не встрѣчаются совмѣстно съ шлаками, туфами и не сопровождаются вулканическими стеклами. Зернистыя породы, напоминающія по своей структурѣ гранитъ, встрѣчаются лишь въ видѣ исключенія, какъ напр., въ центральной части лакколита Шонкинъ Сагъ, описаннаго Видомъ и Пирсономъ (9); въ средней части этого лакколита находится сіенитъ, а по краямъ совершенно микролитовыя породы (фиг. 121). Обыкновенно породы съ двумя поколѣніями кристалловъ являются преобладающими въ лакколитахъ.



Фиг. 121.—Разрѣзъ лакколита Шонкинъ Сагъ, горы Хайвудъ, Монтана (по Л. В. Пирсону). *Средняя бѣлая часть, сіенитъ и переходныя породы, периферическая черная часть—шонкинитъ.*

Такимъ образомъ пріурочиваніе гранитовъ къ лакколитамъ не выдерживаетъ критики. Извѣстно кромѣ того, что гранитныя массы расширяются съ глубиною, и подъ ними никогда не приходилось наблюдать осадочныхъ породъ. Кромѣ того, лакколиты не метаморфизовали тѣ породы, въ которыя они вторгались, а вызывали лишь тепловыя явленія, подобныя тѣмъ, которыя наблюдаются при контактѣ породы съ дейками и лавовыми потоками.

Возрастъ изверженій.—Отношенія вулканическихъ породъ къ окружающимъ ихъ осадочнымъ породамъ часто даютъ намъ указанія при опредѣленіи относительнаго возраста изверженія. Такъ, дейка несомнѣнно является образованіемъ болѣе позднимъ, чѣмъ тѣ породы, которыя она прорѣзываетъ; лакколитъ или пластовая жила должны были образоваться позже тѣхъ слоевъ, въ которые они проникли въ видѣ вторженія, а потокъ лавы долженъ быть новѣе тѣхъ отложеній, на поверхность которыхъ онъ излился. Но эти данныя опредѣляютъ лишь ту эпоху изверженія, ранѣе которой оно не могло совершиться; то же время,

не позже котораго совершилось изверженіе, можетъ быть опредѣлено по присутствію окатанныхъ галекъ изверженной породы, въ осадочныхъ отложеніяхъ, и преимущественно въ конгломератахъ, которые, конечно, образовались позже изверженія той породы, которая встрѣчается въ нихъ въ видѣ галекъ.

Если, напр., порфиритъ образуетъ дейки въ нижнекаменноугольныхъ отложеніяхъ и та же порода встрѣчается въ видѣ галекъ въ породахъ верхнекаменоугольныхъ, то ея изверженіе можно пріурочить къ среднекаменноугольному времени. Но часто между двумя крайними предѣлами оказывается болѣе значительный промежутокъ и въ такомъ случаѣ, время изверженія можетъ быть опредѣлено съ значительно меньшей точностью.

Иногда присутствіе ископаемыхъ среди рыхлыхъ продуктовъ изверженія позволяетъ очень точно опредѣлить время изверженія, которому принадлежатъ эти продукты. Но не рѣдко раковины и другіе органическіе остатки, попадающіеся въ вулканическихъ туфахъ, могутъ ввести геолога въ ошибку, такъ какъ туфы могли образоваться на счетъ пепла значительно болѣе древняго изверженія.

1.—Poulett Scrope. The Geology and Extinct Volcanoes of Central France 2d edit. 1 vol. in-8°, 258 стр., 17 таб., 10 фиг., 2 карты. London, 1858.

2.—Sir Archibald Geikie. The ancient Volcanoes of Great Britain. 2 vol. xxiv + 477+xv + 492 стр., 7 картъ, 383 фиг. London. 1897.

3.—Daubrée. Recherches expérimentales sur le rôle possible des gaz à hautes températures, doués de très fortes pressions et animés d'un mouvement fort rapide, dans divers phénomènes géologiques. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3e sér., xix, стр. 313-354, 23 фиг., 1891.

4.—W. Branco. Schwabens 125 Vulkan-Embryonen. *Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. Württenberg*, L, стр. 550 997, таб. vi, vii, 115 фиг., 1894.

5—Sir Archibald Geikie. The volcanic necks of East Fife. *Memoirs of the Geological Survey of Scotland.* The Geology of Eastern Fife, стр. 200 283, 8 таб., 1 карта. Glasgow, 1902.

6.—G. K. Gilbert. Report on the Geology of the Henry Mountains. *U. S. Geogr. & Geol. Surv. of the Rocky Mountain Region.* 1 vol. in-4°, 160 стр. 73 фиг. Washington, 1877.

7.—Whitman Cross. The laccolithic mountain groups of Colorado *14th Ann. Rep. of the U. S. Geol. Surv.* ii, стр. 157-241, таб. vii-xvi, 1894.

8.—A. Michel-Lévy. Mémoire sur le porphyre bleu de l'Estérel. *Bull. Serv. Carte géol.*, ix. n° 57, 47 стр., 8 таб., 19 фиг. 1897.

9—W. H. Weed a. L. V. Pirsson. Geology of the Shonkin Sag and Palisade Butte Laccoliths in the Highwood Mountains of Montana. *Amer. Journ. of Science* 4th ser., xii, стр. 1-17, 10 фиг. 1911.

10.—L. V. Pirsson. Petrography and Geology of the Igneous Rocks of the Highwood Mountains, Montana. *Bull. U. S. Geol. Surv.*, n⁰ 237, 208 стр., 7 таб., 8 фиг., 1905.

11. Vera de Derwies. Recherches géologiques et pétrographiques sur les laccolithes des environs de Piatigorsk (Caucase du Nord). 1 vol. in-4⁰, 84 стр. 12 фиг., 3 таб., Genève, 1905.

12.—Marcellin Boule. L'âge des derniers volcans de la France. *La Géographie*, xiii, стр. 177-194, 275-300, 349-369; фиг. 43-55, 70-83, 92-96, таб. i, ii, 1906.

V. aussi: 0,1-4, 0.6; 0,22; xvii, 1.

А. Ф. Слудскій. Гора Карадагъ въ Крыму и ея геологическое прошлое. 11 стр., 5 рис., 1 планъ. (Зап. Крымск. Общ. Естеств. и Любит. Прир. т. I, 1911 г.).

ГЛАВА XIX.

Фумароллы и горячіе источники.

Фумароллы.—Выдѣленіе углеводородныхъ соединеній.—Гипогенные источники.—Метаморфизмъ, обусловленный фумароллами и горячими источниками.—Рудныя жилы гидротермическаго происхожденія.

Фумароллы.—При спеціальномъ изученіи состава вулканическихъ продуктовъ мы прежде всего должны остановиться на выдѣляемыхъ вулканами газахъ. Такъ какъ почти невозможно собирать газы и пары, выбрасываемые изъ кратера во время изверженія, то геологу приходится обращать свое вниманіе главнымъ образомъ на *фумароллы*, т. е. на газовыя выдѣленія изъ трещинъ на склонахъ и краяхъ вулкана. Классическими трудами по этому вопросу являются изслѣдованія фумароллъ Везувія и Этны, предпринятыя Шарлемъ Сентъ-Клеръ Девиллемъ (12, 3) и Ф. Фуке (4); эти ученые на основаніи своихъ изслѣдованій пришли къ такимъ выводамъ, которые многое выясняютъ намъ въ послѣдовательности вулканическихъ явленій данной области.

Фуке удалось установить путемъ многочисленныхъ наблюденій надъ составомъ газовъ и ихъ температурой, что химическій составъ фумароллъ тѣсно связанъ съ ихъ температурой; въ наиболѣе горячихъ содержатся всѣ газы, встрѣчающіеся и въ болѣе холодныхъ, которые отличаются отъ болѣе горячихъ только отрицательными признаками—постепеннымъ исчезновеніемъ нѣкоторыхъ газовъ. Такимъ образомъ правильная классификація фумароллъ должна быть основана на ихъ температурѣ.

Самыя горячія фумароллы достигаютъ приблизительно температуры краснаго каленія. Онѣ называются *сухими фумароллами*, потому что раньше ихъ считали совершенно лишенными влаги, но на самомъ дѣлѣ оказалось, что въ нихъ всегда содержится водяной паръ въ болѣе или менѣе значительномъ количествѣ. Сухія фумароллы выдѣляются изъ маленькихъ побочныхъ конусовъ, покрывающихъ склоны многихъ вулкановъ;

эти выдѣленія имѣютъ видъ бѣлаго дыма и отлагаютъ продукты возгонки, по которымъ мы и можемъ судить о составѣ газовъ. Тѣ же самыя вещества иногда встрѣчаются также въ изобиліи и иногда въ видѣ крупныхъ кристалловъ на глыбахъ, выбрасываемыхъ вулканами при взрывахъ; такъ, Лякруа при послѣднемъ изверженіи Везувія (XIII, 12) нашелъ на такихъ глыбахъ кристаллы хлористаго калія или сильвина, хлористаго натрія, двойного хлористаго соединенія калія и марганца. Кромѣ хлористыхъ щелочныхъ соединеній и (въ меньшемъ сравнительно съ ними количествѣ) сульфатовъ сухія фумароллы отлагаютъ также окись мѣди или теноритъ. Анализъ газовъ обнаруживаетъ также много хлористыхъ соединеній въ парообразномъ состояніи въ смѣси съ небольшимъ количествомъ воды, углекислоты, азота и т. д.

Фумароллы, выдѣляющія газы, при температурѣ отъ 500° до 100° называются *кислыми фумароллами*. Въ нихъ преобладаютъ водяной паръ, углекислота и сѣрнистый ангидритъ. Продуктами возгона являются въ нихъ преимущественно хлористые металлы, въ особенности желѣзо и мѣдь замѣчательно яркихъ цвѣтовъ. Желѣзный блескъ (Fe^2O^3), образующійся вслѣдствіе реакціи при высокой температурѣ водяного пара на хлористое желѣзо, встрѣчается главнымъ образомъ въ видѣ кристаллическихъ скопленій на краяхъ кратера Везувія и въ самомъ кратерѣ.

На верхнихъ частяхъ лавовыхъ потоковъ часто встрѣчаются налеты хлористыхъ металловъ, а въ болѣе низкихъ частяхъ потоки часто бываютъ покрыты хлористымъ аммоніемъ, отлагающимся путемъ возгонки при температурѣ ниже 400°.

Фумароллы, имѣющія температуру отъ 100°—40°, уже не содержатъ хлористыхъ соединеній за исключеніемъ хлористаго аммонія, сопровождающагося углекислымъ аммоніемъ. Такія фумароллы называются *щелочными*. Въ нихъ находится въ огромномъ количествѣ водяной паръ и сѣроводородъ, который, разлагаясь на воздухѣ, отлагаетъ сѣру.

Наконецъ, фумароллы обыкновенной температуры, такъ называемые *мофетты*, выдѣляютъ преимущественно углекислоту съ большей или меньшей примѣсью азота, водорода и углеводородистыхъ соединеній, каковы ацетиленъ и метанъ. Мофетты встрѣчаются только у подошвы вулканическаго конуса или вблизи вулкановъ.

Лякруа описалъ еще подъ именемъ *вторичныхъ фумароллъ*

(XII, II), такія фумароллы, которыя не имѣютъ корней въ глубинѣ вулкана, а образуются въ вулканическихъ брекчіяхъ, вскорѣ послѣ ихъ отложенія вулканомъ, до момента ихъ охлажденія, при чемъ это охлажденіе совершается или очень медленно, или оно ускорено благодаря выпаденію атмосферныхъ осадковъ. Горячія облака горы Пеле, спускаясь по ея склонамъ, образовали очень мощныя брекчіи, изъ которыхъ выдѣлялись газы, подобно тому, какъ они выдѣляются изъ лавовыхъ потоковъ.

Итакъ, чѣмъ дальше отстоятъ фумароллы отъ кратера, тѣмъ ниже ихъ температура. Такое же пониженіе температуры наблюдается и при удаленіи отъ трещинъ, прорѣзывающихъ вулканическую гору. Такъ, Фуке наблюдалъ, что удаляясь отъ одной трещины, изъ которой выдѣлялись кислыя фумароллы, онъ встрѣчалъ щелочныя фумароллы, а еще далѣе мофетты.

Сенъ-Клеръ-Девилль обнаружилъ, что пониженіе температуры фумароллъ обусловливается не только мѣстонахожденіемъ ихъ, но и временемъ: такъ, сухія фумароллы характеризуютъ фазу напряженной эруптивной дѣятельности, съ ея ослабленіемъ онѣ смѣняются фумароллами кислыми, которыя въ свою очередь уступаютъ мѣсто щелочнымъ и, наконецъ, холоднымъ, когда для вулкана начинается фаза покоя. Но еще долго, долго послѣ изверженія вулкана на склонахъ вулканической горы наблюдаются то щелочныя фурмароллы, то сольфатары.

Эта фаза дѣятельности вулкана получила названіе *сольфатарной фазы*. Въ сольфатарахъ выдѣленіе сѣроводорода сопровождается еще и другими выдѣленіями, о которыхъ мы сейчасъ будемъ говорить.

Когда изверженіе кончается, то еще очень продолжительное время около вулкана не прекращается выдѣленіе углекислоты и углеводородныхъ соединеній.

Передъ наступленіемъ новой фазы эруптивной дѣятельности еще до взрывовъ и изліяній лавы, сопровождаемыхъ появленіемъ кислыхъ и сухихъ фумароллъ, склоны вулкана начинаютъ вновь обнаруживать сольфатарную дѣятельность, и, слѣдовательно, фазы вулканической дѣятельности вновь проявляются въ томъ же порядкѣ, въ какомъ онѣ передъ этимъ послѣдовательно прекращались. Такъ, начинающіяся выдѣленія углекислоты и углеводородныхъ соединеній, тамъ гдѣ они ранѣе не наблюдались, а также образованіе фумароллъ на склонахъ потухшихъ вулкановъ, являются очень часто предвѣстниками возобновленія вулканической дѣятельности и близкихъ изверженій.

Но съ другой стороны извѣстенъ рядъ вулкановъ, для которыхъ сольфатарная фаза стала, такъ сказать, постоянной. Такова сольфатара вулкана у Поццуоли, послѣднее изверженіе котораго было въ 1198 г. Наоборотъ, Вулкано, въ кратерѣ котораго добываютъ сѣру и борную кислоту, за послѣдніе вѣка нѣсколько разъ переходилъ отъ фазы покоя къ фазѣ дѣятельности. Что же касается мофетъ, выдѣляющихъ углекислоту, то они очень распространены въ областяхъ потухшихъ вулкановъ, напр., Центральнаго Плато, Эйфеля, Елловстонскаго парка. Всѣ впадины, въ которыхъ находятся такія мофетты, носятъ названія: „долина смерти“, „пучина смерти“, „собачья пещера“, благодаря тому обстоятельству, что животныя, попадая сюда, задыхаются.

Выдѣленіе углеводородныхъ соединеній.—Углеводородныя соединенія часто выдѣляются вмѣстѣ съ углекислотой изъ мофетъ, но они могутъ выдѣляться и изъ спеціальныхъ аппаратовъ, изъ такъ называемыхъ, *грязевыхъ вулкановъ* или *сальзъ*. Сальзы имѣютъ видъ небольшихъ глиняныхъ конусовъ, образуемыхъ газомъ, поднимающимся къ поверхности по рыхлымъ породамъ. Газы, выдѣляемые изъ сальзъ, представляютъ въ большинствѣ случаевъ углеводороды, смѣшанные съ угольной кислотой и сѣроводородомъ. Вода, пропитывающая глину, бываетъ по преимуществу метеорнаго происхожденія. Часто на ряду съ газомъ сальзы выдѣляютъ *нефти*, или *горныя масла*, которыя или разливаются по поверхности, или пропитываютъ проницаемыя породы.

Есть несомнѣнная связь между грязевыми вулканами и нефтяными источниками, при чемъ почти всегда, какъ напр., въ Баку, и тѣ и другіе сосредоточены въ областяхъ вулканической дѣятельности. Поэтому нужно предположить, что существуетъ два вида нефтеносныхъ залежей совершенно различнаго происхожденія: однѣ органическаго происхожденія, о которыхъ мы уже говорили (гл. IX), другія эруптивнаго, при чемъ составъ тѣхъ и другихъ неодинаковъ.

Нефти органическаго происхожденія (напр., пенсильванскія) состоятъ главнымъ образомъ изъ насыщенныхъ углеводородовъ, высшихъ гомологовъ метана, и общая формула ихъ выражается такъ: C^nH^{2n+2}. Энглеру, какъ мы уже говорили, удалось получить ихъ, нагрѣвая въ замкнутомъ сосудѣ нѣсколько сотъ килограммовъ тресковаго жира.

Нефти же эруптивнаго происхожденія, какъ бакинскія, со-

стоятъ изъ ненасыщенныхъ углеводородовъ, высшихъ гомологовъ этилена, имѣющихъ общую формулу C^nH^{2n}. Этотъ видъ нефтей никогда не удавалось получить изъ растительныхъ или животныхъ тканей [1]).

Совершенно безполезно прибѣгать для объясненія происхожденія *всѣхъ* насыщенныхъ углеводородовъ къ гипотезѣ скопленія въ нѣдрахъ земной коры углеродистыхъ металловъ, которые въ присутствіи воды образуютъ метанъ и его гомологи. Но съ помощью этой гипотезы, впервые высказанной Бертело и затѣмъ развитой Менделѣевымъ и Муассаномъ, можно объяснить выдѣленія метана въ вулканическихъ областяхъ. Что же касается бакинскихъ нефтей, то Полю Сабатье удалось ихъ получить синтетическимъ путемъ, подвергая ацетиленъ при 200° дѣйствію водорода въ присутствіи мельчайшихъ частицъ желѣза, кобальта и никкеля (6).

Существуетъ рядъ переходныхъ ступеней между маленькими сальзами въ 5—6 м. вышины, находящимися въ Эмилійскихъ Апеннинахъ, и большими грязевыми вулканами Тамани на западной оконечности Кавказа и бакинскими на восточномъ концѣ той же цѣпи. Нѣкоторыя сальзы проявляютъ взрывчатую дѣятельность, сопровождающуюся выбрасываніемъ продуктовъ, другимъ же присуща постоянная и правильная дѣятельность, вслѣдствіе чего они были названы *горящими фонтанами* или *огненными источниками*.

Гипогенные или глубинные источники.—Въ одной изъ послѣдующихъ главъ мы увидимъ, что вода обыкновенныхъ источниковъ имѣетъ поверхностное происхожденіе. Эти источники или питаются дождевой водой, прошедшей черезъ тѣ или другія породы, или текучей водой, временно ушедшей въ верхніе слои земной коры. Иногда наблюдаемая сравнительно высокая температура этихъ источниковъ объясняется тѣмъ, что ихъ воды возвращаются на поверхность съ такихъ глубинъ гдѣ уже господствуетъ довольно высокая температура. Часто вода ихъ бываетъ минерализована тѣми солями, которыя она встрѣчаетъ на своемъ пути. Но на ряду съ такими источниками

---

[1]) Вполнѣ понятно, что при такихъ условіяхъ ученые разныхъ странъ высказывались то за эруптивное, то за органическое происхожденіе всѣхъ нефтей. Русскіе и французскіе ученые являются преимущественно сторонниками эруптивнаго происхожденія, тогда какъ нѣмецкіе и американскіе ученые охотнѣе склоняются къ органической теоріи.

существуютъ источники глубиннаго происхожденія, обыкновенно богатые газами и растворенными минеральными веществами; связь этихъ источниковъ съ вулканическими явленіями очевидна, или потому, что они сосредоточены въ областяхъ вулканической дѣятельности древней или недавней, или потому, что ихъ минерализація не находитъ себѣ объясненія въ минеральномъ составѣ породъ, по которымъ они поднимаются. Е. Зюссъ (7) называетъ эти источники *гипогенными*. Отличительной ихъ чертой является *пульсированіе* или перемежающаяся дѣятельность, то съ длинными то съ короткими промежутками, признакъ характерный для явленій вулканическихъ.

Соффіони или *газовыя струи*. Этимъ именемъ обозначается категорія глубинныхъ источниковъ, наиболѣе похожихъ на фумароллы. Они представляютъ собою струи водянаго пара выбрасываемыя на различную высоту. Выходящій на поверхность паръ имѣетъ температуру въ 100—175° и затѣмъ сгущается въ особыхъ бассейнахъ, такъ называемыхъ *лагони* (*lagoni*). Вмѣстѣ съ водянымъ паромъ выбрасываются нѣкоторые газы, напр., углекислота, сѣроводородъ,метанъ, а образовавшаяся вода содержитъ въ растворѣ борную кислоту или сассолинъ, которая и отлагается въ *лагони*.

Наиболѣе извѣстны *соффіони* въ Тоскапѣ въ области Вольтерра и на западѣ Соединенныхъ Штатовъ. Часто на ряду съ борной кислотой въ нихъ содержится борнокислый натръ или бура.

Гейзеры.—Гейзерами называются періодически бьющіе источники несомнѣнно вулканическаго происхожденія, такъ какъ они связаны съ сольфатарной фазой вулканической дѣятельности рядомъ переходныхъ ступеней. Гейзеры очень богаты водой, сравнительно съ которой содержаніе въ нихъ сѣроводорода незначительно. Въ водѣ часто содержатся въ растворѣ щелочные силикаты, которые подъ дѣйствіемъ кислотъ даютъ осадокъ воднаго кремнезема, представляющаго собой разновидность опала и извѣстнаго подъ именемъ гейзерита. Въ сущности гейзеры являются особымъ видомъ горячихъ щелочныхъ и сѣрнистыхъ источниковъ, стоящихъ въ связи съ изверженіями кислыхъ лавъ. Перемежающійся характеръ ихъ дѣятельности прежде приписывали сифонообразному строенію ихъ канала. Тиндаль же объяснилъ это явленіе тѣмъ, что поднимающаяся по каналу гейзера вода, быстро переходя изъ глубины, гдѣ ея температура намного ниже температуры кипѣнія, въ такую вышележащую часть канала, гдѣ ея температура (вслѣдствіе уменьшенія давленія) оказывается выше температуры кипѣнія, моментально

превращается въ паръ и съ силой выбрасывается вверхъ. Когда же выброшенная вода обратно попадаетъ въ каналъ, то она на нѣкоторое время охлаждаетъ столбъ воды, и фонтанъ временно перестаетъ бить; затѣмъ явленіе повторяется въ томъ же порядкѣ.

Въ виду того, что температура воды, длина канала и абсолютная высота мѣста выхода канала на поверхность неодинаковы во всѣхъ гейзерахъ, естественно, что и промежутки, раздѣляющія изверженія, весьма разнообразны по своей продолжительности.

Гейзеры отлагаютъ большое количество кремнезема, изъ котораго образуется настоящій бассейнъ вокругъ ихъ выходного отверстія. Нѣкоторые же гейзеры отлагаютъ известь. Ихъ вода содержитъ въ себѣ углекислоту и растворенную углекислую известь, которая и осаждается какъ скоро углекислота выдѣлится.

Самые извѣстные гейзеры находятся въ Исландіи, въ Елловстонскомъ паркѣ Соединенныхъ Штатовъ и въ Новой Зеландіи, но здѣсь они были разрушены сильнымъ вулканическимъ изверженіемъ 1886 года.

Горячіе источники, термы.—На ряду съ гейзерами, вода которыхъ обыкновенно нагрѣта выше 100°, существуетъ еще цѣлая серія горячихъ источниковъ, которые представляютъ собою рядъ переходныхъ ступеней къ температурѣ обыкновенныхъ источниковъ (8). Часто бываетъ трудно отличить источники, питающіеся водой изъ поверхностныхъ слоевъ земной коры, отъ настоящихъ глубинныхъ источниковъ; но всѣ минеральные источники вулканическихъ областей безусловно относятся къ категоріи послѣднихъ. Мѣста ихъ выходовъ или грифоны[1]) почти всегда пріурочены къ сбросамъ, а иногда и къ дейкамъ эруптивныхъ породъ.

Зюссомъ было указано (7), что Карлсбадскіе источники, изъ которыхъ нѣкоторые имѣютъ температуру до 75°, не могутъ быть минерализованы тѣми гранитными породами, по которымъ они протекаютъ до своего появленія на поверхность. И дѣйствительно, они содержатъ очень много щелочныхъ солей, дебитъ которыхъ достигаетъ почти милліона килограммовъ въ годъ, при чемъ натрій является преобладающимъ элементомъ, тогда какъ мѣстныя гранитныя породы богаты преимущественно каліемъ.

---

[1]) Грифономъ называется мѣсто выхода горячаго источника на поверхность или мѣсто выхода его изъ твердой породы въ рыхлыя поверхностныя отложенія. Ред.

Карлсбадскіе источники вокругъ своего выхода отлагаютъ очень много углекислой извести въ формѣ арагонита. Весьма вѣроятно, что прежде они отлагали и кремнеземъ, такъ какъ воды ихъ поднимаются по жиламъ содержащимъ кварцъ. Они образуютъ также известковые пизолиты, которые по Лякруа состоятъ изъ особой формы углекислой извести, называемой кти-пентомъ.

Минеральные источники Центральнаго Плато также имѣютъ очевидную связь съ мѣстными потухшими вулканами. Нѣкоторые изъ этихъ ключей, особенно богатые углекислотой, приближаются къ *мофеттамъ*, которыя также встрѣчаются вблизи Овернскихъ вулкановъ. Большое же содержаніе щелочей сближаетъ ихъ съ щелочными фумароллами. Нѣкоторые изъ ключей Центральнаго Плато настолько богаты известью, что отлагаютъ известковый натекъ, которымъ инкрустируютъ предметы, съ ними соприкасающіеся; таковъ знаменитый инкрустирующій источникъ Сентъ-Аллиръ въ предмѣстьѣ Клермонъ-Феррана. Часто воды горячихъ источниковъ, поднимаясь къ поверхности, встрѣчаютъ на своемъ пути слой проницаемой породы, напр., слой песка, песчаника, брекчіи. Онѣ проникаютъ въ эти слои, и тогда ихъ можно найти только путемъ буренія и такимъ образомъ открыть имъ выходъ на поверхность.

Метаморфизмъ, обусловленный фумароллами и горячими источниками. — Потоки лавы производятъ почти исключительно тепловое дѣйствіе на соприкасающіяся съ ними породы и то въ наиболѣе близкихъ частяхъ, особенно если лава очень легкоплавка, какъ напр., базальтовая лава. Наоборотъ, фумароллы глубоко измѣняютъ минералогическій и химическій составъ соприкасающихся съ ними породъ. Здѣсь мы можемъ привести лишь нѣсколько примѣровъ этихъ метаморфическихъ явленій, которыя представляютъ интересъ главнымъ образомъ для минераловъ.

Часто бываетъ, что измѣненія породъ при соприкосновеніи ихъ съ фумароллами происходятъ только подъ дѣйствіемъ сѣрной кислоты, образующейся вслѣдствіе окисленія сѣроводорода, приходящаго въ соприкосновеніе съ воздухомъ. Таковы, напр., метаморфическія явленія на склонахъ горы Пеле. Лабрадоръ здѣсь превращается мѣстами въ вязкую массу, образующуюся изъ смѣси опала съ минераломъ типа галлоизита, пропитаннымъ растворимыми сѣрнокислыми соединеніями, которыя сопровождаются еще иногда и гипсомъ. Метаморфизованныя породы

часто бываютъ покрыты налетомъ воднаго кремнезема (XVII, II, стр. 188).

Особенно удобно изучать эти явленія на брекчіяхъ, нагроможденныхъ около кратеровъ, на нихъ отчетливо видны измѣненія породъ подъ дѣйствіемъ газовъ высокой температуры, вырывающихся изъ вулкановъ. Такъ, на Везувіи глыбы лейцитовыхъ породъ, изъ которыхъ главнымъ образомъ состоятъ эти брекчіи, сильно корродированы; лейцитъ замѣненъ въ нихъ микросоммитомъ или содалитомъ, которые на ряду съ кристаллами авгита, роговой обманки, біотита, магнетита и др., выстилаютъ мѣстами углубленія въ породѣ (Лякруа, XVII, 12). Несомнѣнно, что образованіе этихъ минераловъ новой формаціи слѣдуетъ приписать парамъ хлористыхъ и сѣрнокислыхъ соединеній. Калій силикатовъ при этомъ обыкновенно замѣненъ натріемъ этихъ солей.

Включенія осадочныхъ породъ, встрѣчающіяся въ вулканическихъ породахъ, содержатъ тѣ же минералы, что и брекчіи образующія края кратера. Очевидно, что они подверглись также дѣйствію фумароллъ.

Особенный интересъ въ данномъ отношеніи представляютъ известковыя включенія. Они, впрочемъ, во всѣхъ отношеніяхъ сходны съ известковыми глыбами, находимыми среди изверженій нѣкоторыхъ вулкановъ, напр., Везувія; выброшенныя имъ известковыя глыбы, находимыя на Монте-Сомма, хорошо извѣстны благодаря содержащимся въ нихъ красивымъ минераламъ. Известнякъ въ такихъ случаяхъ принялъ вполнѣ кристаллическое строеніе и въ немъ развились известковые силикаты (гранаты, идокразъ, волластонитъ, анортитъ и др.), обыкновенно сопровождаемые слюдой.

Лякруа показалъ, что метаморфизмъ включеній проявляется гораздо глубже, если порода, въ которой они находятся, является кислой или принадлежитъ къ лейцитовымъ породамъ, а не къ базальтамъ, гдѣ измѣненія ограничены только поверхностью контакта.

Фумароллы низкой температуры также могутъ вести къ образованію новыхъ минераловъ въ тѣхъ мѣстахъ, по которымъ проходятъ. Даже горячіе источники вызываютъ порой метаморфическія явленія, что вполнѣ подтверждается наблюденіями Добре (XV, I) надъ римской каменной кладкой у источниковъ Пломбьеръ. Раскопки неоднократно обнаруживали здѣсь бетонъ изъ осколковъ камня и кирпичей, соединенныхъ известковымъ

цементомъ. Эти матеріалы въ теченіе многихъ вѣковъ были погружены въ слабо минерализованную щелочную воду, появляющуюся на поверхность въ видѣ многочисленныхъ ключей, изъ которыхъ самые горячіе имѣютъ температуру не выше 60°. Добре нашелъ здѣсь много кристалловъ различныхъ цеолитовъ (шабазитъ, христіанитъ, мезотипъ, апофиллитъ), которые то устилаютъ трещины бетона, то образуютъ въ немъ жеоды, то встрѣчаются въ самой массѣ. Болѣе глубокія части кладки, на которыя непосредственно бьетъ струя теплой воды, оказались покрытыми какъ бы минеральнымъ студнемъ, состоящимъ изъ смѣси воднаго силиката извести съ опаломъ, который встрѣчается также и въ трещинахъ.

Аналогичныя наблюденія были произведены Добре еще въ Люксейль, въ Бурбонпъ-лэ-Бэнь, въ Сентъ-Оноре (въ департ. Ніевръ). Въ Люксейль температура источниковъ не превышаетъ 46°. Въ Бурбонпъ-лэ-Бэнь различныя сѣрнистыя соединенія мѣди образовались подъ дѣйствіемъ щелочныхъ сѣрнокислыхъ соединеній на римскія монеты и вслѣдствіе возстановленія сѣрнокислой мѣди органическими веществами.

Эти наблюденія выясняютъ намъ не только образованіе цеолитовъ и опала въ трещинахъ и пустотахъ вулканическихъ породъ уже послѣ ихъ затвердѣванія, но и метаморфическія явленія вообще. Вполнѣ понятно, что при температурахъ еще болѣе высокихъ вода при высокомъ давленіи можетъ образовать безводные силикаты, и въ частности полевые шпаты. Если только вода содержитъ въ себѣ растворенные щелочные силикаты, то при ея участіи могутъ образоваться, напр., въ глинистыхъ известнякахъ двойные известковые силикаты и въ частности альбитъ. Поэтому метаморфизмъ, вызываемый минерализаторами на большой глубинѣ, можетъ быть приравненъ къ дѣйствію фумароллъ на окружающія породы. Такимъ образомъ, передъ нами въ сущности одно и то же явленіе, осуществляющееся лишь при различныхъ условіяхъ.

Рудныя залежи гидротермическаго происхожденія. Отложенія, образуемыя горячими источниками, объясняютъ намъ происхожденіе многихъ рудныхъ залежей, которое было предметомъ продолжительныхъ споровъ. Эти рудныя залежи называютъ теперь *гидротермическими*, и ихъ не слѣдуетъ смѣшивать съ обособленіями рудныхъ минераловъ въ эруптивныхъ породахъ, съ залежами вывѣтриванія и съ осадочными залежами (9—13).

Гидротермическія рудныя залежи почти всегда встрѣчаются въ видѣ жилъ, заполнившихъ пустоты земной коры—діаклазы или настоящія сбросовыя трещины. Онѣ имѣютъ часто очень большое сходство съ дейками вулканическихъ породъ. Какъ тѣ, такъ и другія ограничены двумя параллельными болѣе или менѣе плоскими поверхностями, горизонтальная линія которыхъ опредѣляетъ *простираніе жилы* [1]), а линія наибольшаго наклона образуетъ съ горизонтальной линіей, лежащей въ одной и той же плоскости, уголъ, представляющій уголъ паденія; наконецъ, разстояніе между ограничивающими жилу плоскостями, измѣряемое по перпендикулярному къ нимъ направленію, опредѣляетъ мощность жилы.

Жилы бываютъ заполнены *рудой* и минералами сопровождающими руду—*спутниками* руды (*gangue*). Рудными минералами, добываемыми изъ жилъ, являются: или самородные металлы, какъ золото и висмутъ; или окиси, какъ красный желѣзнякъ (Fe^2O^3), пиролюзитъ (MnO^2), касситеритъ (SnO^2); или сѣрнистыя соединенія, какъ пиритъ (FeS^2), серебряный блескъ (Ag^2S), свинцовый блескъ (PbS), цинковая обманка (ZnS), мѣдный блескъ (Cu^2S), мѣдный колчеданъ ($Cu\,FeS^2$), киноварь (HgS) и др.; или сѣрносурьмянистыя и сѣрномышьяковистыя соединенія и различныя фосфорнокислыя соли. Можно также упомянуть о марганцевомъ вольфрамитѣ или желѣзно-марганцевомъ вольфрамѣ и объ углекисломъ желѣзѣ. Другіе же углекислые металлы являются продуктами поверхностнаго измѣненія.

Спутниками рудъ бываютъ кремнеземъ, кальцитъ, арагонитъ, доломитъ, баритъ, флюоритъ и др.

Обыкновенно эти разнообразные минералы группируются такъ, что образуютъ довольно постоянныя *сообщества*. Такъ, почти всегда вмѣстѣ группируются сѣрнистыя соединенія желѣза, свинца и цинка. То же самое можно сказать о кварцѣ, бѣлой слюдѣ, апатитѣ, изумрудѣ, турмалинѣ и др., которые почти всегда встрѣчаются вмѣстѣ съ касситеритомъ и могутъ считаться характерными элементами залежей оловянныхъ рудъ. Другія же подобныя сообщества являются просто изморфными смѣсями, какъ напр., серебросодержащій свинцовый блескъ.

---

[1]) Рудокопы обыкновенно называютъ *боками* (*epontes*) поверхности нерудоносной породы, ограничивающей жилу. Если бока являются наклонными, то верхній изъ нихъ называется *кровлей*, или *висячимъ бокомъ* (*toit*), а нижній *постелью* или *лежачимъ бокомъ* (*mur*). *Зальбандами* же называются глинистыя или брекчіевидныя вещества, часто покрывающія бока жилы и отдѣляющія ихъ отъ рудной породы.

Для объясненія *способа заполненія* жилъ былъ предложенъ цѣлый рядъ взаимно исключающихъ гипотезъ. Такъ, *теорія бокового выдѣленія*, не имѣющая въ настоящее время больше послѣдователей, предполагаетъ, что минеральныя вещества, заполняющія жилу, встрѣчаются въ крайне размельченномъ состояніи и въ тѣхъ породахъ, по которымъ проходитъ жила. Циркулирующія по трещинамъ подземныя воды должны были приносить эти минеральныя вещества въ растворѣ, изъ котораго они и выкристаллизовались въ болѣе или менѣе значительныхъ массахъ на стѣнкахъ трещины. Но химическій анализъ не подтвердилъ тѣхъ данныхъ, на которыя опирался Ф. Зандбергеръ (14), создавая эту теорію. Впрочемъ, къ отдѣльнымъ случаямъ, повидимому, она вполнѣ приложима; такъ, небольшія жилки кальцита, прорѣзывающія нѣкоторыя осадочныя породы, не могли образоваться какимъ-либо другимъ путемъ.

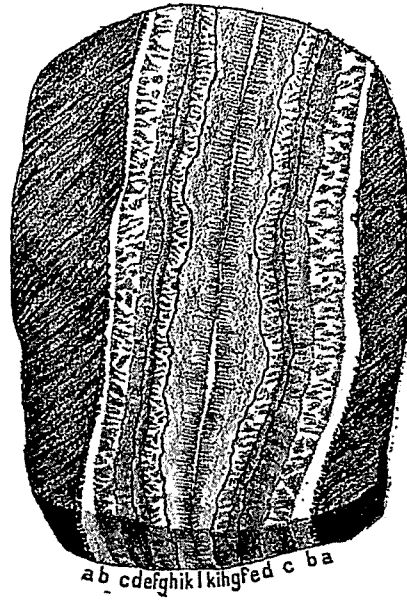
Въ настоящее время всѣ геологи согласны въ томъ, что заполненіе трещинъ рудными жилами произошло не съ боковъ, а вдоль самой трещины или сверху или снизу, per descensum или per ascensum.

Согласно теоріи per descensum минеральныя вещества приносились въ растворѣ поверхностными водами, въ раскрытыя трещины, гдѣ они и кристаллизовались подобно тому, какъ выпадаютъ кристаллы соли, при испареніи воды въ бассейнахъ. Въ пользу этого взгляда приводили тотъ фактъ, что почти всѣ простыя тѣла содержатся въ соляхъ, растворенныхъ въ морской водѣ. Такимъ образомъ воды, текущія по земной поверхности, должны содержать, хотя и въ очень малыхъ количествахъ, всѣ эти элементы и должны обладать способностью заимствовать ихъ изъ горныхъ породъ глубиннаго происхожденія. Но подобное заполненіе трещинъ сверху скоро закрыло бы ихъ каналы и нижняя часть трещинъ осталась бы незаполненной; на самомъ же дѣлѣ многія жилы, извѣстныя по большой глубинѣ на которой онѣ разрабатываются, и на глубинѣ столь же богаты, какъ и близъ земной поверхности.

Теорія заполненія трещинъ сверху, высказанная еще Вернеромъ и нептунистами XVIII в., и теперь еще имѣетъ нѣсколькихъ послѣдователей. Большинство же геологовъ въ настоящее время стоятъ на точкѣ зрѣнія теоріи per ascensum высказанной Эли-де-Бомономъ (1). Согласно этому воззрѣнію минеральныя вещества, наполняющія жилы, имѣютъ глубинное происхожденіе и, слѣдовательно, образованіе рудныхъ жилъ входитъ въ категорію вулканическихъ явленій.

Способъ заполненія трещинъ снизу объясняли то инъекціей, т. е. проникновеніемъ минеральныхъ веществъ въ состояніи огневого плавленія, то возгонкой минеральныхъ веществъ, которыя должны были подняться въ трещины въ видѣ газовъ или паровъ; то перенесеніемъ ихъ водой, предполагая въ такомъ случаѣ, что элементы глубиннаго происхожденія находились растворенными въ водѣ болѣе или менѣе высокой температуры.

Но гипотеза *инъекціи* минеральныхъ веществъ, прекрасно объясняющая заполненіе вулканическихъ дейкъ, не можетъ выяснить способъ заполненія рудныхъ жилъ, такъ какъ въ нихъ нѣтъ ни малѣйшаго слѣда расплавленныхъ веществъ.

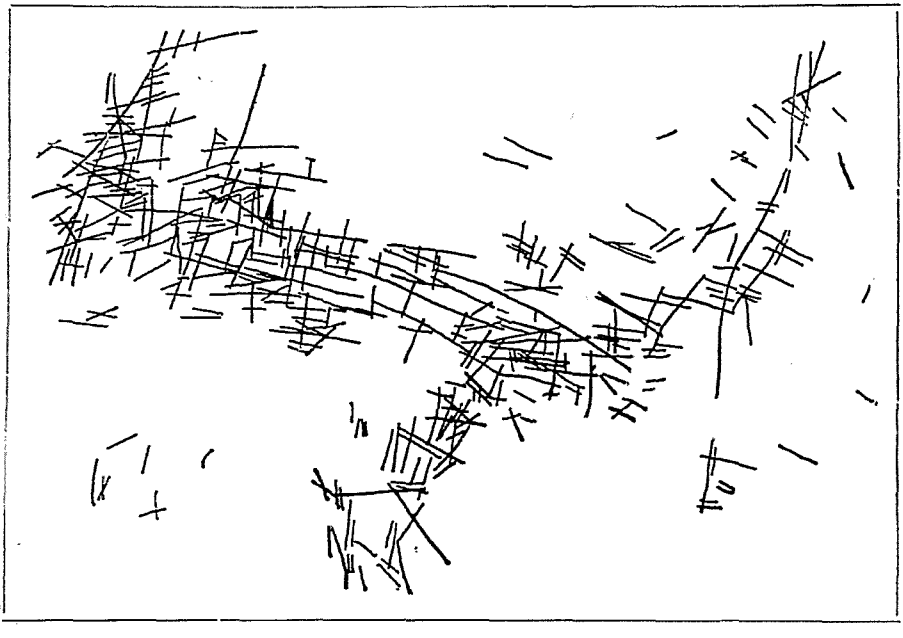


Фиг. 122. — Конкреціонная жила, рудникъ Курпринцъ близъ Фрейберга. Саксонія (по Вейссенбаху).

Несомнѣнно, что нѣкоторыя рудныя жилы обязаны своимъ происхожденіемъ *возгонкѣ* минеральнаго вещества въ трещины породы. Выше мы уже говорили, что въ самыхъ горячихъ фумаролахъ металлическія окиси могли образоваться вслѣдствіе реакціи водянаго пара на газообразныя хлористыя соединенія. Добре удалось даже получить маленькіе кристаллы касситерита, подвергая пары хлористаго олова дѣйствію перегрѣтаго водянаго пара. Образованіе залежей олова, въ которыхъ касситеритъ почти всегда встрѣчается вмѣстѣ съ фтористой слюдой, можетъ быть объяснено дѣйствіемъ водянаго пара на пары фтористаго олова, имѣющіе глубинное происхожденіе. Весьма вѣроятно, что и ортоклазъ пегматитовъ, содержащихъ касситериты, тоже является продуктомъ возгонки, такъ какъ онъ иногда образуется въ доменныхъ печахъ при такихъ же условіяхъ. Что же касается кварца, то Лякруа констатировалъ, что онъ образуется въ присутствіи перегрѣтаго водянаго пара въ андезитовыхъ лавахъ послѣдняго изверженія горы Пеле. Турмалинъ, топазъ, изумрудъ, апатитъ можно также считать продуктами реакціи паровъ, такъ какъ вполнѣ очевидно значеніе минера-

лизаторовъ при ихъ образованіи. Рудныя жилы и эруптивныя породы, въ образованіи которыхъ принимаютъ участіе пары высокой температуры, называются *пневматолитическими образованіями.*

Но все-таки большинство рудныхъ жилъ образовалось воднымъ путемъ при условіяхъ напоминающихъ процессы отложенія осадковъ горячими источниками; эти жилы называются *гидротермическими.* Многія изъ нихъ имѣютъ конкреціонный характеръ, т. е. состоятъ изъ смѣняющихся слоевъ различнаго минеральнаго состава, параллельныхъ бокамъ жилы и



Фиг. 123.—Общій планъ Фрейбергскихъ жилъ (Саксонія). Масш. 1: 1/15000 (фиг. заимствована изъ L. De Launay, *la Science géologique*).

повторяющихся съ обѣихъ ея сторонъ. Это такъ называемыя *конкреціонныя жилы* (фиг. 122). Спутниками рудъ являются въ нихъ обыкновенно кальцитъ, баритъ, флюоритъ, т. е. минералы легко выкристаллизовывающіеся изъ водныхъ растворовъ. Кварцъ, встрѣчающійся вмѣстѣ съ ними, бываетъ часто богатъ жидкими включеніями, которыя испаряются даже при 27°. Всѣ эти факты исключаютъ участіе высокихъ температуръ и позволяютъ сблизить гидротермическія жилы съ минеральными источниками, съ которыми онѣ часто встрѣчаются совмѣстно. Такъ, напр., теплые источники Ламалю въ департаментѣ Эрдъ, Эмскіе источники въ

Нассау, источники Гаммамъ Рира въ Алжирѣ и многіе другіе вытекаютъ изъ жилъ сѣрнистаго свинца или мѣди. Мы здѣсь не имѣемъ возможности говорить, хотя бы и въ общихъ чертахъ, о чрезвычайно разнообразныхъ типахъ минераловъ, заполняющихъ жилы. Эти данныя можно почерпнуть лишь въ спеціальныхъ курсахъ (9—13), гдѣ говорится также о постепенномъ заполненіи отдѣльныхъ жилъ, о послѣдовательномъ появленіи рудныхъ минераловъ въ какой-либо опредѣленной области, о томъ какъ оканчиваются жилы, какъ измѣняется ихъ мощность, какъ онѣ пересѣкаются (фиг. 123) и т. п.

Подобно струямъ углеродистыхъ водородовъ и теплымъ источникамъ, минеральныя выдѣленія могутъ проникать въ пористые слои, встрѣчающіеся на ихъ пути и заполнять ихъ пустоты. Такимъ путемъ получаются *вкрапленныя рудныя залежи.* Многіе песчаники содержатъ вслѣдствіе этого мѣдныя руды, другіе, болѣе рѣдкіе, проникнуты киноварью. Но самымъ замѣчательнымъ примѣромъ такого вида залежей являются золотоносные конгломераты Унтвотерсранда въ Трансваалѣ, гдѣ пустоты, безусловно осадочнаго конгломерата, заполнены золотоноснымъ пиритомъ, который обыкновенно считаютъ за породу глубиннаго происхожденія.

1.—Élie de Beaumont. Note sur les émanations volcaniques et métallifères *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 2e sér., IV, стр. 1249—1333, 1847.

2.—Ch. Sainte-Glaire Deville. Sur la nature et la distribution des fumerolles dans l'éruption du Vésuve du 1er mai 1855. *Ibid.*, 2e sér., XIII стр. 606 642, 1856.

3.—Id. Mémoire sur les émanations volcaniques. *Ibid.*, 2e sér., XIV стр. 254—279, 1857.

4.—F. Fouqué. Recherches sur les phénomènes chimiques qui se produisent dans les volcans. 1 vol. in-4°, 82 стр. Thèses Fac. Sc. de Paris. Paris, 1866.

5.—A. de Lapparent. Note sur le rôle des agents minéralisateurs dans la formation des roches éruptives. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3e sér., XVII, стр. 282—290, 1889.

6.—Paul Sabatier. La Genèse des Pétroles. *La Revue du Mois*, II, стр. 257—268, Paris, 1906.

7.—E. Suess. Ueber heisse Quellen. *Verh. d. Gesellsch. deutscher Naturf. u. Aertzte.* Vers. zu Karlsbad, стр. 133—151, 1902.

8.—L. De Launay. Recherche, captage et aménagement des eaux thermo-minérales. Origine des eaux thermo-minérales. Géologie. Propriétés physiques et chimiques. 1 vol. in-8°, 635, стр. 160 фиг. Paris, 1899.

9.—A. von Groddeck. Die Lehre von den Lagerstätten der Erze. 1 vol. in-8°, 351 стр., 119 фиг. Leipzig, 1879.

10.—Ed. Fuchs et L. De Launay. Traité des gites minéraux et métallifères. 2 vol. in-8, CXI+823+1004 стр., 389 фиг., 2 таб. Paris, 1893.

11.—Richard Beck. Traite des gisements métallifères. Trad. par O, Chemin. 1 vol. in-8°, 808 стр., 257 фиг. Paris, 1904.

12.—L. De Launay. Formation des gîtes métallifères ou métallogénie. *Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*, 2e édit. in-16, 190 стр. Paris, 1905.

13.—A. W. Stelzner u. A. Bergeat. Die Erzlagerstätten. In-8°, 1330 стр. 5 таб., 254 фиг. Leipzig, 1901—1906.

14.—F. Sandberger. Zur Theorie der Bildung der Erzgänge. *Berg. u. Hüttenm. Zeitg.*, XXXVI, стр. 377—381, 389—392, 1877.

15.—S. F. Emmons. Theories of ore deposition historically considered. *Bull. Geol. Soc. of Amer.*, XV, стр. 1—28, 1904.

См. также 0,1, 2; 0,22, 23; XV, 1; XVII, 11, 12.

К. П. Богдановичъ. Рудныя мѣсторожденія. Томъ I, 475 стр., съ 250 рисунками и картами. С.-Петербургъ 1912. На 1—4 стр. этого сочиненія приводится списокъ русской и иностранной литературы по руднымъ мѣсторожденіямъ.

ГЛАВА XX.

Структура и составъ породъ глубиннаго происхожденія.

Общія замѣчанія. — Элементы породъ глубиннаго происхожденія. — Структура породъ глубиннаго происхожденія. — Классификація изверженныхъ породъ.—Химическій составъ породъ. — Петрографическія провинціи.—Дифференціація магмъ.

Общія замѣчанія. — Экзогеннымъ или осадочнымъ породамъ часто противополагаютъ *эндогенныя породы* или *породы глубиннаго происхожденія*. Въ эту вторую категорію входятъ какъ изверженныя породы, такъ и плутоническія, не достигавшія земной поверхности. Названіе *огневыхъ породъ*, даваемое иногда вулканическимъ породамъ, является неудачнымъ, такъ какъ оно можетъ дать предвзятое представленіе объ условіяхъ ихъ образованія. Лучше поэтому употреблять терминъ изверженныя породы, который противополагаетъ эти продукты дѣятельности земного шара *метаморфическимъ* породамъ, также эндогеннымъ, но образовавшимся на счетъ осадочныхъ породъ. Породы глубиннаго происхожденія принято раздѣлять на три категоріи, сообразно той глубинѣ, гдѣ произошло ихъ затвердѣваніе.

1) *Поверхностныя породы* (*Oberflächengesteine*), т.-е. изверженныя или вулканическія породы (*Ergussgesteine*).

2) *Полуглубинныя или гипабиссальныя породы*, къ которымъ относятся интрузивныя породы.

3) *Глубинныя породы (Tiefengesteine)*, т.-е. породы гранитовидныя, образованіе которыхъ, мы приписали метаморфизму.

Очень трудно провести строгую грань между этими тремя категоріями, такъ какъ особенности структуры, преобладающія въ одной группѣ, хотя и рѣже, но все-таки встрѣчаются въ двухъ другихъ. Но совершенно было бы невозможно положить въ основу правильной классификаціи глубину ихъ залеганія,

такъ какъ вообще строеніе и составъ породъ не даютъ намъ никакихъ указаній относительно глубины ея затвердѣванія, кромѣ отдѣльныхъ исключительныхъ случаевъ. Впрочемъ, на практикѣ и не является необходимымъ знать условія залеганія породы, чтобы дать то или иное названіе.

По этой же причинѣ невозможно сохранить особую группу *жильныхъ породъ*, которую установилъ Розенбушъ (4) въ своей классификаціи, помѣстивъ ее между изверженными и глубинными породами, тѣмъ болѣе, что всѣ основные виды структуры могутъ встрѣчатся въ жилахъ или дейкахъ изверженныхъ породъ.

Чисто генетическая классификація имѣла бы свое оправданіе, если бы петрографія не имѣла теперь въ своемъ распоряженіи способовъ очень точнаго изслѣдованія породъ, благодаря которымъ она можетъ опредѣлить любой образецъ неизмѣненной породы, основываясь на входящихъ въ ея составъ минералахъ и на ихъ расположеніи. Главное значеніе въ такомъ опредѣленіи имѣетъ изслѣдованіе подъ поляризаціоннымъ микроскопомъ шлифовъ породы.

Съ помощью этого прибора можно распознать минералы образующіе породу, не только по формѣ ихъ разрѣзовъ, но и по ихъ оптическимъ свойствамъ.

Элементы породъ глубиннаго происхожденія. Въ составъ эндогенныхъ породъ входитъ сравнительно небольшое количество минераловъ. Если не считать кремнезема, нѣкоторыхъ металлическихъ окисей и апатита, состоящаго изъ фосфорно-кислой извести, то мы тутъ имѣемъ дѣло лишь съ силикатами, щелочными, щелочно-земельными или съ силикатами желѣзистыми и алюминіевыми. Вслѣдствіе этого эндогенныя породы иногда даже называются *силикатовыми*.

Свободный кремнеземъ встрѣчается въ видѣ *кварца*, *тридимита*, *халцедона*, *опала*.

Главнѣйшими металлическими окисями являются *магнетитъ* или магнитный желѣзнякъ (Fe^3O^4), *желѣзный блескъ* (Fe^2O^3), *корундъ* (Al^2O^3) и *рутилъ* (TiO^2).

Силикаты бываютъ или простые, какъ *перидотъ* или *оливинъ* ($MgFe^2SiO^4$), *цирконъ* ($Zr\ SiO^4$), *андалузитъ* (Al^2SiO^5) или двойные, какъ *полевые шпаты*, *фельдшпатиды*, *пироксены*, *амфиболы*, *слюды* и т. д.

Полевые шпаты представляютъ собой двойные силикаты алюминія и какого-либо другого основанія, которымъ можетъ быть или

кали, или натръ, или известь. Калійный полевой шпатъ кристаллизуется или въ моноклинической системѣ (*ортоклазъ*), или въ триклинической (*микроклинъ*); известково-натровые полевые шпаты, называемые также *плагіоклазами*, всегда кристаллизуются въ триклинической системѣ и представляютъ изоморфныя смѣси натроваго полевого шпата (*альбита*) съ известковымъ полевымъ шпатомъ (*анортитомъ*); они представляютъ послѣдовательный рядъ промежуточныхъ ступеней между этими крайними членами (*олигоклазъ*, *андезинъ*, *лабрадоръ*, *битовнитъ*).

Подъ именемъ фельдшпатидовъ соединяютъ группу минераловъ, которые по своему составу приближаются къ полевымъ шпатамъ, но имѣютъ другія кристаллическія формы. Такъ *лейцитъ* кристаллизуется въ икозитетраэдрахъ, *нефелинъ* или *элеолитъ* въ гексагональныхъ призмахъ, *содалитъ*, *гаюинъ*, *нозеанъ* въ ромбическихъ додекаэдрахъ.

Полевые шпаты и фельдшпатиды обыкновенно называются *свѣтлыми элементами*, а породы, въ которыхъ они преобладаютъ *лейкократовыми*.

Пироксены и *амфиболы* являются двойными болѣе или менѣе сложными силикатами ($MSiO^3$), въ которыхъ калій, натрій, кальцій, магній, желѣзо и алюминій встрѣчаются въ самыхъ разнообразныхъ количественныхъ соотношеніяхъ. Обѣ группы отличаются другъ отъ друга углами ихъ спайности, при чемъ въ обѣихъ группахъ встрѣчаются ромбическія, моноклиническія и триклиническія формы. Въ изверженныхъ породахъ встрѣчаются преимущественно ромбическіе пироксены (*энстатитъ*, *бронзитъ*, *гиперстенъ*), затѣмъ агвитъ, моноклиническій пироксенъ очень богатый глиноземомъ и моноклинической амфиболъ, а также очень богатая глиноземомъ—*роговая обманка*.

Слюды являются очень сложными водными силикатами, расщепляющимися на параллельныя пластинки. *Бѣлая слюда* или *мусковитъ* представляетъ собой каліевую слюду, а *черная слюда* или *біотитъ* богата магнезіей и окисью желѣза.

Агвитъ, роговая обманка, біотитъ обыкновенно называются *темными или магнезіально-желѣзистыми элементами*, а породы, въ которыхъ они преобладаютъ *меланократовыми*.

Если темные и свѣтлые минералы входятъ въ составъ породы въ приблизительно равныхъ количествахъ, то порода называется *мезократовою*.

Изъ силикатовъ, часто встрѣчающихся въ изверженныхъ породахъ, слѣдуетъ упомянуть еще о *сфенѣ*—титано-силикатѣ извести, о *турмалинѣ*—очень сложномъ боросиликатѣ, о *гранатахъ* и др.

Что же касается *цеолитовъ*, *эпидота*, *хлорита*, *серпентина*, то они являются продуктами разложенія и встрѣчаются преимущественно въ измѣненныхъ породахъ.

Нѣкоторые изъ этихъ минераловъ называются *существенными* или породообразующими, такъ какъ ими характеризуется порода и по нимъ отличаютъ ее отъ другихъ близкихъ породъ; другіе же минералы называются *второстепенными* или *случайными*, такъ какъ въ небольшомъ количествѣ они встрѣчаются въ самыхъ различныхъ

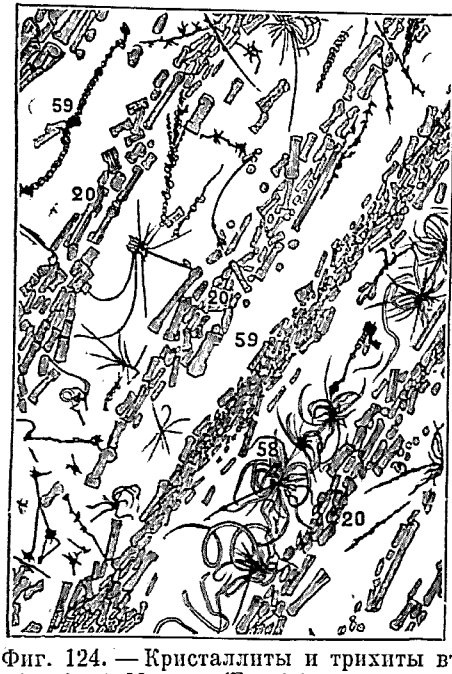
КЛАССИФИКАЦІЯ ЭРУПТИВНЫХЪ ПОРОДЪ,

предложенная французскимъ петрографическимъ комитетомъ международнаго геологическаго конгресса.

	I. Полевошпатовыя породы.				II. Породы безполевошпатовыя но съ фельдшпатидами или натровымъ стекломъ.				III. Породы безъ бѣлыхъ элементовъ.
	1. Породы съ полевыми шпатами безъ фельдшпатидовъ.			2. Породы съ полевыми шпатами и типолевыми фельдшпатидами.					
	A. Породы со щелочными полевыми шпатами и кварцемъ	B. Породы со щелочными полевыми шпатами.	C. Породы съ известково-натровыми полевыми шпатами.	A. Породы со щелочными полевыми шпатами.	B. Породы съ известково-натровыми полевыми шпатами.	A. Съ нефелиномъ.	B. Съ лейцитомъ.	C. Съ мелилитомъ.	D. Съ натровымъ стекломъ.	
	Группа гранитовъ.	Группа сіенитовъ.	Группа габбро	Группа нефелиновыхъ сіенитовъ.	Группа фельдшпатидовыхъ габбро.					Группа перидотитовъ.
Зернистые типы.	*Граниты.*	*Сіениты.*	*Плагіоклазиты.* *Діориты.* *Габбро.* *Нориты.* *Троктолиты.*	*Сіениты нефелиновые.* *Сіениты лейцитовые.* *Сіениты содалитовые.*	*Нефелиновые габбро.*	*Ійолиты.*	*Миссуриты.*		*Авгититы.*	*Перидотиты.* *Пироксенолиты.* *Горнблендиты.*
Мелкозернистые типы.	*Микрограниты.*	*Микросіениты.*	*Микродіориты.* *Микрогаббро.* *Микронориты.*	*Микросіениты нефелиновые.* *Микросіениты лейцитовые.* *Микросіениты содалитовые.*	*Нефелиновые микрогаббро.*					
Типы офитовые.			*Долериты.*							
Типы микролитовые.	*Ріолиты.*	*Трахиты.*	*Дациты.* *Андезиты.* *Базальтиты.* *Базальты.*	*Фонолиты.* *Лейкофонолиты.*	*Тефриты.* *Лейкотефриты.*	*Нефелиниты.*	*Лейцититы.*	*Мелилиты.*	*Лимбуриты.*	*Пикриты.*

породахъ. Къ этой второй категоріи можно отнести апатитъ, цирконъ, сфенъ, магнетитъ, рутилъ и нѣкоторые другіе.

Минералы, образующіе эндогенныя породы, бываютъ представлены то въ видѣ *фенокристовъ* или *вкрапленниковъ*, видимыхъ невооруженнымъ глазомъ или при незначительномъ увеличеніи, то въ видѣ мелкихъ кристалликовъ, называемыхъ *микролитами*, то въ формѣ чрезвычайно малыхъ палочекъ и шариковъ, называемыхъ *кристаллитами* или *трихитами* (фиг. 124) и не поддающихся даже микроскопическому анализу.



Фиг. 124. — Кристаллиты и трихиты въ обсидіанѣ Милоса (Греція), при увеличеніи въ 500 разъ (по Фуке и Мишель Леви).

20, палочки пироксена; 58, трихиты; 59, стекловатая магма.

Если элементы какой-либо породы имѣютъ свойственную имъ кристаллическую форму, то они называются *аутоморфными* или *идіоморфными*. Если же они тѣсно соприкасаются одинъ съ другимъ и не могли развить свои нормальныя формы, то они называются *ксеноморфными* или *аллотріоморфными*.

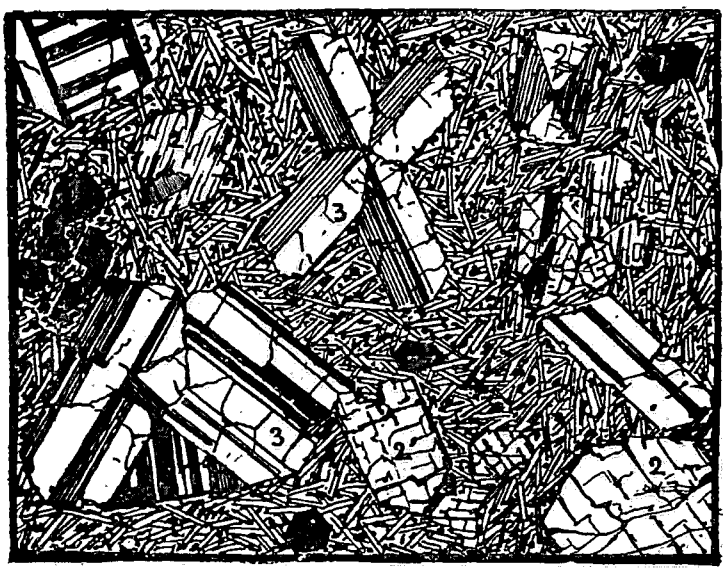
Сферолиты представляютъ собою округлыя скопленія, состоящія то изъ аморфныхъ коллоидальныхъ веществъ (*сферолиты съ чернымъ крестомъ*), то изъ кристаллическихъ элементовъ расходящихся изъ одного центра, или расположенныхъ въ одинаковомъ направленіи, (*сферолиты съ полымъ пояса-ніемъ*), то, наконецъ, изъ смѣси аморфныхъ и кристаллическихъ элементовъ.

Кромѣ кристаллическихъ элементовъ нѣкоторыя породы содержатъ бо́льшее или меньшее количество стекловатой аморфной массы, которая является ничѣмъ инымъ, какъ стекломъ, образовавшимся вслѣдствіе плавленія различныхъ силикатовъ, остаткомъ расплавленной магмы.

Породы, состоящія исключительно изъ кристаллическихъ элементовъ, называются *полнокристаллическими;* породы же, которыя, кромѣ кристаллическихъ элементовъ, состоятъ еще изъ аморфной массы, называются *неполнокристаллическими* или *гипокристаллическими;* наконецъ, *стекловатыя* породы состоятъ почти исключительно изъ аморфнаго стекла.

Структура породъ глубиннаго происхожденія. Структура или текстура горной породы опредѣляется расположеніемъ образующихъ ее минераловъ. Труды по этому вопросу, вышедшіе въ послѣдніе 30 лѣтъ, дали возможность петрографамъ намѣтить рядъ *типовъ структуръ* (1,2), къ общему обзору которыхъ мы сейчасъ и приступимъ.

Стекловая структура отличается присутствіемъ совершенно аморфной массы. Впрочемъ, иногда въ этой массѣ встрѣчаются и захваченные ею кристаллы, но большею частью они



Фиг. 125.—Лабрадоровый андезитъ (порфиритъ) съ пироксеномъ, Бельфай (Вогезы), въ поляризованномъ свѣтѣ (рисунокъ Шарля Веляна. Увелич. 80 діам.. Типъ породы съ двумя очередями кристаллизаціи.
I.—1, магнетитъ: 2. авгитъ; 3, лабрадоръ.
II.—4, микролиты олигоклаза и магнетита.

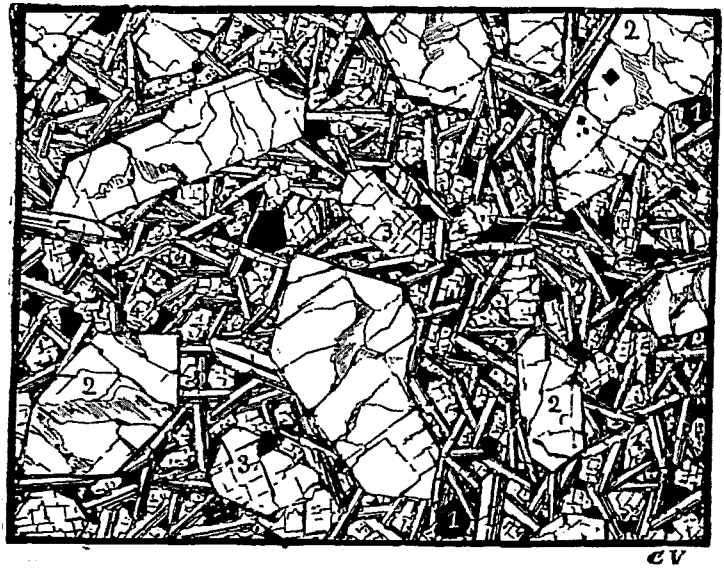
имѣютъ видъ обломковъ небольшихъ размѣровъ. Стекло имѣетъ то *флюидальную* текстуру, при которой всѣ элементы ориентированы въ направленіи теченія, то *перлитовую*, обязанную своимъ происхожденіемъ маленькимъ болѣе или менѣе концентрическимъ трещинамъ, то *кристаллитовую*.

Стекловатая структура встрѣчается только у породъ, излившихся на земную поверхность, и обыкновенно лишь въ верхнихъ частяхъ потоковъ.

Микролитовая структура характеризуется присутствіемъ двухъ видовъ кристалловъ, принадлежащихъ двумъ послѣдовательнымъ моментамъ кристаллизаціи (фиг. 125—126). Кристаллы первой очереди бываютъ „крупными“ и называются иногда интателлури-

ческими, такъ какъ обыкновенно предполагается, что они образовались на глубинѣ въ еще расплавленной магмѣ, которая, поднимаясь къ поверхности, увлекла ихъ съ собой [1]). Кристаллы второй очереди представляютъ собою микролиты, образовавшіеся во время охлажденія породы. Обыкновенно они болѣе или менѣе безформенны, часто уплощены или удлиннены.

Среди этихъ элементовъ преобладаютъ полевые шпаты, фельдшпатиды, роговая обманка, авгитъ, и магнетитъ. Перерывъ между двумя очередями кристаллизаціи всегда очень отчетливо выраженъ. Микролитовыя породы часто кромѣ того содержатъ стекловатый остатокъ.



Фиг. 126.—Базальтъ Мюра (Канталь), въ поляризованномъ свѣтѣ (рисунокъ Шарля Велянъ). Увелич. 60 діам.

I.—1, магнетитъ; 2, оливинъ; 3, авгитъ.
II.—4, зерновидные микролиты авгита и магнетита; 5, микролиты лабрадора.

Микролитовая структура встрѣчается какъ въ излившихся породахъ, такъ и въ интрузивныхъ. Она очень распространена также въ *дейкахъ* и типична для лакколитовъ.

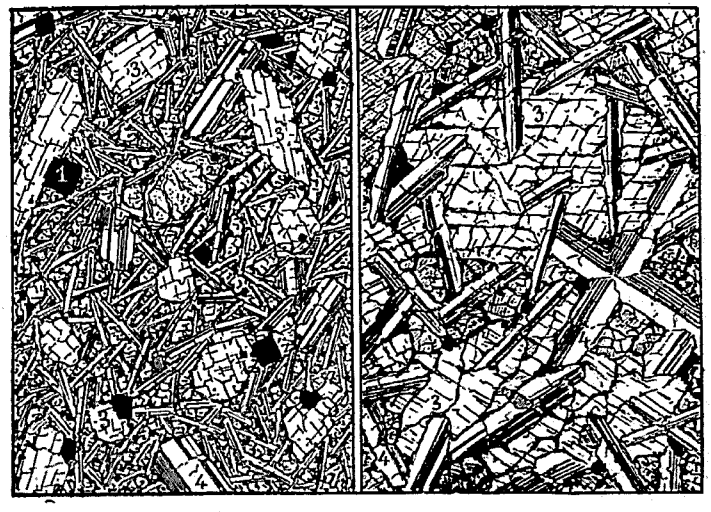
Офитовая структура является особеннымъ видомъ полнокристаллической структуры, и характеризуется присутствіемъ плагіоклазовъ въ формѣ уплощенныхъ или удлиненныхъ кристалловъ, которые окружаютъ большіе кристаллы пироксена и амфибола. Эта структура часто встрѣчается у интузивныхъ породъ, но извѣстна также и въ дейкахъ породъ вулканическихъ. (Фиг. 127, b.).

Мелкозернистая структура представляетъ видъ полнокристаллической сруктуры, съ двумя очередями кристаллизаціи, изъ

[1]) Кристаллы этого типа были названы выше фенокристами или вкрапленниками. *Прим. ред.*

которыхъ послѣдняя дала зернистую структуру. Эта структура преимущественно встрѣчается въ жильныхъ породахъ, а иногда по краямъ нѣкоторыхъ глубинныхъ породъ зернистой структуры (краевая фація).

Зернистая структура характеризуется лишь одною очередью кристаллизаціи, во время которой образовались крупные кристаллы, при чемъ иногда въ порядкѣ ихъ выдѣленія можно замѣтить извѣстную послѣдовательность, но безъ перерыва въ процессѣ кристаллизаціи, иногда же они кристаллизовались одновременно. Въ послѣднемъ случаѣ появляется *пегматитовая текстура*, присущая, главнымъ



Фиг. 127. Лабрадоритъ Эссей-ля-Котъ (Мёртъ-и-Мозелль), въ поляризованномъ свѣтѣ (неизданный рисунокъ Шарля Велянъ).

a, нормальный типъ; *b*, офитовая текстура въ контактной зонѣ жилы; 1, магнетитъ; 2, оливинъ; 3, авгитъ; 4, лабрадоръ. Въ *a* большіе кристаллы включены въ микролитовую ассоціацію лабрадора, авгита и магнетита.

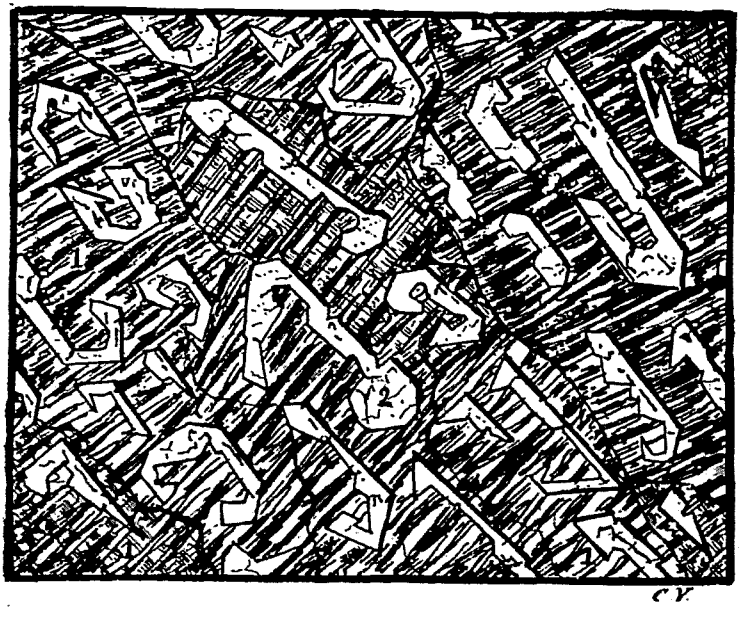
образомъ, письменнымъ пегматитамъ (фиг. 128); въ нихъ кварцъ кристаллизовался одновременно съ полевымъ шпатомъ, который онъ облекаетъ, и всѣ эти кристаллы имѣютъ одинаковое оптическое направленіе и напоминаютъ клинообразныя письмена.

Зернистая структура встрѣчается и въ глубинныхъ и въ интрузивныхъ или жильныхъ породахъ, а иногда наблюдается и въ среднихъ частяхъ нѣкоторыхъ потоковъ.

Классификація изверженныхъ породъ. — Съ тѣхъ поръ какъ употребленіе поляризаціоннаго микроскопа открыло новые пути въ дѣлѣ изученія породъ, петрографы все время стремятся дать классификацію породъ, основанную на ихъ структурѣ и минеральномъ составѣ, но большинство изъ нихъ на ряду съ этими двумя принципами пытаются внести

еще какое нибудь основаніе, какъ напр., условія мѣстонахожденія породъ, ихъ возрастъ, ихъ химическій составъ.

Такимъ образомъ составилъ свою классификацію Розенбушъ (4); всѣ изверженныя породы онъ раздѣлилъ на *излившіяся*, *жильныя* и *глубинныя*, при чемъ каждый изъ этихъ классовъ заключаетъ въ себѣ семейства породъ, объединенныхъ ихъ минералогическимъ составомъ и структурой. Выше мы уже говорили о неудобствахъ подобной классификаціи.



Фиг. 128.—Пегматитъ, Сенъ-Наборъ (Эльзасъ), въ поляризованномъ свѣтѣ (рисунокъ Шарля Велянъ). Увелич. 30 діам.
1, микроклинъ; 2, пегматоидный кварцъ.

Въ теченіе долгаго времени многіе петрографы, хотя и признавали, что составъ и структура породъ имѣютъ главное значеніе въ дѣлѣ классификаціи, но все же считали возможнымъ раздѣлить всѣ горныя породы на двѣ группы: на дотретичныя или древнія породы и на третичныя и послѣтретичныя или новыя; по крайней мѣрѣ въ микролитовыхъ породахъ они различали *палеовулканическую* и *неовулканическую* серію. Въ настоящее время, главнымъ образомъ подъ вліяніемъ англійскихъ ученыхъ, петрографы не считаютъ болѣе возможнымъ раздѣлять породы на древнія и новыя, несмотря на одинаковый составъ, одинаковую структуру, и часто даже одинаковый способъ залеганія нѣкоторыхъ изъ нихъ. Такъ, теперь уже не отдѣляютъ базаль-

товъ отъ ихъ древнихъ эквивалентовъ мелафировъ; ортофиры объединили съ трахитомъ, порфириты съ андезитами, фельзитовые порфиры съ ріолитами и т. д.

Точно также почти оставлена и прежняя классификація, раздѣлявшая горныя породы на *кислыя* и *основныя* или же *кислыя*, *среднія* и *основныя*, такъ какъ очень неудобно класть въ основу классификаціи такой признакъ, который можетъ быть провѣренъ только химическимъ анализомъ. Однако, еще недавно нѣкоторые американскіе петрографы выработали новую классификацію „огневыхъ“ породъ, исключительно на химическомъ составѣ. Несравненно лучшей классификаціей изверженныхъ породъ будетъ та классификація, которая основывается одновременно на ихъ минералогическомъ составѣ и на структурѣ, такъ какъ при этомъ возможно быстрое опредѣленіе породы оптическимъ путемъ, независимо отъ ея мѣстонахожденія и химическаго состава. Мы приводимъ на стр. 322—324 классификацію, очень близкую къ выработанной въ 1900 г. Французскимъ Комитетомъ Петрографіи подъ предсѣдательствомъ Мишель-Леви (5). Породы, распредѣлены на этой таблицѣ по признакамъ двоякаго рода: вертикальные столбцы указываютъ различія породъ по минералогическому составу, а въ горизонтальныхъ полосахъ онѣ подраздѣлены по структурамъ.

Геологи нѣмецкой школы обыкновенно строятъ свою классификацію на крупныхъ кристаллахъ, а французскіе ученые группируютъ микролитовыя породы исключительно по микролитамъ, такъ какъ большіе кристаллы могли быть захвачены магмой другого состава чѣмъ та, въ какой они образовались.

Присутствіе или отсутствіе свободнаго кремнезема является теперь лишь второстепеннымъ признакомъ при раздѣленіи породъ на группы. Наоборотъ, свѣтлые минералы имѣютъ первостепенное значеніе въ классификаціи, такъ какъ обусловливаютъ раздѣленіе породъ, во-первыхъ на *породы полевошпатовыя*, во-вторыхъ на *породы* безъ полевого шпата, но *съ фельдшпатидами* и въ третьихъ, на *породы не имѣющія свѣтлыхъ элементовъ*. Въ первую группу входятъ *породы какъ заключающія, такъ и не заключающія въ себѣ фельдшпатиды на ряду съ полевыми шпатами*. Характеръ полевыхъ шпатовъ играетъ также извѣстную роль при раздѣленіи породъ на семейства, однѣ изъ которыхъ имѣютъ щелочной полевой шпатъ, а другія известковонатровый.

Такимъ образомъ горныя породы, помѣщенныя на нашей

таблицѣ въ одномъ вертикальномъ столбцѣ, относятся къ одному *естественному семейству*, характеризующемуся однороднымъ химическимъ составомъ несмотря на различное кристаллическое строеніе, то зернистое или гранитовое, то мелкозернистое или микрогранитовое, то микролитовое.

Если бы, вмѣсто того, чтобы обосновывать эти семейства исключительно на присутствіи или отсутствіи тѣхъ или иныхъ свѣтлыхъ элементовъ, мы ввели бы кромѣ того количественныя различія, то можно было бы выдѣлить еще особое семейство, состоящее изъ породъ зернистыхъ, микрогранитовыхъ и микролитовыхъ, отличающихся особеннымъ изобиліемъ желѣзисто-магнезіальныхъ элементовъ (особенно біотита и роговой обманки) сопровождающихъ полевые шпаты или фельдшпатиды. Такія породы называются *лампрофирами*. Фуке смотритъ на нихъ только какъ на особую фацію сіенитовъ, діоритовъ, трахитовъ, андезитовъ и базальтовъ, а Мишель-Леви относитъ къ этому семейству только тѣ изъ только что перечисленныхъ породъ, которыя совмѣщаютъ большое количество желѣзисто-мегнезіальныхъ элементовъ, или со щелочными полевыми шпатами (*минетты* и *микроминетты*) или съ известково-натровыми кислыми полевыми шпатами (*керсантиты* и *микрокерсантиты*).

Названія породъ имѣютъ часто очень древнее происхожденіе, во всякомъ случаѣ полученное ими еще то употребленія поляризаціоннаго микроскопа. Поэтому нѣтъ ничего удивительнаго, что эти названія принимаются разными современными петрографами не въ одинаковомъ смыслѣ. Въ настоящее время предпочтеніе отдается географическимъ наименованіямъ, но составныя наименованія болѣе содержательны и легче запоминаются.

Химическій составъ породъ. — Уже съ давнихъ поръ петрографы придаютъ громадное значеніе при изслѣдованіи изверженныхъ породъ *химическому анализу en bloc* или *валовому анализу*, посредствомъ котораго можно сразу выяснить преобладаніе въ породѣ извѣстныхъ элементовъ. Такъ, большое количество кремнезема указываетъ на присутствіе кварца или, по крайней мѣрѣ, свободнаго кремнезема; напротивъ, значительное содержаніе окисей желѣза и магнія позволяетъ предположить присутствіе желѣзисто-магнезіальныхъ минераловъ. Преобладаніе кали, натра или извести опредѣляетъ тотъ или иной видъ полевого шпата въ породѣ. Большую трудность въ этомъ методѣ представляетъ рѣшеніе вопроса,

какимъ минераламъ принадлежитъ то или иное основаніе, а кромѣ того и то обстоятельство, что нѣкоторые окислы, и особенно окись алюминія, являются то основаніями, то кислотами.

Содержаніе кремнезема бываетъ не менѣе 34% и не болѣе 80%, но чаще всего колеблется между 45% и 76%. Если содержаніе его выше 65%, то порода называется *кислой*; при содержаніи его отъ 65 и до 52%, порода называется *средней*; если содержаніе кремнезема не достигаетъ 52%, то порода называется *основной*. Большое количество кремнезема несовмѣстимо съ обиліемъ въ той же породѣ желѣзисто-магнезіальныхъ элементовъ, но почти всегда совпадаетъ съ значительнымъ содержаніемъ кали и натра. Богатство породы желѣзисто-магнезіальными элементами ведетъ къ уменьшенію алюминія. По мѣрѣ того, какъ количество извести увеличивается сравнительно со щелочами, содержаніе кремнезема сокращается.

Розенбушъ, одинъ изъ первыхъ отмѣтившій такія соотношенія, но сдѣлавшій изъ нихъ трудно допустимые выводы, далъ на основаніи валового химическаго анализа классификацію магмы, намѣтивъ шесть видовъ магмы различнаго состава (3).

1. *Фойаититовая* магма, совершенно лишенная кальція.
2. *Гранитная* магма, въ которой количество атомовъ щелочныхъ металловъ больше чѣмъ въ четыре раза превосходитъ количество атомовъ кальція.
3. *Гранито-діоритовая* магма, гдѣ соотношеніе атомовъ обратное гранитной магмѣ.
4. *Габбровая* магма, въ которой количество атомовъ кальція превосходитъ общее количество атомовъ щелочныхъ металловъ.
5. *Перидотитовая* магма, въ которой общее количество желѣза и магнія превышаетъ количество кальція и щелочныхъ металловъ.
6. *Тералитовая* магма, представляетъ собой смѣсь габбровой магмы съ фойаититовой.

Эта классификація была измѣнена многими учеными въ смыслѣ количества и характеристики видовъ магмы. Исходя изъ тѣхъ же принциповъ, что и Розенбушъ, нѣсколько американскихъ петрографовъ совмѣстно выработали количественную классификацію горныхъ породъ съ очень сложной новой номенклатурой (12), которую мы не можемъ здѣсь привести. Часто допускаемые варваризмы въ составленіи названій, исключительная трудность запоминанія, а также и произволъ въ вычисленіи *нормальныхъ* минеральныхъ элементовъ несомнѣнно помѣшаютъ этой классификаціи сдѣлаться общеупотребительной.

Количественное соотношеніе окисей, которыя обнаруживаются въ горной породѣ при валовомъ анализѣ, было наглядно изображено многими учеными на различныхъ діаграммахъ и графикахъ. Но самымъ простымъ способомъ изображенія являются магматическіе параметры, придуманные Мишель-Леви.

Сейчасъ мы перечислимъ эти параметры.

Параметръ Ф представляетъ процентное соотношеніе кремнезема, свѣтлыхъ элементовъ къ суммѣ $2k+3n$ [1]) молекулярныхъ вѣсовъ щелочей [2]). Онъ какъ бы выражаетъ степень *скрытой кислотности* породы. Легко вычислить, зная формулу химическаго состава ортоклаза, что для этого полевого шпата параметръ Ф=1,93. Если Ф меньше этой критической величины, то образуются уже фельдшпатиды, если же Ф больше 1,93, то получается послѣдовательный рядъ магмъ, которыя обнаруживаются при изученіи породъ относящихся къ группамъ сіенитовъ потомъ гранитовъ и діоритовъ и, наконецъ, тоналитовъ и норитовъ.

Пользуясь этимъ методомъ Мишель-Леви раздѣлилъ всѣ щелочныя породы на 6 категорій, отличающихся постепеннымъ увеличеніемъ Ф:

1. Группа *элеолитовая* или *лейцитовая*. Ф = 1,9. (Напр., элеолитовые и лейцитовые сіениты, ійолиты, миссуриты, фонолиты, тефриты, лейцититы и т. д.).
2. Группа *щелочно сіенитовая*. Ф = 1,9 — 2,2 (Напр., нордмаркиты, пуласкиты, лаурвикиты, шонкиниты и др.).
3. Группа *сіенитовая*. Ф = 2,3 — 2,9. Напр., сіениты, монцониты, трахиты Монъ-Дора и Канталя и др.
4. Группа *щелочно-гранитовая*. Ф = 3,0 — 4,4. (Напр., щелочные граниты, габбро, излившіяся породы вулкановъ Пюи и Этны).
5. Группа *гранито-діоритовая*. Ф = 3,5 — 4,4. (Напр., граниты, діориты, габбро, нориты, вулканическія породы острововъ Санторина и Мартинники).
6. Группа *тоналитовая*. Ф = 4,5 — 6,6 и больше. (Напр., гранулиты, переходящіе въ кварцъ, кварцевые діориты, нориты).

---

[1]) k и n выражаютъ то найденное валовымъ анализомъ процентное содержаніе кали и натра, которое можетъ быть отнесено къ полевымъ шпатамъ. Процентное содержаніе кремнезема свѣтлыхъ элементовъ опредѣляется путемъ вычитанія изъ общаго количества кремнезема того его количества, которое необходимо для насыщенія желѣзисто-магнезіальныхъ элементовъ породы.

[2]) Дѣйствительно, т. к. молекулярные вѣса кали и натра равняются 94 и 62 или въ круглыхъ числахъ 90 и 60, то сумму $\frac{k}{90}+\frac{n}{60}$ мы можемъ представить въ другомъ видѣ (приведя его къ общему знаменателю) вынеся за скобку $\frac{1}{30}$ и сложивъ дроби, $\frac{1}{30}\left[\frac{2k+3n}{6}\right]$. Такъ какъ сумма $2k+3n$ является лишь знаменателемъ отношеній $\frac{s}{2k+3n}$, то нѣтъ надобности включать въ это отношеніе коэффиц. $\frac{1}{180}$.

Параметръ r., заимствованный у американскихъ петрографовъ, выражаетъ соотношеніе $\frac{k}{n}$ процентныхъ количествъ кали и натра, содержащихся въ породѣ.

Въ зависимости отъ увеличенія r, Мишель-Леви намѣчаетъ въ щелочныхъ породахъ слѣдующія группы: *пернатровыя* (r=0—0,19), *мегнатровыя* (r=0,20—0,35, напр., санторинъ), *мезонатровыя* (r=0,36—0,55, напр., породы Этны, Пюи), *мезокаліевыя* (r=0,56—0,89; напр., породы Монцони, Мадагаскара, средній вѣнецъ Монъ-Дора) *мегакаліевыя* (r=0,90—2,5; напр,. сѣверная часть Монъ-Дора), *перкаліевыя* ($r>2,5$, напр., породы Везувія).

Въ породахъ, богатыхъ желѣзисто-магнезіальными элементами, магматическіе параметры соотвѣтствуютъ отношеніямъ между процентными содержаніями магнезіи m, закиси желѣза f, извести, не входящей въ составъ полевошпатовыхъ минераловъ c^1 и извести желѣзисто-магнезіальныхъ элементовъ x. Такимъ образомъ $M=\frac{x}{m}$, $F=\frac{f}{x}$, $C'=\frac{c'}{x}$.

Параметръ C′ даетъ возможность раздѣлить породы, богатыя желѣзисто-магнезіальными элементами, на *микро-кальціевыя* (C′=0,00—0,05; напр., породы Санторина, Монъ-Дора), *мезокальціевыя* (C′=0,06—0,10; напр., породы Пюи, Этны), *мегакальціевыя* (C′=0,11 и выше этого, напр., породы Везувія, Монцони, Мадагаскара) и *эгириновыя*, содержащія натръ, не входящій въ составъ полевого шпата; (напр., эгириновыя породы Пантеллеріи). Эти группы породъ являются въ то же время соотвѣтственно, но въ обратномъ порядкѣ, мегаалюминіевыми, мезоалюминіевыми микроалюминіевыми и аналюминіевыми, такъ какъ именно породы, бѣдныя алюминіемъ, содержатъ всего болѣе извести, не входящей въ полевой шпатъ и *обратно*.

Параметръ Ψ выражаетъ отношеніе $\frac{M}{F}=\frac{f}{m}$. Когда параметръ Ψ меньше трехъ, мы имѣемъ *магнезіальную* магму (породы Монъ-Дора); когда онъ колеблется между тремя и четырьмя, магма является *желѣзисто-магнезіальной* (породы Этны, Канталя, Пюи); когда Ψ превосходитъ 4, то передъ нами *желѣзистая* магма и порода богата закисями желѣза, титана и т. п. (породы Санторина, Везувія и др.).

Наконецъ, параметръ $U=\frac{f}{c+c'}$, недавно введенный Мишель-Леви (15), является отношеніемъ окисловъ желѣза ко всему количеству извести.

Комбинированіе группировокъ, соотвѣтствующихъ различнымъ величинамъ магматическихъ параметровъ, даетъ возможность кратко опредѣлить химическій характеръ породы, безъ употребленія новыхъ, ничего не говорящихъ названій.

Такъ, напр., серія вулканическихъ породъ Пюи и Этны, заключающая въ себѣ андезиты, лабрадориты, базальты, можетъ быть опредѣлена какъ *щелочно-гранитовая*, *мезонатровая*, *мезоалюминіевая*, *желѣзисто-магнезіальная*. Ее сразу можно отличить отъ породъ Монъ-Доръ, которыя характеризуются какъ *сіенитовыя*, *мега* или *мезокаліевыя*, *мегаалюминіевыя*, *магнезіальныя*.

Параметры Ф и *r* относятся исключительно къ щелочнымъ магмамъ, которыя Мишель-Леви относитъ, какъ это мы сейчасъ увидимъ, къ продуктамъ, обусловленнымъ проникновеніемъ и распредѣленіемъ *фумароллъ*; а параметры *C'* и, *Ψ* имѣютъ значеніе по отношенію *къ желѣзисто-магнезіальнымъ шлакамъ* того же ученаго.

Петрографическія провинціи.—Изъ выше приведенныхъ примѣровъ, характеризующихъ каждую изъ химическихъ группъ Мишель-Леви, мы можемъ видѣть, что изверженныя породы опредѣленнаго района обладаютъ довольно однороднымъ химическимъ составомъ, обнаруживающимъ какъ бы принадлежность ихъ къ одному семейству. Можно, напр., констатировать, что породы Везувія особенно богаты каліемъ, что натръ характеренъ для изверженій Санторина, такъ же какъ и для древнихъ эруптивныхъ породъ Христіаніи, что послѣдовательныя лавы Монъ-Дора богаты магнезіей.

Эти аналогіи въ составѣ магмы наблюдаются какъ въ глубинныхъ, такъ и въ излившихся породахъ одной и той же области и повторяются въ послѣдовательно появлявшихся эруптивныхъ массахъ независимо отъ степени ихъ кислотности. Пораженный такимъ сходствомъ породъ, Иддингсъ имѣлъ основаніе говорить о „кровномъ родствѣ“ породъ одной и той же области (6).

Часто такое семейственное сходство породъ выражается присутствіемъ въ нихъ характерныхъ для данной мѣстности минераловъ; такъ, напр., неоднократно указывали на богатство лейцитомъ изверженныхъ породъ Везувія. Иддингсъ констатировалъ присутствіе блѣднозеленаго авгита въ обширныхъ областяхъ западной Америки, яркозеленаго авгита въ Скалистыхъ Горахъ и темнокраснаго авгита въ Европѣ. Зерна кварца первой очереди кристаллизаціи встрѣчаются какъ въ ріолитахъ, такъ и въ базальтахъ Новой Мексики.

Иногда химическое родство ограничивается породами только

одного вулкана или группы близко расположенныхъ вулкановъ, но иногда оно наблюдается на большихъ разстояніяхъ, такъ что мы можемъ говорить о настоящихъ *петрографическихъ провинціяхъ*.

Провинція Везувія является самой большой петрографической провинціей въ Европѣ, такъ какъ кромѣ Везувія въ нее входятъ и другіе вулканическіе центры Неаполитанской Кампаньи. Однородный химическій составъ изверженій обнаруживается здѣсь даже въ пеплахъ.

Лякруа, изучавшій на сѣверѣ Мадагаскара сіенитовыя породы, обнаружилъ ихъ родство между собой, выражающееся обиліемъ натра и наличностью баркевицита, представляющаго собой особый видъ амфибола. Кромѣ того такой же химическій составъ породъ констатировалъ Лякруа и въ породахъ Таити и во многихъ областяхъ Африки, такъ что Л. Жантиль счелъ возможнымъ разсматривать Африканскій континентъ какъ одну обширную петрографическую провинцію.

Дифференціація магмъ. Сосредоточеніе нѣкоторыхъ видовъ изверженныхъ породъ въ опредѣленныхъ областяхъ земной поверхности уже давно и особенно въ послѣдніе 15 лѣтъ побуждало петрографовъ искать рѣшеніе вопроса о причинахъ такой *дифференціаціи*.

Бунзенъ предполагалъ, что существуютъ два различные внутренніе очага лавы, одинъ кислый, другой основной и различныя смѣси ихъ продуктовъ образовали различные виды изверженныхъ породъ.

Розенбушъ, напротивъ, допускаетъ существованіе лишь одной *основной магмы*, которая *расщепляясь* могла дать въ глубинахъ земли нѣсколько магмъ различнаго состава, именно тѣхъ, которыя только что были охарактеризованы по ихъ химическимъ особенностямъ. Затѣмъ изъ этихъ магмъ глубинныхъ породъ путемъ новаго расщепленія возникаютъ магмы излившихся породъ, которыя являются наиболѣе дифференцированными и по своему химическому составу приближаются къ веществамъ со стехіометрическими соотношеніями составныхъ частей.

Бröггеръ въ своихъ прекрасныхъ изслѣдованіяхъ изверженныхъ породъ въ округѣ Христіаніи (7) точнѣе опредѣлилъ тѣ условія, при которыхъ по, его мнѣнію, совершалась дифференціація. Онъ предполагаетъ, что на глубинѣ существуетъ главный резервуаръ—„бассейнъ магмы“, въ которомъ, согласно тео-

ріи Сорэ, около краевъ, гдѣ происходитъ охлажденіе, концентрируются основные элементы. Изначальная магма поднимается по трещинамъ и проникаетъ въ боковомъ направленіи въ осадочныя породы, разъединяя ихъ слои и образуя лакколиты. Лакколиты бываютъ основными и кислыми, потому что основная магма ко времени ихъ образованія была уже дифференцирована, но все же они имѣютъ родственное сходство благодаря преобладанію въ каждомъ вулканическомъ центрѣ опредѣленнаго вида щелочи. Въ породахъ Христіаніи преобладающимъ видомъ щелочи является натръ, который, слѣдовательно, является и характернымъ элементомъ изначальной магмы.

Въ то же время эта глубинная магма образовала дейки гипабиссальныхъ породъ, которыя на поверхности могутъ переходить въ излившіяся породы. Эти дейки могутъ имѣть составъ тождественный съ составомъ изначальной магмы и отличаются отъ глубинныхъ породъ только структурой; эти дейки Бröггеръ называетъ *асхистовыми* [1]). Въ случаѣ же измѣненія изначальной магмы они имѣютъ отличный отъ нея составъ и называются *діасхистовыми* дейками. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ обыкновенно образуются параллельно и одновременно двѣ серіи дейкъ различнаго химическаго состава. Бröггеръ называетъ ихъ *дополнительными дейками*, такъ какъ ихъ средній химическій составъ приближается къ составу соотвѣтствующей глубинной породы. Въ области Христіаніи существуетъ серія жильныхъ породъ, называемыхъ грорудитами, тингваитами и др.; онѣ отличаются отъ соотвѣтствующей глубинной породы тѣмъ, что содержатъ больше окисловъ желѣза и меньше алюминія, чѣмъ она. Другія дополнительныя породы, какъ напр., линдоитъ, тоже отдѣлившіяся отъ изначальной магмы, наоборотъ, богаче ея алюминіемъ и бѣднѣе ея желѣзными окислами.

Изъ числа дополнительныхъ породъ наиболѣе извѣстны основные камптониты и кислые бостониты, происшедшіе изъ оливиновыхъ діабазовъ, основныя минетты и кислые аплиты, происшедшіе изъ гранитовъ, и, наконецъ, базальты и ріолиты.

Появленіе наружу дифференцированной магмы происходитъ по мнѣнію Бröггера въ опредѣленномъ порядкѣ. Такъ, изученіе породъ въ окрестностяхъ Христіаніи показало ему, что сначала вылились потоки основной магмы (потоки авгитовыхъ порфи-

---

[1]) *σχιξω*, *διαδχιξω* ращепляю, раздѣляю, *ά* въ сложныхъ словахъ выражаетъ отрицаніе

Ред.

ровъ), потомъ изначальная магма начала образовывать все болѣе и болѣе кислые лакколиты (авгитовые сіениты, нордмаркиты, натровые граниты, граниты и кварцевые порфиры); наконецъ, послѣднія изверженія были опять основными (діабазы). То же самое и въ Предаццо въ Южномъ Тиролѣ въ началѣ изверженія изливались основныя породы (авгитовые порфиры, мелафиры), потомъ все болѣе и болѣе кислыя (монцонитъ, гранитъ) и, наконецъ, снова очень основныя (камптониты и либенеритовые порфиры), какъ и около Христіаніи [7].

Повторное появленіе основныхъ породъ въ концѣ эруптивной фазы Брёггеръ объясняетъ скопленіемъ на днѣ „магматическаго бассейна“ тяжелыхъ наиболѣе основныхъ минераловъ.

Иддингсъ далъ иное толкованіе этимъ явленіямъ; по его мнѣнію серія изверженій начинается среднимъ типомъ; затѣмъ изначальная магма, дифференцируясь, образуетъ все болѣе и болѣе несходныя съ ней породы, пока продукты изверженія не достигнутъ максимальной основности и соотвѣтственно максимальной кислотности.

Этимъ путемъ можно объяснить одновременное изверженіе въ пермскомъ періодѣ мелафировъ (базальтовъ) и фельзитовыхъ порфировъ (ріолитовъ), какъ предѣльныхъ типовъ каменноугольныхъ изверженій (6).

Но Мишель-Леви констатировалъ, что изверженія въ области Центральнаго Плато Франціи, которыя наиболѣе хорошо изучены, совершенно не подтверждаютъ той послѣдовательности изверженій, которая намѣчается теоріями Брёггера и Иддингса. Продукты первыхъ и послѣднихъ изверженій, правда, являются основными, но гипотеза постепеннаго увеличенія кислотности продуктовъ въ промежуточномъ періодѣ совершенно не оправдывается, такъ какъ и въ Канталѣ, и въ массивѣ Монъ-Доръ, и въ Велэ наблюдается въ этомъ періодѣ повторное чередованіе породъ кислаго, средняго и основного состава.

Можно установить лишь какъ болѣе или менѣе общее правило, что первыми появляются наиболѣе кислые продукты, за ними слѣдуютъ основные, которыми и заканчивается періодъ изверженій. Этотъ порядокъ подтверждается пермскими изверженіями, при которыхъ, напр., въ массивѣ Эстерель и въ Вогезахъ ріолиты появляются въ началѣ періода, а въ верхнепермское время появляются лишь одни базальты или мелафиры. Въ Оверни въ концѣ третичной эры появленіе фонолитовъ предшествуетъ появленію базальтовъ.

Можно также оспаривать приложимость теоріи Сорэ къ дифференціаціи магмы. Во всякомъ случаѣ, если эта теорія и объясняетъ вертикальный переносъ или отложеніе кристалловъ правильными слоями, параллельными къ плоскости охлажденія, она совершенно не выясняетъ, какъ это и отмѣтилъ Фуке (П), причину расположенія элементовъ въ горизонтальномъ направленіи. Теорія дифференціаціи въ замкнутомъ пространствѣ (en vase clos) можетъ быть въ крайнемъ случаѣ приложима къ лакколитамъ, но не имѣетъ никакого значенія ни для гранитныхъ батолитовъ, которые расширяются по направленію внизъ, ни для излившихся породъ, въ которыхъ должно было произойти полное перемѣшиваніе магмы, вслѣдствіе чего было бы невозможно скопленіе основныхъ продуктовъ во внѣшней зонѣ.

Но всѣ эти теоріи недостаточно оцѣниваютъ значеніе минерализаторовъ, дѣйствіе которыхъ имѣетъ, какъ мы видѣли, столь большое значеніе въ явленіяхъ метаморфизма, а между тѣмъ въ изверженныхъ породахъ образуются тѣ же силикаты.

Исходя изъ этихъ соображеній, Мишель-Леви указалъ на значеніе двухъ главнѣйшихъ типовъ магмъ: *желѣзисто-магнезіальной* и *щелочной*, которые онъ намѣтилъ въ результатѣ своихъ изслѣдованій.

Во главѣ породъ, соотвѣтствующихъ желѣзисто-магнезіальной магмѣ, стоятъ перидотиты, главнѣйшіе типы которыхъ удалось добыть экспериментально путемъ огневой плавки. Этимъ гранитовиднымъ типамъ, бѣднымъ даже слѣдами кали, соотвѣтствуютъ микролитовые типы, какъ лимбургиты и базальты, которые также могутъ быть получены тѣмъ же путемъ чисто огневой плавки и являются единственными примѣрами земныхъ породъ, заключающихъ въ себѣ самородное желѣзо. Само собой напрашивается сравненіе ихъ съ метеоритами, которое и подсказало Добре его гипотезу существованія универсальнаго шлака на большихъ глубинахъ. Но къ этому вопросу мы еще вернемся.

Съ другой стороны имѣется рядъ чисто щелочныхъ магмъ, состоящихъ изъ щелочей, алюминія и кремнезема въ различныхъ соотношеніяхъ. Лейцитовые и элеолитовые сіениты, пегматитовые граниты, аплиты и пегматиты являются главнѣйшими гранитовидными типами этихъ породъ. Изъ вулканическихъ породъ имъ соотвѣтствуютъ порфиры, ріолиты, трахиты, фонолиты и лейцитофиры.

Здѣсь не упоминается ни объ одномъ продуктѣ чисто огневой плавки. Въ нѣкоторыхъ гранитовидныхъ типахъ несомнѣнно обнаруживается дѣйствіе фумароллъ, такъ какъ встрѣчаются гранулиты и пегматиты съ турмалиномъ, касситеритомъ и топазомъ, которые заполняютъ жилы, имѣющія тогда видъ конкреціонныхъ съ послѣдовательными и симметричными зонами по бокамъ.

Нѣкоторые гранулиты проникаютъ между слоями осадочныхъ породъ и развѣтвляются въ нихъ до безконечности. Часто они становятся чѣмъ ближе къ вершинѣ серіи, тѣмъ все богаче и богаче кварцемъ и наверху ея заключаютъ небольшія жилки чистаго кварца.

Полный контрастъ между собою представляютъ щелочныя и желѣзито-магнезіальныя магмы. Послѣднія, повидимому, дѣйствительно играютъ роль шлака происшедшаго путемъ огневого плавленія, а первыя, чрезвычайно подвижныя и способныя давать тончайшія инъекціи, какъ бы предназначены стать добычей растворителей и минерализаторовъ и переноситься въ видѣ жидкихъ растворовъ или даже летучихъ соединеній.

Но слѣдуетъ ли отсюда, что, признавая существованіе двухъ столь различно проявляющихся видовъ магмы, нужно признать и ихъ изначальное существованіе и тѣмъ самымъ вернутся къ гипотезѣ Бунзена? Повидимому, гораздо болѣе соотвѣтствуетъ извѣстнымъ намъ фактическимъ даннымъ гипотеза, считающая, что магма еще въ жидкомъ видѣ путемъ ликваціи (rochage) расщепляется на болѣе подвижные щелочные и болѣе тяжелые основные элементы. Послѣ этого каждая изъ образовавшихся магмъ проходитъ свой особый путь развитія, во время котораго ея составъ измѣняется подъ вліяніемъ эндоморфныхъ воздѣйствій, въ зависимости отъ особенностей тѣхъ горныхъ породъ, по которымъ магма пролагаетъ свой путь.

1.—Michel-Lévy. Mémoire sur les divers modes de structure des roches éruptives étudiées au microscope au moyen de plaques minces. *Annales des Mines*, 7e sér., VIII, стр. 337-438, таб. VIII-XII, 1875.

2.—Id. Structures et classification des roches éruptives In-8°, 95 стр. Paris, 1889.

3.—A. Rosenbusch Ueber die chemischen Beziehungen der Eruptivgesteine. *Tschermak's miner. u. petr. Mitth.*, XI, стр. 144-178, 4 таб. 1889.

4.—Id. Ueber Structur und Classiffcation der Eruptivgesteine *Ibid.*, XII, стр. 351-396, 1891.

4. *bis.*—F. Loewinson-Lessing. Studien über die Eruptivgesteine. *Congrès géol. intern.*, *C. R. de la 7e session* стр. 193-464, 4 таб. диагр. Saint-Pétersbourg, 1899.

5.—Propositions du Comitè français de pétrographie sur la nomenclature des roches éruptives. *Congrès géol. intern.*, *C. R. de la 8e session*, стр. 246-254. Paris, 1900.

6.—J. P. Iddings. The origin of igneous Rocks. *Bull. Philos. Soc. Washington*, XII, стр. 89-214, 2 таб. 1892.

7.—W. C. Brögger. Die Eruptivgesteine des Kristianiagebietes. I. Die Gesteine der Grorudit-Tinguait-Serie, 1 vol. in-8°, 206 стр., 4 таб. Kristiania, 1894.

8.—A. Michel-Lévy. Principes à suivre pour une classification universelle des roches. *Congèrs géol. intern.*, *C. R. de la 6e session*, стр. 147-160, Paris, 1897.

9.—Id. Glassification des magmas des roches éruptives. *Bull. Soc. gèol Fr.*, 3 sér., XXV, стр. 326-377, табл. X-XVI, 1897.

10.—Geo. F. Becker. Some Queries on Rock Differentiation. *Amer Journ. of Science.* 4th ser., III стр. 21-40, 1897.

11.—F. Fouqué. Les analyses en bloc et leur interprétation, *Bull. Soc. franc. de Minér.*, XXV, стр. 278-359, 1902.

12.—Whitman Cross, Joseph P. Iddings, Louis V. Pirsson, Henry S. Washington. Quantitative Classification of Igneous Rocks. In-8°, 286 стр. Chicago, 1903.

13.—Michel-Lévy. Contribution à l'étude des magmas chimiques dans les principales séries volcaniques françaises. Application de la nouvelle classification quantitative américaine. *Bull Serv. Carte géol.*, n° 92, 43 стр., 1903.

14.—Id. Paramètres magmatiques. *Ibid.*, n° 96, 21 стр., 1903.

15.—Id. Sur l'existence de paramètres capables de caractériser les magmas d'une famille de roches éruptives. *C. R. Ac. Sc.*, CXLIV, стр. 598-603, 1907.

См. также: 0,1,2; 0,10—13.

ГЛАВА XXI.

Географическое распредѣленіе вулкановъ. Теоріи вулканизма.

Географическое распредѣленіе вулкановъ. — Раскалываніе континентовъ. — Происхожденіе лавъ.—Происхожденіе газовыхъ изверженій. — Поднятіе вулканическихъ продуктовъ.—Пиросфера и барисфера.

Географическое распредѣленіе вулкановъ.— Проблема географическаго распредѣленія вулкановъ уже съ давнихъ поръ останавливаетъ на себѣ вниманіе геологовъ, что и вполнѣ понятно, такъ какъ отъ того или иного ея рѣшенія зависитъ рѣшеніе и болѣе общаго вопроса геологіи—о причинахъ вулканическихъ явленій вообще.

Въ теченіе долгаго времени многіе ученые считали абсолютнымъ правиломъ расположеніе вулкановъ вблизи морскихъ береговъ и на этомъ была построена теорія вулканизма, нѣкогда принятая почти всѣми учеными. Но недавнія изслѣдованія указали столько исключеній изъ этого правила, что оно больше не можетъ имѣть никакого значенія (1). Такъ, большинство вулкановъ Южной Америки находится отъ океана на разстояніи 150—250 км. Шлаковые конусы Аризоны удалены болѣе, чѣмъ на 500 км. отъ морского берега. Въ Сахарѣ и въ центральной Азіи извѣстны тоже потухшіе вулканы, отстоящіе отъ моря на нѣсколько тысячъ километровъ.

Поэтому уже давно въ этомъ вопросѣ намѣтилось и другое теченіе, съ тѣхъ поръ какъ многіе ученые установили связь между вулканическими явленіями и вертикальными расколами верхнихъ слоевъ земной коры. Съ точки зрѣнія этихъ ученыхъ жидкая магма могла излиться на поверхность лишь воспользовавшись существовавшими трещинами. Но противники этихъ слишкомъ категорическихъ взглядовъ указывали на шотландскіе *necks*, на маленькіе вулканы Швабіи, изслѣдованные Бранко и на алмазоносныя горловины Капландіи, расположеніе которыхъ никогда не совпадаетъ съ какою-либо тектоническою линіей (3).



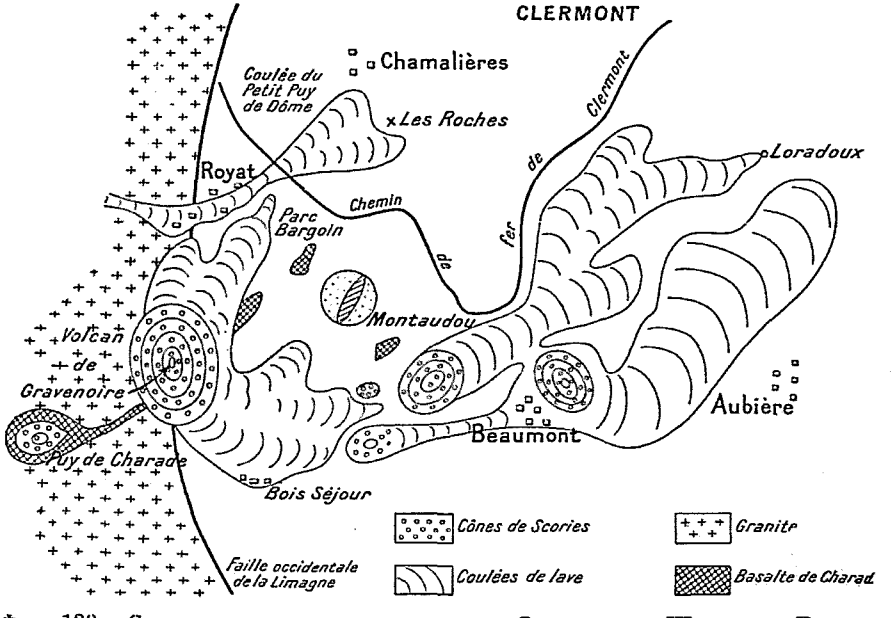
Фиг. 129.—Кратеры Лаки, въ Исландіи, расположенные вдоль линіи раскола на протяженіи 24 километровъ (по Геллянду).

Кромѣ того было отмѣчено, что многіе вулканическіе центры идутъ не вдоль большихъ трещинъ, а встрѣчаются и на значительномъ отъ нихъ разстояніи. Основываясь на этихъ наблюденіяхъ нѣкоторые ученые сдѣлали слишкомъ поспѣшное заключеніе о полной независимости обѣихъ категорій явленій. Во всякомъ случаѣ не слѣдовало бы игнорировать, что въ древнихъ и сильно денудированныхъ вулканическихъ аппаратахъ часто обнаруживается цѣлая серія трещинъ очень большого протяженія съ застывшей въ нихъ магмой, которая далѣе распространяется въ формѣ лавовыхъ потоковъ. Въ качествѣ примѣра такого явленія Мишель-Леви приводитъ громадные лавовые потоки Монъ-Доръ, вылившіеся изъ тонкой жилы той же породы, которую можно прослѣдить въ такомъ ея состояніи на высоту 800 м. (2,4). Не слѣдуетъ также забывать расположеніе вулканическихъ конусовъ по прямымъ линіямъ, которое въ маломъ масштабѣ обнаруживаютъ радіальныя трещины большихъ вулканическихъ центровъ. Даже большіе вулканы нерѣдко располагаются одинъ за другимъ длинными рядами (фиг. 129, 133). Часто расколы бываютъ скрыты подъ покровомъ вулканическихъ продуктовъ, но и въ этихъ случаяхъ дислокація обнаруживается или благодаря соприкосновенію двухъ напластованій различнаго возраста, или благодаря существованію прямолинейной дейки, соединяющей два сосѣднихъ вулкана. Недавнія изслѣдованія Тороддсена въ Исландіи особенно поучительны въ этомъ отношеніи (5).

Такимъ образомъ тѣсная связь между вулканическими явленіями и дислокаціями становится все болѣе и болѣе очевидной. Связь эта бываетъ или непосредственная, когда вулканы располагаются вдоль трещинъ, или косвенная, когда вулканы находятся не на расколахъ земной коры, но располагаются во впадинахъ, окаймленныхъ сбросами. Трудно было бы построить теорію, исходя только изъ раздѣленія вулкановъ на эти двѣ категоріи, необходимо разъяснить еще, *какъ связаны по своему положенію* зоны складча-

тости и вертикальныя смѣщенія напластованій, сопровождаемыя выходами эруптивныхъ породъ (фиг. 132).

Поперечныя трещины лишь въ рѣдкихъ случаяхъ открывали путь для вулканическихъ изліяній. Но все же можно назвать сбросовую трещину Скіо въ области Виченцы; вдоль этой трещины расположились эруптивные массивы Колли Беричи и Эвганеи и она пересѣкаетъ въ поперечномъ направленіи поясъ венеціанскихъ Альпъ. Иногда дислокаціи обнаруживаются только появленіемъ теплыхъ источниковъ. Къ югу отъ Вѣны термальная линія, пересѣкающая поперекъ Восточныя Альпы, является хорошо извѣстнымъ примѣромъ слабо выраженныхъ вулканическихъ проявленій.

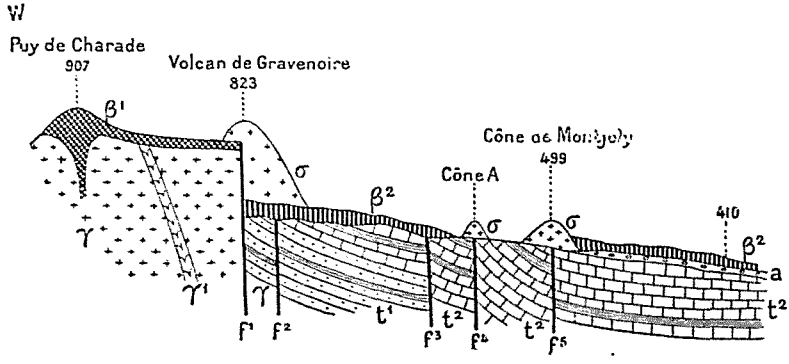


Фиг. 130.—Схематическая карта вулкановъ Гравенуаръ, Шарадъ и Бомонъ, близъ Клермонъ-Феррана (по Ф. Глянжо).
Объясненіе знаковъ: крестики—гранитъ; кружочки—шлаковые конусы; рѣдкія кривыя линіи—лавовые потоки; сѣтка—базальтъ Шарада: толстая линія въ лѣвой части карты—западный сбросъ Лимани.

Поперечные сдвиги часто бываютъ минерализованы или сопровождаются жилами кварца. Рѣже они совпадаютъ съ эруптивными дейками. Но послѣднія нерѣдко имѣютъ направленіе параллельное къ главнѣйшимъ горизонтальнымъ сдвигамъ, напр., въ Арморикскомъ массивѣ и въ Гарцѣ.

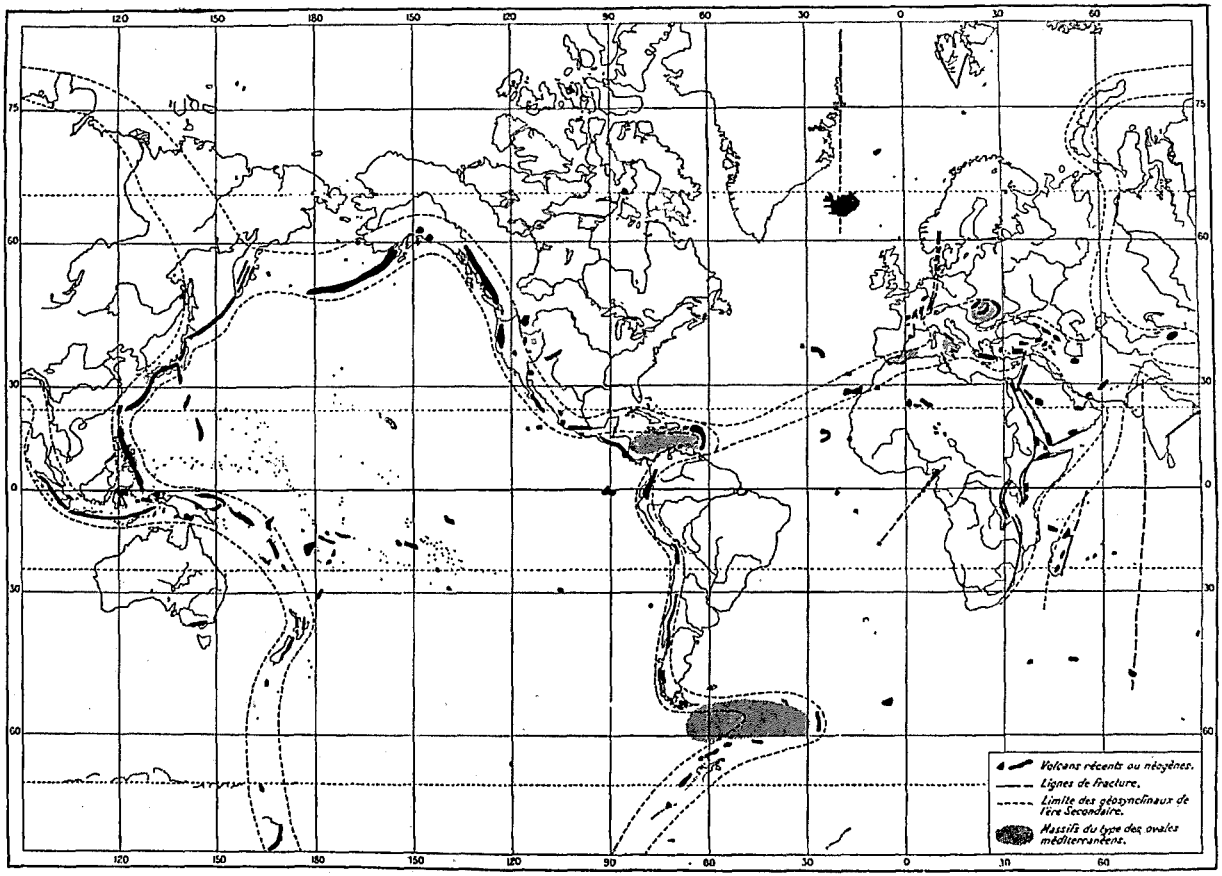
Наоборотъ, *продольныя сбросовыя трещины* часто отмѣчаются рядами вулкановъ. Въ Европѣ цѣпь вулканическихъ

острововъ Эгины, Милоса, Санторина, Ниспроса параллельна направленію складчатости Архипелага. Вулканы Суматры и Явы слѣдуютъ направленію острововъ. Подобное же расположеніе наблюдается въ Андскихъ Кордильерахъ и въ Сѣверной Америкѣ въ обширныхъ столовыхъ областяхъ, расположенныхъ между Сіеррой-Невадой и Скалистыми горами. Здѣсь, вѣроятно, произошло осѣданіе обширной полосы, расположенной между двумя складчатыми зонами различнаго возраста. Громадные лавовые потоки, какъ напр., въ Орегонѣ обыкновенно скрываютъ мѣста изліянія вулканическихъ продуктовъ.



Фиг. 131.—Разрѣзъ проведенный черезъ вулканы Шарадъ, Гравенуаръ и Бомонъ (по Ф. Гляжо).
γ, гранитъ; γ^1, гравулитъ; t^1, t^2, аркозы, глины и мергелистые известняки третичной системы; σ, базальтовые шлаки; β^1, β^2, базальтовые потоки; a послѣтретичный аллювій; f^1, f^2, f^3, f^4, f^5, сбросы.

Въ одной изъ предшествующихъ главъ мы уже видѣли, что Азія на югѣ и востокѣ окружена рядами дугообразныхъ горныхъ цѣпей, которыя, примыкая другъ къ другу, окаймляютъ ее, какъ фестоны. На востокѣ всѣ эти гирлянды имѣютъ вулканическій характеръ, при чемъ вулканы также расположены дугами, вѣроятно, вслѣдствіе существованія расколовъ, параллельныхъ къ складчатости. Малайская дуга, Филиппины, Японія, Курильскіе и Алеутскіе острова принадлежатъ къ числу областей земного шара, наиболѣе богатыхъ дѣйствующими и потухшими вулканами. Острова Молукскіе, Новая Гвинея, острова Соломоновы, Ново-Гебридскіе, Новая Зеландія также являются центрами вулканической дѣятельности болѣе или менѣе напряженной. Наконецъ, антарктическія страны имѣютъ тоже свои вулканы: Эребъ и Терроръ на Землѣ Викторіи и вулканы Земли Граама. Такимъ образомъ Тихій океанъ со всѣхъ сторонъ опоясанъ цѣпью вулкановъ недавняго происхожденія, которую иногда



Фиг. 132.—Карта, показывающая географическое распространеніе вулкановъ и ихъ соотношенія съ зонами третичной складчатости и съ большими разломами (по Берггаузу, Мишель-Леви и др.). Объясненіе знаковъ: черныя пятна — нынѣшніе и неогеновые вулканы; ——— линіи разломовъ ----- граница геосинклиналей вторичной эры; штриховка—массивы типа средиземно-морскихъ овалovъ.

называютъ „огненнымъ кольцомъ Тихаго океана", хотя это кольцо далеко не имѣетъ округлой формы; его очертаніе, извѣстное намъ по расположенію третичныхъ складокъ, напротивъ, крайне извилисто, особенно тамъ, гдѣ вулканическія зоны Южной и Сѣверной Америки соединяются дугой въ видѣ Антильскихъ острововъ, и тамъ гдѣ Анды соединяются съ Антарктическими землями не менѣе изогнутой дугой, чѣмъ Антильская.

Расположеніе вулкановъ вокругъ Тихаго океана безусловно подтверждаетъ то правило, что вообще *вулканы недавняго происхожденія распредѣляются по главнымъ направленіямъ складчатости конца третичной эры.*

Въ одной изъ предыдущихъ главъ нами въ общихъ чертахъ уже было указано, что складчатыя зоны опредѣленнаго возраста иногда окружаютъ древніе массивы, представляющіе собою области воздыманія, которыя принадлежатъ складчатымъ зонамъ болѣе древней эпохи. Такъ, альпійскія складки окружаютъ древніе массивы, представляющіе собою части Арморикско-Варисской цѣпи. Но эти древнія области воздыманія часто осѣдали послѣ образованія вокругъ нихъ болѣе новыхъ складчатыхъ зонъ и ихъ осѣданіе полное или частичное сопровождалось вулканическими изверженіями, сосредоточившимися по границѣ двухъ складчатыхъ зонъ различнаго возраста. Такъ, въ предѣлахъ Альпійской складчатости опускались окруженные складками Варисско-Арморикскіе массивы, а по внутреннему вогнутому краю излучинъ альпійской зоны появились группы вулкановъ. Мишель-Леви называетъ этотъ особый видъ дислокацій *осѣданіями по средиземноморскимъ оваламъ— effondrements en ovales méditerranéens* (2).

Напримѣръ, на западѣ Средиземнаго моря третичныя складки Марокскаго Рифа и Андалузскихъ Кордильеръ окружаютъ древній массивъ, который осѣлъ и такъ глубоко погрузился въ море, что теперь лотъ тамъ достигаетъ морского дна на глубинѣ свыше 1500 м. на широтѣ Малаги, а на широтѣ Орана—на глубинѣ свыше 2000 м. Въ связи съ этимъ осѣданіемъ поднялись величественные вулканическіе конусы — мыса Гата на Андалузскомъ берегу, Тиффарунны и Деллисъ на Алжирскомъ берегу. Дѣятельность этихъ нынѣ потухшихъ вулкановъ относится къ концу третичной эры.

Далѣе на востокѣ *Тирренская земля* представляла древній массивъ, вокругъ котораго расположились болѣе поздніе складки Апенninъ и Сициліи. Послѣ ея опусканія на этомъ мѣстѣ образовалась глубокая депрессія Тирренскаго моря, которую окру-

жаютъ знаменитые въ Европѣ вулканы Лаціума, Неаполитанской Кампаньи и Эоловыхъ острововъ. Отъ древней Тирренской земли до нашихъ дней уцѣлѣла лишь Калабрія, тогда какъ отъ древняго массива западной части Средиземнаго моря уцѣлѣли только массивы Трарасъ, Сахель Оранскій, Сахель Алжирскій, Большая Кабилія, Энду де Бонъ и кристаллическисланцевое ядро Андалузскихъ горъ.

Карпатская дуга также огибала древній массивъ Варисско-Арморикской цѣпи. Какъ и Тирренская земля онъ тоже опустился, но третичныя отложенія и наносы Дуная заполнили образовавшуюся впадину. Какъ и въ предшествующихъ случаяхъ на внутренней сторонѣ Карпатскихъ горъ вулканическая дѣятельность получила мощное развитіе.

За предѣлами Европы Антильское море представляетъ гомологію западной части Средиземнаго моря. Большіе Антильскіе острова и горы Венецуэлы соотвѣтствуютъ Андалузскимъ горамъ и Марокскому Рифу; нѣкогда окруженный ими Антильскій континентъ осѣлъ, и лишь расположеніе вулкановъ Малыхъ Антильскихъ острововъ указываетъ на его очертаніе.

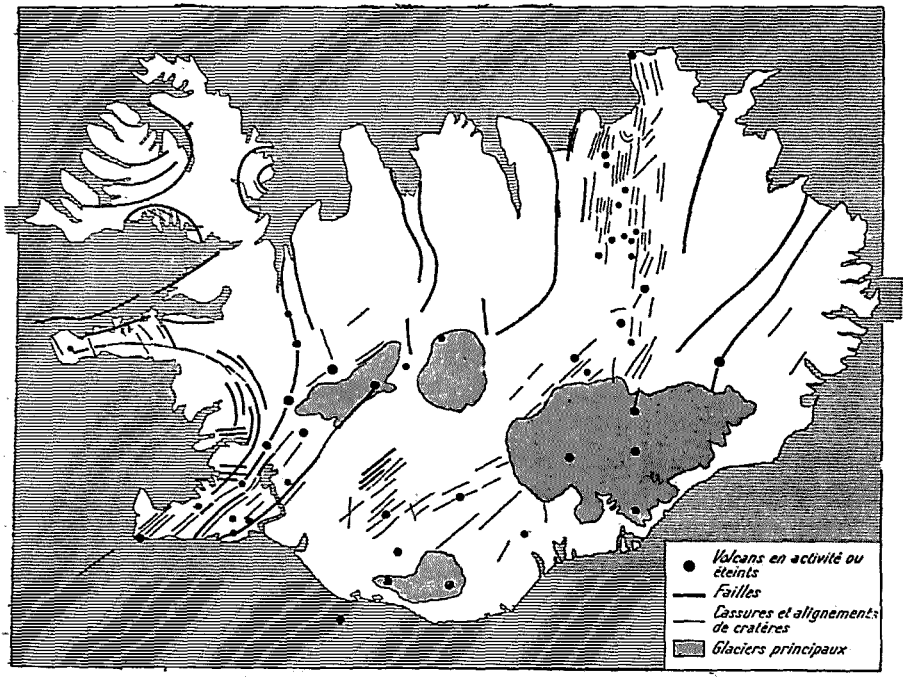
Существуетъ еще особый видъ расположенія вулкановъ, связь котораго со складчатыми зонами была разскрыта лишь въ послѣдніе годы. Мы имѣемъ въ виду *мѣста перегиба* горныхъ цѣпей, расположенныхъ фестонами.

Они являются какъ бы излюбленными мѣстами для появленія вулканическихъ продуктовъ.

Еще въ 1898 г. Мишель-Леви въ рубрику „различныхъ осѣданій“ занесъ (2) вулканы Центральнаго Плато, мѣстонахожденіе которыхъ совпадаетъ съ пересѣченіемъ арморикскихъ и варисскихъ складокъ. Съ тѣхъ поръ было указано немало подобныхъ примѣровъ (XII, 12; 6). Такъ, въ Европѣ можно указать въ болѣе древней складчатой системѣ на впадину Христіаніи съ ея послѣсилурскими вулканическими выходами, расположенную въ мѣстѣ встрѣчи складокъ идущихъ съ ЮЗ на СВ и съ СЗ на ЮВ параллельно съ берегами Скагеррака и Каттегата. Въ третичной зонѣ Динаридъ перегибы складокъ представляютъ очень частое явленіе; вулканическая ось Пантеллеріи и Линозы болѣе или менѣе соотвѣтствуетъ биссиктриссѣ угла, образованнаго складками Туниса и Сициліи. Въ Малой Азіи существуютъ двѣ области перегибовъ складокъ, извѣстныя своими вулканами. Въ Персіи Ормузскіе вулканы находятся въ мѣстѣ встрѣчи двухъ второстепенныхъ фестоновъ Иранской дуги; въ Индіи вулканическій центръ Качъ расположенъ при смыканіи

Гималайской и Иранской дугъ, а сальзы Ассама возвышаются около мѣста пересѣченія Гималайской и Малайской дуги. Наконецъ, въ Японіи „Большая впадина“ представляетъ собою поперечную дислокацію въ мѣстѣ встрѣчи двухъ горныхъ дугъ острова Ниппона, и здѣсь поднимаются такіе большіе вулканы, какъ Фуджи-Яма.

Въ Африкѣ прямолинейный рядъ вулкановъ, образуемый вулканомъ Камерунъ и островами Фернандо-По, Принцевыми, св. Ѳомы и Аннобонъ является биссектриссой угла, образуемаго



Фиг. 133.—Тектоническая карта Исландіи, показывающая отношенія эруптивныхъ центровъ къ расколамъ (по Тородсену).

● Дѣйствующіе или потухшіе вулканы.
— Сбросы.
— Расколы и ряды кратеровъ.
Сѣточка. Главные ледники.

Гвинейскимъ заливомъ, который какъ бы подсказываетъ мысль о своей связи съ направленіемъ складчатости. Вулканическій островъ св. Елены лежитъ на той же линіи.

Раскалываніе континентовъ. — Кромѣ этихъ линій распредѣленія вулканической дѣятельности, соотношеніе которыхъ съ зонами складчатости недавняго происхожденія вполнѣ очевидно, есть еще другія линіи лежащія внѣ этихъ зонъ и,

повидимому, соотвѣтствующія большимъ расколамъ въ земной корѣ, по которымъ произошло осѣданіе континентальныхъ площадей (XII, 12).

Съверо-Атлатическій континентъ, уцѣлѣвшими обломками котораго являются Канадскій щитъ, Гренландія, Шпицбергенъ, Земля Франца Іосифа и Скандинавскій щитъ, подвергся разломамъ и осѣданіямъ по линіямъ, связь которыхъ со складчатыми зонами намъ еще не вполнѣ извѣстна. Все же восточный берегъ Гренландіи, образующій, если не принимать во вниманіе его фіорды, почти прямую линію, можно признать за трещину, идущую въ направленіи С—Ю; на продолженіи этой прямой лежитъ Исландія, одинъ изъ главнѣйшихъ вулканическихъ центровъ земного шара. По трещинамъ, придающимъ Шпицбергену и Землѣ Франца Іосифа ихъ современныя очертанія, также энергично проявляется вулканическая дѣятельность.

Раскалываніе *Африканско-Бразильскаго* или *Южно-Атлантическаго* континента, повидимому, не сопровождалось сбросовыми явленіями и на Атлантическихъ берегахъ обоихъ раздѣленныхъ теперь континентовъ вулканическая дѣятельность проявляется очень рѣдко. Наоборотъ, на восточной окраинѣ Африканскаго континента наблюдаются вертикальныя трещины, самыя длинныя изъ извѣстныхъ на землѣ; долина Іордана, впадина Мертваго моря, Акабскій заливъ и Красное море образуютъ въ совокупности *эритрейскую сбросовую* впадину, осѣвшую между двумя параллельными расколами, вдоль которыхъ расположены многіе потухшіе вулканы. Южнымъ продолженіемъ ея является трещина, которая ограничиваетъ съ востока Абиссинское плато, покрытое мощными изліяніями изверженныхъ породъ; дальше въ томъ же С—Ю-номъ направленіи слѣдуетъ *эѳіопскій граббенъ* съ его гигантскими вулканами Кеніа и Килиманджаро. Вѣроятно, эта длинная осѣвшая полоса такъ или иначе связана съ древними складками восточной Африки, но характеръ этой связи для насъ еще неясенъ. Слѣдуетъ, кромѣ того, замѣтить, что оба граббена являются продолженіемъ ряда вулкановъ, отмѣчающаго мѣсто перегиба Восточно-Таврской и Иранской дуги.

Австралійско-Индо-Малгашскій континентъ былъ также расколотъ на части рядомъ меридіональныхъ трещинъ. Вдоль главной изъ нихъ расположены острова Лакедивскіе, Мальдивскіе, Чагосъ и много южнѣе вулканическіе острова св. Павла и Амстердама. Она является продолженіемъ той линіи, по ко-

торой происходитъ смыканіе Иранской и Гималайской дугъ. Прямолинейный сбросъ, образующій восточный берегъ Мадагаскара и имѣющій длину въ 10 градусовъ, напротивъ, не обнаруживаетъ никакой связи съ перегибами складчатыхъ зонъ южной Азіи. Вдолъ его совершенно не проявляется вулканическая дѣятельность, а вулканы сѣвера Мадагаскара и Коморскихъ острововъ находятся даже внѣ осѣвшей области.

Длинные ряды вулканическихъ острововъ, тянущіеся болѣе или менѣе параллельно другъ къ другу, повидимому, представляютъ собой большіе разломы, вдоль которыхъ, вѣроятно, осѣлъ и погрузился въ воду древній *Тихоокеанскій континентъ*.

Что же касается *Китайско-Сибирскаго континента*, то онъ хотя и не осѣлъ, но все же и на немъ обнаруживаются трещины, вдоль которыхъ проявляется вулканическая дѣятельность. Русскіе геологи называютъ эти трещины *дизъюнктивными*; вѣроятно, онѣ произошли вслѣдствіе сжатія континента послѣ образованія новыхъ складчатыхъ горъ его окружающихъ.

Изъ этого краткаго очерка раскалыванія континентальныхъ площадей, слѣдуетъ обратить особое вниманіе на то, что мѣста появленія разломовъ, сопровождаемыхъ вулканами, совпадаютъ съ мѣстами перегиба третичныхъ складокъ, но трещины и сопровождающіе ихъ вулканы уходятъ далеко за предѣлы этихъ складокъ [1]), такъ что захватываютъ сосѣднія континентальныя площади, тѣмъ самымъ подготовляя условія благопріятствующія осѣданію послѣднихъ и облегчая поднятіе вулканическихъ продуктовъ.

Во всякомъ случаѣ теперь совершенно невозможно отрицать тѣсную связь между вулканической дѣятельностью и тектоническими осѣданіями земной коры, независимо отъ того проявляются ли дислокаціи въ видѣ поперечныхъ или продольныхъ трещинъ, или въ видѣ осѣданій по средиземноморскимъ оваламъ, или въ видѣ отмѣченныхъ вулканами линій перегибовъ.

Напротивъ, только какъ исключеніе вулканы находятся на мѣстѣ антиклинальныхъ складокъ. Въ качествѣ примѣра можно назвать Демавендъ, лежащій на антиклинальномъ пучкѣ Иранской дуги и вулканическіе острова средней части Атлантиче-

---

[1]) Меридіональныя трещины, ограничивающія впадину Рейнской долины и тянущіяся на сѣверъ вплоть до Ганновера (А. фонъ-Кенен), составляютъ какъ бы продолженіе болѣе древней впадины Христіанія, какъ будто расколы начала палеозойной эры возобновились и продолжались въ сравнительно недавнюю эпоху.

скаго океана (острова Азорскіе, св. Павла, Вознесенія, Тристанъ-да-Кунья, Гуга), которые возвышаются на гребнѣ средней геантиклинали, о которой мы уже нѣсколько разъ говорили въ предыдущихъ главахъ.

Теперь намъ понятна также причина частаго расположенія вулкановъ на морскихъ берегахъ, параллельно къ главнымъ направленіямъ горныхъ цѣпей, такъ какъ большинство современныхъ береговъ совпадаетъ съ большими расколами въ земной корѣ. Вполнѣ понятно, почему вулканы особенно часто и встрѣчаются на морскихъ берегахъ.

Итакъ, можно сказать, что уже болѣе или менѣе выяснены причины распредѣленія вулкановъ на землѣ. Но недостаточно было бы указать лишь на связь вулкановъ съ тектоническими явленіями, которыя способствуютъ поднятію глубинныхъ продуктовъ, необходимо еще выяснить первоначальное происхожденіе этихъ продуктовъ и механизмъ поднятія ихъ на поверхность. Проблема вулканизма всецѣло зависитъ отъ разрѣшенія этихъ вопросовъ.

Происхожденіе лавъ.—Всѣ современныя изслѣдованія химическаго состава изверженныхъ породъ свидѣтельствуютъ намъ о ихъ большомъ сходствѣ съ глубинными, которыя состоятъ изъ тѣхъ же существенныхъ минеральныхъ элементовъ. Такія породы, принадлежащія къ одному и тому же семейству, отличаются другъ отъ друга лишь своей структурой, а ихъ химическій составъ настолько тождественъ, что наводитъ на мысль объ общности ихъ происхожденія. Тѣмъ не менѣе мы не можетъ предполагать, что породы микролитовой и зернистой структуры произошли изъ одной и той же жидкой магмы, затвердѣвшей лишь при различныхъ условіяхъ, такъ какъ намъ извѣстно уже изъ предшествующаго, что гранитныя породы содержатъ въ себѣ такіе минералы, присутствіе которыхъ не совмѣстимо съ гипотезой огневого происхожденія породы. Наоборотъ, мы имѣемъ полное основаніе считать излившіяся породы продуктомъ плавленія глубинныхъ массъ, и поэтому легко можемъ уяснить себѣ фамильное сходство вулканическихъ изверженій одной и той же петрографической провинціи: это „фамильное“ сходство объясняется ихъ общимъ происхожденіемъ изъ одинаковыхъ по составу гранитныхъ матеріаловъ, которые въ каждой отдѣльной области земного шара послѣдовательно приходили въ расплавленное состояніе.

Теперь намъ становится вполнѣ понятнымъ происхожденіе гранитныхъ породъ; мы уже познакомились (глава XIII) съ

гипотезой, которая истолковываетъ намъ генетическую связь кристаллическихъ сланцевъ и гранитовъ, при чемъ для объясненія условій температуры и давленія, необходимыхъ для регіональнаго метаморфизма, она предполагаетъ постепенное опусканіе дна геосинклиналей. Дальнѣйшее развитіе этой теоріи привело къ выводу о возможности опусканія этого дна на такую глубину, гдѣ высокая температура дѣлаетъ возможнымъ расплавленіе гранитовъ и гнейсовъ.

Гранитъ плавится приблизительно при 1200°; если мы будемъ считать геотермическій градіентъ равнымъ 33 м., то можемъ предположить, что уже на глубинѣ 40 км. температура достигаетъ 1200° и, слѣдовательно, начиная съ этой глубины, гранитъ можетъ притти въ расплавленное состояніе. Но въ виду того, что величина геотермическаго градіента, вѣроятно, уменьшается съ глубиной, эта температура можетъ быть достигнута и не такъ глубоко.

Итакъ, постепенное опусканіе дна геосинклиналей ведетъ къ расплавленію осадочныхъ породъ уже сильно метаморфизованныхъ. При внезапныхъ большихъ расколахъ въ земной корѣ, сопровождаемыхъ осѣданіями, опусканіе можетъ произойти болѣе быстро, и глубоко лежащіе слои этимъ способомъ могутъ внезапно попасть въ такую зону, гдѣ они придутъ въ расплавленное состояніе.

Благодаря этимъ двумъ явленіямъ—постепенному опусканію дна геосинклиналей и внезапному осѣданію земной коры вдоль трещинъ—безпрерывно возобновляется запасъ жидкой магмы, сосредоточенной подъ земной корой, при чемъ мѣстныя различія въ составѣ изверженныхъ продуктовъ объясняются разнообразіемъ породъ, которыя приходятъ въ расплавленное состояніе. Конечно, не можетъ быть и рѣчи о томъ, чтобы весь запасъ расплавленныхъ матеріаловъ приписать притоку извнѣ, такъ какъ тогда было бы непонятно присутствіе въ вулканическихъ продуктахъ щелочей, которыхъ почти нѣтъ въ осадочныхъ породахъ, а кромѣ того происхожденіе полевого шпата метаморфическихъ породъ несомнѣнно связано съ глубинными выдѣленіями. Трудно поэтому не согласится съ гипотезой сплошной піросферы, которая на извѣстной глубинѣ переходитъ въ очень плотное и твердое ядро. Но къ этому вопросу намъ придется еще возвратиться.

Происхожденіе газовыхъ изверженій. — Происхожденіе паровъ и газовъ, выбрасываемыхъ вулканами въ гро-

мадномъ количествѣ во время изверженій и въ значительномъ меньшемъ количествѣ въ фазы покоя, объяснялось разными причинами: то проникновеніемъ воды извнѣ, то расплавленіемъ породъ на извѣстной глубинѣ, то выдѣленіемъ газовъ и паровъ изъ пиросферы. Разсмотримъ сейчасъ всѣ три гипотезы, имѣющія и въ настоящее время своихъ защитниковъ.

Въ теченіе долгаго времени, въ связи съ господствомъ теоріи прибрежной локализаціи вулкановъ, была почти всѣми принята теорія, признающая происхожденіе извнѣ воды и газовъ, извергаемыхъ вулканами. Ученые предполагали, что морская вода черезъ трещины, идущія вдоль береговъ, проникаетъ въ глубь земли и приходитъ въ соприкосновеніе съ расплавленными внутренними массами. Тамъ она внезапно испаряется и обусловливаетъ взрывы и поднятіе лавъ къ поверхности. Такимъ образомъ эта гипотеза объясняла и причину самыхъ изверженій, и чрезвычайно обильное выдѣленіе водянаго пара и хлористыхъ соединеній во время изверженій.

Выше нами уже была дана оцѣнка теоріи, предполагающей расположеніе вулкановъ вдоль морскихъ береговъ. Что же касается гипотезы, приписывающей происхожденіе водянаго пара и хлористыхъ соединеній, выдѣляющихся при вулканическихъ изверженіяхъ, проникновенію морской воды, то, соглашаясь съ ней, слѣдовало бы допустить существованіе трещинъ въ нѣсколько сотъ километровъ длиною, соединяющихъ океаны съ вулканами, находящимися въ центрахъ континентовъ. Къ тому же морская вода до ея соприкосновенія съ глубоко лежащими очагами лавы, должна была бы преодолѣть громадныя давленія и подвергнуться дѣйствію такой высокой температуры, которая превратила бы ее въ паръ и заставила бы освободиться отъ растворенныхъ въ ней солей. Кромѣ того, справедливо было отмѣчено, что перемежающійся характеръ вулканической дѣятельности не соотвѣтствуетъ медленному и постоянному проникновенію морской воды, которое, казалось, должно бы было обусловить бо́льшую равномѣрность явленія. Тоже, что было сказано о проникновеніи въ глубину морской воды, можно съ еще бо́льшимъ правомъ сказать и о постоянномъ проникновеніи атмосферныхъ водъ, на которое указывали нѣкоторые ученые.

Наоборотъ, вода, входящая въ составъ многихъ минераловъ, распространенныхъ въ породахъ, должна выдѣляться во время процесса расплавленія ихъ, совершающагося на глубинѣ и ведущаго къ образованію лавъ, подобныхъ по своему составу гранитнымъ

породамъ. Арманъ Готье продѣлалъ рядъ опытовъ, которые его привели къ очень важнымъ выводамъ относительно происхожденія водяного пара и газовъ, сопровождающихъ вулканическія изверженія (7—9). Этотъ выдающійся химикъ подвергалъ въ пустотѣ различныя размельченныя въ порошокъ горныя породы, предварительно высушенныя при температурѣ 200°, дѣйствію температуры, приближающейся къ температурѣ краснаго каленія, и измѣрялъ количество выдѣляемаго ими водяного пара и газовъ. Оказалось, что одинъ кгр. гранита, раскаленный докрасна, даетъ 10 гр. воды и количество газовъ, которое разъ въ 6 или въ 7 превышаетъ объемъ породы; слѣдовательно, 1 куб. метръ гранита, вѣсящій 2664 кгр., дастъ 26640 гр. воды, а 1 куб. километръ — 26.640.000 тоннъ или болѣе 26 милліоновъ кубическихъ метровъ. Въ то же время выдѣлится $6{,}7 \times 1.000.000.000$ или около 7 милліардовъ кубическихъ метровъ газовъ, приведенныхъ къ температурѣ 15°, а такъ какъ въ дѣйствительности газъ образуется при температурѣ краснаго каленія, то объемъ слѣдуетъ утроить.

Вода, получаемая такимъ образомъ, не является водой проникающей въ породы съ земной поверхности или карьерной влагой, а входитъ въ самый составъ минераловъ, образующихъ гранитъ. Что же касается газовъ, то А. Готье получилъ изъ гранита слѣдующіе: свободный водородъ (около 77%), углекислоту (15%), окись углерода (20%), метанъ (2%), азотъ и аргонъ (0,83%). Какъ разъ эти же газы были обнаружены анализомъ фумароллъ Санторина и горы Пеле. Другія кристаллическія породы дали аналогичные результаты.

Такимъ образомъ мы можемъ согласиться съ Арманомъ Готье, что породы, попадая на глубину, испытываютъ на себѣ дѣйствіе очень высокой температуры и выдѣляютъ вслѣдствіе этого воду и газы, тождественные съ газовыми изверженіями вулкановъ и въ количествѣ достаточномъ для объясненія происхожденія громадныхъ массъ водяного пара, выбрасываемыхъ во время пароксизмовъ вулканической дѣятельности. Такъ, во время изверженія Этны въ 1865 г., длившагося 200 дней, паръ, по приблизительному подсчету Фуке, выбрасывался въ количествѣ 11000 тоннъ въ день, что составило около 2 милліоновъ тоннъ за весь періодъ дѣятельности вулкана. А такъ какъ 1 куб. километръ гранита раскаленный докрасна даетъ около 27 милліоновъ тоннъ воды, то, по вычисленіямъ А. Готье, достаточно было бы четверти этого количества на все изверженіе Этны 1865 года.

Для объясненія образованія и выхода горячихъ ключей, являющихся ослабленной разновидностью вулканическихъ явленій, совершенно излишне прибѣгать къ гипотезѣ внезапныхъ проваловъ или быстраго опусканія геосинклиналей, какъ это мы дѣлали для объясненія происхожденія лавы и вулканическихъ продуктовъ; для образованія теплыхъ ключей достаточно было бы особой медленной дистилляціи кристаллическихъ породъ данной области дѣйствіемъ теплоты, выдѣляемой лежащими ниже расплавленными массами.

Газы, выдѣляющіеся при накаливаніи докрасна изверженныхъ породъ, не свойственны имъ по существу, а являются результатомъ различныхъ реакцій, которыя были изучены А. Готье и которыя хорошо объясняютъ намъ, какъ образовались на глубинѣ водородъ, углекислота, окись углерода, и азотъ, сопровождающіе вулканическія изверженія.

Но ни одна изъ этихъ реакцій не даетъ намъ отвѣта на вопросъ, откуда берутся въ вулканическихъ продуктахъ хлористые металлы и щелочныя хлористыя соединенія. А. Готье и Зюссъ полагаютъ, что эти вещества произошли изъ раскаленной зоны земной коры. Весьма вѣроятно также, что пиросфера выдѣляетъ не одни хлористыя соединенія, а также, надо полагать, сѣрнистыя, мышьяковистыя, углеродистыя и другія. Зюссъ причисляетъ сюда даже и водяной паръ. Отрицая морское происхожденіе воды и хлористыхъ соединеній выдѣляемыхъ вулканами, онъ считаетъ, что масса морей увеличивается съ каждымъ изверженіемъ. „Море, говоритъ онъ, является не производителемъ, а потребителемъ соли“ (XIX, 7).

Поднятіе вулканическихъ продуктовъ. — Выяснивъ происхожденіе жидкихъ и газообразныхъ вулканическихъ продуктовъ, мы должны еще, для полнаго разрѣшенія проблемы вулканизма, опредѣлить причину ихъ появленія наружу или другими словами механизмъ ихъ поднятія.

Гипотеза медленнаго осѣданія дна геосинклиналей объясняетъ намъ безпрерывное возобновленіе расплавленной глубинной магмы, мѣстныя измѣненія въ ея составѣ и медленное поднятіе вверхъ дистиллированныхъ газовъ; но для объясненія внезапнаго выдѣленія громаднаго количества водяного пара и газовъ, являющихся причиной взрывовъ при изверженіяхъ, необходимо допустить быстрое опусканіе и провалы вдоль расколовъ земной коры. Намъ уже извѣстно (гл. XVIII), что діатремы (горловины

и алмазоносные очаги) должны были образоваться вслѣдствіе подземныхъ взрывовъ. Эти вертикальные каналы въ литосферѣ были заполнены глубинной магмой и осколками горныхъ породъ, оторванныхъ отъ стѣнокъ канала, изверженіе которыхъ было вызвано расширеніемъ газа. Можно также допустить, что разъ отверстіе уже пробито, жидкія лавы подъ давленіемъ газа поднимаются въ каналѣ и затѣмъ разливаются по поверхности. Конечно, такимъ же образомъ лава можетъ воспользоваться прежде существовавшими трещинами. Гипотеза взрывовъ газовъ объясняетъ намъ одновременно и перемежающійся характеръ изверженій съ ихъ страшными взрывами и потоками лавы, которые выбрасываются изъ кратеровъ, оставляя ихъ пустыми, и ритмическое выдѣленіе газовъ въ видѣ фумароллъ, во время фазы покоя вулкана, черезъ его очагъ или боковыя трещины.

Расширеніемъ газовъ можно прекрасно объяснить такіе типы изверженій, какъ пелейскій, вулканскій и типъ Стромболи, т.-е. изверженія, сопровождающіяся частыми и сильными взрывами, но эта гипотеза совершенно непримѣнима къ истолкованію изверженій гавайскаго типа, при которыхъ лава безъ всякихъ взрывовъ совершенно спокойно вытекаетъ черезъ трещины вулкана. Въ этомъ случаѣ мы должны искать какую-либо другую причину поднятія лавъ.

Еще въ 1836 г. Джонъ Ф. В. Гершель объяснилъ причину поднятія лавы „простымъ гидростатическимъ давленіемъ“ осѣдающихъ частей земной коры на внутреннюю расплавленную массу, (XIII, 2). Съ тѣхъ поръ эта теорія, въ пользу которой говоритъ совпаденіе рядовъ вулкановъ съ зонами осѣданія земной коры, была развита главнымъ образомъ Эд. Зюссомъ. Связь грабеновъ съ вулканами вполнѣ очевидна; что же касается линій перегиба, соотвѣтствующихъ мѣстамъ пересѣченія двухъ фестонообразныхъ зонъ складчатости, то можно также вполнѣ согласиться съ тѣмъ, что онѣ совпадаютъ съ линіями вулкановъ, особенно имѣя въ виду остроумное указаніе Мишель-Леви (4),— что тяжесть двухъ обращенныхъ одна къ другой горныхъ цѣпей, давящихъ на промежуточный сводъ, должна способствовать выходу наружу вулканическихъ продуктовъ.

Проникновеніе расплавленной магмы въ промежки между слоями осадочныхъ породъ и образованіе лакколитовъ также лучше объясняется поднятіемъ расплавленнаго вещества подъ давленіемъ близъ лежащаго свода или перегиба слоевъ, чѣмъ гипотезой объясняющей поднятіе магмы расширеніемъ газа.

Существованіе въ пластовыхъ жилахъ и лакколитахъ контактныхъ явленій, обусловленныхъ фумаролами, является скорѣе исключительнымъ фактомъ.

Пиросфера и барисфера. — Подъ литосферой находится *пиросфера*, состоящая изъ расплавленной магмы очень высокой температуры. Къ такому заключенію приводитъ изученіе, регіональнаго метаморфизма и химическаго состава изверженныхъ породъ; оно подтверждается также и геотермическими данными.

Составъ этой магмы измѣняется, вѣроятно, лишь въ ея верхнихъ частяхъ благодаря мѣстной ассимиляціи различныхъ породъ, которыя опускаются на эти глубины вслѣдствіе осѣданія дна геосинклиналей или опусканія участковъ земной коры вдоль трещинъ. На большой глубинѣ, надо полагать, ея составъ болѣе однороденъ и приближается къ среднему химическому составу силикатовыхъ породъ, составляющихъ бо́льшую часть литосферы. Во всей ея массѣ, вѣроятно, происходятъ въ большомъ масштабѣ явленія ликваціи при чемъ, расплавленная магма выдѣляетъ газы, содержавшіеся въ ней въ растворенномъ состояніи. Такимъ путемъ, вѣроятно, образуются магнезіально-желѣзистая и щелочная магмы, намѣченныя Мишель-Леви (XX, 9). По мѣрѣ увеличенія глубины магнезіально-желѣзистая магма должна становиться все болѣе и болѣе основной и плотной пока, наконецъ, ея составъ не приблизится къ составу перидота.

И, дѣйствительно, этотъ минералъ встрѣчается въ видѣ включеній во многихъ основныхъ вулканическихъ породахъ и особенно въ базальтахъ. Изъ него, какъ извѣстно, часто состоитъ ядро многихъ бомбъ, выбрасываемыхъ во время изверженій типа Стромболи. Какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ, безъ сомнѣнія, мы имѣемъ дѣло съ обломками породы, образовавшейся вслѣдствіе затвердѣванія на очень большой глубинѣ, крайне основной магмы; эти обломки были захвачены поднимающимся вверхъ расплавленнымъ базальтомъ.

Многіе метеориты также часто содержатъ въ бо́льшемъ или меньшемъ количествѣ перидотъ, который встрѣчается въ нихъ вмѣстѣ съ самороднымъ желѣзомъ, съ хромистымъ и никелистымъ желѣзомъ и пироксеномъ. Перидотъ вмѣстѣ съ пироксеномъ встрѣчается въ различныхъ породахъ гранитной структуры, не содержащихъ бѣлыхъ элементовъ, и въ этихъ же породахъ преимущественно встрѣчается хромъ и никель. Съ

другой стороны единственными земными породами, содержащими самородное желѣзо, являются перидотитовыя породы. Большія включенія этого металла были найдены въ перидотитовыхъ базальтахъ Овифака въ Гренландіи; алмазоносное желѣзо Каньона Діабло въ Аризонѣ, глыбы котораго разбросаны вокругъ кратера, имѣетъ также вулканическое происхожденіе.

Поразительное сходство между метеоритами и земными элементами глубиннаго происхожденія привело Добре (XI, I) къ заключенію о единствѣ состава солнечной системы. Съ этой точки зрѣнія метеориты являются осколками разсыпавшагося небеснаго тѣла, случайно упавшими на нашу планету, а нѣдра земли должны имѣть одинаковый составъ съ метеоритами. Подъ зоной, богатой перидотомъ лежитъ такая зона, гдѣ желѣзо и близкіе ему металлы находятся неокисленными. Перидотъ такимъ образомъ является не только шлакомъ металлическаго ядра земли, но и *міровымъ шлакомъ*.

Муассанъ, стремясь добыть алмазы искусственнымъ путемъ (10), далъ новое подтвержденіе этой гипотезѣ. По мнѣнію знаменитаго химика, котораго такъ преждевременно лишилась наука, подъ силикатовой магмой пиросферы находятся расплавленныя массы желѣза, очень богатыя углеродистыми соединеніями желѣза, и другихъ металловъ. Внезапные притоки воды вызываютъ взрывы сопровождающіе выдѣленіе углеродистаго водорода и обусловливающіе образованіе діатремъ. Вслѣдствіе взрыва въ алмазоносный каналъ поднимаются и затвердѣваютъ въ немъ въ видѣ перидотита магнезіально-желѣзистая магма и углеродистый сплавъ, который при внезапномъ охлажденіи подъ давленіемъ образуетъ алмазъ; условія его образованія здѣсь тѣ же, при какихъ алмазъ получается и синтетическимъ путемъ въ электрической печи. Таково же должно было быть и происхожденіе глыбъ алмазоноснаго желѣза, выброшенныхъ въ Каньонѣ-Діабло.

Хотя гипотеза желѣзнаго ядра—*барисферы*—стоитъ въ противорѣчіи съ прежней теоріей расплавленной огненной или газообразной массы, простирающейся до центра земли, но зато подтверждается многими фактами, которые недавно указаны нѣсколькими учеными и особенно знаменитымъ шотландскимъ химикомъ лордомъ Кельвиномъ (Серъ Вильямъ Томсонъ).

Вычисленія средней плотности земли, произведенныя съ помощью самыхъ различныхъ методовъ, приводятъ къ тѣмъ же результатамъ и указываютъ, что средняя плотность земли выше 5. Такъ какъ самые верхніе слои состоятъ изъ соленой

воды, плотность которой едва превышаетъ единицу и изъ горныхъ породъ со средней плотностью въ 2,5, то для компенсаціи внутреннія части земли должны имѣть плотность, превышающую 5. Не допуская крайней величины 10,6, которую вычислилъ Рошъ, мы имѣемъ полное основаніе признать, что плотность центральнаго ядра по крайней мѣрѣ равна плотности желѣза, 7,7 или даже нѣсколько выше.

Правда, указывали, что такое допущеніе несовмѣстимо съ чрезвычайно высокой температурой центра земли и съ существованіемъ тамъ ядра изъ расплавленныхъ или газообразныхъ веществъ, которыя въ силу давленія должны были бы находиться въ состояніи „практически не отличающемся отъ твердаго". Лордъ Кельвинъ (11), опровергая такое возраженіе, замѣтилъ, что во-первыхъ у насъ нѣтъ никакого основанія признавать постепенное увеличеніе температуры къ центру земли, начиная съ слоя расплавленной массы, существованіе которой намъ доказываютъ вулканическія явленія и геотермическія данныя; кромѣ того, онъ указалъ что величины предваренія равноденствій и нутаціи не согласуются съ тѣми, къ которымъ приводитъ вычисленіе, при допущеніи, что центральное ядро въ расплавленномъ состояніи. Онъ указалъ, наконецъ, что жидкая сфера, покрытая чрезвычайно тонкой корой, должна была бы цѣликомъ подвергнуться дѣйствію приливовъ и отливовъ. Такимъ образомъ онъ пришелъ къ заключенію, что большая часть земли должна находиться въ твердомъ состояніи.

Гипотеза центральнаго металлическаго ядра или *барисферы*, состоящей преимущественно изъ желѣза, вполнѣ согласуется съ имѣющимися у насъ свѣдѣніями о земномъ магнетизмѣ, а, кромѣ того, изъ слѣдующей главы мы узнаемъ, что эта гипотеза подтверждается также и изученіемъ землетрясеній.

1.—Ferdinand Löwl. Spalten und Vulcane. *Jahrb. d. k. k.geol. Reichsanst.*, XXXVI, стр. 315-326, 1886.

2.—A. Michel-Lévy. Sur la coordination et la répartition des fractures et des effondrements de l'écorce terrestre en relation avec les épanchements volcaniques. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 3e sér., XXVI, стр. 105-121, таб. I, 1898.

3.—W. Branco. Zur Spaltenfrage der Vulcane. *Sitzungsber. d. k. preuss. Akad. d. Wiss*, 1903, no XXXVI, стр. 757-778. (многочисленныя библіографическія указанія).

4.—Michel Lévy. Le volcanisme. *Rev. scient.*, 5e sér., V, стр. 577 584, 12 mai 1896.

5.—Th. Thoroddsen. Die Bruchlinien Islands und ihre Beziehungen zu den Vulkanen. *Peterm. Mitt.*, LI, стр. 49-53, таб. V, 1905.

6.—Émile Haug. Sur les relations tectoniques et stratigraphiques de la Sicile et de la Tunisie. *C. R. Ac. Sc.*, CXLII, стр. 1105-1107, 1906.

7.—Armand Gautier. A propos de la composition des gaz des fumerolles du Mont Pelé. Remarques sur l'origine des phénomènes volcaniques. *C. R. Ac. Sc.*, CXXXVI, стр. 16-20, 1903.

8.—Id. Théorie des volcans. *Bull. Soc. belge de Géol.*, XVII, P. V. стр. 555-562, 1903.

9.—Id. La genèse des eaux minérales et ses rapports avec le volcanisme. *Annales des Mines*, 10e sér., IX, 1906, стр. 316-370.

10.—Henri Moissan. Nouvelles recherches sur la reproduction du diamant. *Annales de Chimie et de Physique*, 8e sér., V, стр. 174-208, 12 фиг., 1905.

11.—Sir William Thomson. [Lord Kelvin]. The internal condition of the earth; as to temperature, fluidity and rigidity [1878]. *Glasgow Geol. Soc. Trans.*, VI, стр. 38-49, 1882.

См. также: 0, 22; XII, 12; XIII, 2; XIX, 7.

Albert Brun. Recherches sur l'Exalaison volcanique, 4o 277 стр., 17 фиг., 34 таб. Genève Paris 1911.

R. Th. Chamberlin. The Gases in Rocks. *Contribut. to Cosmogony and the fundam. Problems of Geology, publ. by the Carnegie Inst.* Washington 1908.

R. A. Daly. The Nature of volcanic Action. *Proc. Amer, Acad. of Arts and Sciences V.* XLVII, No 3 1911. 122 стр , 5 таб. 15 фиг.

ГЛАВА XXII.

Землетрясенія.

Общія замѣчанія.— Видимые результаты землетрясеній.—Методическое изученіе землетрясеній.— Сейсмографы и сейсмограммы.—Причины землетрясеній.— Географическое распредѣленіе землетрясеній и связь ихъ съ дислокаціями земной коры.— Происхожденіе подводныхъ землетрясеній.

Общія замѣчанія. Если орогеническіе процессы, дѣйствующіе на поверхность земли, еще не совершенно окончились, во всякомъ случаѣ очевидно, что теперь они проявляются медленными или внезапными измѣненіями даннаго рельефа, а также движеніями, которыя такъ или иначе должны обнаруживаться. Это именно и происходитъ и все болѣе и болѣе убѣждаетъ насъ въ томъ, что *землетрясенія* являются ничѣмъ инымъ какъ движеніями земной коры, во всѣхъ отношеніяхъ подобными другимъ орогеническимъ движеніямъ.

Этотъ взглядъ, впрочемъ, далеко не новъ, такъ какъ еще въ 1563 году былъ высказанъ Бернаромъ Палисси [1]). „Вышеозначенный огонь, пишетъ онъ, все время питается и поддерживается подъ землей; часто случается, что черезъ большіе промежутки времени многія горы землетрясеніями или силой порождаемой этимъ огнемъ превращаются въ долины, а иногда камни, металлы и другіе минералы, лежащіе въ основаніи горы, сгораютъ, и, истребляя себя огнемъ, такая гора наклоняется и мало-по-малу осѣдаетъ; а иногда горы могутъ дѣлаться и возвышаться или благодаря увеличенію горныхъ породъ и минераловъ, которые сами растутъ, или иногда страна провалится или опустится вслѣдствіе землетрясенія, и тогда то, что останется, становится горами“ [2]). Въ этихъ строкахъ своего сочи-

---

[1]) Сочиненія Бернара Палисси, изданныя по рукописямъ подъ редакціей Анатоля Франса и съ его примѣчаніями. стр. 49, Парижъ 1880 г.

[2]) Здѣсь уже дается понятіе о „горстѣ“, правда, выраженное въ очень наивной формѣ.

нения „Récepte véritable“ нашъ знаменитый гончаръ былъ больше близокъ къ истинѣ, чѣмъ многіе современные геофизики, такъ какъ онъ уже намѣчалъ связь между осѣданіями и вулканическими явленіями, между орогеническими движеніями и землетрясеніями.

Задачей настоящей главы и будетъ доказательство этой связи, которая не признается многими современными учеными. *Сейсмическія* явленія могутъ быть нами разсмотрѣны лишь въ общихъ чертахъ, такъ какъ они составляютъ область совершенно самостоятельной науки „*сейсмологіи*“; ея методы и выводы изложены въ рядѣ превосходныхъ трудовъ (7, 8, 10, 11, 15, 16), первое мѣсто среди которыхъ занимаетъ недавно вышедшія двѣ книги Ф. Монтессю де Баллора (17, 20); знакомство съ ними чрезвычайно поучительно какъ для геолога, такъ и для физика, и намъ неоднократно придется ссылаться на эти сочиненія.

Въ этой главѣ мы прежде всего остановимся на наиболѣе видимыхъ результатахъ землетрясеній, затѣмъ перейдемъ къ методамъ, устанавливающимъ законы, которымъ подчинены эти явленія и, наконецъ, займемся чисто геологической стороной вопроса.

Видимые результаты землетрясеній. Землетрясенія всегда поражали воображеніе народовъ благодаря тѣмъ ужаснымъ разрушеніямъ, которыя были слѣдствіемъ нѣкоторыхъ изъ нихъ. Такъ, напр., во время землетрясенія 526 г. по Р. Х., охватившаго побережье Средиземнаго моря, число жертвъ насчитывается отъ 100000 до 200000 человѣкъ. Отъ Лиссабонскаго землетрясенія 1775 г., при которомъ область разрушенія была меньше, погибло до 30000 людей. Во время землетрясенія 1693 года въ Сициліи было убито 60000 человѣкъ. Въ Японіи землетрясенія очень часты, и статистическія свѣдѣнія, имѣющіяся съ 416 г. по Р. Х., указываютъ, что населеніе страдало отъ землетрясеній въ среднемъ каждые шесть съ половиной лѣтъ. Правда, большую часть опустошеній въ Японіи причиняютъ сейсмическія волны, такъ называемыя *тсунамисъ*, т.-е. особаго рода приливные валы, вызываемыя землетрясеніями на днѣ моря. Во время такого землетрясенія 15 іюня 1896 года, охватившаго берегъ въ 700 миль, по официальнымъ даннымъ погибло 30000 человѣкъ.

Правда, не отъ всѣхъ землетрясеній погибаетъ такъ много

людей, но каждое изъ нихъ приноситъ тѣ или иные матеріальные убытки, начиная съ образованія трещинъ въ зданіяхъ и кончая полнымъ разрушеніемъ построекъ.

Внимательное изслѣдованіе поврежденій, причиненныхъ землетрясеніемъ, даетъ уже намъ понятіе о характерѣ толчковъ, потрясающихъ землю.

Такъ, по направленію отбрасываемыхъ предметовъ мы можемъ отчасти судить о направленіи землетрясенія. Если высоко вверхъ подбрасываются предметы большихъ размѣровъ, то толчки надо признать вертикальными.

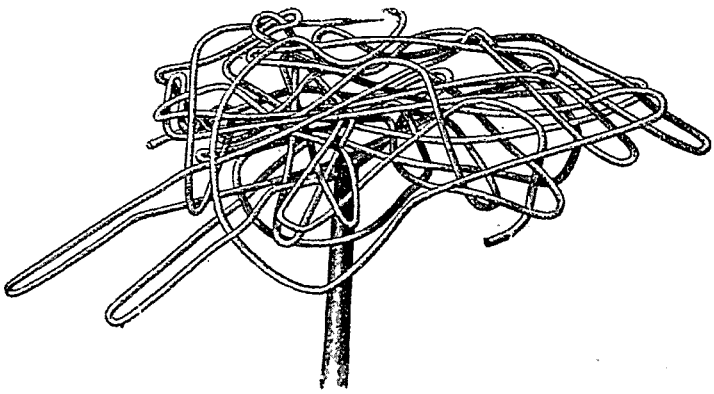
Но большею частью бываетъ боковой толчекъ въ нѣкоторомъ опредѣленномъ направленіи, по которому и падаютъ зданія и въ частности колокольни, колонны и т. п. Но случалось и такъ, что отдѣльныя колонны одного и того зданія опрокидывались въ различныхъ направленіяхъ. Не слѣдуетъ поэтому преувеличивать значенія тѣхъ указаній на направленіе толчка, которыя можно получить изучая поврежденія зданій; еще менѣе мы должны довѣрять впечатлѣніямъ очевидцевъ, которые, какъ это доказалъ Ф. А. Форель, опредѣляя направленіе толчка, почти всегда вводятся въ обманъ направленіемъ фасадовъ зданій и 9 разъ изъ 10 указываютъ, что толчекъ былъ параллеленъ или перпендикуляренъ направленію улицы.

Очень часто также, основываясь на вращательномъ смѣщеніи колоннъ, обелисковъ, статуй, дѣлали заключеніе о *вращательномъ* движеніи толчка, на самомъ же дѣлѣ такія смѣщенія объясняются тангентальнымъ характеромъ толчка.

Недавно произведенныя опыты со взрывами взрывчатыхъ веществъ показали, что сотрясенія имѣютъ направленія несравненно болѣе сложныя, чѣмъ это можно было предполагать. Частицы, приведенныя въ сотрясеніе, колеблятся въ самыхъ различныхъ направленіяхъ прежде чѣмъ опять придутъ въ состояніе покоя. Существуетъ только *максимальный размахъ* для многообразныхъ колебаній, обусловленныхъ землетрясеніемъ. Обыкновенно это бываетъ большая ось кривой болѣе или менѣе эллипсовидной, которая окружаетъ горизонтальную проэкцію всѣхъ траекторій. Модель (фиг. 134), сдѣланная Сеикеи Секіна, изображаетъ крайне запутанныя движенія точки земной поверхности во время землетрясенія въ Токіо 15 го января 1887 года.

Максимальный размахъ, значеніе котораго съ такой очевидностью указалъ Ф. Монтессю де Баллоръ (20, гл. II), объ-

ясняетъ намъ, почему часто въ разрушенномъ землетрясеніемъ городѣ остаются только тѣ фасады зданій, которые имѣли какое-либо одно опредѣленное направленіе. Такими уцѣлѣвшими фасадами бываютъ именно тѣ, направленіе которыхъ соотвѣтствуетъ направленію максимальнаго размаха. Иногда это направленіе въ данной мѣстности остается постояннымъ не только во время слѣдующихъ другъ за другомъ толчковъ одного и того же землетрясенія, но и въ рядѣ землетрясеній, происшедшихъ въ этой мѣстности даже черезъ значительные промежутки времени. Этотъ фактъ непремѣнно должны учитывать архитекторы, которымъ приходится вновь застраивать разрушенный городъ.

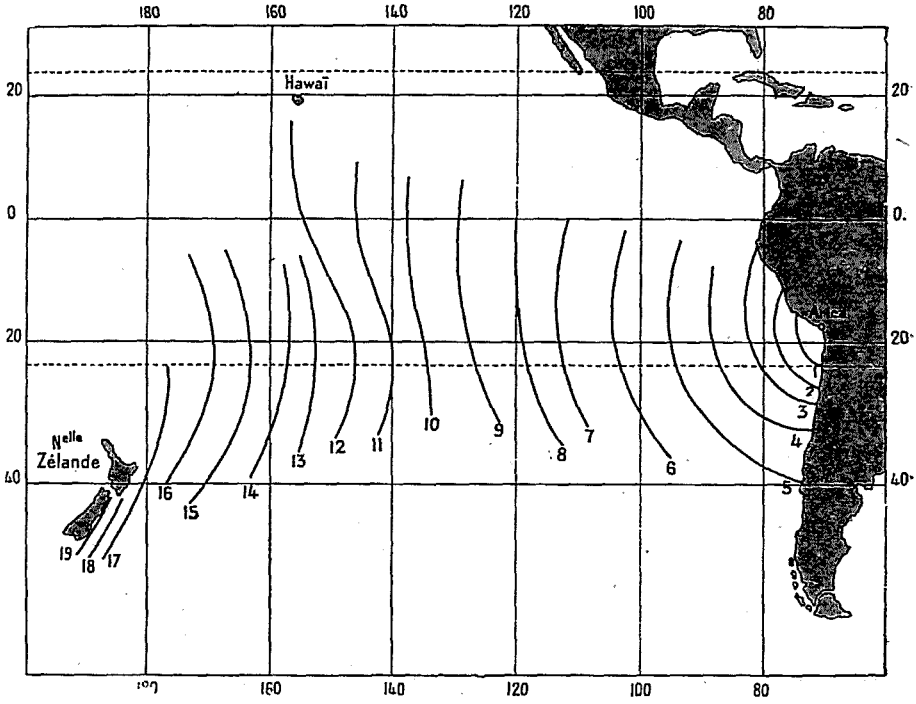


Фиг. 134. — Модель изображающая часть пути пройденнаго точкой земной поверхности во время землетрясенія въ Токіо 15 января 1887 г. (по Сеикен Секіия, фигура заимствованная у Монтессю де Баллоръ, La Science séismologique).

Лишь въ рѣдкихъ случаяхъ большое землетрясеніе ограничивается однимъ толчкомъ, обыкновенно же оно проявляется рядомъ ударовъ, при чемъ почти всегда каждый послѣдующій ударъ слабѣе предыдущаго, а промежутки между ударами все длиннѣе. Такіе *повторные толчки* могутъ затянуться на цѣлые мѣсяцы, при чемъ нѣкоторые изъ нихъ причиняютъ иногда такія же разрушенія, какъ и главный толчекъ. Наоборотъ, удары *предупредительные*—предшествующіе главному—почти всегда слабы и ихъ продолжительность значительно короче періода повторныхъ толчковъ.

Въ нѣкоторыхъ же случаяхъ даже, какъ бы, не существуетъ главнаго толчка, а наблюдается рядъ толчковъ одинаковой силы, чередующихся съ болѣе слабыми ударами. Ихъ обыкновенно называютъ *роями* (*essaims*).

Часто землетрясенія сопровождаются гуломъ, напоминающимъ отдаленные пушечные выстрѣлы или удары грома. Жители Южной Америки называютъ его *retumbos*, итальянцы *rombos*, фламандцы *mistpoeffers*, англичане, живущіе въ Индіи — *barrisal gunes*. Иногда гулъ слышенъ до главнаго толчка, а иногда послѣ него. Сила звука бываетъ самая разнообразная. Повидимому, звукъ чаще и лучше слышенъ въ тѣхъ областяхъ, гдѣ землетрясенія хотя и бываютъ, но проявляются рѣже и слабѣе. Намъ достовѣрно неизвѣстно передается ли онъ черезъ воздухъ или черезъ почву, такъ какъ къ изученію его недавно еще приступили.



Фиг. 135.—Часовыя гомосейсты сейсмическихъ волнъ въ Тихомъ океанѣ во время землетрясенія въ Арикѣ 13 августа 1868 г. (по Гохштеттеру).

Землетрясенія, охватывающія прибрежныя области, распространяются также и на море, сейсмическія волны котораго или *tsunamis* распространяются на очень большія разстоянія. Во время землетрясенія въ Арикѣ и Иквикѣ, такія волны перекатились черезъ Тихій океанъ съ быстротой, равной быстротѣ приливной волны. Часовыя гомосейсты по даннымъ Гохштеттера и Гейница почти совпали съ приливными линіями.

Разрушительное дѣйствіе землетрясенія сильнѣе всего поражаетъ зданія, но проявляется и на земной поверхности то вызывая осыпи и обвалы, то образуя не особенно глубокія трещины. Въ томъ и въ другомъ случаѣ отъ землетрясеній страдаютъ рыхлыя отложенія недавняго происхожденія, а изъ сооруженій всего чаще тѣ, которыя были построены на равнинахъ, сложенныхъ изъ галечника.

Направленіе трещинъ большею частью совпадаетъ съ направленіемъ оси долины (табл. XXXI); иногда же онѣ развѣтляются (табл. XXXII, 1, 2,), и могутъ принять форму звѣзды. Если въ трещины проникаетъ песокъ и цементируется тамъ, то образуются *песчаныя дайки*; если же подъ разбитымъ трещинами слоемъ находится илистая масса, то она проникаетъ въ трещины и появляется наружу въ видѣ *небольшихъ кратеровъ* (табл. XXXIII, I), похожихъ на грязевые вулканы. Неоднократно отмѣчалось также, что за сейсмическими ударами слѣдуютъ измѣненія въ дѣятельности источниковъ и глубокія измѣненія въ гидрографической сѣти данной мѣстности.

Наконецъ, сильныя землетрясенія оставляли послѣ себя и неизгладимые слѣды, въ видѣ настоящихъ сбросовъ земной коры съ амплитудой до 20 м., какъ напр., во время японскаго землетрясенія 20 октября 1891 г. (табл. XXXIII,2).

Методическое изученіе землетрясеній. — Начало методическому изученію землетрясеній было положено Маллэ въ 1846 году, когда онъ настойчиво указывалъ на значеніе общихъ и мѣстныхъ сейсмическихъ каталоговъ и на необходимость спеціальныхъ монографій, основанныхъ на систематическомъ изученіи большихъ землетрясеній. Въ то же время почти повсюду стали примѣняться спеціальные приборы *сейсмографы*, — которые точно отмѣчаютъ время, продолжительность, силу, количество и направленіе сотрясеній.

Очень важно было дать классификацію землетрясеній по ихъ интенсивности. Такъ построена *шкала Росси и Фореля*, въ которой землетрясенія распредѣлены по силѣ ихъ дѣйствія на человѣка и на зданія. Мы приводимъ ниже эту шкалу, которая является одной изъ самыхъ распространенныхъ.

Микросейсмическія движенія.

I. Колебанія отмѣчаются не всѣми аппаратами и ощущаются только немногими опытными наблюдателями.

II. Толчки отмѣчаются всѣми аппаратами и ощущаются лишь немногими наблюдателями, находящимися въ состояніи покоя.

III. Сотрясенія ощущаются многими лицами, находящимися въ состояніи покоя. Продолжительность и направленіе ударовъ уже могутъ быть опредѣлены.

IV. Сотрясенія чувствуются людьми, находящимися въ обычной дѣятельности; движеніе подвижныхъ предметовъ, оконъ, дверей, скрипъ половъ.

V. Сотрясенія ощущаются всѣми. Движенія болѣе крупныхъ предметовъ: мебели, кроватей. Звонъ колокольчиковъ.

VI. Пробужденіе всѣхъ спящихъ. Качаніе висячихъ лампъ, остановка стѣнныхъ часовъ, замѣтное качаніе деревьевъ. Многіе жители въ испугѣ покидаютъ дома.

VII. Опрокидываніе подвижныхъ предметовъ. Паденіе штукатурки и гипсовыхъ украшеній со стѣнъ и потолковъ. Башенные часы останавливаются. Общій ужасъ.

IIX. Паденіе дымовыхъ трубъ, трещины въ стѣнахъ зданій.

IX. Частичное или полное разрушеніе нѣкоторыхъ зданій.

X. Опустошеніе и разрушеніе. Расколы земли: трещины и сбросы. Горные обвалы.

Когда было обнаружено, что при каждомъ землетрясеніи существуетъ область, въ которой разрушенія достигаютъ своей наибольшей интенсивности, естественно, возникала задача найти въ области охваченной землетрясеніемъ, центральную точку, отъ которой шли удары.

Такъ какъ предполагалось, что землетрясеніе имѣетъ глубинное происхожденіе, то его очагъ или центръ, откуда появляется толчекъ, называли *гипоцентромъ*, а точку на поверхности земли, находящуюся какъ разъ надъ гипоцентромъ, называли *эпицентромъ*. Въ эпицентрѣ проявляется максимальная разрушительная сила, вокругъ него концентрически располагаются пояса съ все уменьшающейся силой сотрясеній, отдѣленные одинъ отъ другого концентрическими кривыми линіями, называемыми *изосейстами*, изъ которыхъ каждая характеризуется одинаковой степенью интенсивности толчковъ отмѣчаемой по опредѣленной шкалѣ.

Когда наблюденія произведены точно и въ достаточномъ количествѣ, можно начертить также *гомосейсты* или *косейсты*, т. е. кривыя соединяющія мѣста одновременнаго сотрясенія. Это является вторымъ болѣе точнымъ средствомъ опредѣленія эпицентра.

Въ теченіе долгаго времени считалось установленнымъ, что во всѣхъ изученныхъ землетрясеніяхъ эпицентръ являлся точкой, вокругъ которой изосейсты и гомосейсты описывали концентрическіе круги или эллипсы. Гипоцентръ же по мнѣнію Маллэ

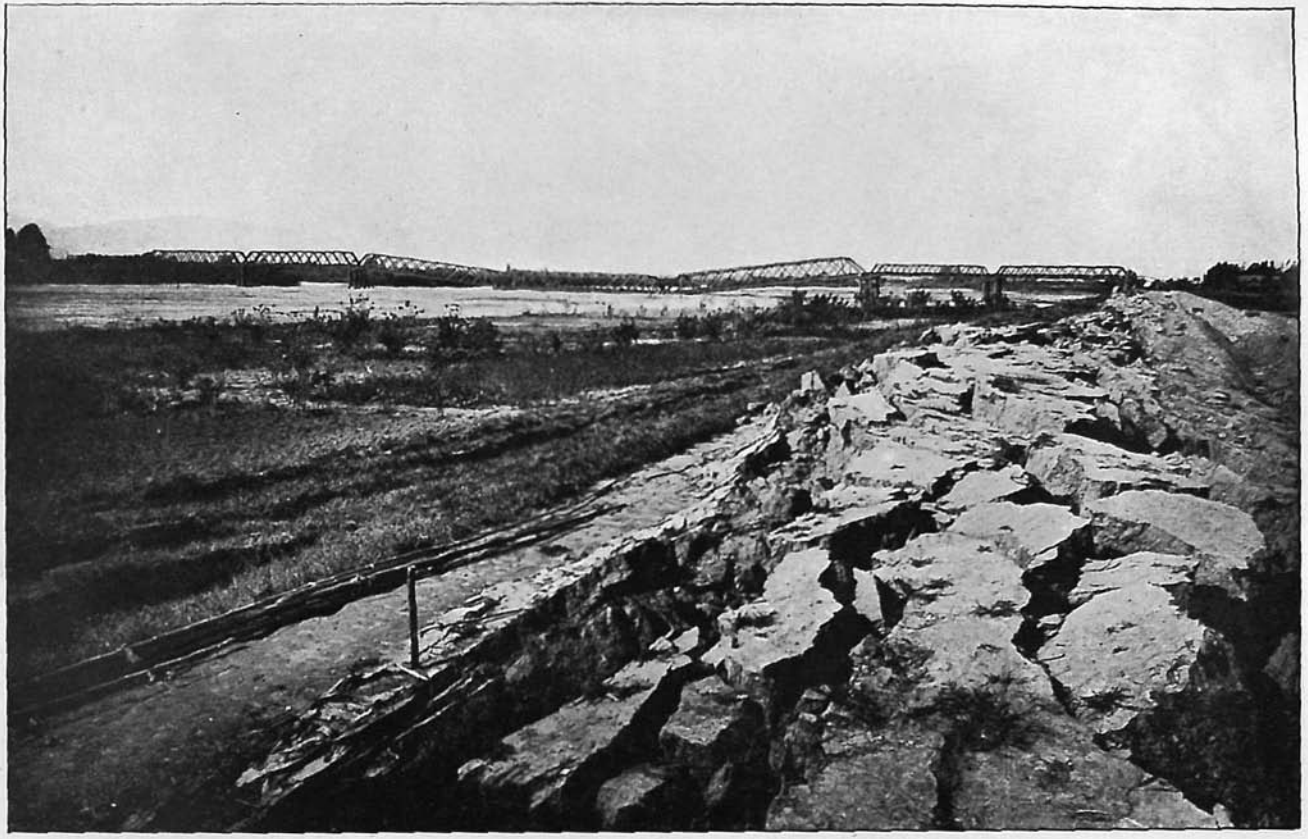
можно было опредѣлить по сходящимся поверхностямъ, которыя обозначаются наклономъ трещинъ образовавшихся въ зданіяхъ. Но теперь сильно оспаривается такой способъ опредѣленія, пользуясь которымъ получили для гипоцентра чрезвычайно большія глубины. Монтессю де Баллоръ (20, гл. III) послѣ критическаго разбора методовъ, опредѣляющихъ глубину очага землетрясенія приходитъ къ заключенію, что ни одинъ изъ нихъ не можетъ быть признанъ надежнымъ.

Что же касается эпицентра, то новѣйшія изслѣдованія отвергаютъ взглядъ на него, какъ на опредѣленную точку; на самомъ дѣлѣ колебанія исходятъ отъ линіи или даже довольно большой поверхности, *эпицентральной* или *плейстосейстовой зоны*. Часто такая линія является большою осью концентрическихъ эллипсовъ, соотвѣтствующихъ изосейстамъ. Обыкновенно послѣдовательныя землетрясенія охватывающія извѣстную область берутъ свое начало съ этой линіи, которая, какъ это мы сейчасъ увидимъ, представляетъ ничто иное, какъ одно изъ большихъ тектоническихъ нарушеній, существующихъ въ данной области. Въ другихъ же случаяхъ центромъ землетрясенія надо считать цѣлый участокъ земной коры.

Сейсмографы и сейсмограммы.—Даже краткое описаніе сейсмографическихъ приборовъ отвлекло бы наше вниманіе слишкомъ далеко (12). А поэтому мы укажемъ лишь на тотъ принципъ, на которомъ построены современные приборы, такъ какъ древніе сейсмоскопы и сейсмометры имѣютъ теперь для насъ только историческій интересъ, потому что даже самые усовершенствованные изъ нихъ отмѣчали лишь моментъ сильнѣйшаго сотрясенія.

Современные сейсмографы представляютъ собой почти исключительно вертикальные или горизонтальные маятники то легкіе, то тяжелые (фиг. 136). Вертикальные маятники дѣлаются длинными, метровъ въ 15 или въ 20 и болѣе, и вѣсятъ нѣсколько сотъ килограммовъ. Вслѣдствіе своей инерціи они не подвергаются тѣмъ сотрясеніямъ, которыя испытываетъ ихъ подставка, и такимъ образомъ эти колебанія нетрудно отмѣчать на лентѣ, развертывающейся при помощи часового механизма, увеличивая ихъ амплитуды при помощи рычаговъ или оптическихъ приспособленій.

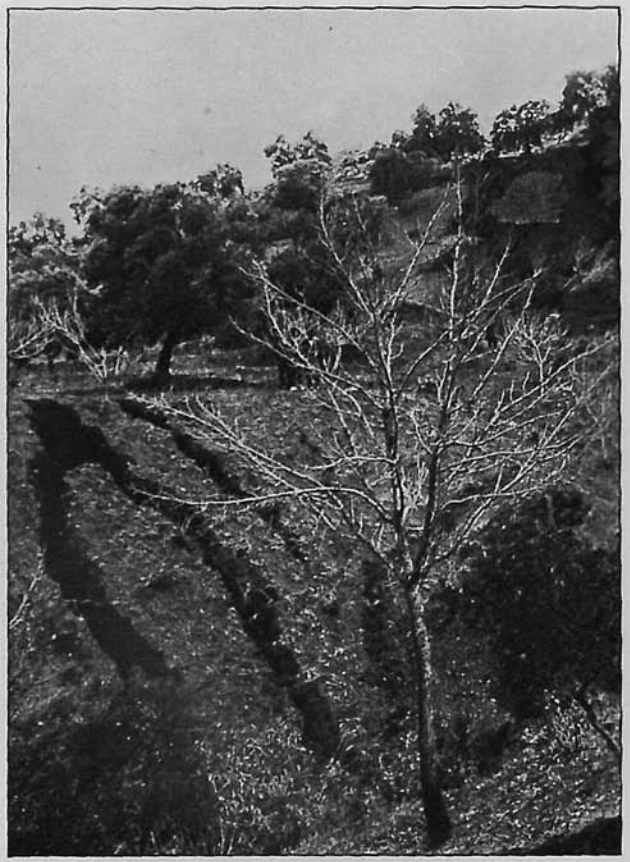
Вертикальный маятникъ былъ введенъ въ употребленіе фонъ-Реберъ-Пашвицемъ, который, изучая измѣненія напряженія тя-

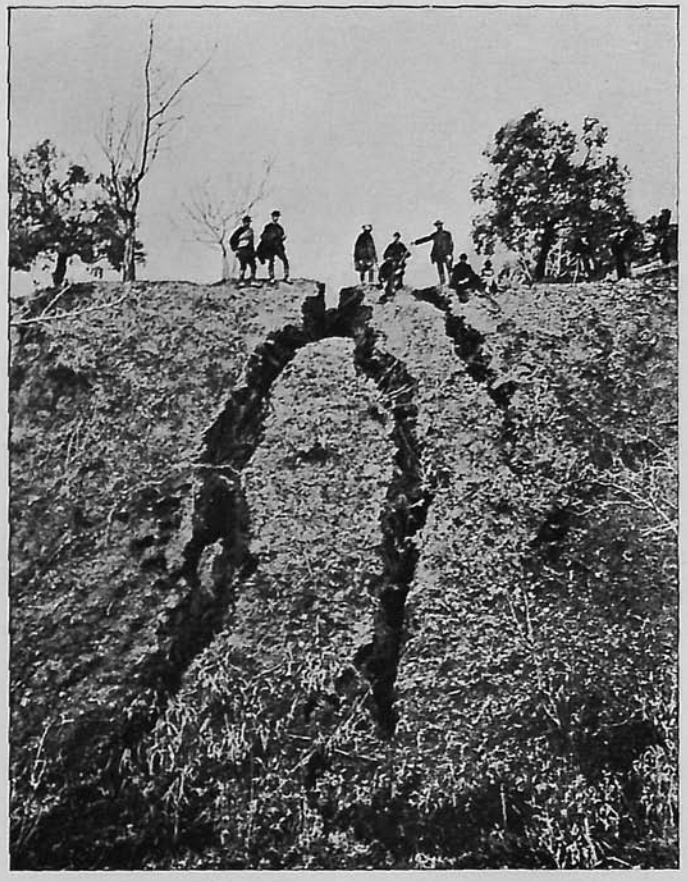


Негат. К. Огава.

Разрушенный мостъ на р. Нагара и образованіе трещинъ параллельныхъ руслу рѣки.

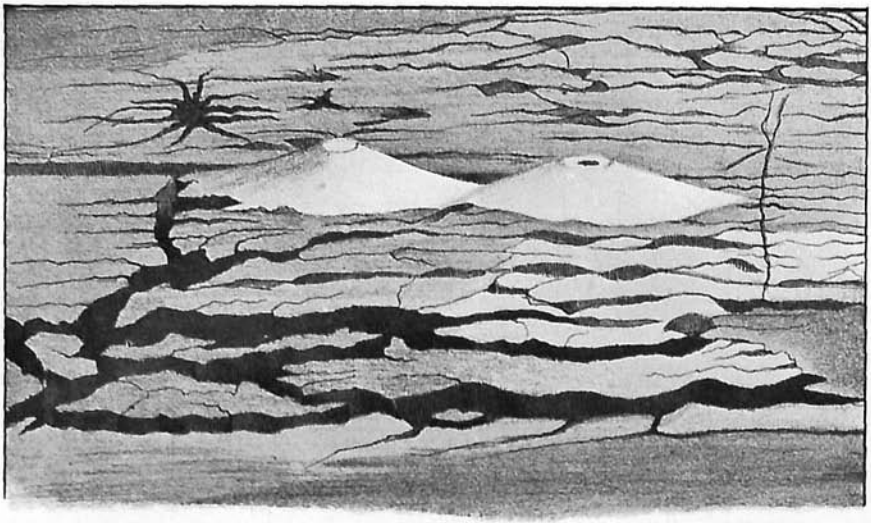
Большое японское землетрясеніе 1891 г.





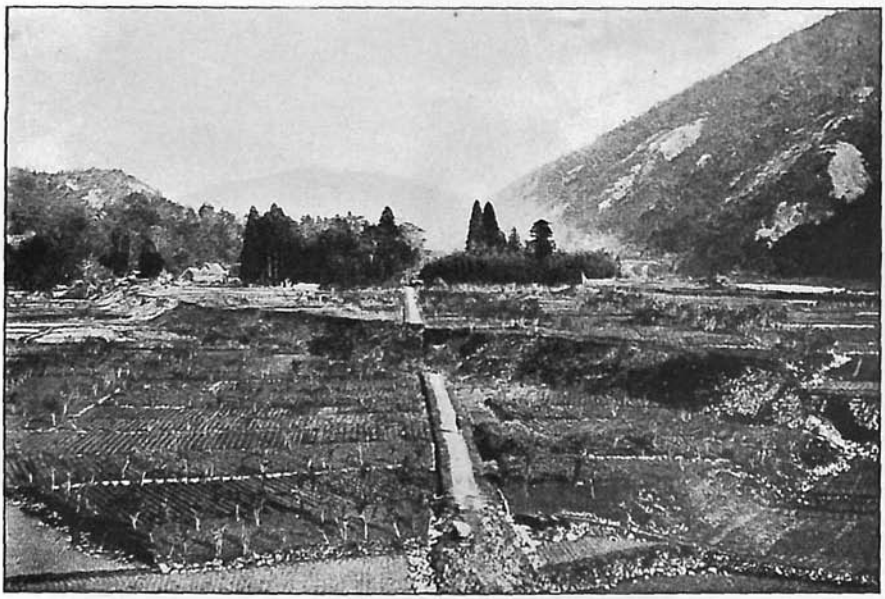
Негат. Андалузской экспедиціи.

Трещины Гуэвеяръ (Андалузія),
образовавшіяся во время землетрясенія 25 декабря 1884 г.



Негат. Монтессю.

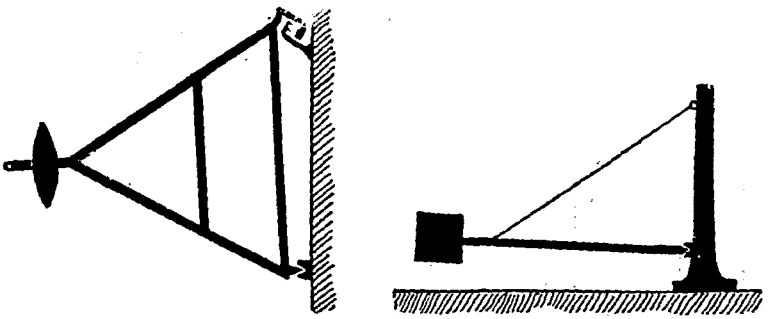
Трещины и маленькіе кратеры,
образовавшіеся на берегу Ахайи, во время землетрясенія Каланаки
26 декабря 1861 г. (по I. Шмидту).



Негат. Огава.

Сбросъ Мидори въ долинѣ Нео,
сопровождавшій большое японское землетрясеніе 28 октября 1891 г.

жести, замѣтилъ колебанія такого маятника, какъ бы безъ всякой видимой къ тому причины, на самомъ же дѣлѣ они были обусловлены микросейсмическими движеніями Тяжелые горизонтальные маятники (фиг. 136, *b*) представляютъ собою массу поддерживаемую горизонтальнымъ негнущимся стержнемъ, противоположный конецъ котораго упирается въ вертикальную колонну и поддерживается проволокой, идущей вкось отъ конца стержня до вершины колонны. Легкіе горизонтальные маятники (фиг. 136, *a*) состоятъ изъ треугольной металлической рамы, которая своею верхнею частью подвѣшена къ вертикальной колоннѣ, а своею нижней частью опирается на ту же колонну, грузъ же находится около вершины третьяго угла этой рамы. Иногда также употребляется чрезвы-



Фиг. 136.—Принципъ горизонтальныхъ маятниковъ (по Зибергу, фигуры заимствованы у Монтессю де Баллора, la Science séismologique).

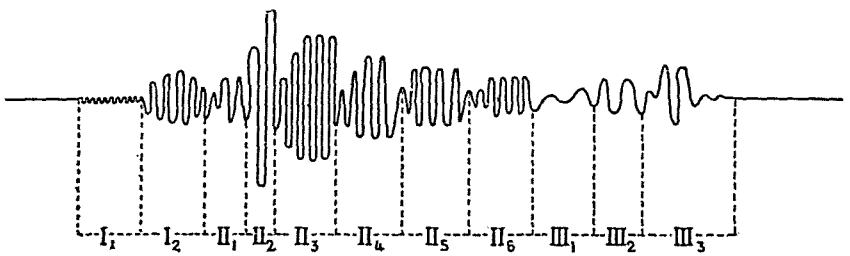
a, легкій горизонтальный маятникъ; *b*, тяжелый горизонтальный маятникъ.

чайно чувствительный опрокинутый маятникъ Вихерта, названный *астатическимъ* вслѣдствіе своего крайне неустойчиваго равновѣсія.

Современные сейсмографы записываютъ сотрясенія на бумажныхъ лентахъ, развертывающихся при помощи часового механизма; такимъ образомъ получается графическое изображеніе всего хода землетрясенія, такое изображеніе называется *сейсмограммой* На внимательномъ изученіи сейсмограммъ и построены важнѣйшіе выводы, къ которымъ пришла въ послѣдніе годы сейсмологія. Исключая изъ такой сейсмограммы всѣ мѣстныя колебанія, могущія быть отмѣченными (движенія экипажей, взрывы, бури, колокольный звонъ и т. д.), можно прочитать по ней отмѣтки всѣхъ колебаній, вызванныхъ землетрясеніями самыми отдаленными—такъ называемыми *телесейс-*

мами, если, конечно, ихъ сила была достаточна для прибора данной чувствительности. Теперь убѣдились, что употребляемые нынѣ приборы отмѣчаютъ всѣ большія землетрясенія, гдѣ бы они ни произошли. Телесейсмы являются лишь микросейсмическимъ отголоскомъ на большомъ разстояніи отдаленныхъ макросейсмическихъ колебаній.

Телесейсмограммы характеризуются довольно постоянными признаками, что и дало возможность вывести рядъ законовъ, управляющихъ распространеніемъ сейсмическихъ волнъ въ теллурической средѣ. Обыкновенно различаются три послѣдовательныя фазы сотрясеній (фиг. 137): начальная фаза (I, I_2), главная фаза (II, II_6) и заключительная фаза (III_1 III_3), при чемъ каждая изъ нихъ подраздѣляется на большее или меньшее число второстепенныхъ фазъ. Эти фазы не соотвѣтствуютъ послѣдовательнымъ сотрясеніямъ, ощущаемымъ при



Фиг. 137.—Схема нормальной телесейсмограммы (фигура взята изъ Ф. Монтессю де Баллора, la Science Séismologique).

макросейсмическихъ движеніяхъ; слѣдуя Ольдгему и Мильну, теперь допускаютъ, что имѣются различныя колебанія вызванныя однимъ и тѣмъ же ударомъ землетрясенія.

Начальная фаза, представляющая такъ называемыя предварительныя сотрясенія, записывается сейсмографомъ, находящимся почти прямо на противоположной сторонѣ земного шара, черезъ 20—22 мин. послѣ главнаго удара. Она выражается колебаніями очень небольшой амплитуды и съ очень короткимъ періодомъ.

Главная фаза отмѣчается минутъ черезъ 13 послѣ первой, колебаніями бо́льшей амплитуды и съ болѣе продолжительнымъ періодомъ.

Заключительная фаза оканчивается полтора часа спустя; она выражается очень длинными волнами большой продолжительности; она лучше отмѣчается горизонтальными маятниками, а двѣ первыя фазы хорошо записываются тяжелыми вертикальными маятниками.

Слѣдуетъ замѣтить, что вторая фаза соотвѣтствуетъ колеба-

міямъ, которыя достигаютъ мѣста наблюденія, потративъ вдвое больше времени, чѣмъ колебанія первой фазы. Поэтому мы можемъ считать, что волны этихъ двухъ категорій происходятъ вслѣдствіе колебанія твердаго упругаго тѣла, ибо тогда, какъ это доказалъ Вертхеймъ въ 1851 г., образуются продольныя и поперечныя волны, при чемъ первыя распространяются съ двое большей быстротой, чѣмъ вторыя. Такимъ образомъ, волны первой фазы будутъ поперечными, и волны второй фазы продольными, но происходятъ онѣ отъ одного и того же колебанія, которое распространяется черезъ земной шаръ по его діаметру.

Когда колебанія отмѣчаются не на противоположной землетрясенію сторонѣ земного шара, а въ точкахъ болѣе близкихъ, то можно констатировать, сравнивая между собой рядъ наблюденій, что быстрота распространенія волнъ первыхъ двухъ фазъ увеличивается съ увеличеніемъ разстоянія отъ мѣста землетрясенія. Что же касается третьей фазы, то быстрота ея волнъ остается неизмѣнной каково бы ни было разстояніе. Отсюда сдѣлали тотъ выводъ, что эти послѣднія волны распространяются по поверхности земного шара, въ земной корѣ; это — „поверхностныя волны“ лорда Релея. Быстрота ихъ значительно меньше, она достигаетъ 3—3,5 км. въ секунду, тогда какъ волны первыхъ двухъ фазъ распространяются съ быстротой 9,6 км. и 5 км. въ секунду.

Эти выводы имѣютъ громадное значеніе для рѣшенія вопроса о томъ, что находится внутри земли.

Быстрота распространенія поверхностныхъ волнъ вполнѣ согласуется съ данными различныхъ ученыхъ въ частности Фуке, Мишель-Леви (9), Аббо. Магаока, Кусакабе, изслѣдовавшихъ быстроту распространенія искусственно вызванныхъ колебаній, по породамъ различной плотности. Быстрота же распространенія продольныхъ и поперечныхъ волнъ первыхъ двухъ фазъ, указываетъ на то, что онѣ распространяются *по средѣ болѣе твердой, чѣмъ сталь*. Эти заключенія блестяще подтверждаютъ тотъ выводъ, къ которому пришли геологи и физики на основаніи изученія центральнаго ядра земли или барисферы, т. е. на основаніи явленій совершенно другого порядка (гл. XXI). Исходя изъ гипотезы твердаго центральнаго ядра земли, легко понять, почему быстрота распространенія продольныхъ и поперечныхъ волнъ увеличивается вмѣстѣ съ разстояніемъ отъ мѣста наблюденія до точки, гдѣ возникло землетрясеніе, такъ какъ линія, соединяющая эти двѣ точки земной поверхности, пере-

сѣкаетъ среду, плотность и проводимость которой увеличиваются все болѣе по мѣрѣ того, какъ эта линія приближается къ діаметру большого круга.

На основаніи этихъ данныхъ можно строить графическое изображеніе, позволяющее опредѣлить болѣе или менѣе правильно длину дуги, соединяющей мѣсто наблюденія съ эпицентромъ землетрясенія. Комбинируя же данныя различныхъ сейсмографовъ, находящихся другъ отъ друга на довольно значительномъ разстояніи, удается съ большою точностью опредѣлить географическія координаты эпицентра землетрясенія [1]).

Однимъ изъ главнѣйшихъ результатовъ примѣненія этого метода, была возможность установить съ достовѣрностью, что *эпицентръ большей части землетрясеній находится въ морѣ*, но не посерединѣ океановъ, а на нѣкоторомъ болѣе или менѣе значительномъ разстояніи отъ береговъ, которые часто подвергаются сильнымъ сотрясеніямъ. Этотъ выводъ самъ собой уже напрашивается при изученіи приливныхъ валовъ или цунамисъ японскихъ землетрясеній; изслѣдованія же Мильна придали ему болѣе общее значеніе.

Причины землетрясеній. Выяснивъ болѣе или менѣе внѣшнія проявленія сейсмическихъ явленій и законы регулирующіе распространеніе колебаній, мы должны остановиться на вопросѣ о причинахъ землетрясеній. Въ теченіе долгаго времени мнѣнія геологовъ по этому вопросу сильно расходились, но теперь его можно считать рѣшеннымъ.

Прежде всего мы должны выдѣлить въ совершенно особую категорію чисто мѣстныя, очень незначительныя землетрясенія, обусловливаемыя *обрушиваніемъ подземныхъ пустотъ*, напр., пещеръ въ известнякахъ или внезапными осѣданіями грунта, вслѣдствіе растворяющаго дѣйствія подземной воды на каменную соль и гипсъ. Эти явленія обрушиванія подобны обваламъ рудниковъ и ощущаются лишь на незначительномъ разстояніи отъ мѣста провала. Количество этихъ землетрясеній совершенно ничтожно.

Долгое время считалась неоспоримой теорія *вулканическаго*

---

[1]) Отсюда видно, какое значеніе имѣетъ существованіе многочисленныхъ сейсмическихъ станцій; поэтому за послѣдніе 20 лѣтъ обнаружилось стремленіе къ увеличенію ихъ числа во всѣхъ цивилизованныхъ странахъ. Франція къ сожалѣнію проявила интересъ къ этому начинанію лишь въ послѣдніе годы, такъ что въ теченіе долгаго времени сейсмографъ Гренобльскаго университета былъ единственнымъ, дѣйствовавшимъ въ этой странѣ.

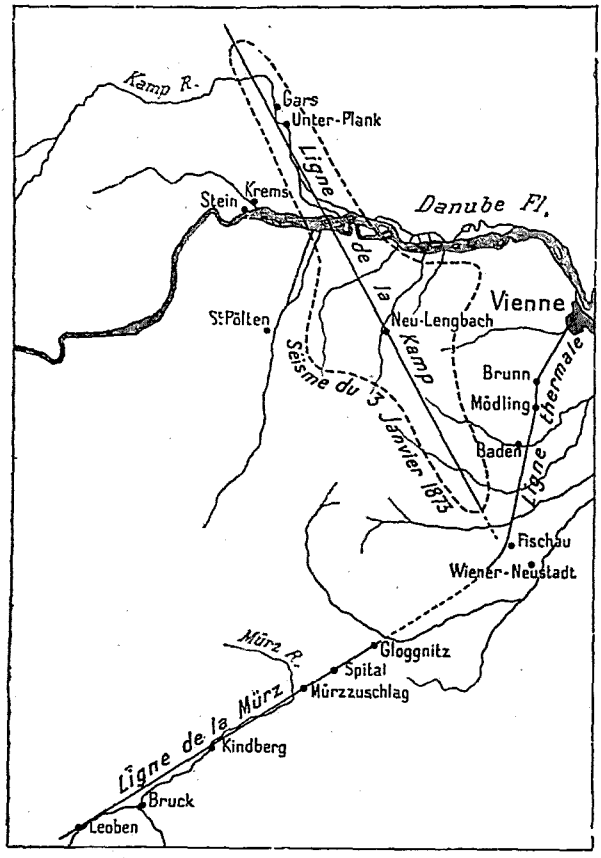
происхожденія землетрясеній. Намъ уже извѣстно значеніе взрывовъ при вулканическихъ изверженіяхъ; намъ также извѣстно, что они сопровождаются сотрясеніями почвы, подобными чисто сейсмическимъ явленіямъ, по крайней мѣрѣ по тѣмъ результатамъ, которые обнаруживаются въ предѣлахъ очень ограниченной области, потому что, какъ бы ни были сильны сотрясенія, вызванныя въ данной мѣстности подземными или наружными вулканическими взрывами, они не распространяются на большое разстояніе отъ мѣста своего возникновенія. Такъ, напр., ужасный взрывъ, совершенно разрушившій въ 1888 г. одинъ изъ боковыхъ конусовъ вулкана Бандай-Санъ въ Японіи, вызвалъ сейсмическое сотрясеніе, которое, по вычисленіямъ Ямасаки, охватило лишь пятидесятую часть поверхности, подвергшейся землетрясенію въ 1891 г. Поэтому совершенно невозможно считать причиной всѣхъ сейсмическихъ явленій вулканическую дѣятельность и въ частности взрывы, такъ какъ большая часть землетрясеній и притомъ самая значительная по интенсивности и захваченному пространству не сопровождалась какими-либо вулканическими явленіями. Кромѣ того, во многихъ мѣстностяхъ, особенно часто подвергающихся землетрясеніямъ, даже не существуетъ дѣйствующихъ вулкановъ.

Близость моря не является непременнымъ условіемъ сейсмическихъ проявленій такъ же какъ и вулканической дѣятельности. Между тѣмъ долгое время господствовало мнѣніе, что просачиваніе морской воды черезъ трещины литосферы необходимо какъ для вулканическихъ, такъ и для сейсмическихъ явленій.

Кромѣ этихъ двухъ категорій землетрясеній—вызываемыхъ провалами и вулканическими взрывами — австрійскіе геологи выдѣлили еще третью самую главную категорію, а именно *землетрясенія, обусловленныя тектоническими причинами*. Правда, Ами-Буэ еще въ 1851 г. подмѣтилъ связь между орогеническими и сейсмическими движеніями, но лишь прекрасныя работы Зюсса о землетрясеніяхъ Нижней-Австріи (1) и южной Италіи (2) доказали тѣсную связь землетрясеній съ орогеническими процессами. Въ первомъ своемъ сочиненіи о землетрясеніяхъ Нижней-Австріи Зюссъ установилъ существованіе „трехъ сейсмическихъ линій“, вдоль которыхъ находились эпицентры большей части землетрясеній, бывшихъ въ этой области: линія рѣки Кампъ, линія теплыхъ ключей (термальная линія) и линія рѣки Мюрцъ (фиг. 138). Двѣ послѣднія линіи совпадаютъ съ большими дислокаціями восточныхъ Альпъ, первая съ поперечною,

вторая съ продольною. Что же касается первой линіи, то намъ еще придется говорить о ней.

Въ работѣ, посвященной землетрясеніямъ южной Италіи, Зюссъ установилъ, что эпицентры большей части сицилійскихъ и калабрійскихъ землетрясеній расположены на большой дугѣ окружности, въ центрѣ которой находятся Липарскіе острова, и вдоль которой земная кора опускается, образуя котловину. Кромѣ того, образовался рядъ сходящихся къ Липарскимъ островамъ радіальныхъ трещинъ, вдоль которыхъ также размѣстились эпицентры землетрясеній (фиг. 139).



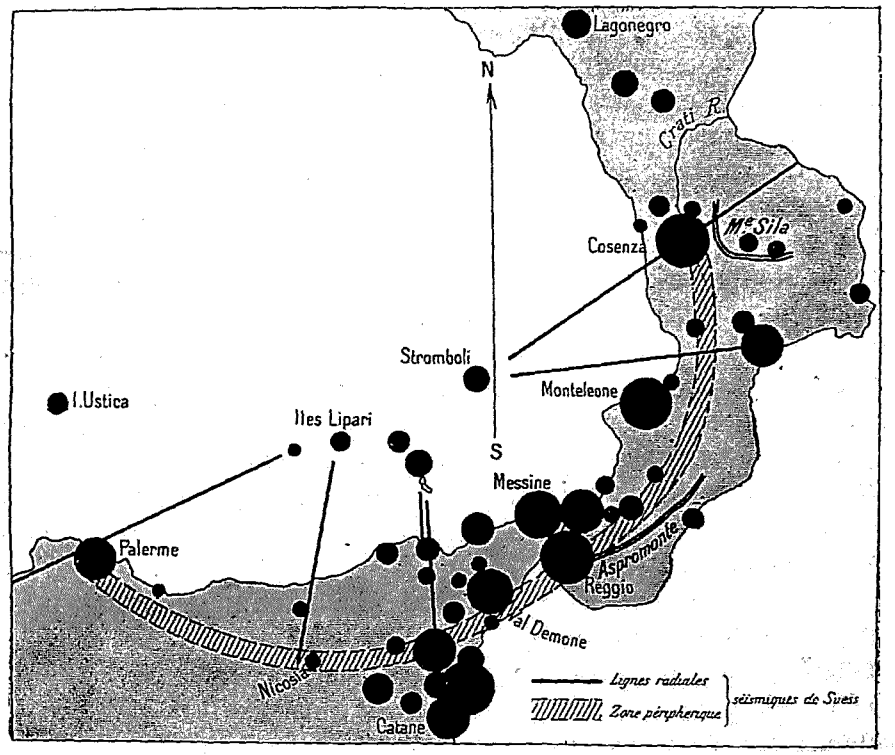
Фиг. 138.—„Ударныя линіи“ Нижней Австріи (по Э. Зюссу).

Зюссъ привелъ (0,22) и рядъ другихъ примѣровъ, которые подтверждаютъ его выводы и приводятъ къ установленію тектонической классификаціи землетрясеній, къ которой мы еще вернемся впослѣдствіи.

Прежде чѣмъ перейти къ законамъ сейсмической географіи, которые намъ еще яснѣе докажутъ связь землетрясеній съ орогеническими процессами, мы должны сказать нѣсколько словъ о якобы существующей зависимости землетрясеній отъ нѣкоторыхъ явленій, чуждыхъ земной корѣ.

Такъ, напр., нѣкоторые ученые старались на основаніи статистическихъ данныхъ доказать столѣтнюю періодичность эпохъ отмѣченныхъ часто повторяющимися землетрясеніями. Другіе пытались установить распредѣленіе землетрясеній по временамъ года, по крайней

мѣрѣ для умѣреннаго климата, и утверждали, что на зиму приходится максимумъ землетрясеній. Третьи выдвигали, какъ правило, совпаденіе землетрясеній съ большими метеорологическими возмущеніями. Перрей и Фальбъ думали найти зависимость между землетрясеніями и движеніями луны. Искали также связи между большими землетрясеніями и періодическими годовыми



Фиг. 139.—Соотношеніе землетрясеній Калабріи и Сициліи съ дислокаціями. Діаметръ черныхъ кружковъ пропорціоналенъ частотѣ землетрясеній (по Э. Зюссу и Ф. Мантессю-де-Баллору).

Прямыя линіи—радіальныя сейсмическія линіи.

Крупно заштрихованная полоса—периферическая сейсмическая зона.

измѣненіями линіи земныхъ полюсовъ. Монтессю-де-Баллоръ (20, гл. VIII) подвергъ критикѣ всѣ эти теоріи и далъ имъ правильную оцѣнку, которую заканчиваетъ слѣдующими словами: „Итакъ, какое же значеніе имѣли всѣ труды, потраченные на то, чтобы на основаніи случайныхъ *совпаденій* установить иногда *a priori* предполагаемую связь между землетрясеніями и разными явленіями, чуждыми земной корѣ? Никакого или почти никакого. Вслѣдствіе этого быть можетъ половинѣ сейсмологической литературы суждено быть забытой, и надо надѣяться навсегда.

А между тѣмъ, какъ далеко могла бы двинуться наука впередъ, если бы всѣ эти труды, направленные по ложному пути, были посвящены изученію геологическихъ явленій и ихъ вліянія на происхожденіе землетрясеній".

Географическое распредѣленіе землетрясеній и связь ихъ съ дислокаціями земной коры. Одна изъ большихъ работъ Монтессю-де-Баллора посвящена вопросамъ сейсмической георгафіи (17). Въ своемъ кропотливомъ изслѣдованіи онъ отмѣчаетъ распредѣленіе сейсмическихъ движеній по континентальнымъ площадямъ и геосинклиналямъ, пользуясь терминами, предложенными авторомъ этого курса еще въ 1900 году (гл. XII, 12), мы употребляемъ ихъ и въ этой книгѣ. Мы не можемъ сейчасъ слѣдовать аналитическому методу изложенія Монтессю-де-Баллора, такъ какъ эта книга представляетъ собой не курсъ мѣстной геологіи, и мы не должны терять изъ вида, что главной нашей задачей является основательное изученіе геологическихъ явленій вообще. Такъ же, какъ и при изученіи дислокацій, мы раздѣлимъ тектоническія землетрясенія на двѣ группы: землетрясенія, соотвѣтствующія тангенціальнымъ движеніямъ, и землетрясенія, соотвѣтствующія вертикальнымъ движеніямъ земной коры. Мы разсмотримъ сначала вторую категорію землетрясеній.

Вертикальныя движенія. Мы уже видѣли, что осѣданія, обусловленныя ослабленіемъ тангентальныхъ силъ въ сводахъ земной коры, обнаруживаются появленіемъ трещинъ. Трудно себѣ представить, чтобы эти движенія происходили безъ толчковъ и не сопровождались сотрясеніями почвы. Кромѣ того, неоднократно было установлено, что во время сильныхъ землетрясеній образовались расколы, сопровождавшіеся перемѣщеніемъ слоевъ, т. е. настоящими сбросами (табл. XXXIII, 2). Съ другой стороны вдоль особенно большихъ трещинъ расположены эпицентры землетрясеній или эти трещины сами являются эпицентрами.

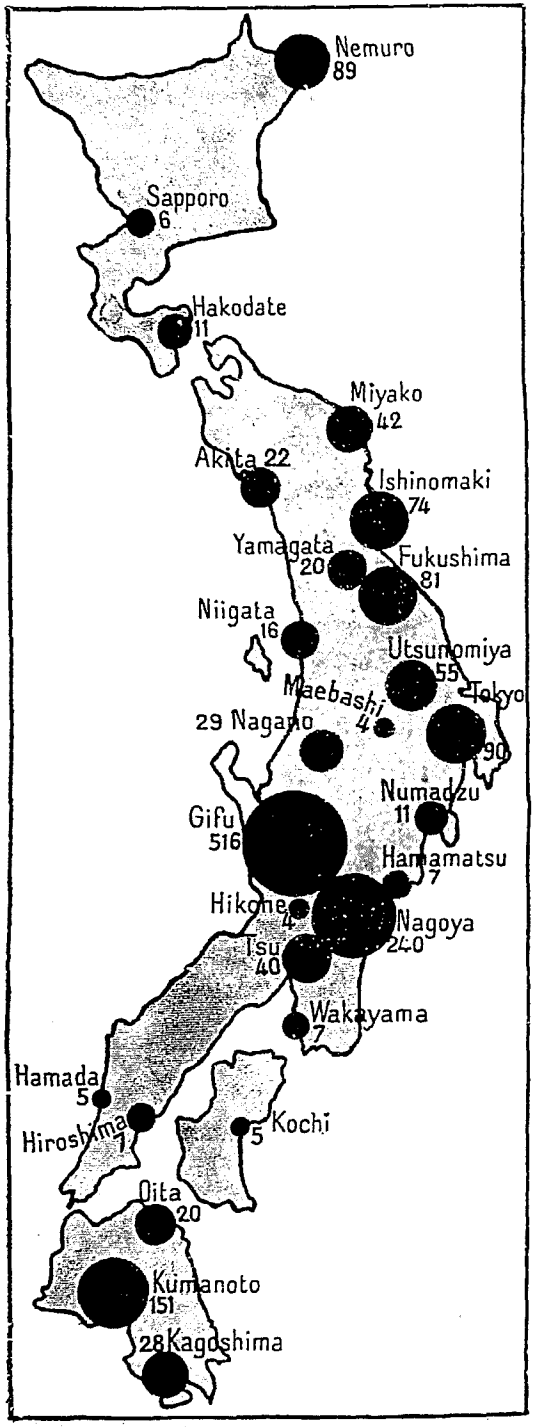
Въ странахъ, столоваго строенія, сейсмическія явленія наблюдаются гораздо рѣже, что и констатируетъ Монтессю-де-Баллоръ, указывая на почти полное ихъ отсутствіе на континентальныхъ площадяхъ. Однако, большая трещина, идущая вдоль восточнаго берега Мадагаскара, повидимому, совпадаетъ съ линіей частыхъ, хотя и слабыхъ, землетрясеній. Также и Эѳіопскій сбросъ съ его продолженіемъ по Красному морю и долинѣ

Іордана совпадаетъ съ зоной землетрясеній, въ которую входятъ сейсмическіе центры Ливана и Абиссинскаго плоскогорья. Сейсмическія области Исландіи, по даннымъ Тородсена, совпадаютъ съ участками, которые отдѣлены одинъ отъ другого сбросами. Рейнская сбросовая впадина, между Базелемъ и Майнцемъ, неоднократно подвергалась землетрясеніямъ, правда, очень незначительнымъ. Область, охваченная землетрясеніемъ 22 января 1896 г., какъ разъ ограничивается контуромъ древняго массива Шварцвальда, какъ это видно изъ данныхъ, опубликованныхъ Футтереромъ. Этотъ фактъ доказываетъ, что иногда сейсмическія движенія распространяются по всему протяженію горста, тогда какъ осѣвшія области, къ нему примыкающія, остаются болѣе или менѣе устойчивыми.

Продольныя трещины древнихъ горныхъ цѣпей также иногда являются ударными линіями, какъ напр., трещины Календонскаго канала въ Шотландіи.

Особенно же сильно подвержены землетрясеніямъ трещины, соотвѣтствующія угламъ перегиба гирляндообразно расположенныхъ складчатыхъ горъ, и это совпаденіе особенно характерно для третичныхъ горныхъ цѣпей, окаймляющихъ Азію. Чаще чѣмъ гдѣ-либо на земномъ шарѣ проявляются сейсмическія движенія въ „большомъ граббенѣ“ Японіи (фиг. 140). Почти всѣ индійскія землетрясенія локализованы въ углахъ, гдѣ Гималайская дуга сходится по одну сторону съ Иранскою и по другую—съ Малайскою. Къ сожалѣнію до сихъ поръ не было обращено достаточно вниманія на тѣсную зависимость линій схожденія складокъ съ ударными линіями. Между тѣмъ такая зависимость наблюдается и въ древнихъ складчатыхъ областяхъ; такъ, напр., эпицентръ Скандинавскаго землетрясенія 23 октября 1904 г. находился на оси впадины Христіаніи, а рои землетрясеній Фогтланда были сосредоточены въ углу, образуемомъ Рудными горами и Тюрингенскимъ лѣсомъ. Наконецъ, является еще вопросомъ не соотвѣтствуетъ ли ударная линія по рѣкѣ Кампъ въ Нижней Австріи, о которой мы уже говорили, лежащей на глубинѣ линіи перегиба Арморикско-Варасскихъ складокъ, скрытой теперь Альпійскими складками.

Тангенціальныя движенія. Несомнѣнно, что чаще и интенсивнѣе бываютъ землетрясенія, обусловливаемыя тангенціальными движеніями, чѣмъ землетрясенія, вызываемыя вертикальными перемѣщеніями земной коры по сбросамъ. Однако, они почти исключительно сосредоточены въ горныхъ цѣпяхъ срав-



Фиг. 140.—Карта, показывающая степень распространенности землетрясеній въ Японіи. Діаметры черныхъ кружковъ пропорціональны частотѣ землетрясеній. Цифры указываютъ среднія годовыя числа землетрясеній на главныхъ сейсмологическихъ станціяхъ (фигура взята у Ф. Монтессю де Баллора, въ Géographie séismologique).

нительно недавняго образованія, приблизительно соотвѣтствующихъ по времени своего возникновенія Альпійской цѣпи, между тѣмъ какъ въ древнихъ горныхъ цѣпяхъ землетрясенія вызываются только осѣданіями земной коры. Не удивительно поэтому, что Монтессю де Баллоръ (17) пришелъ къ заключенію, что землетрясенія сосредоточены на мѣстѣ геосинклиналей вторичной эры, такъ какъ третичныя складки расположены, какъ мы уже знаемъ, именно по этимъ чрезвычайно подвижнымъ полосамъ литосферы. Такимъ образомъ, почти всѣ сейсмическія зоны за исключеніемъ 2—3 сомнительныхъ случаевъ локализованы на геосинклиналяхъ, для которыхъ и являются характерными. Статистическія данныя о 159781 землетрясеніяхъ начиная съ 1903 г. привели Монтессю де Баллора къ установленію слѣдующаго закона.

„Земная кора сотрясается болѣе или менѣе однообразно и почти исключительно вдоль

двухъ узкихъ зонъ, которыя расположены соотвѣтственно двумъ большимъ кругамъ (въ геометрическомъ смыслѣ слова), образующимъ между собой уголъ приблизительно въ 67°: зона Средиземноморская или Альпійско-Кавказско-Гималайская, на которую приходится 53,54% всѣхъ землетрясеній, и зона Тихоокеанская или Андо-Японско-Малайская, на которую падаетъ 41,08% землетрясеній.

Выводы, формулированные въ этомъ законѣ, не подлежатъ сомнѣнію, но сопоставленіе двухъ большихъ круговъ съ геосинклиналями вторичной эры можетъ быть принято только какъ болѣе или менѣе вѣроятное предположеніе и то съ нѣкоторыми оговорками. Было бы неправильно заключать, что центры 94% землетрясеній находятся въ полосѣ третичныхъ складокъ, какъ бы сильно не были подвержены сотрясеніямъ горныя цѣпи, входящія въ рубрику альпійскихъ складокъ. Для того же, чтобы убѣдиться въ сильной сейсмичности третичныхъ складчатыхъ областей, достаточно указать на землетрясенія Апеннинскаго полуострова, восточныхъ Альпъ, Туркестана, береговыхъ цѣпей Калифорніи, не говоря уже о богатыхъ вулканами хребтовъ каковы: Зондскіе острова, Японія, Анды.

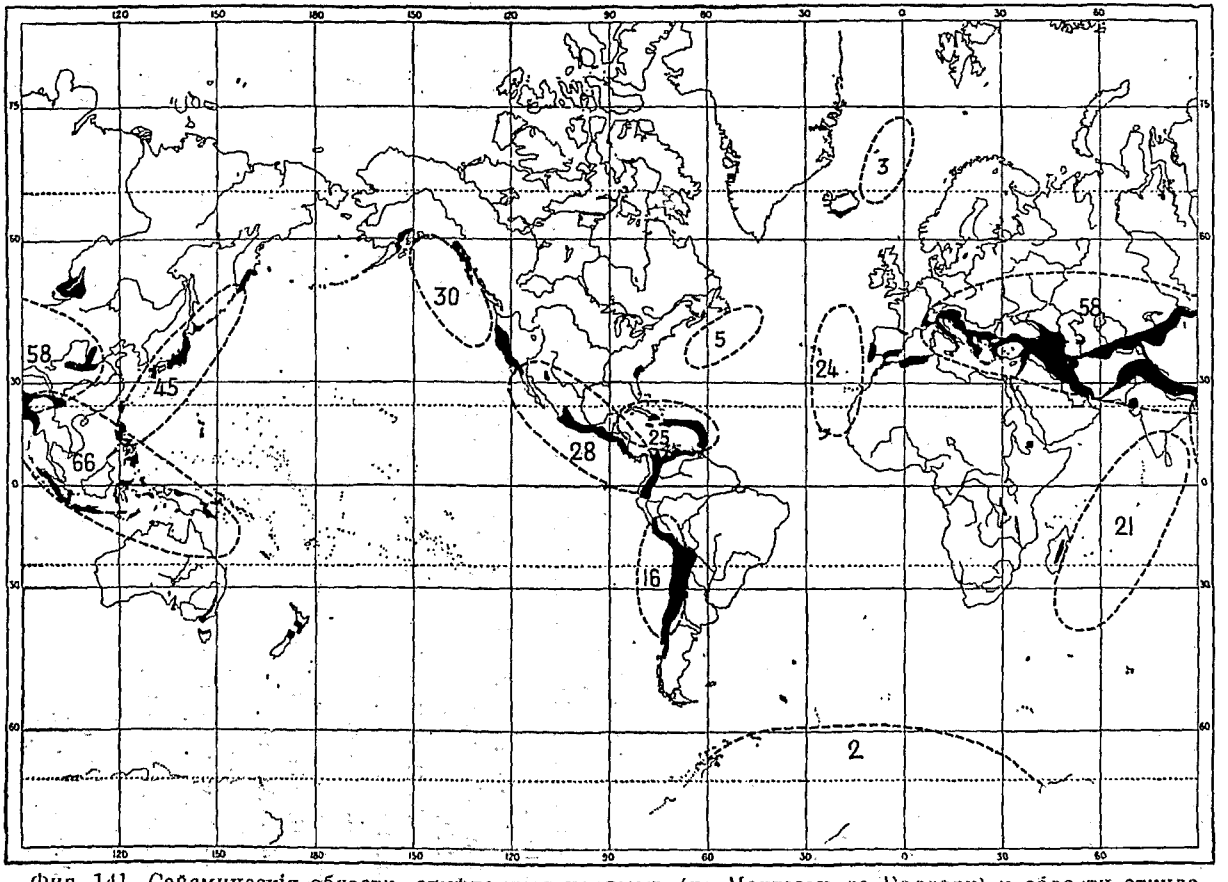
Иногда трудно распознать вызваны ли землетрясенія тангенціальными движеніями или же осѣданіями, происшедшими уже послѣ образованія складокъ. Такъ, напр., очень трудно выяснить, совпадаетъ ли ударная линія рѣки Мюрцъ (фиг. 138) въ восточныхъ Альпахъ съ настоящимъ сбросомъ или она идетъ по краю шарріажа. Также является еще вопросомъ, что представляютъ собой ударныя линіи, пересѣкающія южныя известковыя Альпы, (изъ числа которыхъ наиболѣе извѣстна линія Беллюно), горизонтальные сдвиги или же сбросовыя трещины, сопровождаемыя осѣданіемъ. Съ другой стороны намъ болѣе или менѣе достовѣрно извѣстно, что большая часть землетрясеній Карпатъ, Апеннинъ, Андалузскихъ горъ, Тельскаго Атласа, Антильскихъ острововъ вызывается осѣданіями древнихъ массивовъ по средиземно-морскимъ оваламъ, вокругъ которыхъ расположились эти цѣпи.

Но во всякомъ случаѣ въ землетрясеніяхъ, вызываемыхъ продолжающимся или возобновившимся складчатымъ процессомъ, слѣдуетъ различать тѣ, которыя совпадаютъ съ поперечнымъ горизонтальнымъ сдвигомъ, и тѣ, которыя берутъ начало на поверхности наволока (Surface de chevauchement). Зюссъ (0,22, I стр. 226) приводитъ въ качествѣ примѣровъ

землетрясеній, вызванныхъ горизонтальными сдвигами, землетрясенія, происходившія съ 1590 г. по сотрясательной линіи рѣки Кампъ (фиг. 188), и думаетъ, что бельгійское землетрясеніе 23 февраля 1828 г., которое распространялось какъ разъ по направленію каменноугольныхъ бассейновъ, является примѣромъ землетрясенія по наволоку. Во всякомъ случаѣ надо еще много поработать прежде чѣмъ приложить такую классификацію ко всѣмъ третичнымъ горнымъ цѣпямъ, подверженнымъ сейсмическимъ движеніямъ. Но уже и теперь мы имѣемъ полное право утверждать, что *орогеническіе процессы еще не закончились и проявляются въ формѣ землетрясеній.*

Происхожденіе подводныхъ землетрясеній. — Тотъ фактъ, что землетрясенія особенно часто посѣщаютъ горныя цѣпи, окружающія, осѣвшіе или осѣдающіе древніе массивы, — „Средиземно морскіе овалы“, — вполнѣ доказываетъ намъ, что нерѣдко центръ сотрясеній находится внѣ зоны, въ которой ощущаются колебанія почвы. Часто онъ лежитъ въ морѣ на мѣстѣ опустившейся области. Но многіе морскіе берега періодически подвергаются сотрясеніямъ и разрушительному дѣйствію морскихъ сейсмическихъ волнъ (тсунамисъ), между тѣмъ какъ нѣтъ никакихъ основаній предполагать, что нѣкогда здѣсь лежалъ древній массивъ, постепенно погружавшійся въ море. Изученіе сейсмограммъ приводитъ насъ къ несомнѣнному выводу, что центръ такихъ землетрясеній лежитъ въ открытомъ морѣ. Прилагаемая карта (фиг. 141) изображаетъ намъ одновременно и распредѣленіе сейсмическихъ областей (по Монтессю де Баллору) и центры 323 главнѣйшихъ землетрясеній, отмѣченныхъ въ обсерваторіяхъ съ 1899 г. по 1903 г. (по Мильну).

На этой картѣ сразу бросается въ глаза поразительное совпаденіе подводныхъ землетрясеній со впадинами, идущими по краямъ океановъ въ частности Тихаго океана. Впрочемъ, Монтессю-де-Баллоръ уже давно установилъ, что *степень сейсмичности морскихъ береговъ соотвѣтствуетъ степени крутизны склоновъ*. Можно также отмѣтить рѣдкость морскихъ сейсмическихъ волнъ по берегамъ Атлантическаго типа, что, впрочемъ, сводится къ только что сказанному. Отсюда самъ собой напрашивается выводъ, что океаническія впадины, окаймляющія континенты, являются областями наиболѣе подверженными сейсмическимъ колебаніямъ. Можно даже итти дальше и выставить въ каче-



Фиг. 141. Сейсмическія области, отмѣченныя черпымъ (по Монтессю де Баллору) и области откуда исходили 323 главныя землетрясенія, наблюдавшіяся въ обсерваторіяхъ съ 1866 по 1903 г. (по Мильну).

ствѣ гипотезы то положеніе, что *происхожденіе морскихъ сейсмическихъ волнъ и землетрясеній въ прибрежныхъ областяхъ обусловленно постепеннымъ осѣданіемъ впадинъ, расположенныхъ по периферіи океановъ*. Эти же впадины мы считаемъ за геосинклинали, сохранившіяся до нашихъ дней по краямъ геосинклиналей вторичной эры. Изученіе землетрясеній подтверждаетъ эту точку зрѣнія.

Такимъ образомъ законъ Монтессю-де-Баллора можетъ быть принятъ только въ своей первоначальной формѣ, такъ какъ эпицентры очень многихъ землетрясеній лежатъ за предѣлами геосинклиналей вторичной эры. Но зато подтверждается гипотеза образованія новыхъ геосинклиналей по краямъ складчатыхъ зонъ предшествовавшаго періода. На основаніи всего сказаннаго о сейсмическихъ движеніяхъ мы можемъ разсматривать землетрясенія, какъ явленіе, связанное со всѣми проявленіями діастрофизма.

---

1. — Ed. Suess. Die Erdbeben Niederösterreichs. *Denkschr. d. math.-naturw. Cl. d. k. Akad. d. Wiss in. Wien.* XXXIII стр. 1—38, таб. I, II, 1873.

2. — In. Die Erdbeben des südlichen Italien *Ibid.*, XXXIV, стр. 1—32, таб. I—III. 1874.

3. — A. von Lasaulx. Das Erdbeben von Herzogenrath am 22. Oktober 1873. Ein Beitrag zur exakten Geologie. 1 vol. in-8°, 157 стр., 1 карта, 3 таб. Bonn, 1874.

4. — Id. Das Erdbeben von. Herzogenrath am 24. Juni 1877. 1 vol. in-8° 79 стр., 1 таб. Bonn, 1878.

5. — R. Hoernes. Erdbeben-Studien. *Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanst.*. XXVIII, стр 387—448, 5 фиг., таб. XI, 1878.

6. — G. Pilar. Grundzüge der Abyssodynamik, zugleich ein Beitrag zu der durch das Agramer Erdbeben vom 9. Nov. 1880 neu angeregten Erdbebenfrage. In-8°, 221 стр., 31 фиг., Agram, 1881.

7. — A. von Lasaulx. Die Erdbeben. *Kenngotts Handwörterb. d. Miner., Geol. u. Palaeont.*, I, 295—365, 9 фиг. Breslau, 1885.

8 — F. Fouqué. Les tremblements de terre. *Bibl scient. contemporaine*, 1 vol. in 16, 328 стр., 44 фиг., Paris, 1888.

9. — Mission d'Andalousie. Etudes relatives au tremblement de terre du 25 décembre 1884 et à la constitution géologique du sol ébranté par les secousses. *Mém. présentés par divers savants à l'Acad. des Sciences*, XXX, n° 2, 772 стр., фиг., 42 таб. 1889.

10. — R. Hoernes. Die Erdbebenkunde. 1 vol. in-8°, 452 стр., 52 фиг., 2 таб. Leipzig, 1893.

11. — John Milne. Seismology. *Intern. Scient. Series*, LXXXV, 1 vol, in-8°, XVI + 320 стр., 53 фиг. London, 1898.

12. — Ehlert. Zusammenstellung, Erläuterung und kritische Beurtheilung der wichtigsten Seismometer mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Verwendbarkeit. *Beitr. zur Geophysik*, III, стр. 350—476, 91 фиг, 2 табл., 1898.

13. — Wilhelm Branco. Wirkungen und Ursachen der Erdbeben. Rede am Geburtstage S M. des Kaisers... gehalten am 27. Januar 1902. 1 br., in-4°, 117 стр. Berlin, 1902.

14. — A. de Lapparent. Le progrès des études sismologiques. *Bull. Soc. belge de Céol., Pal. et d' Hydrol.*, XVII стр. 77-90, 1903.

15.—Clarence Edw. Dutton E rthquakes in the light of new Seismology. *The Progressive Science Series* 1 vol. in 8°, XXIII+314 стр., 63 фиг., 10 таб., London, 1894.

16. — A. Sieberg. Handbuch der Erdbebenkunde, 1 vol. in-8°, 362 стр., 113 фиг. Braunschweig, 1904.

17. — F. de Montessus de Ballore. Les tremblements de terre. Géographie séismologique. 1 vol. in-8°, 475 стр., 89 фиг. 3, таб. Paris, 1906.

18. — Will. H. Hobbs. On some principles of seismic geology, with an introduction by E. Suess. *Beitr zur Geophys.*, VIII. стр., 219 292 таб. II, 10 фиг, 1907.

19. — Id. The geotectonic and geodynamic aspects of Calabria and Northeastern Sicily, a study in orientation, with an introduction by the Count de Montessus de Ballore. *Ibid*, VIII стр , 293-362, таб. III-XII, 3 фиг , 1907.

20. — F. de Montessus de Ballore. La Science séismologique. 1 vol. in-8°, 570 стр., 222 фиг. Paris, 1907.

См. также: 0,1-9; 0,22; XVIII, 2.

К. Богдановичъ. Землетрясенія въ Мессинѣ и Санъ-Франциско, 160 стр., съ 84 рис. С.-Петербургъ 1909. (Въ концѣ книги списокъ главнѣйшей литературы).

ГЛАВА XXIII.

Подземныя воды.

Подземныя воды.—Водоносные горизонты.—Источники.—Явленія растворенія.—Явленія гидратаціи.—Явленія окисленія.—Разложеніе силикатовъ.—Подземныя отложенія.—Цементація.

Посвятивъ нѣсколько главъ явленіямъ литогенезиса и орогенезиса, результатомъ которыхъ является образованіе на поверхности земли горныхъ складокъ, мы теперь должны остановиться на работѣ внѣшнихъ динамическихъ агентовъ, измѣняющихъ формы рельефа земной поверхности, т. е. на явленіяхъ *глиптогенезиса*.

Внѣшними динамическими агентами глиптогенезиса, являющагося одной изъ фазъ геологическаго цикла, могутъ быть подземныя воды, атмосферные агенты, текучія воды, ледники и береговыя морскія волны. Каждому изъ этихъ агентовъ мы посвятимъ отдѣльную главу и начнемъ съ дѣйствія подземныхъ водъ.

Подземныя воды. — Большая часть воды ($\frac{2}{3}$—$\frac{4}{5}$), падающей на земную поверхность въ видѣ атмосферныхъ осадковъ, испаряется или усвояется растеніями, меньшая часть сбѣгаетъ по склонамъ горъ образуя сѣть ручейковъ, дающихъ начало воднымъ потокамъ, и лишь остальная вода проникаетъ въ верхніе слои земной коры; въ настоящей главѣ насъ будетъ интересовать только эта послѣдняя.

Атмосферная вода, падающая на горизонтальную поверхность, дѣлается стоячей водой, а падая на наклонную поверхность, струйками стекаетъ въ рѣки. Атмосферная вода, попадая на водопроницаемыя, а также и на трещиноватыя породы, проникаетъ въ нихъ.

Глина считается водонепроницаемой породой; почти также водонепроницаемы и граниты, если въ нихъ нѣтъ трещинъ; наиболѣе водопроницаемыми породами являются пески, песчаники, аркозы,

гравій и вулканическіе туфы; въ известняки и растрескавшіяся изверженныя породы вода проникаетъ по діаклазамъ или по трещинамъ, образовавшимися отъ сжатія.

Вода, просачивающаяся подъ дѣйствіемъ силы тяжести, стремится проникнуть на возможно большую глубину, пользуясь имѣющимися въ породѣ пустотами, порами и трещинами. Но вода не проникаетъ ниже опредѣленнаго уровня, такъ какъ на извѣстной глубинѣ пустоты исчезаютъ вслѣдствіе громаднаго давленія. Обыкновенно считаютъ, что вода не можетъ просачиваться глубже 10 или 12 тысячъ метровъ. Температура на этой глубинѣ достигаетъ 365°, а это—критическая температура для воды, выше этой температуры вода должна находиться въ состояніи пара; и, повидимому, съ этой глубины устанавливаются уже указанныя ранѣе условія, ведущія къ метаморфизму горныхъ породъ.

Съ другой стороны, насыщеніе горныхъ породъ подземной водой не можетъ быть осуществлено въ самой верхней зонѣ земной коры. Вода здѣсь сильно испаряется, и поэтому только на нѣкоторой глубинѣ, и то не всегда одинаковой, породы бываютъ вполнѣ и постоянно проникнуты водою. На этой именно глубинѣ колодцы встрѣчаютъ питающую ихъ воду, а потому Добре (2) и назвалъ этотъ насыщенный водой слой *фреатическимъ горизонтомъ* [1]); верхняя его поверхность называется также *гидростатическимъ уровнемъ* или *пьезометрической поверхностью* [2]).

Надъ этимъ уровнемъ происходитъ безпрерывная циркуляція воды, богатой кислородомъ и углекислотой, такъ что она растворяетъ встрѣчающіяся на ея пути растворимыя вещества, и вызываетъ большія измѣненія въ химическомъ составѣ поверхностныхъ породъ. Поэтому верхній слой земной коры, расположенный надъ гидростатическимъ уровнемъ, называется *зоной разрыхленія*.

Ниже же гидростатическаго уровня породы постоянно насыщены водою, вслѣдствіе чего циркуляція воды здѣсь совершается крайне медленно (1,5). Кислородъ и углекислота имѣются лишь въ минимальномъ количествѣ. Вслѣдствіе этого процессы разрыхленія здѣсь почти не совершаются, и вмѣсто растворенія происходитъ отложеніе минеральныхъ ве-

[1]) Отъ греческаго слова *φρέαρ, φρέατος*—колодезь.

[2]) Въ Россіи употребляется также названіе *горизонтъ насыщенія*.

Ред.

ществъ изъ растворовъ. Пустоты въ породахъ заполняются кристаллическимъ цементомъ, осаждающимся изъ притекающей сюда воды. Это зона цементаціи [1]), которую можно бы также назвать „зоной затвердѣванія“.

Ванъ Хайзъ (XIII, 27) объединяетъ зону разрыхленія и зону цементаціи въ одну *зону катаморфизма*, которую онъ противополагаетъ *зонѣ анаморфизма*, находящейся ниже, за предѣлами проникновенія воды въ глубину.

Ниже мы познакомимся съ химическими явленіями, совершающимися въ зонахъ разрыхленія и цементаціи. Но прежде чѣмъ перейти къ этому вопросу, намъ необходимо остановиться на измѣненіяхъ формы и расположенія гидростатической поверхности, которая эти зоны раздѣляетъ.

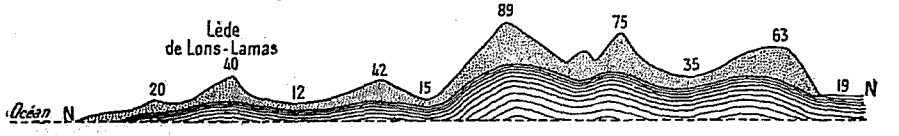
Въ странѣ съ абсолютно ровной поверхностью, въ которой водопроницаемыя породы достигаютъ очень большой мощности, поверхность фреатическаго уровня плоска и параллельна поверхности почвы. Въ странѣ же съ холмистымъ рельефомъ, пониженія поверхности земли дренируютъ насыщенный водою слой, и гидростатическій уровень понижается къ тальвегамъ долинъ, а на возвышенностяхъ поднимается въ силу волосности, дѣйствующей въ направленіи обратномъ тяжести. Такимъ образомъ *фреатическій слой идетъ не параллельно поверхности земли, а слѣдуетъ ея изгибамъ, лишь нѣсколько ихъ сглаживая*. Дюны, по мнѣнію Добре, являются характерными примѣрами этого явленія (фиг. 142). Атмосферная вода, проникающая въ пески, образуетъ тамъ водоносный слой, поверхность котораго волниста, какъ и поверхность дюнъ, но съ менѣе сильными подъемами волнъ.

Глубина фреатическаго слоя измѣняется въ зависимости отъ климата и времени года (2,4). Нѣкоторыя данныя указываютъ на то, что уровень этого слоя въ центральной Европѣ все понижается, что дало даже поводъ говорить объ *усыханіи земли* (II). Уменьшеніе количества выпадающаго снѣга несомнѣнно имѣетъ вліяніе на это прогрессивное пониженіе фреатическаго уровня, но главная причина должна лежать въ уменьшеніи площади невоздѣланныхъ участковъ, и въ интенсивной культурѣ земли, ведущей къ усиленному испаренію воды. Въ пустыняхъ уровень фреатическаго слоя лежитъ гораздо глубже, чѣмъ въ странахъ съ влажнымъ климатомъ, при чемъ въ болѣе сухое время года уровень понижается, а въ періодъ дождей

[1]) Не слѣдуетъ смѣшивать съ зоной цементаціи рудокоповъ.

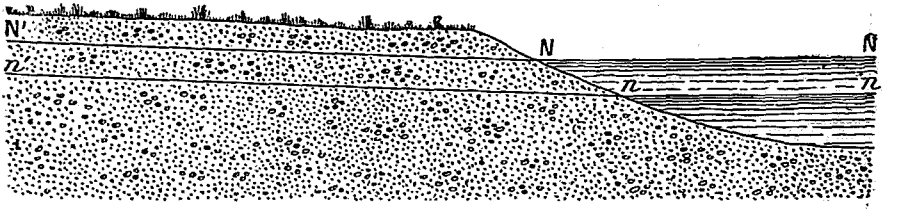
повышается. Въ большихъ долинахъ, по которымъ текутъ рѣки то разливающіяся, то мелѣющія, гидростатическій уровень то повышается, то понижается въ зависимости отъ уровня воды въ рѣкѣ (фиг. 143).

Водоносные горизонты.—До сихъ поръ мы предполагали, что почва, въ которую проникаетъ вода, проницаема и и болѣе или менѣе однородна, по крайней мѣрѣ до нижней



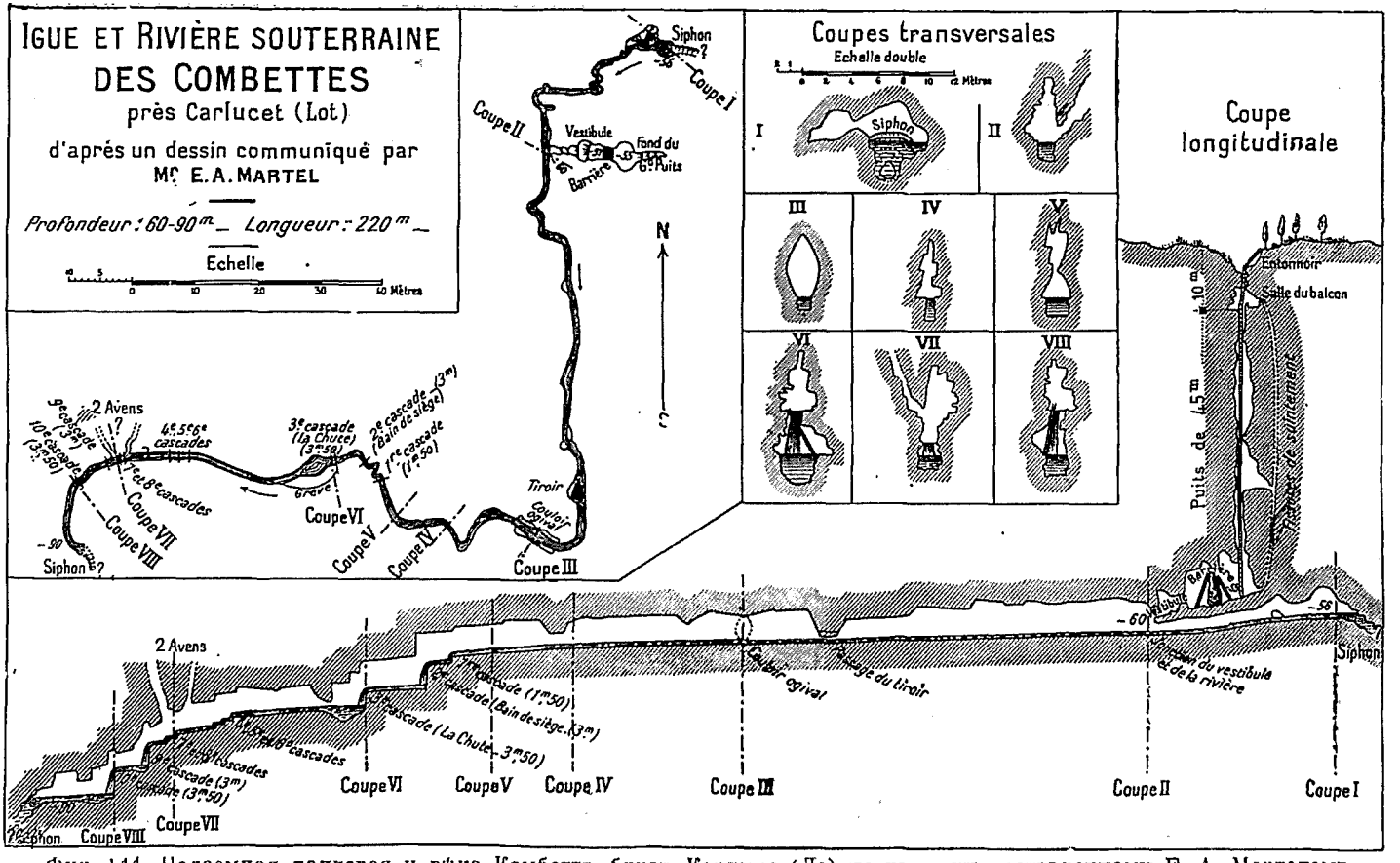
Фиг. 142.—Разрѣзъ цѣпи дюнъ близъ озерка Казо къ югу отъ Аркашона, показывающій волнистую поверхность фреатическаго уревня (по Добре). Вертикальный масштабъ въ шесть разъ больше горизонтальнаго.

границы водопроницаемаго слоя, который мы считали безпрерывнымъ. На самомъ дѣлѣ такой порядокъ вещей является исключеніемъ, и эти условія осуществляются лишь въ обширныхъ гранитныхъ массивахъ и равнинахъ, гдѣ толстый слой наносовъ покоится на водонепроницаемыхъ слояхъ.



Фиг. 143. Измѣненія гидростатическаго уровня въ аллювіальныхъ отложеніяхъ долины Рейна противъ Страсбурга (по Добре).
mn, уровень Рейна при низкой водѣ; NN, тоже при высокой водѣ; *mn'*, NN', соотвѣтственныя высоты гидростатическаго уровня.

Обыкновенно же поверхностныя толщи земной коры состоятъ изъ чередующихся водопроницаемыхъ и водонепроницаемыхъ слоевъ то горизонтальныхъ, то наклонныхъ. Вслѣдствіе этого подземныя воды скопляются въ водопроницаемыхъ слояхъ и проникаютъ вглубь ихъ пока не встрѣтятъ на своемъ пути водонепроницаемый слой, который ихъ и задерживаетъ. Такимъ путемъ внизу водопроницаемаго слоя образуется *водоносный слой* или *горизонтъ воды*. Онъ можетъ быть заключенъ между двумя слоями водонепроницаемой породы, и въ этомъ случаѣ бы-

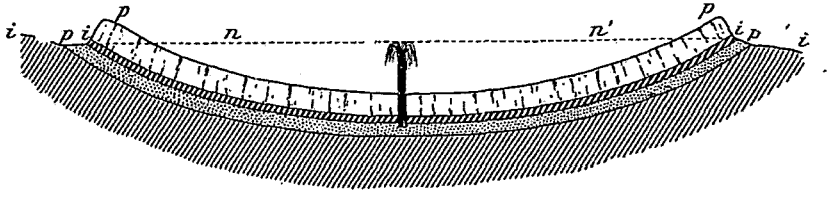


Фиг. 144. Подземная галлерея и рѣка Комбетъ близъ Карлюсе (Ло) по рисунку доставленному Е. А. Мартелемъ. Глубина 60—90 м.—длина 220 м.

ваетъ совершенно насыщенъ водой. Одна и та же мысленно проведенная вертикальная линія можетъ пересѣкать болѣе или менѣе значительное количество водоносныхъ горизонтовъ, расположенныхъ другъ надъ другомъ и раздѣленныхъ между собой водонепроницаемыми слоями.

Въ породахъ, разбитыхъ трещинами и въ частности въ известнякахъ, вода не скопляется въ видѣ водоносныхъ слоевъ; она сначала течетъ по трещинамъ, потомъ образуетъ сѣть каналовъ, которые, соединяясь, образуютъ настоящія подземныя рѣки, протекающія по галлереямъ не очень широкимъ, но высокимъ и длиннымъ (фиг. 144).

Вода водоноснаго горизонта слѣдуетъ всѣмъ изгибамъ того геологическаго слоя, которому принадлежитъ этотъ горизонтъ. Сила тяжести заставляетъ воду спускаться все ниже и ниже, но

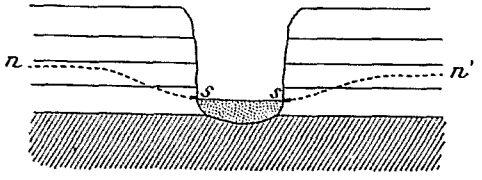


Фиг. 145.—Схематическій разрѣзъ артезіанскаго водоноснаго слоя. *p*, водопроницаемые слои; *i*, водонепроницаемые слои; *nn'* гидростатическій уровень.

въ силу принципа сообщающихся сосудовъ, она снова поднимается по склонамъ до своего первоначальнаго уровня. Тамъ, гдѣ вода поднимается восходящимъ токомъ, она находится подъ давленіемъ и поэтому можно признать удачнымъ данное ей Бурсо (8) названіе *nappe captive* (*запертый горизонтъ*). На этомъ принципѣ устраиваются *артезіанскіе колодцы*, названные такъ вслѣдствіе ихъ давнишняго и широкаго распространенія въ Артуа. Артезіанскій горизонтъ питается атмосферной водой, попадающей въ водопроницаемый слой, изогнутый въ формѣ синклинальной котловины. Вода проникаетъ въ этотъ слой въ мѣстѣ его выхода на поверхность и спускается въ самый низъ котловины; оттуда-то и получаютъ ее при помощи артезіанскаго колодца, просверливая буромъ вышележащіе водонепроницаемые слои. Подъ давленіемъ вода поднимается по скважинѣ и, если мѣсто ея выхода находится ниже областей питанія, расположенныхъ по краямъ котловины, она съ силой начинаетъ бить вверхъ до высоты гидростатическаго уровня (фиг. 145). Водоносный слой тогда называется *бьющимъ*. Эти условія осущест-

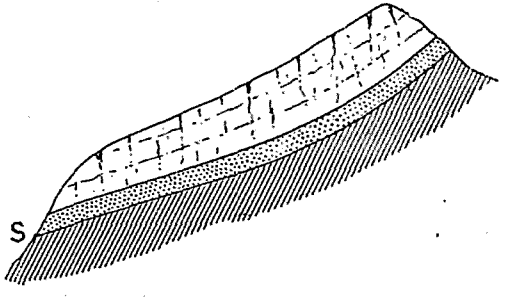
вляются въ Парижѣ, который находится почти въ центрѣ синклинальной впадины, называемой Парижскимъ бассейномъ. Многіе артезіанскіе колодцы получаютъ воду съ глубины почти 600 м. изъ болѣе низкаго артезіанскаго горизонта, находящагося въ зеленыхъ пескахъ альбскаго яруса (гольта), которые выходятъ на поверхность по краямъ бассейна.

Сначала вода била почти на 40 м. выше уровня Сены, но увеличеніе числа колодцевъ — теперь ихъ имѣется пять — повело къ сокращенію количества воды, доставляемой каждымъ изъ нихъ и къ уменьшенію высоты бьющаго столба воды.



Фиг. 146.— Тальвеговые (долинные) ключи, *ss*; *nn'* фреатическій водоносный слой.

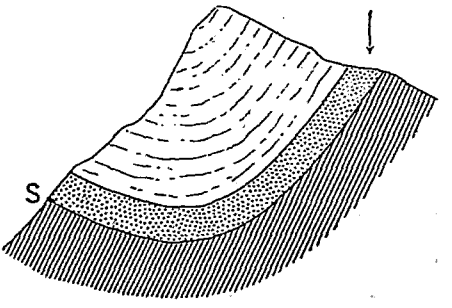
Источники.—Въ колодцахъ насыщенный водою фреатическій горизонтъ или вообще водоносный горизонтъ достигается при помощи буренія, и затѣмъ уже вода поднимается наружу механическими средствами, за исключеніемъ тѣхъ случаевъ когда колодецъ встрѣчаетъ запертую воду, которая поднимается подъ давленіемъ. Но и въ естественныхъ условіяхъ существуютъ мѣста, гдѣ вода показывается наружу вслѣдствіе пересѣченія уровня земной поверхности съ пьезометрической поверхностью или другими словами съ водоноснымъ слоемъ. Эти мѣста и называются *источниками*. Нахожденіе и каптажъ источниковъ составляетъ одну изъ важнѣйшихъ отраслей прикладной геологіи, въ настоящей же книгѣ относящіеся сюда факты могутъ быть разсмотрѣны лишь съ наиболѣе существенной стороны.



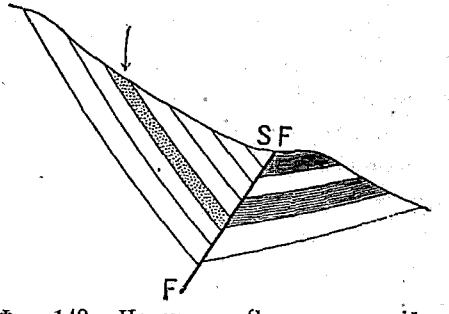
Фиг. 147.—Нисходящій источникъ, S

Тальвеговые (долинные) ключи образуются вслѣдствіе выступленія на днѣ долины общаго горизонта насыщенія или водоноснаго слоя, возникшаго благодаря присутствію водонепроницаемаго слоя, скрытаго подъ наносами долины (фиг. 146). Такіе источники часто встрѣчаются то среди аллювіальныхъ наносовъ долинъ, то по краямъ долины у подножія склоновъ, ее обрамливающихъ.

Ключи обнаженій происходятъ отъ пересѣченія нижней поверхности водоноснаго слоя съ топографической поверхностью. Большею частью они расположены по склонамъ холмовъ, и истеченіе воды обусловливается здѣсь наклономъ водонепроницаемаго слоя, подстилающаго водоносный слой. Эти источники могутъ быть раздѣлены на *нисходящіе источники*, въ которыхъ вода выходитъ наружу въ нижней части склона, параллельно которому идетъ водоносный горизонтъ (фиг. 147) и на *восходящіе источники*, у которыхъ мѣсто выхода воды соотвѣтствуетъ верхней или поднятой части этого склона. Въ послѣднемъ случаѣ водопроницаемый слой изогнутъ синклиналью (фиг. 148) и перерѣзывается съ топографической поверхностью такъ, что обнажается въ двухъ мѣстахъ; въ одномъ изъ нихъ атмосферныя воды проникаютъ въ слой, а черезъ другое лежащее ниже вода истекаетъ вслѣдствіе тѣхъ же условій, какъ и въ сообщающихся сосудахъ. Вода можетъ также подниматься и по трещинѣ, пересѣкающей нисходящій водоносный слой, если, конечно, другое крыло трещины состоитъ изъ водонепроницаемыхъ слоевъ (фиг. 149).



Фиг. 148.—Восходящій источникъ, S.



Фиг. 149.—Источникъ S поднимающійся по сбросовой трещинѣ (FF).

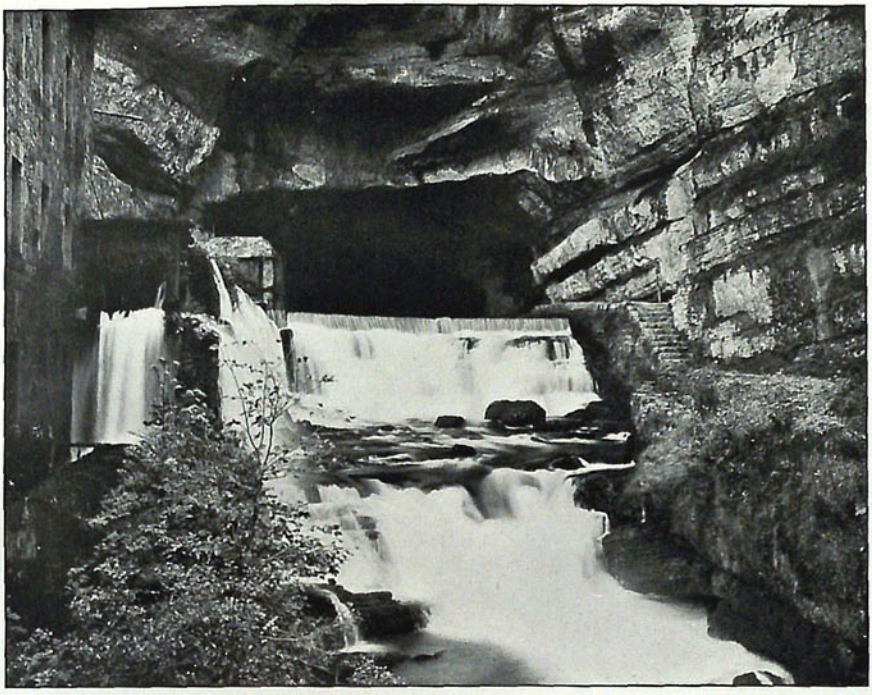
Когда водоносный слой въ силу своего наклона опускается на большую глубину и оттуда опять поднимается на поверхность вслѣдствіе только что указанныхъ тектоническихъ условій, вода тамъ нагрѣвается до температуры тѣмъ бо́льшей, чѣмъ на бо́льшую глубину она спустилась и возвращается обратно не успѣвъ остыть. Такимъ образомъ возникаютъ *теплые источники*. Впрочемъ, такіе источники принадлежатъ къ той категоріи, которую Зюссъ называетъ *вадозными источниками* противополагая ихъ *источникамъ гипогеннымъ* (глубиннымъ), появленіе которыхъ обусловлено вулканическими явленіями (XIX, 7). Обыкновенно, теплые источники поверхностнаго

происхожденія содержатъ въ себѣ меньше минеральныхъ веществъ и вытекаютъ не съ такой равномѣрностью, какъ глубинные источники. Къ этой категоріи слабо минерализованныхъ теплыхъ ключей, по даннымъ Гюмбля, относятся термы Гаштейна и Борміо, а источники Пфеферса около Рагаца, имѣющіе температуру въ 38,7°, можно даже назвать химически чистыми.

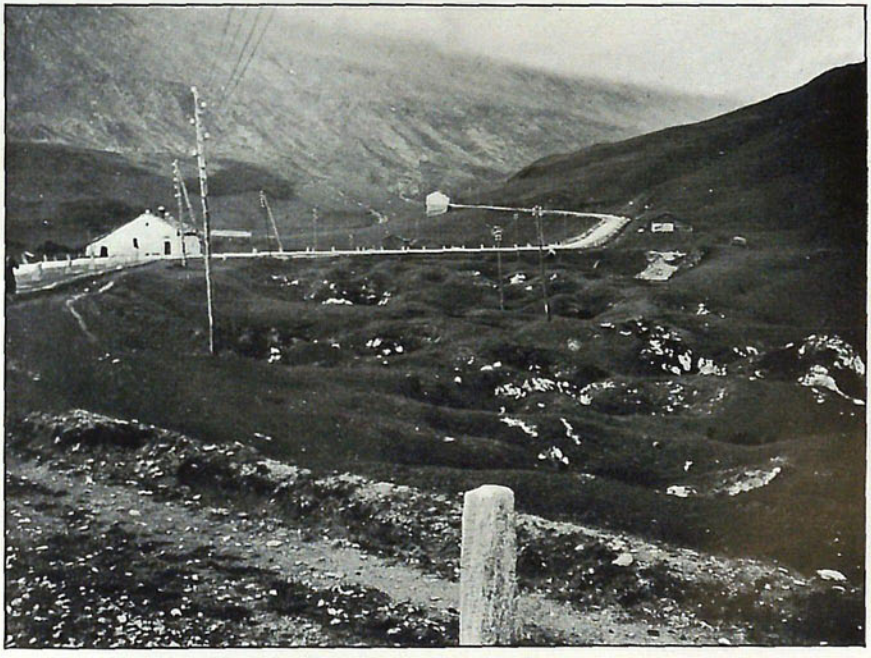
Мы уже знаемъ, что подземныя рѣки, текущія по трещиноватому известняку, образуя многочисленные сходящіеся каналы, дренируютъ всю поверхность известковыхъ плато; поверхностныя воды здѣсь поглощаются трещинами, воронками и провалами, объ образованіи которыхъ мы будемъ говорить позже. Эти подземныя рѣки вытекаютъ наружу образуя *воклюзскіе источники*, называемые такъ по имени знаменитаго источника Воклюзъ. Пожалуй, слово „источники“ является для нихъ не вполнѣ подходящимъ терминомъ, поэтому Мартель (13) предлагаетъ замѣнить его словомъ *résurgeances — возвращающіяся воды*. Количество доставляемой ими воды чрезвычайно непостоянно, такъ какъ эти источники иногда образуются или отъ переполненія подземныхъ рѣкъ, которыя обыкновенно текутъ по инымъ путямъ, или иногда представляютъ собою мѣсто выхода снова на поверхность рѣкъ, поглощенныхъ провалами (*pertes* и *bétoires*) и сдѣлавшихся на нѣкоторой части своего теченія подземными (табл. XXXVI., 1).

Путь, проходимый подземными рѣками, можно прослѣдить или непосредственно, или прибѣгая къ пріему окраски ихъ водъ флюоресциномъ. Этотъ послѣдній способъ показалъ всю опасность загрязненія воклюзскихъ источниковъ, такъ какъ пористый известнякъ не фильтруетъ протекающей по нему воды, какъ это дѣлаютъ слои водопроницаемыхъ породъ. Такимъ образомъ для воклюзскихъ источниковъ, еще болѣе чѣмъ для обыкновенныхъ, важно бываетъ установленіе периметра охраны, распространяющагося на всю область ихъ питанія.

Явленія растворенія.—Вода является самымъ энергичнымъ агентомъ химическихъ процессовъ, происходящихъ на поверхности земли, вслѣдствіе того, что она заключаетъ въ себѣ соли и газы въ растворенномъ состояніи. Чистая вода растворяетъ лишь хлористыя и сѣрнокислыя соединенія и щелочные карбонаты, но если въ ней содержится и углекислота, то она растворяетъ всѣ карбонаты и разлагаетъ силикаты. Такимъ образомъ вода играетъ очень дѣятельную роль въ зонѣ разрыхленія, гдѣ она без-



Воклюзскій источникъ Ля Лю,
близъ Мутье (Дубъ).



Негат. Э. Ога.

Воронки отъ растворенія
въ тріасовыхъ гипсахъ.
Перевалъ Монъ-Сенисъ.



1



2

Устья поглощающихъ каналовъ:
1) Поглощающій каналъ Падиракъ (Ло).
2) Поглощающій каналъ Пикаръ въ Деволюи (Верхніе Альпы).
3) Поглощающій каналъ Орузъ, тамъ же.



3

Негат. Е. А. Мартеля.

прерывно возобновляется, а запасъ растворенной въ ней углекислоты пополняется не только изъ атмосферы, но и благодаря выдѣленію ея корнями растеній и микроорганизмами, находящимися въ почвѣ.

Проникающая въ землю вода прежде всего растворяетъ встрѣчаемыя на ея пути хлористыя соединенія щелочныхъ металловъ очень легко растворимыя. Эти соединенія являются продуктомъ испаренія морской воды въ отдаленныя геологическія эпохи и не поддаются растворяющей силѣ воды лишь въ томъ случаѣ, если лежатъ между глинистыми слоями, среди которыхъ онѣ иногда образуютъ линзообразныя скопленія. Расплывчатыя соли, болѣе растворимыя, чѣмъ хлористый натрій, сохраняются лишь въ исключительныхъ случаяхъ.

Раствореніе водою хлористыхъ соединеній оставляетъ въ породахъ пустоты, которыя очень быстро уничтожаются постепеннымъ осѣданіемъ вышележащихъ породъ, что часто ведетъ къ дислокаціямъ въ поверхностныхъ толщахъ.

Соль растворенныхъ хлористыхъ соединеній и сульфатовъ захватывается минеральными источниками, которые, по условіямъ своего образованія не принадлежатъ къ числу гипогенныхъ. Большинство такихъ источниковъ вытекаетъ изъ тріасовыхъ породъ, отличающихся обиліемъ соленосныхъ глинъ (источники Нидербронна, Рейнфельденъ, Рейхенгалль, Салэнъ, Сали-де-Беарнъ и др.).

Гипсъ растворяется, если на одну его часть приходится 460 частей воды; поэтому онъ довольно сильно подвергается процессу растворенія какъ на поверхности, такъ и на глубинѣ, а главнымъ образомъ вдоль діаклазъ и трещинъ отъ сжатія. Многіе источники содержатъ въ такомъ большомъ количествѣ сѣрнокислый кальцій, что вода ихъ *не годна* для питья, и они тогда называются *селенитовыми*.

Раствореніе гипса по трещинамъ, пересѣкающимъ породу, ведетъ къ образованію пустотъ, что въ свою очередь ведетъ къ осѣданію или скольженію участковъ гипсоносной породы къ нѣкоторому центральному пункту, находящемуся на глубинѣ. На поверхности вслѣдствіе этого образуются почти всегда очень правильныя воронкообразныя углубленія, чрезвычайно похожія на воронки, которыя дѣлаетъ въ пескѣ муравьиный левъ. Во французскихъ Альпахъ эти воронки называются *oules*, *oulettes*, или *olettes* (табл. XXXIV, 2).

Углекислый кальцій далеко не такъ растворимъ, какъ сѣрно-

кислый; известнякъ растворяется приблизительно въ 1000 частяхъ воды содержащей углекислоту и въ 50000 частяхъ чистой воды.

Но все же весьма продолжительное дѣйствіе на него воды приводитъ къ очень значительнымъ результатамъ какъ на поверхности, гдѣ вода струится многочисленными ручейками, такъ и на глубинѣ, гдѣ вода проникаетъ въ діаклазы плотныхъ известняковъ или въ обломочныя породы, которыя содержатъ известь въ видѣ обломочныхъ составныхъ частей породы или въ видѣ цемента. *Процессъ отнятія извести* происходитъ здѣсь такъ интенсивно, что его можно приравнять къ настоящему *выщелачиванію*.

Известнякъ переходитъ въ растворъ въ видѣ двойного углекислаго соединенія и содержится въ водѣ въ самомъ различномъ количествѣ въ зависимости отъ температуры и давленія.

Вода, содержащая очень много извести, называется *жесткой*. Содержаніе извести въ водѣ опредѣляется *гидротиметрическимъ градусомъ* (градусомъ жесткости), установленнымъ неодинаково во всѣхъ странахъ. Во Франціи гидротиметрическій градусъ равняется 5 мгр. извести на 1 литръ воды. Хорошая годная для питья вода имѣетъ отъ 20 до 30 гидротиметрическихъ градусовъ. Выше 36° вода настолько жестка, что не годится для питья и варки овощей; но встрѣчается вода и въ 80 гидротиметрическихъ градусовъ.

По трещинамъ поверхностныхъ породъ вода проникаетъ въ известняки и, растворяя ихъ, образуетъ подземныя пустоты, изученіе которыхъ составляетъ предметъ особой науки *спелеологіи* или науки о пещерахъ (13, 14).

Дождевая или текучая вода проникаетъ въ известковыя плато, пользуясь *поглощающими каналами* самой разнообразной формы. Чаще всего она уходитъ *въ пропасти* или *въ естественные колодцы*, имѣющіе различныя названія въ разныхъ мѣстностяхъ; такъ въ департаментѣ Ардешъ ихъ называютъ *avens*, въ деп. Авейронъ — *tindouls*, въ Керси ихъ называютъ — *igues*, въ Деволюи — *chourums*. Они представляютъ собой каналы, различной формы и размѣровъ, начинающіеся на поверхности земли, и уходящіе вглубь болѣе или менѣе вертикально (табл. XXXV). Діаметръ ихъ измѣряется или нѣсколькими сантиметрами, или сотнями метровъ; такъ, напр., провалъ Мартенъ въ Деволюи (Верхнія Альпы) обнаружилъ

колодецъ, въ которомъ на глубинѣ въ 310 м. дно еще не было достигнуто. Э. А. Мартель (12, 13) доказалъ, что эти колодцы образуются сверху донизу благодаря химической и механической работѣ воды, проникающей въ большія вертикальныя діаклазы. Провалы подземныхъ пустотъ лишь въ рѣдкихъ случаяхъ бываютъ причиной появленія естественныхъ колодцевъ.

Второй типъ поглощающихъ каналовъ представляютъ „*долины*“, часто встрѣчающіяся въ Карстѣ, въ Истріи, но также и въ нѣкоторыхъ французскихъ областяхъ, напр., въ Керси, гдѣ онѣ называются *clouрs*. Эти „долины“ представляютъ собой обширныя круглыя воронки, дно которыхъ по большей части плоское покрыто красной глиной—*terra rossa*, являющейся продуктомъ выщелачиванія известняка. Онѣ имѣютъ связь съ діаклазами, а не происходятъ отъ провала потолка пещеръ, какъ предполагали раньше.

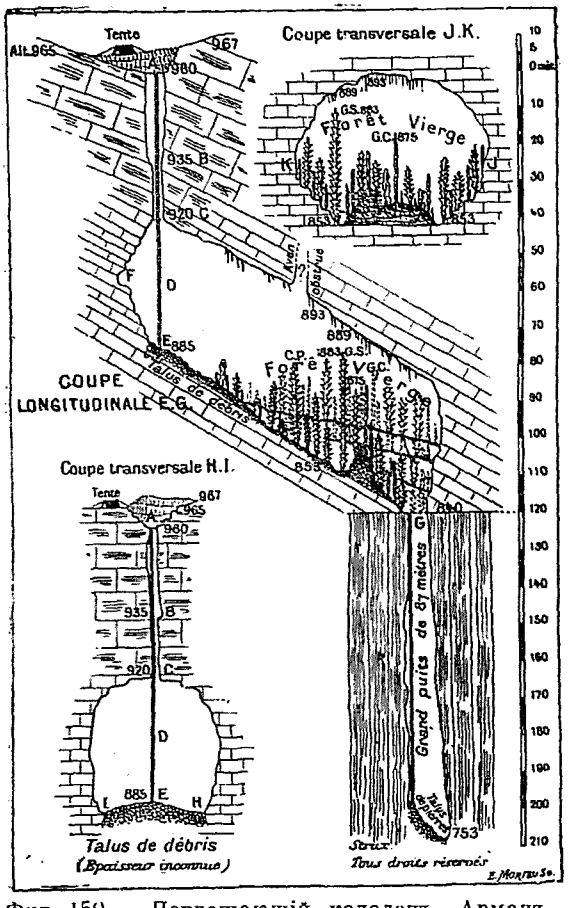
Въ иныхъ случаяхъ поглощающіе каналы бываютъ завалены камнями и пескомъ, черезъ нихъ вода находитъ себѣ путь и своимъ продолжительнымъ токомъ иногда его расчищаетъ. Къ этой категоріи относятся такъ называемыя *emposieux* въ Юрѣ, *embuts* въ Провансѣ, *foibe* въ Динарскихъ Альпахъ, *Катавотры* въ Греціи.

Вода, проникающая на глубину по діаклазамъ и между слоями осадочныхъ породъ, растворяя ихъ, расширяетъ себѣ путь и образуетъ *пещеры* (фиг. 150). Пещеры, которыя образовались вдоль діаклазъ, представляютъ собой длинныя, узкія, высокія галлереи, а тѣ, которыя идутъ между слоями—низки и широки. По мнѣнію Э. А. Мартеля вышеупомянутое наблюденіе является общераспространеннымъ правиломъ. Но есть пещеры, заключающія въ себѣ оба типа строенія; горизонтальные и немного наклонные уступы чередуются тогда съ широкими трещинами болѣе или менѣе вертикальнаго направленія. Подземная рѣка представляетъ собой въ этомъ случаѣ рядъ расположенныхъ одинъ выше другого уровней или бьефовъ; образуются озера, водопады, а иногда галлереи въ видѣ сифоновъ, и тогда вода поднимается на болѣе высокій уровень (фиг. 144). Русло подземныхъ рѣкъ можетъ даже опускаться ниже основного уровня рѣчной эрозіи [1]).

Въ пористыхъ обломочныхъ породахъ раствореніе извести происходитъ главнымъ образомъ также вдоль діаклазъ; здѣсь

[1]) Понятіе объ основномъ уровнѣ рѣчной эрозіи будетъ выяснено въ главѣ, посвященной текучимъ водамъ.

такъ же, какъ въ плотныхъ известнякахъ, образуются *естественные колодцы* и тоже наполненные окисью желѣза; кромѣ діаклазъ, вода проникаетъ и во всю массу и растворяетъ цементъ, если онъ известковый, а иногда даже разъѣдаетъ окатанныя составныя части породы. Обиліе *гальки съ вдавленіями* отъ другихъ камней въ нѣкоторыхъ конгломератахъ объясняется тѣмъ, что процессъ растворенія былъ локализованъ какъ разъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ гальки соприкасались между собой. Происшедшее затѣмъ осѣданіе породы сблизило ихъ такъ, что выдающіеся углы и бугры однѣхъ заходили въ пустоты рядомъ съ ними лежащихъ галекъ.



Фиг. 150. — Поглощающій колодецъ Арманъ, продольный и поперечный разрѣзы (клише доставлено Е. А. Мартелемъ).

Растворепіе извести имѣетъ очень большое значеніе при разрыхленіи кварцевыхъ песчаниковъ, сцементированныхъ углекислой известью. Въ поверхностной части толщи вплоть до верхней границы насыщеннаго водою слоя, известь совершенно изчезаетъ, и песчаники становятся пористыми. Въ первичныхъ (палеозойныхъ) отложеніяхъ такіе песчаники называютъ *сѣрыми вакками*.

Известковыя раковины и скелеты ископаемыхъ организмовъ совершенно исчезаютъ и остаются лишь пустоты, стѣнки которыхъ сохраняютъ въ видѣ негатива наружную орнаментацію и внутреннюю скульптуру раковины. Въ *сѣрыхъ вакках* растворяются не только конхитовые, но и кальцитовые скелеты; правда, послѣдніе иногда сохраняются, тогда какъ менѣе стойкій арагонитъ почти всегда растворяется.

Выщелачиваніе извести изъ поверхностной толщи известковаго суглинка (лёсса) превращаетъ его въ глинистый или песчанистый суглинокъ (lehm). Впрочемъ, обыкновенно исчезновеніе извести бываетъ неполнымъ, такъ какъ богатая известью вода, циркулирующая въ этихъ пористыхъ породахъ, отлагаетъ въ нихъ известковыя конкреціи самой разнообразной формы (*лёссовыя куклы*).

Въ доломитизированномъ известнякѣ известь растворяется, а доломитъ остается. Когда по его трещинамъ протекаетъ вода, то получается *пещеристый доломитъ* или *карніоль*, который часто бываетъ перегородчатымъ. Когда же вода проникаетъ не въ трещины, а во всю массу пористой породы, то известь совершенно уносится и остающіяся части породы представляютъ собой *доломитовый песокъ*, часто заключающій въ себѣ неизмѣненные желваки, называемые въ окрестностяхъ Парижа кошачьими головами (*têtes de chat*).

Наконецъ, укажемъ на фосфоритовый мѣлъ сѣвера Франціи, какъ на послѣдній примѣръ породъ, известковыя части которыхъ растворяются подъ дѣйствіемъ воды. Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ атмосферная вода проникала въ каналы поглощенія, образовались *карманы*, заключающіе въ себѣ почти чистую фосфорнокислую известь. Это—остатокъ отъ растворившагося мѣла и обогащеніе его фосфорнокислою известью произошло путемъ выщелачиванія коренной породы.

Безводный кремнеземъ имѣетъ кристаллическое строеніе и можетъ считаться нерастворимымъ; наоборотъ, водный кремнеземъ аморфенъ и легко растворяется въ водѣ, содержащей углекислоту. Изъ воднаго кремнезема, какъ извѣстно, состоятъ спикули кремнистыхъ губокъ, скелеты радіолярій, скорлупки діатомовыхъ. Эти остатки организмовъ, изобиловавшіе во многихъ отложеніяхъ, часто оказываются совершенно растворившимися, причемъ кремнеземъ былъ унесенъ водой и отложенъ въ другомъ мѣстѣ.

Явленія гидратаціи.—Вода, циркулирующая въ верхнихъ слояхъ земной коры, встрѣчаетъ безводныя вещества и можетъ вступать съ ними въ соединенія.

Желѣзный блескъ или *красный желѣзнякъ*, который является безводной полуторной окисью желѣза (Fe^2O^3), превращается на поверхности въ *лимонитъ* или *бурый гематитъ*, т. е. въ водную полуторную окись желѣза ($2\,Fe^2O^3$, $3\,H^2O$). Такая гидратація наблюдается какъ въ жилахъ, такъ и въ залежахъ осадочнаго происхожденія.

Ангидритъ, т. е. безводный сѣрнокислый кальцій, превращается въ *гипсъ*—въ водный сѣрнокислый кальцій, кристаллизующійся съ двумя молекулами воды. Гидратація происходитъ очень быстро, такъ какъ вода проникаетъ въ промежутки между кристалликами ангидрита; процессъ гидратаціи сопровождается увеличеніемъ объема почти на 33% и удлиненіемъ процентовъ на 10. Увеличеніе объема ведетъ къ дислокаціямъ, похожимъ на интрузивныя явленія. Когда ангидритъ лежитъ правильными пластами, то его превращеніе въ гипсъ сопровождается образованіемъ складокъ, которыя, впрочемъ, легко отличить отъ складокъ, вызванныхъ боковымъ давленіемъ.

Безводные силикаты превращаются въ зонѣ разрыхленія въ водные силикаты. Такъ, напр., алюминіевые силикаты, какъ андалузитъ и дистенъ, образуютъ каолинъ, который представляетъ собою водный алюминіевый силикатъ. Также и перидотъ превращается въ серпентинъ. Другіе водные силикаты, эпидотъ, цоизитъ, цеолиты, образуются путемъ гидратаціи, происходящей насчетъ болѣе сложныхъ безводныхъ силикатовъ.

Явленія окисленія.—Обиліе кислорода въ просачивающейся водѣ вызываетъ превращеніе окисей въ перекиси и окисленіе сѣрнистыхъ металловъ, углеродистыхъ водородовъ и другихъ соединеній.

Магнетитъ (Fe^3O^4) на поверхности превращается въ желѣзный блескъ (Fe^2O^3); сидеритъ ($FeCO^3$)—въ водную желѣзную окись или въ лимонитъ; углекислый марганецъ ($MnCO^3$)—въ двуокись марганца (MnO^2). Химическія измѣненія поверхностныхъ частей многихъ металлическихъ залежей произошли вслѣдствіе обогащенія кислородомъ; этому же фактору надо приписать красную поверхностную окраску известняковъ и другихъ породъ, содержащихъ известь, которыя почти всегда содержатъ и углекислое желѣзо, а также и образованіе *дендритовъ* изъ двуокиси марганца на поверхности известняковъ и иногда песчаниковъ.

Сѣрнистыя соединенія металловъ переходятъ путемъ окисленія въ сѣрнокислыя, которыя, будучи въ большинствѣ случаевъ легко растворимыми, уносятся циркулирующими водами. Сѣрнокислое же желѣзо ($FeSO^4$), образующееся вслѣдствіе окисленія пирита, превращается въ водную окись желѣза, при чемъ освобождается сѣрная кислота, которая, соединяясь съ известью, образуетъ гипсъ и углекислоту. Пиритовыя конкреціи, нерѣдко встрѣчающіяся въ глинистыхъ отложеніяхъ, часто замѣ-

няются лимонитомъ, и въ это же время образуются кристаллы гипса. Тоже самое и ископаемыя, пустоты которыхъ были заполнены пиритомъ, при условіяхъ, о которыхъ мы уже говорили въ одной изъ предшествующихъ главъ, часто превращаются по крайней мѣрѣ на поверхности въ водную окись желѣза. Подобному же процессу окисленія обязана своимъ происхожденіемъ такъ называемая *желѣзная шапка*, покрывающая мѣсто выхода на поверхность многихъ рудныхъ жилъ. Поверхность известковыхъ слоевъ, содержащихъ углекислое желѣзо, окрашивается, вслѣдствіе образованія водной окиси желѣза, въ *красный цвѣтъ* преимущественно по діаклазамъ и по другимъ мѣстамъ поглощенія атмосферной воды. Таково происхожденіе, напр., въ бассейнѣ Парижа, *краснаго дилювія*, который при бѣгломъ взглядѣ кажется наполняющимъ углубленія и колодцы въ неизмѣненныхъ четвертичныхъ галечникахъ (15).

Наконецъ, углеродистые водороды, окисляясь въ зонѣ разрыхленія, образуютъ озокеритъ и асфальтъ. Окисленіе иногда бываетъ и полнымъ, такъ что разрушаются органическія вещества и образуется углекислота. Это объясняетъ намъ, почему углистые сланцы почти всегда бываютъ обезцвѣчены въ мѣстахъ обнаженій.

Разложеніе силикатовъ.—Подъ дѣйствіемъ углекислоты, растворенной въ водѣ, силикаты превращаются въ карбонаты, а двойные силикаты распадаются. Наиболѣе распространенной изъ этихъ реакцій является разложеніе полевого шпата, представляющаго собой двойной силикатъ алюминія и калія или алюминія и натрія или кальція. Въ присутствіи воды и углекислоты образуются углекислыя соединенія калія, натрія или кальція, свободный кремнеземъ и водный силикатъ алюминія, который въ чистомъ видѣ извѣстенъ подъ именемъ каолина. *Каолинизація* имѣетъ особенно большое значеніе при разрушеніи гранитовъ. Вырабатывающіеся при этомъ карбонаты уносятся въ растворѣ; кремнеземъ также почти всегда растворяется и уносится, такъ что на мѣстѣ полевого шпата остается только каолинъ. Каолинъ представляетъ собой вещество, которое легко обращается въ порошокъ и уносится водою дальше, образуя глинистыя залежи; отъ гранита же остается скопленіе кварцевыхъ зеренъ. Каолинизація часто проникаетъ на всю глубину зоны разрыхленія, но въ горизонтальномъ направленіи распредѣляется безъ всякаго порядка, такъ что каолинизирован-

ные участки чередуются съ площадями неизмѣненной кристаллической породы, и это наблюдается даже въ громадномъ массивѣ однороднаго состава. Нѣкоторые ученые объясняли эту неправильность появленіемъ гидротермальныхъ водъ, богатыхъ углекислотой.

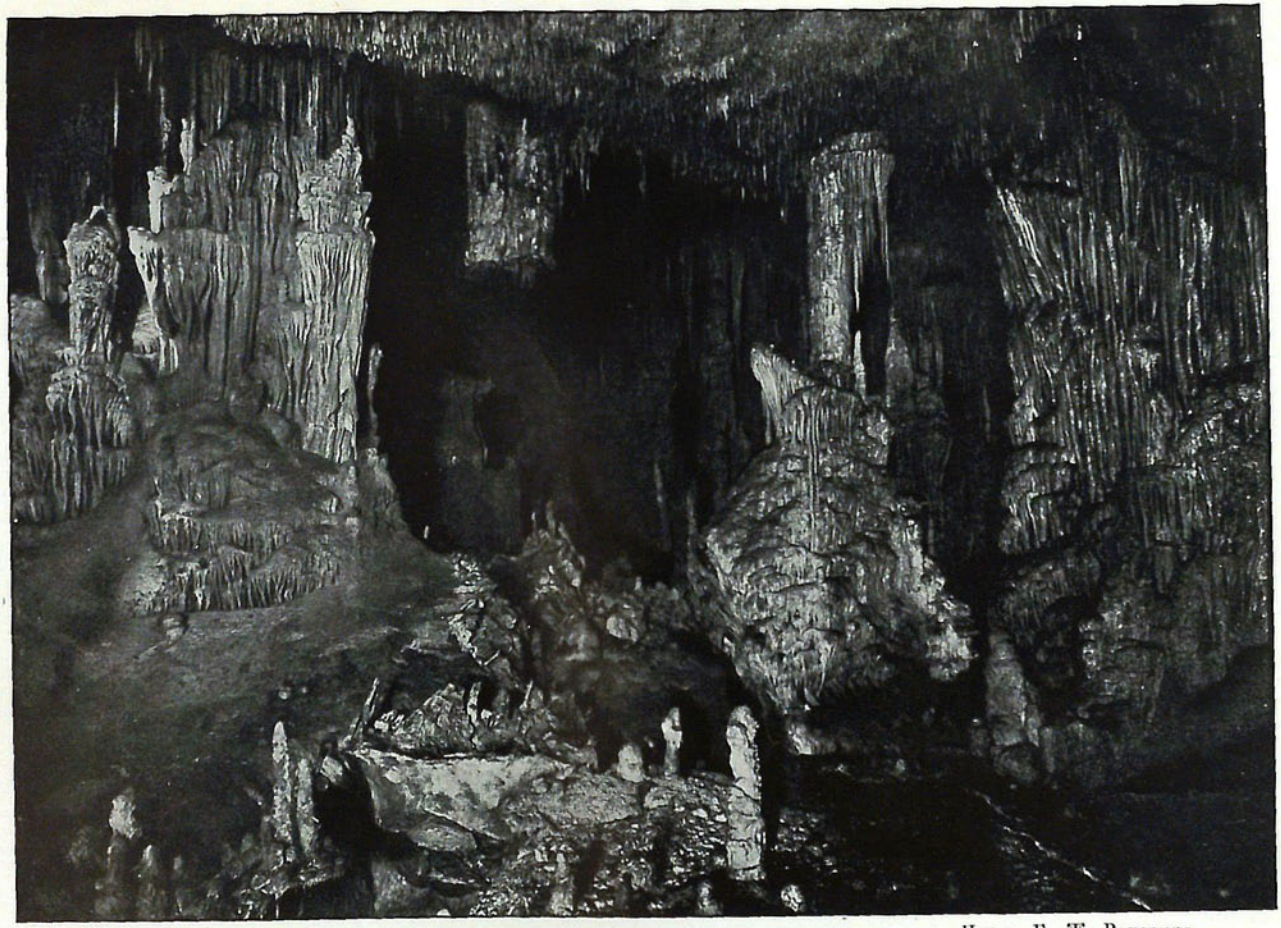
Подземныя отложенія. Подземныя воды точно такъ же, какъ и поверхностныя, могутъ отлагать осадки, но въ зонѣ разрыхленія это явленіе сосредоточено только въ пещерахъ или въ раньше существовавшихъ пустотахъ небольшого размѣра.

Намъ уже извѣстно (гл. IX), что пустоты, происшедшія отъ растворенія раковины или скелета ископаемыхъ организмовъ, часто заполняются кальцитомъ или кремнеземомъ. Такимъ путемъ образуется *замѣщенная раковина*, при чемъ конхитъ, изъ котораго состояло первоначально большинство раковинъ, замѣняется кристаллическимъ кальцитомъ. То же происходитъ во многихъ отложеніяхъ и съ раковинами брюхоногихъ, аммонитовъ и многихъ семействъ пластинчатожаберныхъ.

Иногда же известковыя части организмовъ замѣняются кремнеземомъ. Въ нѣкоторыхъ слояхъ это явленіе распространяется на всѣхъ ископаемыхъ, но если кремнеземъ находится въ количествѣ недостаточномъ для полной замѣны известковыхъ элементовъ, то образуются *волоконца* минерала, названнаго Мюнье-Шальмасомъ и Мишель-Леви *кварцином*ъ. По обнаженіямъ гипсъ замѣняется иногда кремнеземомъ. Мюнье-Шальмасъ нашелъ кремнеземъ вмѣстѣ съ плавиковымъ шпатомъ и кальцитомъ на непосредственномъ продолженіи прослоекъ гипса, проходящихъ среди грубаго известняка окрестностей Парижа (16). Эти замѣщенія входятъ въ ту категорію псевдоморфозъ, которая характеризуется тѣмъ, что вновь образующійся минералъ точно воспроизводитъ форму минерала, удаленнаго растворенiемъ. Такъ, напр., кристаллы гипса замѣняются кварцемъ, лютецитомъ, кварциномъ, кальцитомъ или плавиковымъ шпатомъ, которые и воспроизводятъ характерныя формы исчезнувшихъ кристалловъ.

Пустоты, превосходящія по своимъ размѣрамъ тѣ, которыя произошли отъ растворенія ископаемыхъ или минераловъ, заполняются водой и стѣнки ихъ покрываются кристаллами кальцита или кварца и превращаются *въ жеоды*.

Пещеры представляютъ собой большія пустоты и встрѣ-



Негат. Е. Ж. Раковица.

Сталактиты и сталагмиты.

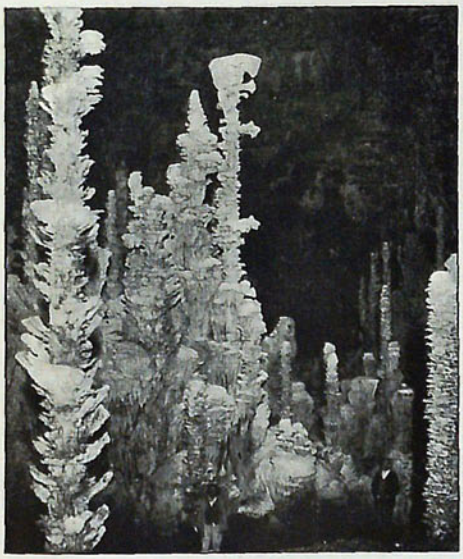
Куэвасъ дель Драхъ, въ неогеновыхъ известнякахъ, близъ Манакоръ (Майорка).



Негат. Е. Ж. Раковица.

Сталактиты.

Озеро Мирамаръ, близъ Манакоръ (Майорка).





Негат. Е. А. Мартеля.

Сталагмиты дѣвственнаго лѣса (деталь).

Пещера Арманъ (Лозеръ).

чаются исключительно въ известковыхъ породахъ. Мы уже знаемъ условія, при которыхъ онѣ образуются.

Вода, просачиваясь черезъ известняки, достигнувъ пещеры, подвергается сильному испаренію, такъ что содержащаяся въ ней известь быстро отлагается. Съ потолка пещеры безпрерывно капаетъ вода и тотчасъ же отлагаетъ содержавшуюся въ ней углекислую известь. Натеки извести на потолкѣ пещеры, образующіеся съ чрезвычайной медленностью, имѣютъ видъ коническихъ и цилиндрическихъ сосулекъ, называемыхъ *сталактитами* (табл. XXXVII, 1). Но такъ какъ вода падаетъ на дно пещеры, не успѣвая отложить всей извести на потолкѣ ея, на днѣ образуются также отложенія извести—*сталагмиты*, которые поднимаются вверхъ навстрѣчу сталактитамъ; когда сталагмиты соединяются со сталактитами, образуются колонны (табл. XXXVI). Сталактиты и сталагмиты имѣютъ концентрическую структуру и часто обнаруживаютъ кальцитовую спайность.

Когда вода просачивается по трещинамъ въ потолкѣ пещеры, то известковые натеки принимаютъ форму занавѣсей. Сталагмиты же иногда отливаются въ форму канделябровъ и бываютъ усажены кристаллами, какъ напр., въ знаменитомъ дѣвственномъ лѣсу пещеры Armand въ департаментѣ Лозеръ (табл. XXXVII, 2,3).

На днѣ пещеръ встрѣчаются самыя разнообразныя отложенія: туфы; порошковатые известняки; травертины, отлагающіеся изъ воды очень богатой известью; глины и пески, попадающіе туда съ земной поверхности черезъ поглощающіе каналы и захватываемые затѣмъ подземными рѣками; гальки совершенно округленныя движеніемъ воды; брекчіи, образовавшіяся при обвалахъ; красная глина, происшедшая отъ выщелачиванія и т. д. Всѣ эти осадки, къ которымъ нужно еще прибавить скопленія костей, и покрываютъ дно пещеръ (17).

Цементація. Вещества, растворяемыя въ зонѣ разрыхленія, уносятся просачивающейся водой въ зону цементаціи, гдѣ они перекристаллизовываясь воднымъ путемъ, заполняютъ всѣ пустоты въ породахъ. Въ діаклазахъ и трещинахъ, происшедшихъ отъ растяженія породы, образуются небольшія жилки, которыя иногда рѣзко отличаются отъ примыкающихъ къ нимъ породъ. Когда пустоты въ породахъ имѣютъ видъ поръ, то растворенный минералъ, заполняя ихъ, скрѣпляетъ составныя

части породы. Конечно, болѣе всего пригодны для цементаціи пески и обломочные известняки.

Въ качествѣ цементирующихъ веществъ отлагаются кремнеземъ, полуторная окись желѣза, карбонаты извести и желѣза, различные силикаты и рѣже сѣрнистое желѣзо.

Кремнеземъ бываетъ представленъ кварцемъ, халцедономъ и иногда опаломъ. Кремень въ видѣ халцедона встрѣчается или конкреціями, или прослойками, смотря потому находится ли онъ между слоями осадочныхъ породъ или вдоль діаклазъ. Главнымъ образомъ онъ наблюдается въ мѣлу, но также встрѣчается и въ другихъ известковыхъ и мергелистыхъ формаціяхъ. Цементъ песчаниковъ часто бываетъ кремнистымъ, и кремнеземъ находится тогда въ видѣ кварца. Объяснить это явленіе очень трудно, на что указалъ еще недавно Кайё (18), такъ какъ до сихъ поръ не удалось добиться кристаллизаціи кварца водянымъ путемъ. Кварцъ часто встрѣчается отдѣльными маленькими кристаллами, какъ напр., въ вогезскомъ песчаникѣ, цементомъ котораго служитъ кварцъ и красный желѣзнякъ. Большинство песчаниковъ Парижскаго бассейна имѣли сначала известковый цементъ, а затѣмъ стали кремнистыми, и Кайё допускаетъ причинную зависимость окремненія ихъ отъ присутствія углекислой извести.

Кварциты отличаются отъ песчаника тѣмъ, что образующія ихъ зерна кварца не имѣютъ контуровъ, свойственныхъ зернамъ обломочной породы, а соединяются одно съ другимъ кварцевою же массой. При этомъ часто наблюдается, что на зерна обломочнаго происхожденія нарось кварцъ, отложившійся позже.

Полуторная окись желѣза, цементирующая нѣкоторыя песчаники, находится или въ видѣ желѣзнаго блеска, или въ видѣ лимонита.

Кальцитъ является однимъ изъ самыхъ распространенныхъ кристаллическихъ веществъ въ зонѣ цементаціи и встрѣчается то въ качествѣ цемента песчаниковъ, конгломератовъ и обломочныхъ известняковъ, то въ видѣ жилъ известковаго шпата, заполняющихъ безчисленныя трещины, образовавшіяся въ породахъ подъ вліяніемъ діастрофизма. Мраморы обязаны своимъ происхожденіемъ присутствію такихъ жилъ или общей перекристаллизаціи, придающей породѣ сахаровидную структуру.

Силикаты въ состояніи новообразованій очень часто встрѣчаются въ изверженныхъ породахъ, входящихъ или входившихъ

въ зону цементаціи. Различные цеолиты образовались въ пустотахъ базальтовъ, фонолитовъ и другихъ породъ, но нерѣдко также пустоты въ этихъ породахъ бываютъ заполнены халцедономъ и опаломъ.

Такимъ образомъ оказывается, что химическія явленія, наблюдающіяся въ зонѣ цементаціи, похожи на тѣ, какія происходятъ въ осадочныхъ породахъ, непосредственно послѣ ихъ отложенія, пока еще не отступило образовавшее ихъ море. Это сходство обусловлено болѣе или менѣе тождественными условіями проникновенія воды. И дѣйствительно, морское дно не можетъ соприкасаться съ атмосфернымъ воздухомъ, такъ что зона разрыхленія совершенно отсутствуетъ на поверхности покрытаго водою пространства. Зона насыщенія водою здѣсь непосредственно соприкасается съ зоной морской воды, но такъ какъ породы, образующія морское дно, насыщены водой, морская вода не можетъ больше просачиваться въ нихъ. Слѣдовательно, во вновь отложившихся осадкахъ, такъ же, какъ и въ зонѣ цементаціи, явленія цементаціи и образованія конкрецій преобладаютъ надъ процессами растворенія, гидратаціи и окисленія.

Явленія, совершающіяся въ зонѣ цементаціи, можно съ полнымъ основаніемъ отнести къ явленіямъ *діагенезиса*. Явленія же, происходящія въ зонѣ разрыхленія, составляютъ область *метасоматоза*, а явленія *метаморфизма* сосредоточены въ зонѣ, лежащей еще глубже зоны цементаціи.

1.—Delesse. Recherches sur l'eau dans l'intérieur de la terre. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 2e sér., XIX, стр. 64-89, 1861.

2.—A. Daubrée. Les eaux souterraines à l'époque actuelle, leur régime, leur température, leur composition au point de vue du rôle qui leur revient dans l'économie de l'écorce terrestre. 2 vol. in-8°, 455+302 стр. 190+43 фиг. Paris, 1887.

3.—Th. C. Chamberlin. The requisite and qualifying conditions of artesian wells. *5th Ann. Report U. S. Geol. Surv.*, стр. 125-173, фиг. 7-31, табл. XXI, 1838.

4.—Isidor Soyka. Die Schwankungen des Grundwassers mit besonderer Berücksichtigung der mitteleuropäischen Verhältnisse. *Geogr. Abhandl. v. A. Penck*, t. II, n° 3, 84 стр., 18 фиг., 1888.

5.—O. Keller. Saturation hygrométrique de l'écorce du globe. Détermination de l'eau de carrière, diminution de la résistance des roches imbibées d'eau. *Annales des Mines*, 9e sér., XII стр. 32-86, 1897.

6.—Fr. H. King. Principles and conditions of the movements of ground water. *19th Ann. Report U. S. Geol. Surv*, стр. 59-294, табл. VI-XVI, фиг. 2-53, 1899.

7.—Ch. S. Slichter. The motions of underground waters. *Watersupply and irrigation papers of the U. S. Geol. Surv.*, no 67, 106 стр. 50 фиг., 1902.

8.—Henri Boursault. Recherches des eaux potables et industrielles. *Encycl. scient. des Aide-Mémoire*. 1 vol. in-18, 200 стр., 16 фиг., Paris (безъ даты).

9. Léon Janet. Conférence de géologie appliquée sur le captage et la protection des sources d'eaux potables. *Bull. Soc. Géol. Fr.* 3e sér, XXVIII, стр. 532-548, 11 фиг., 1900.

10.—Léon Pochet. Études sur les sources. Hydraulique des nappes aquifères et des sources et applications pratiques. 1 vol. in-8o, 527 стр, съ атласомъ изъ 81 табл. Paris, 1905.

11.—E.-A. Martel. L'eau, étude hydrologique. Extr. de Brouardel et Mosny. Traité d'Hygiène II, стр. 87—200, фиг. 4-25, 1896.

12.—Id. Les abimes, les eaux souterraines, les cavernes, les sources, la spélaeologie. 1 vol. in-4o, 580 стр, 10 табл, 309 фиг., Paris, 1894.

13.—Id. Applications géologiques de la spéléologie. Origine et rôle des cavernes, leurs variations climatériques, leurs rapports avec les filons. *Annales des Mines*, 9e sér., X, стр. 1-100, табл. I-III, 1896.

14.—Id. La spéléologie ou science des cavernes. *Bibl. Scientia*, Biologie, no 8, in-8o, 126 стр., 10 фиг., Paris, 1903.

15.—E. van den Broeck. Mémoire sur les phénomènes d'altération des dépôts superficiels par l'infiltration des eaux météoriques, étudiés dans leurs rapports avec la Géologie stratigraphique. *Mém. couronnés et Mém. des savants étrangers publiés par l'Acad. R. des Sciences. des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique*, XLIV, 180 стр., 1 табл., 34 фиг., 1881.

16.—Munier-Chalmas. Sur les formations gypseuses du bassin de Paris, sur les dépôts siliceux qui ont remplacé le gypse. *C. R. Ac. Sc.*, CX, стр. 663-666, 1890.

17.—Marcellin Boule. Notes sur le remplissage des cavernes. *L'Anthropologie*, III, стр. 19-36, 7 фиг., 1892.

18.—L. Cayeux. Structure et origine des grès du Tertiaire parisien. *Études des gîtes minéraux de la France*, 1 vol. in-4o, 160 стр., 23 фиг., 10 табл., Paris, 1906.

См. Также: 0,23; XIII, 27; XIX, 7, 8.

ГЛАВА XXIV.

Работа атмосферныхъ агентовъ.

1. Разрыхленіе и распадъ породъ: Физическое вывѣтриваніе. — Химическое вывѣтриваніе.—Вывѣтриваніе при участіи организмовъ.—Рельефъ земной поверхности, обусловленный вывѣтриваніемъ.—2. Удаленіе и переносъ продуктовъ вывѣтриванія: Значеніе тяжести, осыпи.—Обвалы.—Грязевые потоки.—Сносъ обломковъ дождевыми струями —Вѣтеръ, какъ агентъ удаленія и переноса обломковъ.—3. Корразія и коррозія: Корразія.—Коррозія.—4. Отложеніе осадковъ: Элювіальныя образованія.—Отложенія ключей.—Отложенія дождевой водой.—Эоловыя отложенія.

Подъ именемъ *атмосферныхъ агентовъ* мы разумѣемъ внѣшнія динамическія силы, проявляющія свое дѣйствіе въ поверхностныхъ частяхъ литосферы, т.-е. тамъ, гдѣ она соприкасается съ атмосферой. Изученіе ихъ съ физической точки зрѣнія входитъ въ область метеорологіи, а геолога можетъ интересовать ихъ значеніе лишь постольку, поскольку они участвуютъ въ процессѣ разрушенія поверхностныхъ горныхъ породъ и измѣненія рельефа земной поверхности. Вліяніе атмосферы на земную поверхность можетъ обусловливаться электрическими явленіями, происходящими въ ней, поглощеніемъ солнечныхъ лучей, собственными движеніями атмосферы (вѣтрами), сгущеніемъ (конденсаціей) содержащагося въ ней водянаго пара въ видѣ тумана, дождя, снѣга и пр. Прежде чѣмъ попасть въ рѣки или проникнуть въ водопроницаемыя породы, вода, появляющаяся на поверхности земли въ видѣ атмосферныхъ осадковъ, струится по склонамъ возвышенностей, и работа ея струй тогда можетъ быть легко сравнима съ работою атмосферныхъ агентовъ въ тѣсномъ смыслѣ этого слова. Вліяніе же рѣкъ и ледниковъ на земную поверхность должно быть предметомъ спеціальныхъ главъ.

Можно было бы отдѣльно заняться и дѣйствіемъ электричества, и работой солнечныхъ лучей и вѣтра, и значеніемъ атмосферныхъ осадковъ и стока водъ по склонамъ горъ, но не всегда бываетъ возможно выяснить степень участія каждаго изъ этихъ агентовъ въ отдѣльности. Кромѣ того, соотвѣтственно плану

этой книги предпочтительнѣе дать общій обзоръ явленій, ведущихъ къ измѣненіямъ земного рельефа и для каждаго изъ нихъ намѣтить рядъ послѣдовательныхъ фазъ.

Прежде всего мы остановимся на явленіяхъ *разрыхленія* и *распада* поверхностныхъ массъ земли, которыми обыкновенно начинается циклъ работы атмосферныхъ агентовъ. Затѣмъ мы перейдемъ къ явленіямъ *удаленія* и *переноса* продуктовъ разрушенія и къ вытекающимъ изъ нихъ явленіямъ *эрозіи*. Наконецъ, разсмотримъ процессъ *отложенія осадковъ*, которымъ и заканчивается роль атмосферныхъ агентовъ. Точно такія же фазы въ послѣдовательномъ ходѣ явленій будутъ установлены, когда мы приступимъ къ изученію дѣйствія рѣкъ и ледниковъ.

I. Разрыхленіе и распадъ горныхъ породъ.

Разрыхленіе и распадъ поверхностныхъ массъ горныхъ породъ подъ дѣйствіемъ атмосферныхъ агентовъ заключается въ *физическихъ*, *химическихъ* и *органическихъ* процессахъ. Сейчасъ намъ и предстоитъ познакомиться съ этими различными способами разрыхленія и распада или, какъ говорятъ, вывѣтриванія породъ.

Физическое выв**ѣ**триваніе.— Электрическіе удары и солнечные лучи дѣйствуютъ непосредственно на горныя породы и измѣняютъ ихъ физическую природу и даже ихъ составъ.

Молнія часто ударяетъ въ наиболѣе выдающіяся вершины горной цѣпи. Она или раскалываетъ породу рядомъ трещинъ, часто расходящихся въ видѣ звѣзды, или расплавляетъ ея поверхность, покрывая ее стекловатымъ натекомъ въ формѣ капель, что неоднократно было обнаружено учеными на кремнистыхъ и силикатовыхъ породахъ, образующихъ вершины горъ (I). Если молнія попадаетъ въ песокъ, она и здѣсь вызываетъ явленія остеклованія, идущія иногда на много метровъ вглубь. Болѣе или менѣе развѣтвленныя трубочки, образующіяся вслѣдствіе скрѣпленія зеренъ песка, называются *фульгуритами*. Онѣ довольно часто встрѣчаются въ равнинахъ Сѣверной Германіи, въ дюнахъ Сахары и въ другихъ мѣстахъ.

Физическое воздѣйствіе солнечныхъ лучей на горныя породы обусловливается, главнымъ образомъ, рѣзкими измѣненіями инсоляціи. Поэтому оно сильнѣе всего проявляется въ тѣхъ об-

ластяхъ земного шара, гдѣ особенно рѣзки различія въ температурѣ дня и ночи, т.-е. въ высокихъ горахъ и въ пустыняхъ. Сильное и почти внезапное нагрѣваніе солнечными лучами поверхностныхъ слоевъ породы, послѣ ея охлажденія ночью, вызываетъ быстрое расширеніе поверхностнаго слоя породы и затѣмъ *десквамацію* ея, т.-е. отслаиваніе породы концентрическими чешуйками. Охлажденіе же породы, нагрѣтой за день, ведетъ къ тому, что она, быстро сокращаясь, *растрескивается*. Въ пустыняхъ поэтому очень часто можно найти растрескавшіеся валуны и даже громадныя скалы, расколотыя по плоскимъ поверхностямъ. Такія трещины такъ же, какъ и десквамація, не менѣе часто наблюдаются и въ высокихъ горныхъ областяхъ.

Разнородныя по своему составу породы и особенно тѣ изъ нихъ, которыя содержатъ различно окрашенные минералы, превращаются въ песокъ и буквально крошатся, такъ какъ каждый изъ образующихъ породу минераловъ имѣетъ особую ему свойственную удѣльную теплоемкость, а слѣдовательно, сжимается и расширяется иначе, чѣмъ сосѣдніе съ нимъ минералы, что и препятствуетъ образованію правильныхъ расколовъ.

Всѣ эти факты были тщательно изучены Іог. Вальтеромъ въ его трудахъ, посвященныхъ изученію пустынь (24, 25).

Въ умѣренныхъ широтахъ породы обыкновенно бываютъ пропитаны водой. Вода, замерзая и увеличиваясь въ объемѣ, раздвигаетъ частицы породы, такъ что при оттепели порода оказывается разрыхленной и разсыпается. Легче всего поэтому холодъ разрыхляетъ породы, наиболѣе пропитанныя водой, какъ напр., мергелистые известняки, которые и называются *рухляками* (*gélives*). Правда, породы могутъ сопротивляться разрушающему дѣйствію холода, когда онѣ достаточно пористы, и вода, замерзая, имѣетъ достаточно мѣста для своего расширенія и не раздвигаетъ частицы породы, таковы, напр., грубые песчаники.

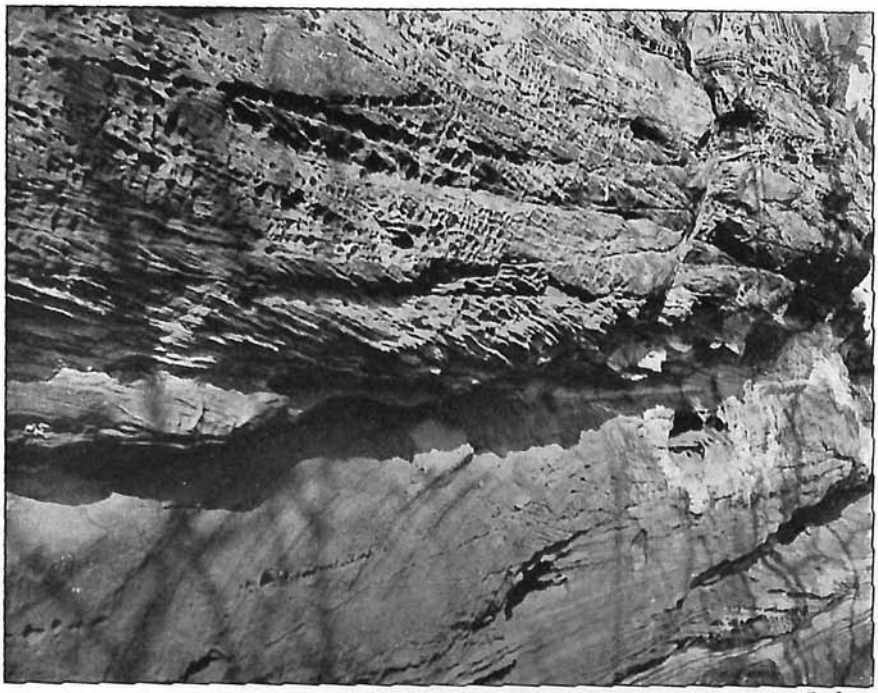
Химическое выв ѣтриваніе.—Разрыхленіе и распадъ породъ путемъ химическаго воздѣйствія въ значительной мѣрѣ облегчается присутствіемъ пропитывающей ихъ воды, заключающей въ себѣ растворенные газы, кислоты и соли, которые и являются агентами химическихъ измѣненій.

Но, повидимому, и солнечные лучи могутъ вызывать нѣкоторыя химическія измѣненія въ нагрѣваемой ими поверхности земной коры, если, конечно, это нагрѣваніе достаточно сильно.

Такъ, Ф. Катцеръ (3) во время своего продолжительнаго пребыванія въ Бразиліи имѣлъ случай наблюдать, какъ поверхность голубого ила, отлагаемаго при разливѣ Амазонки, черезъ мѣсяцъ принимала красный цвѣтъ, вслѣдствіе образованія безводной полуторной окиси желѣза. Подобнаго явленія никогда не бываетъ въ умѣренныхъ странахъ, гдѣ поверхность ила окрашивается въ желтый или коричневый цвѣтъ вслѣдствіе превращенія сѣрнистаго желѣза въ водную окись желѣза. Въ Бразиліи же безводная окись желѣза, по мнѣнію Катцера, вырабатывается благодаря совмѣстному дѣйствію влаги воздуха, теплоты и сильнаго свѣта солнечныхъ лучей.

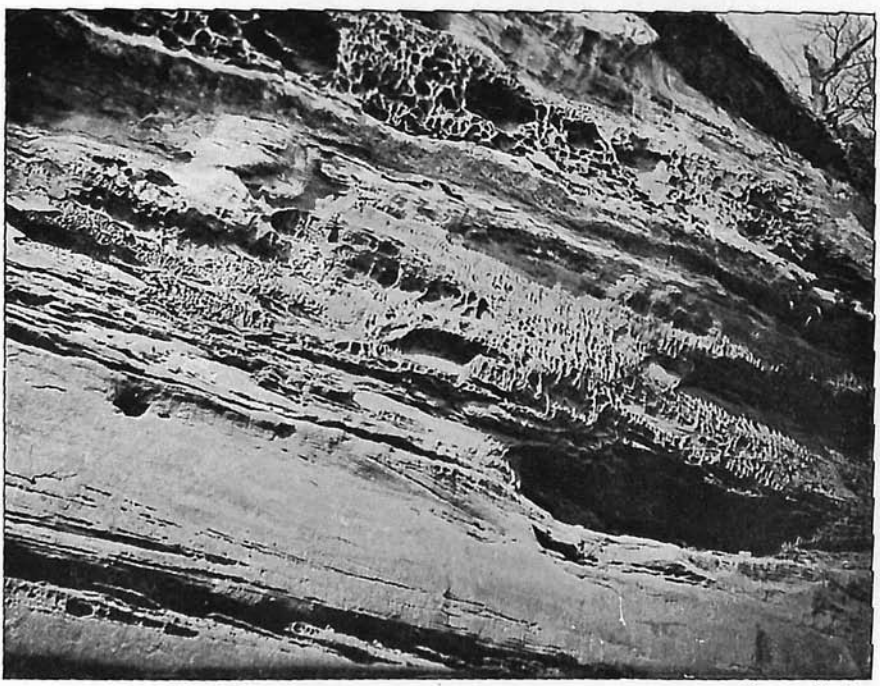
Въ пустыняхъ тропическихъ странъ всѣ путешественники замѣчаютъ на самыхъ различныхъ породахъ, но, главнымъ образомъ, на песчаникахъ, своеобразную кору коричневаго или чернаго цвѣта, блестящую и сливающуюся съ неразрыхленной породой. Ее называютъ „*пустыннымъ загаромъ*“ или, по терминологіи Іог. Вальтера, „*защитной коркой*“ Ея образованіе Вальтеръ приписывалъ чисто гипотетически (26) теплотѣ солнечныхъ лучей безъ участія почвенной воды, предполагая, что соли желѣза и марганца приносятся вѣтромъ. Но недавно предпринятое имъ всестороннее изученіе нѣкоторыхъ пустынныхъ областей заставило его измѣнить первоначальную точку зрѣнія и глубже понять сущность процесса (27).

Анализы Зикенберга и Стрерувича доказали, что защитная корка, кромѣ водной окиси желѣза, полуторной окиси желѣза и окиса марганца содержитъ также и, особенно часто на поверхности ископаемыхъ, фосфорную кислоту. Эти соединенія встрѣчаются также въ неразрыхленныхъ породахъ, а ихъ концентрація на поверхности породъ объясняется выступаніемъ и испареніемъ вслѣдствіе инсоляціи пронизывающей породу воды; вода непремѣнно должна участвовать въ этомъ процессѣ, такъ какъ по даннымъ Іог. Вальтера, онъ пріуроченъ къ такимъ мѣстамъ, гдѣ инсоляція проявляется не очень сильно и куда вода доходитъ при разливѣ рѣкъ. Вальтеръ приписываетъ существенную роль въ процессѣ щелочнымъ и хлористымъ соединеніямъ, которыя по его мнѣнію всегда имѣются, хотя бы и въ незначительномъ количествѣ, во всѣхъ породахъ пустынь и въ частности въ породахъ Египта; такимъ образомъ могутъ вырабатываться хлористыя соединенія желѣза и марганца, которыя должны подниматься вмѣстѣ съ водой на поверхность и тамъ, подъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей, превращаться въ окиси;



Негат. Э. Ога.

Косая слоеватость и ячеистая структура.
Защитная корка отчасти сохранилась.
Внизу, слѣва и въ серединѣ: эоловое выдуваніе.
Развалины Фалькенштейнъ, близъ Нидербронн (Эльзасъ).



Негат. Э. Ога.

Ячеистая структура
у подножія утеса нижняго вогезскаго песчаника.
Развалины Фалькенштейнъ, близъ Нидербронн (Эльзасъ).

цементъ же образуется благодаря сродству кремнезема и фосфорной кислоты съ этими окисями. Но лишь дальнѣйшія изслѣдованія по этому вопросу покажутъ, насколько необходимо въ этомъ явленіи участіе хлористыхъ соединеній. Кромѣ того, по мнѣнію Линка (4) важную роль въ процессѣ играетъ не пропитывающая породу вода, а вода осаждающаяся въ видѣ росы, такъ какъ въ ней въ замѣтномъ количествѣ содержатся азотнокислый аммоній и хлористый натрій.

Защитная корка почти всегда покрываетъ древнедевонскіе песчаники центральной Сахары, но встрѣчается также, хотя и въ слабомъ развитіи, въ умѣренныхъ широтахъ на многихъ песчаникахъ такого же состава, какъ песчаникъ Сахары. Такъ, защитная корка изъ водной окиси желѣза часто наблюдается на глыбахъ песчаника Фонтенбло, долгое время остававшихся обнаженными. Въ Эльзасѣ желѣзистая корка часто покрываетъ основаніе отдѣльно торчащихъ скалъ изъ вогезскаго песчаника, иногда увѣнчанныхъ развалинами феодальныхъ замковъ. Здѣсь такъ же, какъ и въ пустыняхъ, наиболѣе толстая корка покрываетъ слои, особенно сильно пропитанные водой, при чемъ ей также вполнѣ подходитъ названіе „защитной корки“, такъ какъ она защищаетъ породу, скрытую подъ ней, отъ распада (табл. XXXVIII). Правда, невольно возникаетъ вопросъ, не является ли присутствіе защитной корки въ умѣренныхъ широтахъ показателемъ того, что здѣсь въ эпоху, непосредственно предшествовавшую нашей, царилъ климатъ пустыни.

Явленія химическаго вывѣтриванія породъ при участіи почвенной воды относятся къ той же категоріи явленій, которыми мы занимались въ предыдущей главѣ и агентомъ которыхъ являются подземныя воды. Дѣйствіе воды какъ на поверхности, такъ и въ глубинѣ сводится къ растворенію, разложенію, окисленію и другимъ реакціямъ. Намъ совершенно не нужно вновь возвращаться къ этимъ явленіямъ и придется только остановиться на вопросѣ о происхожденіи газовъ, кислотъ и солей, растворенныхъ въ водѣ, насыщающей породу.

Большая часть кислорода и углекислоты, растворенныхъ въ водѣ, насыщающей породу, получается изъ воздуха атмосферы и лишь часть углекислоты вырабатывается растеніями. Ульминовая и гуминовая кислоты и часть амміака и азотной кислоты также вырабатываются организмами, но и атмосферные осадки съ своей стороны содержатъ достаточное количество амміака, азотной и азотистой кислоты въ видѣ азотнокислаго или азотисто-

кислаго аммонія, имѣющаго, конечно, неорганическое происхожденіе. Извѣстно, что азотная кислота образуется изъ соединенія кислорода съ азотомъ, находящимся въ атмосферѣ, вслѣдствіе разряда электрической энергіи. Что же касается амміака, то, по даннымъ Шлезинга, онъ такъ же, какъ и углекислота атмосферы, имѣетъ морское происхожденіе. (5). Съ другой стороны извѣстно, что эти газы обильно выдѣляются при вулканическихъ изверженіяхъ. Амміакъ, имѣющійся въ большомъ количествѣ, нейтрализуетъ азотистую и азотную кислоты, такъ что дѣйствіе ихъ, какъ продуктовъ атмосферы, на горныя породы незначительно и распространяется лишь на самые верхніе слои (см. выше).

Что же касается хлористыхъ соединеній, содержащихся въ растворѣ въ морской водѣ и въ сопочной грязи, то они сильно дѣйствуютъ на горныя породы, несмотря на то, что соленая вода оказываетъ менѣе растворяющее дѣйствіе, чѣмъ прѣсная, какъ это и было указано Тулэ (6). Хлористыя соединенія, разлагая многіе минералы и въ частности силикаты, даютъ начало новымъ соединеніямъ, до сихъ поръ еще мало изученнымъ.

Вывѣтриваніе при участіи организмовъ. — Изъ предыдущаго намъ уже извѣстно, значеніе организмовъ какъ при измѣненіяхъ, которымъ подвергаются осадки непосредственно послѣ ихъ отложенія (глава IX), такъ и при образованіи горючихъ матеріаловъ (глава X). Теперь мы остановимся на значеніи ихъ въ разрыхленіи и распадѣ поверхностныхъ горныхъ породъ. Мы должны заняться этимъ вопросомъ въ этой главѣ, посвященной дѣйствію атмосферныхъ агентовъ на горныя породы, въ виду того, что участіе организмовъ приводитъ къ однимъ и тѣмъ же результатамъ, что и дѣйствіе атмосферныхъ агентовъ.

Значеніе микроорганизмовъ при разрыхленіи и распадѣ горныхъ породъ было выяснено въ замѣчательныхъ работахъ по этому вопросу А. Мюнца и Виноградскаго. Еще въ 1877 г. Шлёзингъ и А. Мюнцъ указали на то, что нитрификація, т. е. образованіе селитры въ почвѣ, совершается при участіи организмовъ (7). Десять лѣтъ спустя А. Мюнцъ обнаружилъ эти организмы въ большей части разрыхленныхъ горныхъ породъ и, исходя изъ этихъ данныхъ, настаивалъ на ихъ существенномъ значеніи въ разрушеніи горныхъ породъ (8). Этотъ вопросъ былъ вновь поднятъ Виноградскимъ, которому и удалось изолировать эти организмы и опредѣлить характеръ ихъ дѣй-

ствія (9). Въ виду ихъ особыхъ признаковъ пришлось выдѣлить ихъ въ особый родъ *Nitromonas*. Одни изъ нихъ вырабатываютъ азотнокислыя, другіе азотистокислыя соединенія. Эти организмы могутъ заимствовать азотъ изъ атмосферы и углеродъ изъ карбонатовъ почвы; такимъ образомъ они могутъ дать синтезъ органическаго вещества независимо отъ солнечныхъ лучей и присутствія хлорофилла. Теперь уже вполнѣ ясно значеніе ихъ при концентраціи азота бобовыми растеніями. Весьма вѣроятно, что они также заимствуютъ азотъ изъ амміака, образующагося при разложеніи органическаго вещества, чѣмъ и объясняется обиліе селитры въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ особенно интенсивно происходитъ этотъ процессъ разложенія.

Превращеніе карбонатовъ въ азотнокислыя соединенія одновременно объясняетъ намъ и разрушеніе горныхъ породъ, и появленіе выцвѣтовъ азотнокислаго кальція, если нитрификація происходила насчетъ известковыхъ породъ, или выцвѣтовъ азотнокислаго калія, если нитрификація происходитъ въ породахъ, богатыхъ углекислымъ каліемъ, образовавшимся вслѣдствіе разложенія полевыхъ шпатовъ.

„Принимая во вниманіе малую интенсивность этого явленія, пишетъ А. Мюнцъ (11), мы склонны считать его не имѣющимъ большого значенія, но его непрерывность и повсемѣстность заставляетъ насъ отнести его къ категоріи тѣхъ геологическихъ явленій, которыми обусловленъ современный видъ земной коры и которыя въ частности содѣйствовали отложенію мельчайшихъ элементовъ, образующихъ пахотную землю“.

Въ Чили въ Тарапара тянутся громадныя пространства, покрытыя азотнокислымъ натріемъ вмѣстѣ съ хлористымъ, іодистымъ и бромистымъ натріемъ. По мнѣнію Мюнца (10), эти залежи образовались вслѣдствіе дѣйствія морской воды на скопленія азотнокислаго кальція, происшедшаго при участіи нитрифицирующихъ ферментовъ. Дѣйствіе морской воды на азотнокислый кальцій вызвало двойное разложеніе, въ результатѣ котораго появились кристаллизованный азотнокислый натрій и расплывчатый хлористый кальцій, который, конечно, уносится вслѣдствіе своей сильной растворимости. Остается въ избыткѣ хлористый натрій, а бромистыя и іодистыя соединенія окисляются азотистокислымъ ферментомъ.

Большая сухость мѣстнаго климата способствуетъ сохраненію на поверхности почвы этихъ громадныхъ залежей, которыя до сихъ поръ доставляютъ главную массу азотнокислыхъ

соединеній, необходимыхъ для земледѣлія и для фабрикаціи взрывчатыхъ веществъ.

Другіе организмы принимаютъ также участіе въ разрыхленіи и распадѣ горныхъ породъ. Между тайнобрачными, лишаи и мхи и нѣкоторыя водоросли добываютъ себѣ питательныя вещества изъ тѣхъ породъ, на которыхъ они селятся и тѣмъ самымъ разрушаютъ ихъ поверхность. Корни явнобрачныхъ растеній также разрушаютъ горную породу, во-первыхъ, механически, отщепляя ихъ глыбы, во-вторыхъ, химически тѣмъ, что вырабатываемая ими углекислота или гуминовая кислота растворяетъ углекислый кальцій и превращаетъ силикаты въ карбонаты или гуминовые продукты, освобождая при этомъ порошковатый кремнеземъ.

Земляные черви безпрестанно приносятъ на поверхность частицы земли, еще никогда не находившіяся въ соприкосновеніи съ атмосферой, и такимъ образомъ участвуютъ въ разрыхленіи почвы, на что обратилъ особенное вниманіе Ч. Дарвинъ (14). Кротъ и другія роющія землю млекопитающія имѣютъ такое же значеніе въ дѣлѣ разрыхленія породъ; въ тропикахъ же, по даннымъ Браннера (13), эту роль берутъ на себя муравьи и термиты, воздвигающіе настоящіе земляные холмики.

Совмѣстное воздѣйствіе на поверхность земной коры замерзанія и оттаиванія воды, проникающей въ породу, и организмовъ превращаетъ болѣе или менѣе твердыя породы въ *почву или пахотную землю.*

Изученіе состава почвы, химическихъ и физическихъ ея свойствъ, ея образованія и географическаго распредѣленія входитъ въ область особой науки — *педологіи* или *почвовѣдѣнія*, которая является одной изъ главнѣйшихъ отраслей прикладной геологіи. Сѣверо-американскіе и русскіе геологи посвятили много трудовъ ея разработкѣ, тогда какъ во Франціи ею занимались преимущественно агрономы, химики и бактеріологи.

Рельефъ земной поверхности, обусловленный вывѣтриваніемъ. Вывѣтриваніе породы не распространяется одинаково на всю ея массу, а идетъ въ опредѣленномъ направленіи, по извѣстнымъ поверхностямъ, какъ бы предназначеннымъ для этого геологическими условіями. Оно неодинаково проявляется въ горныхъ породахъ слоистыхъ и неслоистыхъ, расположенныхъ горизонтально и наклонно, въ растрескавшихся и компактныхъ. Мы можемъ указать лишь на нѣкоторые при-

мѣры вывѣтриванія, такъ какъ подробно заняться измѣненіемъ рельефа въ зависимости отъ этого фактора является скорѣе задачей географіи.

Прежде всего остановимся на явленіяхъ вывѣтриванія горныхъ породъ, горизонтально наслоенныхъ, и предположимъ, что ему подвергается небольшой участокъ осадочной серіи (останецъ или свидѣтель) отрѣзанный отъ всей остальной толщи эрозіонной работой текучей воды. Если верхніе слои болѣе компактны, то они, конечно, не такъ быстро поддадутся разрушенію, какъ нижележащіе болѣе рыхлые слои, такъ что данный останецъ превратится въ столовую гору. Такой рельефъ получается въ томъ случаѣ, когда пористые слои лежатъ на водопроницаемыхъ породахъ; при этомъ разрушеніе съ особой интенсивностью проявляется въ основаніи водопроницаемаго слоя, такъ какъ тамъ вода сильнѣе всего пропитываетъ породу, и слѣдовательно, тамъ интенсивнѣе совершаются какъ химическіе процессы, такъ и физическія измѣненія, обусловливаемыя замерзаніемъ и оттаиваніемъ. Правда, защитная корка, о которой мы уже говорили, часто предохраняетъ породу отъ слишкомъ быстраго разрушенія, но зато непосредственно за нею порода сильно разрушается. Если корка не сплошная, то продукты распада выходятъ наружу и подъ коркой образуется полость. Іог. Вальтеръ (26, 27) описалъ нѣсколько прекрасныхъ примѣровъ этого явленія въ египетскихъ пустыняхъ, но они также наблюдаются и въ мѣловыхъ песчаникахъ Саксонской Швейцаріи (37), и, главнымъ образомъ, въ скалахъ пестрыхъ песчаниковъ въ Нижнихъ Вогезахъ. Когда, наконецъ, корка совершенно отдѣлиться, то обнаруживается рядъ углубленій, отдѣленныхъ другъ отъ друга линіями рельефа. Эта „ячейстая“ структура, наблюдаемая на развалинахъ Фалькенштейна около Нидербронна, всегда вызываетъ удивленіе туристовъ (табл. XXXVIII).

О такой же структурѣ песчаниковъ окрестностей Аризоны упоминается въ разныхъ геологическихъ сочиненіяхъ.

Конечнымъ результатомъ этого разрушенія каменныхъ скалъ у ихъ основанія является образованіе *качающихся камней*, покоящихся на очень небольшомъ основаніи и вслѣдствіе этого находящихся въ неустойчивомъ равновѣсіи. Къ числу такихъ качающихся камней относятся качающаяся скала въ Фонтенбло, Лоттельфельзъ около Шнееберга въ Эльзасѣ, качающійся камень Sierra Tandil въ Аргентинской республикѣ и др.

Если толстый слой разбитъ діаклазами, то распадъ распро-

страняется прежде всего по этимъ расколамъ и дѣлитъ такой слой на рядъ большихъ параллелипипедовъ, которые или скатываются внизъ по склону или осѣдаютъ тутъ же вслѣдствіе разрушенія лежащихъ подъ ними слоевъ. Такимъ путемъ образуются моря скалъ или хаосы, какъ напр., въ лѣсу Фонтенбло. Если же такому разрушенію подвергаются известковые или доломитовые слои, то въ результатѣ получаются скалы въ видѣ развалинъ (табл. XXXIX, 1).

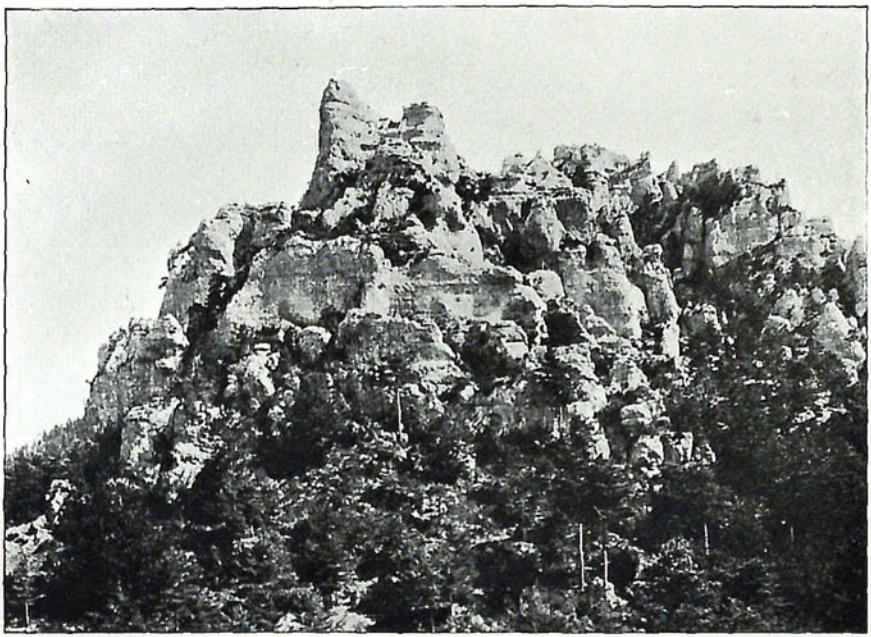
Если же слои горной породы сильно наклонны или поставлены на голову, то образуются особенно въ сланцеватыхъ массивахъ остроконечные гребни и даже настоящіе пики, какъ напр., въ массивѣ Монъ-Бланъ (табл. LXV, 2; LXVII, 1).

Рельефъ же неслоистыхъ породъ благодаря вывѣтриванію обыкновенно принимаетъ округлыя очертанія. И здѣсь химическіе процессы и разрушающее дѣйствіе холода бываютъ сосредоточены сначала вдоль діаклазъ, затѣмъ разрушеніе распространяется на углы отдѣлившихся глыбъ, и мало-по-малу кубы превращаются въ болѣе или менѣе правильныя сферическія образованія. Такой *шаровидный распадъ* (табл. XL) присущъ, главнымъ образомъ, гранитнымъ породамъ, но иногда распространяется и на базальтовыя призмы (табл. XXXIX, 2).

Такимъ образомъ, вывѣтриваніе въ значительной мѣрѣ способствуетъ болѣе ясному обнаруженію слоистости и діаклазъ, при чемъ надо отмѣтить, что въ тоннеляхъ и глубокихъ выемкахъ, защищенныхъ отъ дѣйствія атмосферныхъ агентовъ, слоистость и діаклазы едва замѣтны.

2. Удаленіе и переносъ продуктозъ вывѣтриванія.

Лишь небольшая часть продуктовъ вывѣтриванія остается на мѣстѣ, преимущественно тамъ, гдѣ отсутствіе склона и обильная растительность защищаютъ породу отъ дѣйствія внѣшнихъ динамическихъ силъ. Большая же часть этихъ продуктовъ уносится и часто на значительное разстояніе. Эту работу разрушенія и переноса исполняютъ, главнымъ образомъ, рѣки, ледники и морскія волны, такъ что каждой изъ этихъ силъ мы посвятимъ особую главу, а сейчасъ разсмотримъ участіе въ этой работѣ атмосферныхъ агентовъ, которыми, какъ мы сейчасъ увидимъ, отнюдь нельзя пренебрегать. Изъ атмосферныхъ агентовъ дѣйствуютъ прежде всего струйки дождевой воды и вѣтеръ, но прежде чѣмъ перейти къ изученію ихъ работы, мы бѣгло остановимся на удаленіи и переносѣ продуктовъ распада породъ, лишь дѣйствіемъ одной силы тяжести.



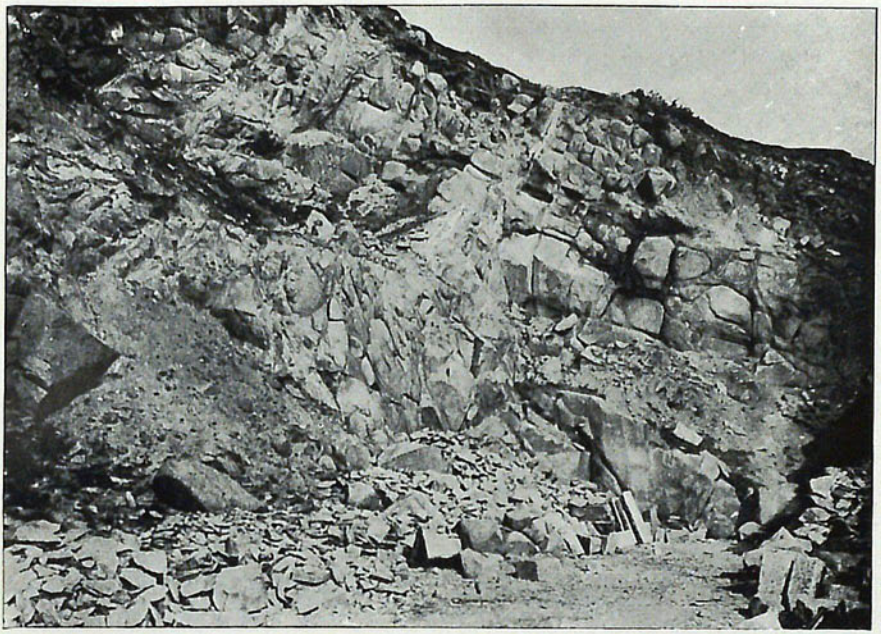
Негат. Джемса Джексона.

Восточная стѣна входа въ циркъ Мадасъ (Авейронъ).
Скульптура юрскихъ доломитовъ, обусловленная дѣйствіемъ атмосферныхъ агентовъ.



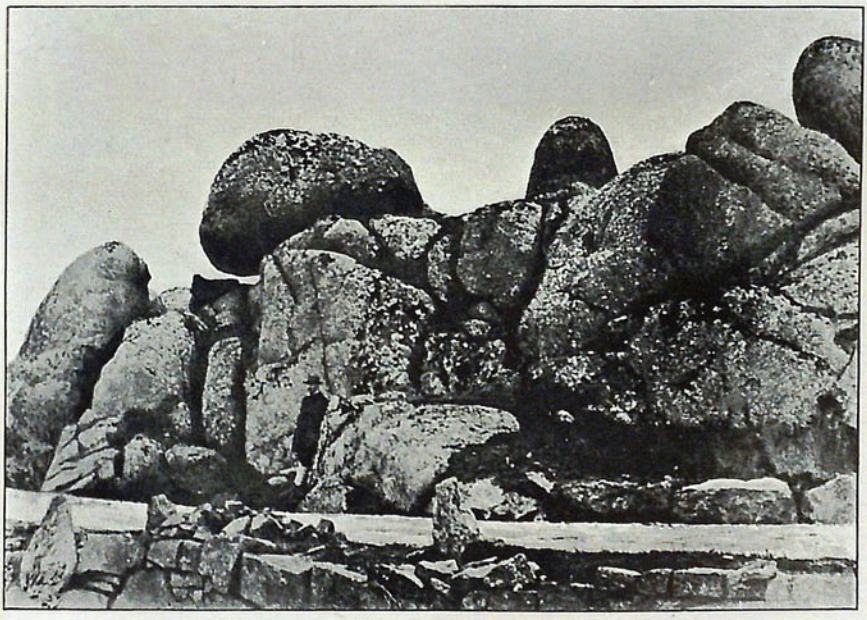
Негат. А. Биго.

Базальтовыя призмы начинающія распадаться на шары.
Перрье, близъ Иссуара (Пюи-де-Домъ).



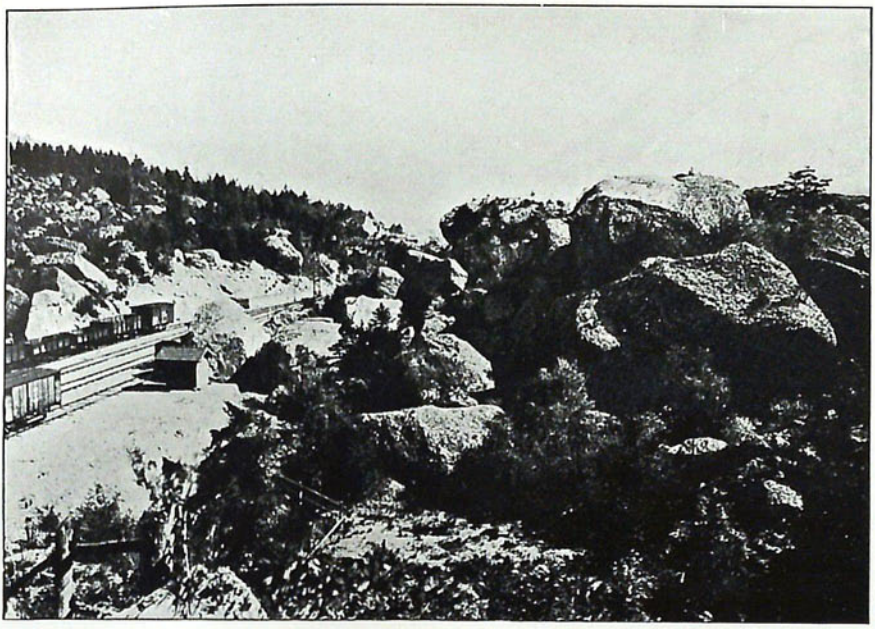
Негат Л. Бертрана.

Діаклазы въ гранитѣ и начало распада на шары.
Камнеломня Діелеттъ (Маншъ).



Негат. доставл. Ш. Веленъ.

Шаровая отдѣльность
порфировиднаго гранита Ля Маржеридъ Аллянсъ (Лозеръ).



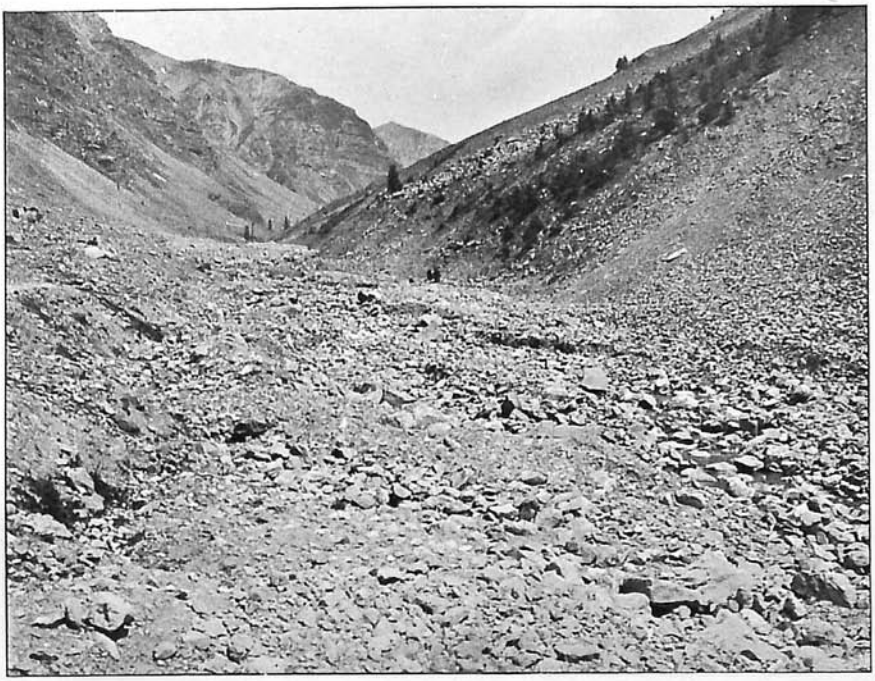
Негат. Дж. Джексона.

Обвалъ Россбергъ въ долинѣ Гольдау
2 сентября 1806 г.
Видъ со станціи Артъ-Гольдау (Швицъ).



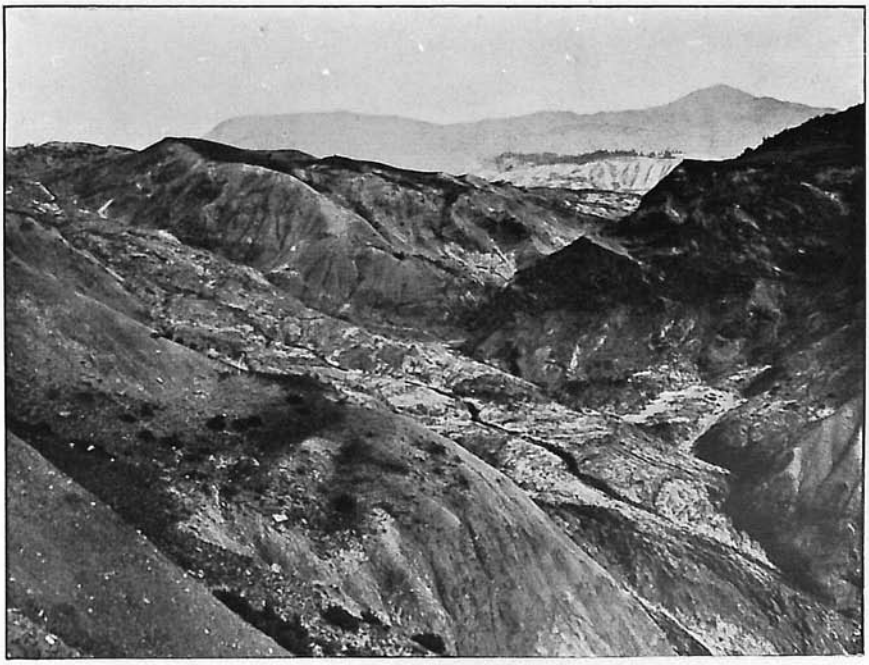
Негат. Альф. Меріанъ

Сассъ-Сонжеръ, близъ Корвара
(Южный Тироль).
Доломитовая вершина съ потоками обломковъ.



Негат. Э. Ога.

Долинка Ля Мутьеръ, близъ Фуръ
(Нижніе Альпы), заваленная обломками скалъ.



Негат. Э. Ога.

Потокъ Пошъ, близъ Жосье
(Нижніе Альпы).
Нижній конецъ грязевого потока со срединной бороздой, вырытой текучими водами.

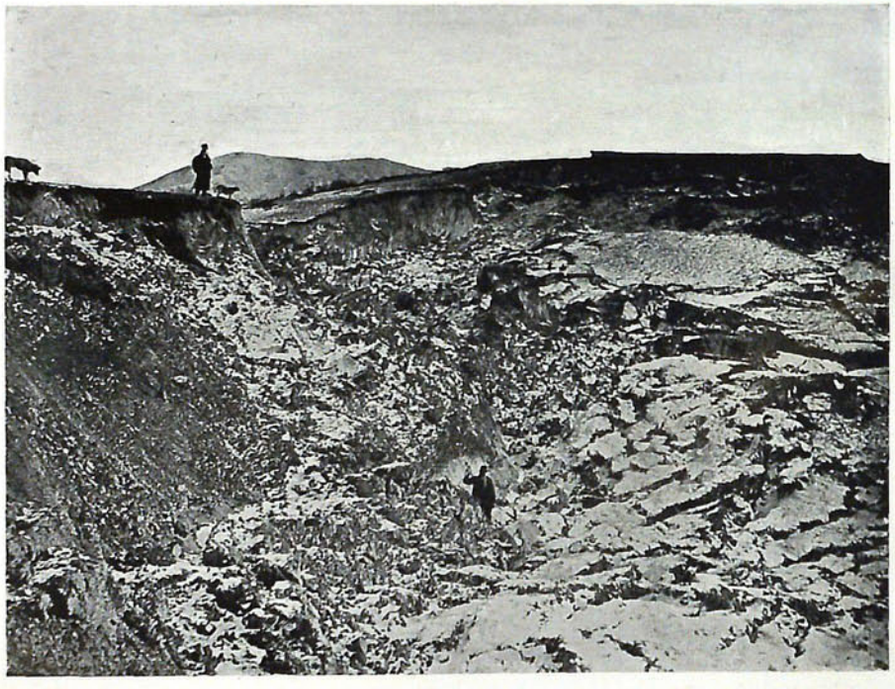


Негат. Э. Ога.



Негат. Э. Ога.

Грязевой потокъ въ вершинѣ потока Пошъ,
близъ Жосье (Нижніе Альпы), въ іюлѣ 1906 г.



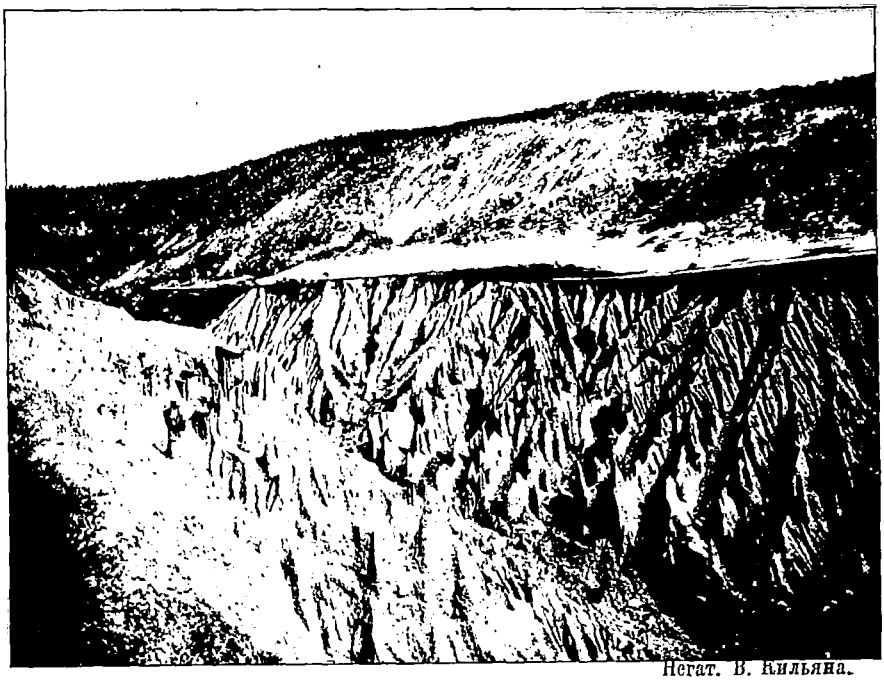
Негат. Ж. Кэръ.

Видъ снятый съ той же точки какъ и предыдущій, въ 1897 г.



Негат. Э. Ога.

Видъ снятый съ болѣе высокой точки, показывающій гребень обрѣзанный оползнемъ (іюль 1906 г.).



Негат. В. Кильяна.

Результатъ дѣйствія дождевыхъ струй на известковыя отложенія долинки Валяурія.
близъ Теусъ (Верхніе Альпы).
Гребни и увѣнчанныя пирамиды.



Негат. Э. Оса.

Увѣнчанныя пирамиды (дѣвы) Орбаннъ,
близъ Понтисъ(Нижніе Альпы).

Значеніе тяжести; осыпи. — Въ горныхъ областяхъ всѣ каменныя обломки, отрывающіеся отъ скалъ благодаря работѣ агентовъ выв'Ѣтриванія, скатываются подъ дѣйствіемъ силы тяжести по склонамъ горъ и останавливаются лишь тамъ, гдѣ наклонъ становится недостаточнымъ для продолженія движенія (табл. XLI). Такимъ образомъ, у подножія горъ накопляются массы болѣе или менѣе угловатыхъ каменныхъ обломковъ, образующихъ *конусы осыпей*, называемые въ Альпахъ Дофинэ *casses*.

Иногда обломочный матеріалъ этихъ конусовъ пополняется обломками, скатывающимися по *рытвинамъ* (*couloirs*), въ которыхъ паденіе камней происходитъ почти непрестанно.

Многочисленные измѣренія, произведенныя Адамомъ Пивоваромъ (19), показали, что уголъ наклона конуса колеблется отъ 26° до 43°. Онъ зависитъ, по даннымъ Пивовара, нестолько отъ размѣровъ обломковъ, сколько отъ ихъ формы и отъ степени шероховатости ихъ изломовъ. Такъ, наклонъ осыпи сланцеватыхъ породъ имѣетъ отъ 26°—32°; наклонъ осыпей известковыхъ глыбъ равняется въ среднемъ 32°, если известнякъ компактенъ, и 34°, если известнякъ песчанистый; наиболѣе круты осыпи гранита, уголъ наклона которыхъ равняется въ среднемъ 37°. Вода, циркулирующая въ конусѣ осыпи, дѣлаетъ его наклонъ болѣе пологимъ. Наоборотъ, если осыпь скрыта подъ стоячей водой, то наклонъ конуса становится градуса на полтора круче, чѣмъ на открытомъ воздухѣ.

Внизу конуса сосредоточены наиболѣе крупныя каменныя глыбы, и величина обломковъ довольно равномѣрно уменьшается по направленію къ вершинѣ конуса осыпи.

Часто камни катятся по склонамъ, покрытымъ снѣгомъ. Въ такомъ случаѣ движеніе ихъ продолжается гораздо дольше; и они спускаются на склоны болѣе пологіе. Они тогда обыкновенно докатываются почти до горизонтальной поверхности и нагромождаются тамъ подобно ледниковымъ моренамъ въ видѣ полукруга, обращеннаго своей вогнутой стороной къ вершинѣ склона.

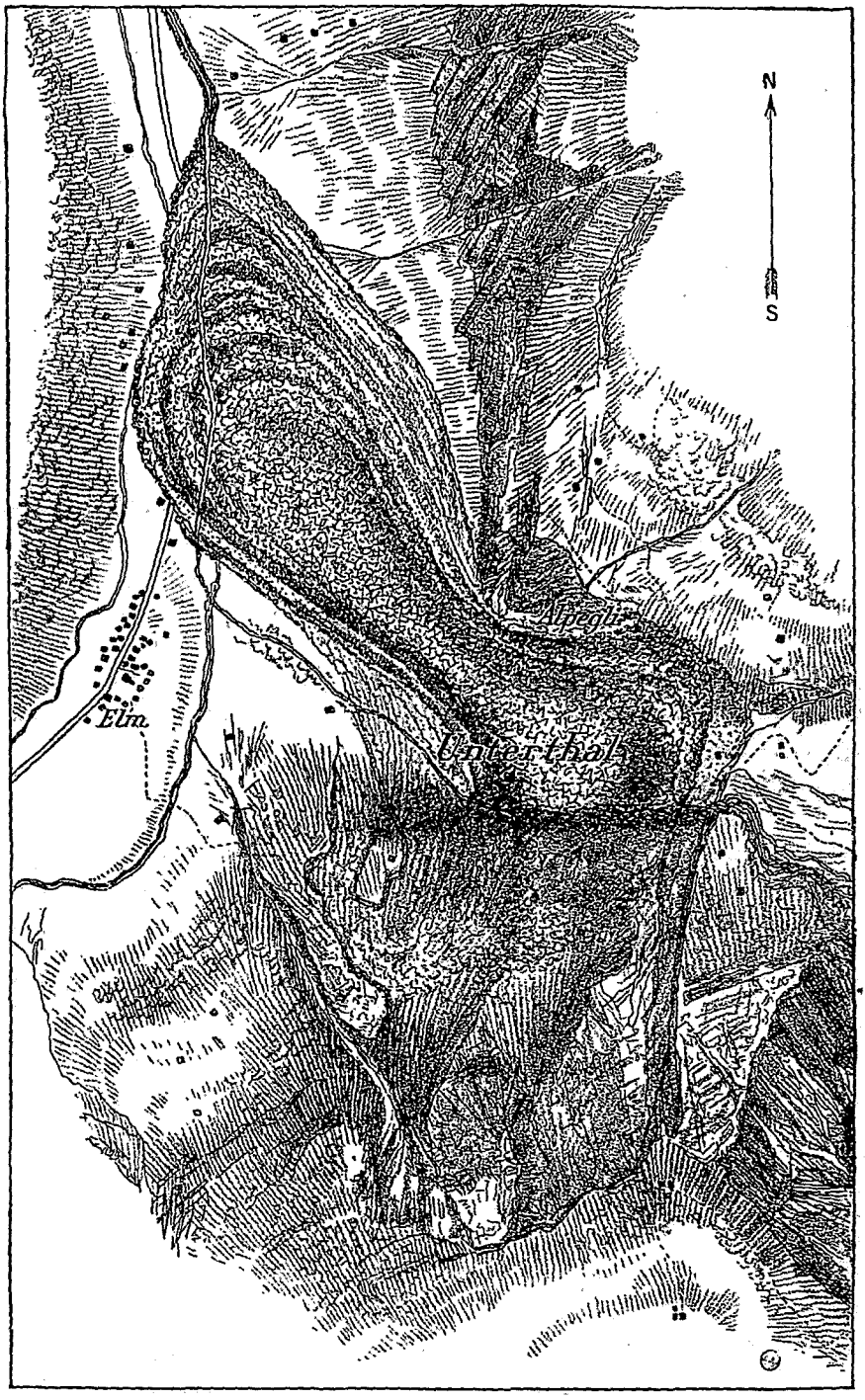
Когда же по конусу прокатывается *снѣговая лавина*, она прорѣзываетъ въ немъ глубокую борозду и отбрасываетъ обломки направо и налѣво, такъ что по обѣимъ сторонамъ образуется два параллельныхъ вала, направленныхъ по линіи наибольшаго наклона. Какъ разъ такое же расположеніе имѣютъ и *сухія лавины*, т.-е. скатывающіеся съ вулканическихъ конусовъ

нагроможденные тамъ продукты изверженія; такія лавины наблюдалъ Лякруа XVII (12) по склонамъ Везувія въ 1906 г. (табл. XIX, 4).

Обвалы.—Насыщеніе дождевою водою горныхъ породъ или разрыхленіе ихъ ведетъ къ тому, что неожиданно отрываются громадныя скалы и цѣлые участки горъ, которые затѣмъ скатываются внизъ и покрываютъ своими обломками дно долинъ. Обвалы частое явленіе въ горныхъ областяхъ, но лишь въ Швейцаріи они были предметомъ научнаго изслѣдованія, главнымъ образомъ, благодаря Гейму и его ученикамъ (20—22).

Эльмскій обвалъ (фиг. 151) въ кантонѣ Гларусъ, происшедшій 11 сентября 1881 г., можно считать типическимъ явленіемъ этого рода. Здѣсь вода отъ очень долго лившихъ дождей проникла въ трещины эоценовыхъ сланцевъ, нависшихъ надъ каменоломнями, которыя недостаточно осмотрительно эксплоатировались слишкомъ далеко вглубь горы. Вдоль одной изъ этихъ трещинъ и произошелъ неожиданный разрывъ, такъ что отдѣлившаяся каменная масса приблизительно въ 10 милліоновъ кубическихъ метровъ покатилась внизъ, дробясь по дорогѣ, до выступа горы; откуда глыбы летѣли почти горизонтально, толкаемыя впередъ слѣдующими массами, и потомъ падали на дно долины. Но и здѣсь движеніе ихъ не остановилось, несмотря на то, что уголъ наклона долины не превышалъ $3^1/_2{}^0$, а продолжалось съ изумительной быстротой; это былъ настоящій каменный потокъ болѣе 1.400 м. длины и 400—500 м. ширины, который, все увлекая на своемъ пути, покрылъ въ концѣ-концовъ площадь въ 580.000 кв. м. слоемъ обломковъ мощностью въ среднемъ отъ 15—20 м. Сначала этотъ потокъ заполнилъ собою боковую долину Унтерталь, затѣмъ онъ натолкнулся на находящійся противъ того мѣста, гдѣ произошелъ обвалъ, горный выступъ Дюнибергъ, возвышающійся у подножія Альпельи, который и отклонилъ его влѣво въ главную долину, такъ что ниже Эльма она и была совершенно загорождена. Когда Дюнибергъ заставилъ главную массу потока измѣнить направленіе, то правое крыло потока поднялось по его склонамъ метровъ на 100 надъ тальвегомъ долины.

И при многихъ другихъ большихъ обвалахъ наблюдалось, что глыбы, прокатившись съ поразительной быстротой по горизонтальной поверхности, затѣмъ поднимались вверхъ по склонамъ. Геймъ сдѣлалъ отсюда тотъ выводъ, что законы паденія



Фиг. 151. Планъ мѣстности, пострадавшей отъ обвала у Эльма (въ кантонѣ Глярусъ) 11-го сентября 1881 г. (по Альберту Гейму). Масштабъ приблизительно $^1/_{15000}$.

твердыхъ тѣлъ не приложимы къ горнымъ обваламъ, которые скорѣе слѣдуютъ законамъ истеченія жидкостей.

Въ нѣкоторыхъ горныхъ обвалахъ паденіе каменныхъ массъ совершается не съ такой внезапностью и быстротой, а подготовляется постепенно; и глыбы сначала медленно, а потомъ все быстрѣе сползаютъ внизъ, безъ скачковъ, какъ въ предшествующемъ случаѣ. Но и здѣсь глыбы при своемъ движеніи раскалываются и, достигнувъ подножія склона, могутъ перемѣщаться по горизонтальной поверхности.

Часто большіе обвалы перегораживаютъ дно долинъ, образуя озера, въ которыхъ протекающая рѣка должна прорывать себѣ новое русло. Такъ, напр., при обвалѣ въ Сервозѣ долина была загромождена на протяженіи нѣсколькихъ километровъ пока Арва не прорыла себѣ путь, разрушивъ передовую часть обвала (табл. 1).

Рѣки, протекающія по долинамъ, завладѣваютъ продуктами обваловъ и уносятъ ихъ своимъ теченіемъ. То же самое бываетъ и съ конусами осыпей (табл. XLII, 1). Но въ очень сухомъ климатѣ, гдѣ дѣйствіе рѣкъ совершенно ничтожно, накопленіе обломковъ идетъ безпрерывно, такъ что о нѣкоторыхъ горахъ Центральной Азіи можно сказать, что онѣ погребены подъ собственными обломками.

Грязевые потоки.—Дождевыя воды могутъ проникать въ глинистыя породы, пользуясь при этомъ трещинами и плоскостями наслоенія. Какъ только вывѣтриваніе сдѣлаетъ здѣсь свое дѣло, образуется грязевая масса, которая подъ дѣйствіемъ силы тяжести приходитъ въ движеніе и сползаетъ внизъ то медленно и почти незамѣтно, то срывается внезапно послѣ сильныхъ ливней и движется съ большой быстротой. Иногда такимъ образомъ сползаетъ въ долину цѣлый склонъ горы; иногда глиняная масса течетъ по руслу потока (табл. XLII, 2), и тогда сходство ея съ лавовымъ потокомъ настолько велико, что ее во французскихъ Альпахъ называютъ также *лавой*. Однако посерединѣ такого потока имѣется иногда узкая борозда, прорытая текучей водой (грав. XLII, 2).

Вверху у начала грязевого потока наблюдаются поверхности отрыва и параллельныя имъ трещины, которыя указываютъ на сползаніе одного участка за другимъ (табл. XLIII).

Въ южномъ Тиролѣ грязевые потоки, образующіеся благодаря размыванію тріасовыхъ мергелей, причиняютъ населенію часто большія бѣдствія. Во Франціи грязевые потоки нерѣдко

образуются насчетъ юрскихъ черныхъ мергелей и глинистыхъ сланцевъ бассейна Дюрансы, хорошо извѣстныхъ лѣсничимъ подъ именемъ „черныхъ земель“; во французскихъ же Альпахъ оползни часто происходятъ отъ разрушенія третичныхъ глинъ и ледниковыхъ суглинковъ.

Грязевые потоки иногда уносятъ вмѣстѣ съ собой каменныя глыбы, оставшіяся отъ прежнихъ обваловъ или обломки болѣе устойчивыхъ слоевъ, покрывающихъ глинистыя отложенія. Въ такомъ случаѣ образуются настоящія брекчіи, очень похожія на вулканическія брекчіи, свойственныя преимущественно андезитовымъ вулканамъ. Высказывалось даже мнѣніе о тождественности происхожденія тѣхъ и другихъ, особенно по отношенію къ андезитовымъ нагроможденіямъ Оверни. Этотъ взглядъ, впервые высказанный Пулэтъ Скропомъ и затѣмъ развитый Марселеномъ Булемъ (24), былъ подтвержденъ, по крайней мѣрѣ для отдѣльныхъ случаевъ, наблюденіями Лякруа на вулканѣ Пеле. Тамъ, дѣйствительно, грязевые потоки являются ничѣмъ инымъ, какъ массой пепла и выброшенныхъ вулканомъ глыбъ, которыя нагромождены по склонамъ вулкана и во время тропическихъ дождей превращаются въ грязевой потокъ. Въ Оверни же уклонъ поверхности не позволяетъ объяснить происхожденіе брекчій съ вулканическими элементами такимъ способомъ, такъ что необходимо признать здѣсь участіе текучихъ водъ и прорыва ледниковыхъ запрудъ (Мишель-Леви).

Сносъ обломковъ дождевыми струями.—Часть воды, получаемой изъ атмосферныхъ осадковъ, не проникаетъ въ почву, а струится по поверхности сѣтью ручейковъ, текущихъ по линіи наибольшаго наклона и соединяющихся въ болѣе значительные потоки, питающіе собой рѣки. Во Франціи обыкновенно называютъ „*дикими*“ воды, образующіяся отъ выпаденія дождей или таянія снѣговъ и стекающія по склонамъ по разнымъ направленіямъ безъ опредѣленнаго русла. Онѣ играютъ важную роль, какъ агенты удаленія обломковъ, но онѣ переносятъ матеріалъ только до подножія склоновъ, гдѣ дальнѣйшую работу берутъ на себя текучія воды.

Дождевыя струи уносятъ прежде всего продукты разрушенія; такимъ образомъ онѣ очищаютъ склоны и періодически обновляютъ поверхность породы для новой работы атмосферныхъ агентовъ. Но онѣ могутъ также уносить частицы, отрывающіяся отъ обломочныхъ породъ, состоящихъ изъ тонкихъ

или пелитовыхъ элементовъ (см. гл. VIII, стр. 121). Такимъ образомъ „дикія“ воды чисто механически могутъ изрывать поверхности глинистыхъ и мергелистыхъ породъ, не покрытыхъ растительностью. Сѣть ручейковъ представляетъ тѣмъ болѣе сложный и развѣтвляющійся рисунокъ, чѣмъ неправильнѣе поверхность склона. Если же склонъ, наоборотъ, очень правиленъ и порода его образующая однородна, то образуются рытвины, отдѣленныя другъ отъ друга узкими гребнями и идущія болѣе или менѣе параллельно и почти не развѣтвляясь (табл. XLIV, 1).

Гребни, разъединяющіе сосѣдніе овражки, впослѣдствіи разбиваются на рядъ пирамидъ, расположенныхъ по склону (25). Конечное дѣйствіе струй воды на склоны ведетъ къ уменьшенію ихъ крутизны и это уменьшеніе становится все болѣе замѣтнымъ по мѣрѣ того, какъ продолжается работа дождей.

Когда на поверхности глинистой породы встрѣчаются сравнительно большіе камни, какъ напр., въ валунныхъ суглинкахъ ледниковаго происхожденія или въ брекчіяхъ, отложенныхъ грязевымъ потокомъ, каждая глыба оказываетъ сопротивленіе дѣйствію дождевыхъ струй и предохраняетъ отъ уноса водою прикрытую ею часть породы. Ручейки должны тогда развѣтвляться, обходя препятствіе и разрабатывая свои рытвины вокругъ него. Въ концѣ-концовъ глыбы окажутся лежащими на вершинахъ глиняныхъ пирамидъ, которыя онѣ защитили отъ разрушенія (табл. XLIV, 1). Это такъ называемыя *вѣнчающія глыбы* или *увѣнчанныя пирамиды*, весьма распространенныя въ ледниковыхъ суглинкахъ Альпъ. Самымъ извѣстнымъ примѣромъ этого явленія служатъ „земляныя пирамиды“ Боцена въ южномъ Тиролѣ, такъ называемыя „трубы фей“ въ Сэнъ-Жерве-ле-Бэнъ, „дѣвы“ Теиса, Понти (табл. XLIV) и многихъ другихъ мѣстностей долины верхней Дюрансы. Это же явленіе въ миніатюрѣ наблюдается во всѣхъ подвергающихся дѣйствію дождя отложеніяхъ, состоящихъ изъ мелкихъ частицъ, но содержащихъ болѣе крупные неправильно расположенные элементы. Эти миніатюрныя пирамиды часто бываютъ увѣнчаны ископаемыми, напримѣръ, аммонитами.

Въ горизонтально расположенныхъ слояхъ неодинаковой размываемости болѣе компактные слои служатъ препятствіемъ струящейся водѣ, такъ что онѣ выдаются въ видѣ карнизовъ и въ концѣ-концовъ обламываются или по діаклазамъ, или вслѣдствіе размыванія болѣе рыхлыхъ слоевъ, на которыхъ онѣ покоились. Такимъ образомъ и при разнородномъ составѣ породы крутизна склона мало-по-малу уменьшается.

Въ случаѣ же наклонной поверхности компактные слои еще быстрѣй и рѣзче образуютъ выступы. Дождевыя струи быстро разрушаютъ мягкіе слои, поддающіеся ихъ дѣйствію, и заставляютъ ихъ отступать вглубь, а болѣе твердые слои выступаютъ длинными гребнями, которые американцы называютъ *hog-backs* (табл. XLV). Иногда благодаря размыванію водой непрочныхъ слоевъ обнажаются рядомъ съ ними расположенные особенно прочные вертикальные слои и вулканическія дейки (табл. XLVI и XXX), которыя могутъ быть обнажены дождевыми струями изъ-подъ мягкихъ породъ ихъ сопровождающихъ. Вообще неравномѣрное дѣйствіе дождевыхъ струй на различныя породы часто можетъ обнажить и сдѣлать болѣе замѣтными различныя особенности тектоники страны.

Но несмотря на сопротивляемость нѣкоторыхъ слоевъ все же продолжительное дѣйствіе дождевыхъ струй ведетъ къ нивеллировкѣ склоновъ горъ. Неодинаковые склоны раздѣленные выступами сливаются въ одинъ общій склонъ и углы перегиба сглаживаются. Вырабатывается контуръ склона, приближающійся къ правильной вогнутой кривой. Если же, наоборотъ, дождевыя струи не имѣютъ большого значенія, какъ напр., въ чрезвычайно водопроницаемыхъ мѣловыхъ породахъ, профиль склона бываетъ обыкновенно выпуклымъ. *Downs* южной Англіи являются классическимъ примѣромъ подобнаго рельефа.

Вѣтеръ какъ агентъ удаленія и переноса обломковъ. — Если переносящая работа дождевыхъ струй имѣетъ малое значеніе безъ участія текучихъ водъ, то нельзя того же сказать о переносящей работѣ вѣтра, которая въ широкомъ масштабѣ довершаетъ работу удаленія обломковъ, производимую тѣмъ же самымъ агентомъ. Мы сейчасъ займемся изученіемъ этихъ двухъ фазъ эоловой дѣятельности.

Дефляція. — Въ пустыняхъ главнымъ агентомъ удаленія продуктовъ разрушенія является вѣтеръ. Онъ не только выметаетъ всѣ горизонтальныя поверхности и уноситъ всѣ обломки, которыми ему позволяетъ овладѣть его скорость, но и проникаетъ во всѣ углубленія, во всѣ расщелины скалъ, захватываетъ всѣ находящіеся тамъ мелкіе продукты разрушенія породъ и относитъ ихъ на далекое разстояніе. Это явленіе Іог. Вальтеръ называетъ *дефляціей*—вѣтровой эрозіей (26). Лишь благодаря дефляціи вывѣтриваніе въ пустыняхъ проявляется въ полной

мѣрѣ, и можетъ привести къ вытачиванію рельефа, такъ какъ дождевыя струи здѣсь не играютъ почти никакой роли, а текучія воды работаютъ лишь въ рытвинахъ рѣкъ и уносятъ обломки загромождающіе ихъ русло только во время разливовъ или послѣ рѣдкихъ, но зато и обильныхъ дождей; если бы не уносящая работа вѣтра продукты вывѣтриванія безпрерывно накоплялись бы въ безпредѣльныхъ равнинахъ пустынь и у подножія скалъ, созданныхъ работой текучихъ водъ.

Указывалось также, что дѣйствіе вѣтра не исчерпывается дефляціей, а что онъ и самъ принимаетъ участіе въ созданіи формъ рельефа, работая переносимымъ имъ пескомъ, какъ рѣзцомъ. Но мы сейчасъ увидимъ, что несмотря на очень замѣтные съ внѣшней стороны результаты, дѣйствіе его затрогиваетъ лишь поверхность породъ, если не принимать во вниманіе сравнительно рѣдкихъ случаевъ, когда песокъ кремнистъ, а порода очень мягка. Во всякомъ случаѣ это явленіе можно разсматривать не какъ самостоятельное, а какъ сопровождающее работу вѣтра по переносу разрыхленныхъ продуктовъ. Сохраняя названіе эрозія для работы углубленія рельефа, производимой переносомъ твердыхъ матеріаловъ текучими водами, мы можемъ назвать *корразіей* работу вытачиванія вѣтромъ рельефа на поверхности обнаженныхъ породъ.

Эоловый переносъ. — Чѣмъ сильнѣе вѣтеръ, тѣмъ бо́льшіе обломки онъ можетъ захватить. Обыкновенно на далекое разстояніе имъ уносится лишь пыль независимо отъ ея происхожденія — космическая, вулканическая или съ поверхности земной коры. Небольшіе камешки захватываются вѣтромъ лишь во время бури и никогда не уносятся далеко. Средніе по величинѣ матеріалы, какъ напр., зерна песка вѣтеръ средней силы можетъ гнать далеко по поверхности земли, если направленіе его одинаково въ теченіе продолжительнаго времени; результатомъ этой работы является образованіе холмиковъ и даже настоящихъ горъ песка, называемыхъ *дюнами*; условій ихъ образованія мы коснемся лишь въ самыхъ общихъ чертахъ, такъ какъ этотъ вопросъ входитъ скорѣе въ область физической географіи.

Благопріятныя условія для образованія дюнъ встрѣчаются лишь на пологихъ морскихъ берегахъ и въ пустыняхъ. Только тамъ вѣтеръ находитъ достаточное количество сухого песка и обширное плоское пространство, необходимое ему для про-

явленія этой дѣятельности во всей ея полнотѣ; только тамъ вѣтеръ дуетъ въ теченіе достаточно продолжительнаго времени въ одномъ направленіи. Внезапные и частые порывы вѣтра такъ же неблагопріятны для образованія дюнъ, какъ растительность и очень неровная почва.

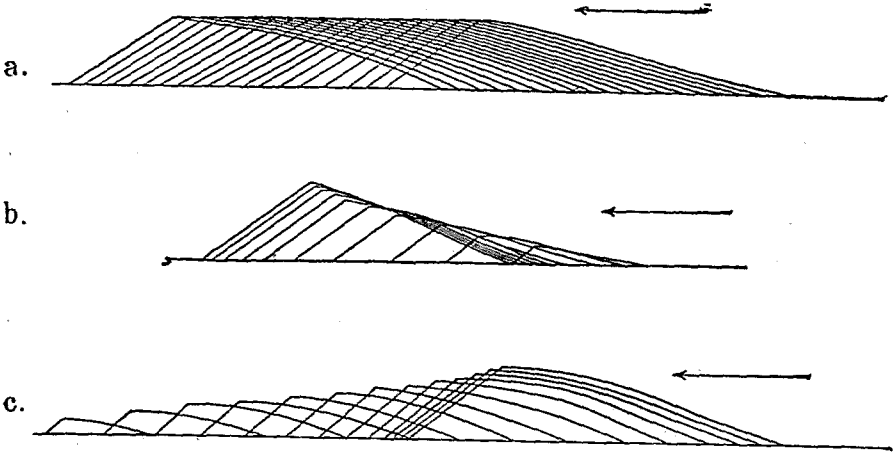
Въ областяхъ, гдѣ вѣтеръ дуетъ въ одномъ направленіи большую часть года, какъ напр., въ нѣкоторыхъ пустыняхъ и на большей части морскихъ побережій, гдѣ обыкновенно вѣтеръ съ моря преобладаетъ надъ другими вѣтрами, дюны имѣютъ видъ длинныхъ валовъ, перпендикулярныхъ къ направленію вѣтра, съ очень правильнымъ диссимметричнымъ поперечнымъ разрѣзомъ, пологимъ съ надвѣтренной стороны (наклонъ отъ 5^0 до 12^0) и крутымъ съ подвѣтренной стороны (28^0—30^0). Наоборотъ, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ направленіе вѣтра мѣняется по временамъ года, какъ напр., во многихъ пустыняхъ и въ частности въ Сахарѣ, диссимметрія не такъ рѣзко выражена и вершина дюны имѣетъ видъ извилистаго гребня (табл. XLVII).

Нѣкоторые ученые главную причину образованія дюнъ видѣли въ препятствіяхъ, которыя вѣтеръ встрѣчаетъ на своемъ пути въ видѣ неровностей почвы, кустовъ, строеній; несомнѣнно эти препятствія благопріятны для образованія дюнъ, такъ какъ они задерживаютъ движеніе гонимаго вѣтромъ песка; но вопреки мнѣнію Арреніуса, Гюнтера и Неймайра этихъ препятствій можетъ и не быть. Башинъ (30,31) думаетъ съ большимъ основаніемъ, что неровности на поверхности песковъ объясняются общей тенденціей всѣхъ плоскостей превращаться подъ дѣйствіемъ вѣтра въ волнообразныя Чтобы убѣдиться въ правильности этого предположенія достаточно взглянуть во время порыва вѣтра на поверхность покрытую асфальтомъ; пыль образуетъ на ней правильные валики, перпендикулярные къ направленію вѣтра, которыя соотвѣтствуютъ неравномѣрному распредѣленію давленія и въ точности воспроизводятъ картину дюнъ. Таково же происхожденіе и морскихъ волнъ, которыя имѣютъ ту существенную разницу съ дюнами, что здѣсь происходитъ лишь передача волнообразнаго движенія, и частицы не перемѣщаются въ направленіи движенія вѣтра, тогда какъ въ дюнахъ зерна песка, повинуясь этому движенію, перемѣщаются по наклонной плоскости до вершины дюны.

Наблюденія Свэнъ Гедина (33) въ пустыняхъ центральной Азіи вполнѣ подтвердили теоритическіе выводы Башина.

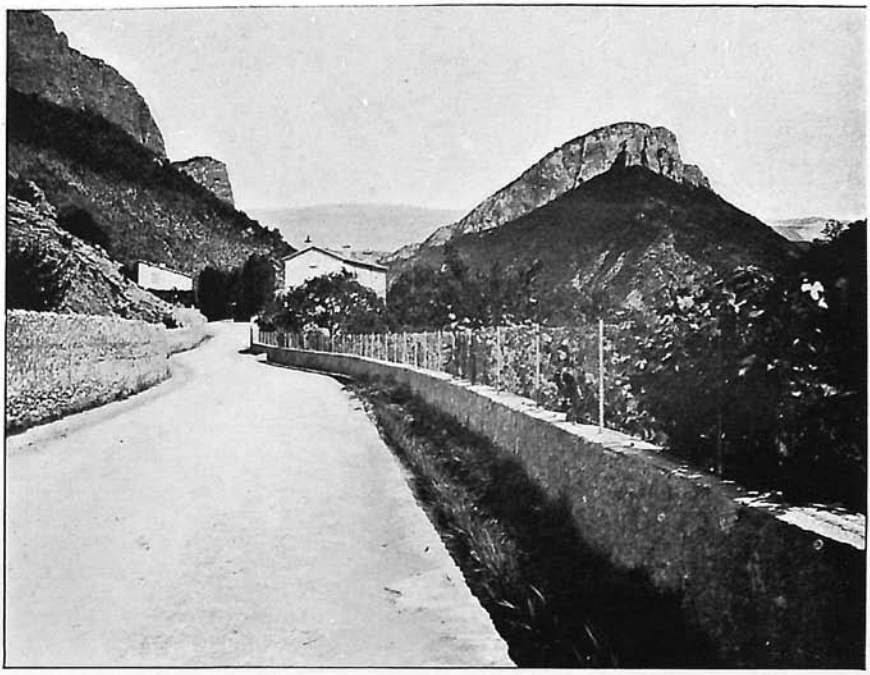
Дюны съ диссимметричными правильными склонами пере-

мѣщаются своею массой по направленію господствующаго вѣтра, сохраняя при этомъ свою форму. Этотъ фактъ имѣетъ большое значеніе въ геологіи. Объяснить его очень нетрудно: вѣтеръ поднимается по пологому склону, захватывая съ поверхности зерна песка, которыя достигнувъ вершины дюны, быстро скатываются по крутой сторонѣ; такимъ путемъ съ надвѣтреннаго склона уносятся зерна песка, при чемъ поверхность все время сохраняетъ тотъ же наклонъ, а подвѣтренный склонъ все увеличивается насчетъ приноса новыхъ песчаныхъ зеренъ. Такимъ образомъ, гребень дюны мало-по-малу перемѣщается въ направленіи вѣтра. Впрочемъ, такой порядокъ правильнаго и постепеннаго передвиженія устанавливается не сразу; вначалѣ ма-



Фиг. 152. Поступательное дваженіе дюны (по Свенъ Гедину): a) Правильное поступательное движеніе когда масса песка остается безъ измѣненія; b) замедляющееся движеніе и увеличеніе высоты, при увеличивающемся количествѣ песка; c) ускоряющееся движеніе и уменьшеніе высоты, при постепенномъ уменьшеніи массы песка.

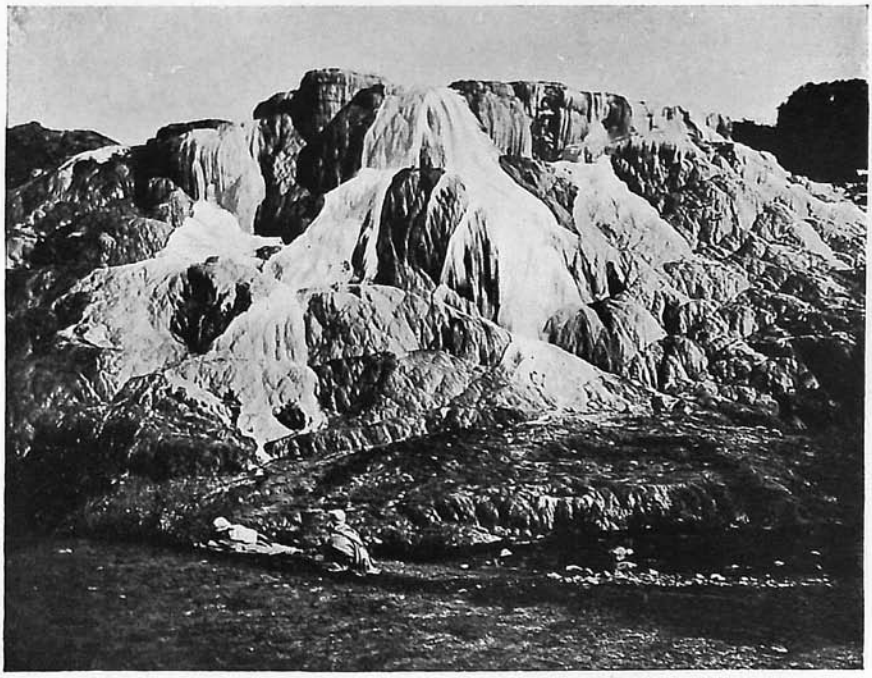
ленькія дюны разрушаются вскорѣ же послѣ своего образованія; но если какое-нибудь препятствіе или мѣстная влажность почвы замедлитъ движеніе песка по поверхности земли, внутренняя часть дюны закрѣпляется и ея дальнѣйшее движеніе будетъ происходить безъ увеличенія ея высоты, если масса песка остается постоянной (фиг. 152,a). Если, наоборотъ, новый песокъ приносится въ значительномъ количествѣ, движеніе дюны сопровождается увеличеніемъ ея высоты (фиг. 152,b). Если, наконецъ, приносъ песка оказывается недостаточнымъ, чтобы возмѣстить уносъ его съ надвѣтреннаго склона, высота дюны будетъ все уменьшаться по мѣрѣ дальнѣйшаго поступательнаго движенія (фиг. 152,c).



Негат. Э. Ога.

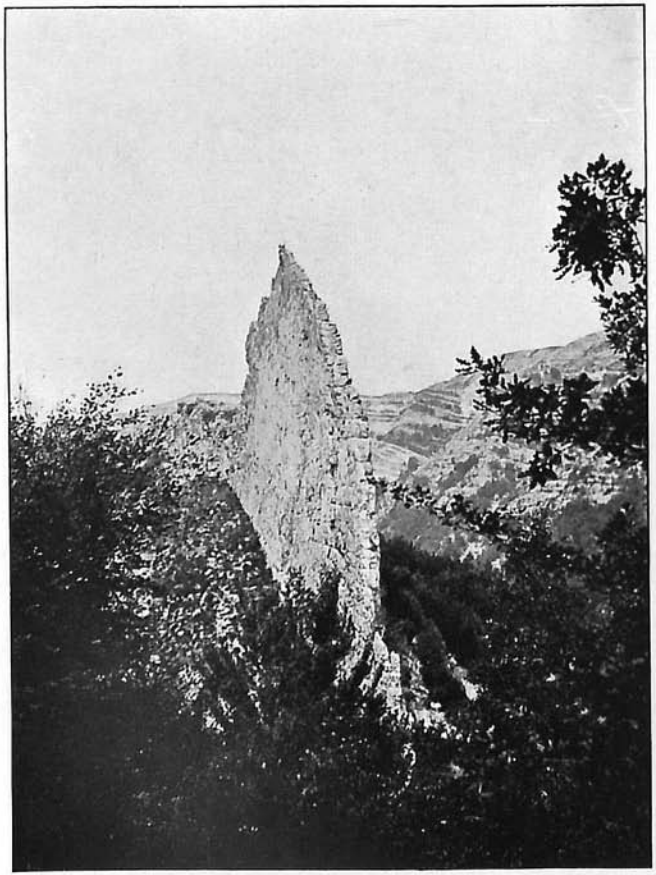
Утесъ и курортная дорога близъ Диньи.

Примѣръ выступовъ образуемыхъ прочными слоями (кремнистыми неслоистыми известняками средняго лейаса, лежащими на ясно слоистыхъ известнякахъ нижняго лейаса.



Негат. Нерденъ.

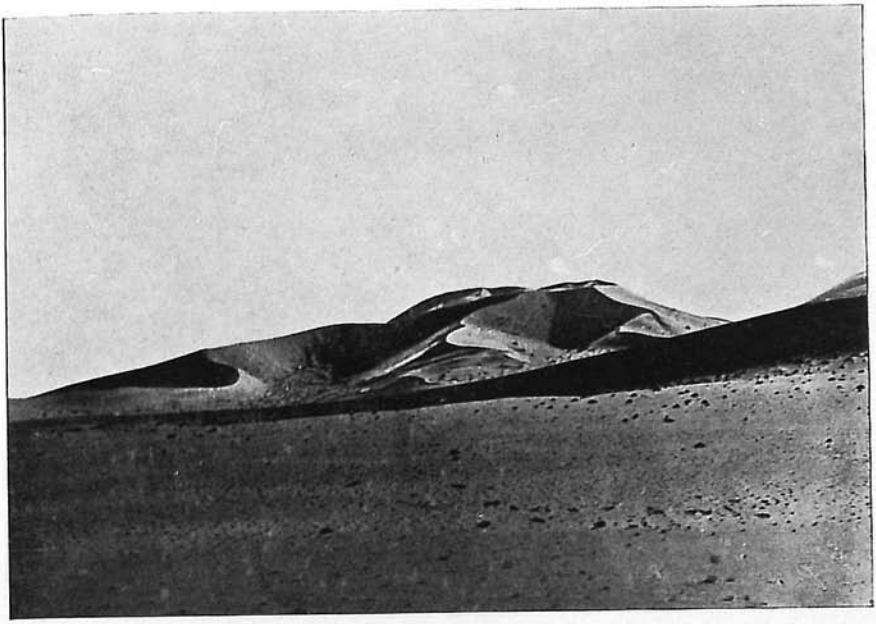
Отложеніе горячихъ известковыхъ источниковъ Гаммамъ-Мескутинъ (департ. Константины).

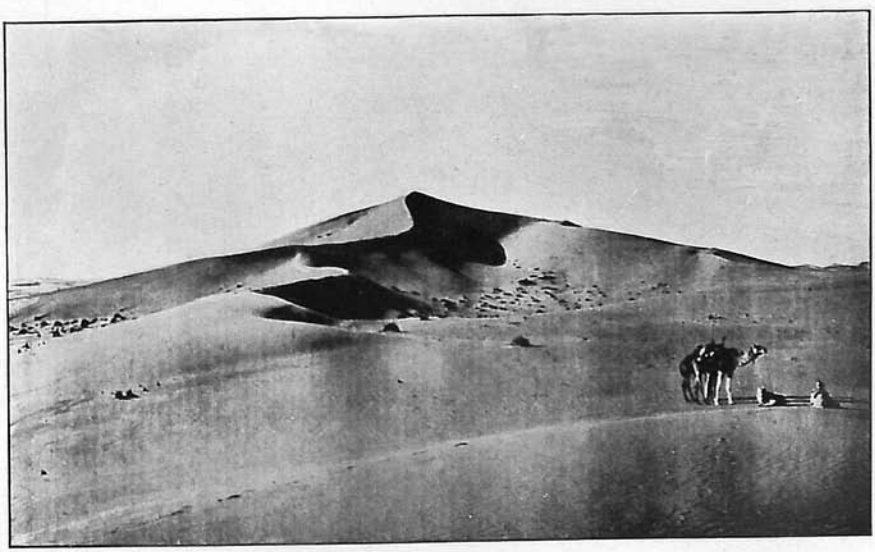




Негат. Э. Ога.

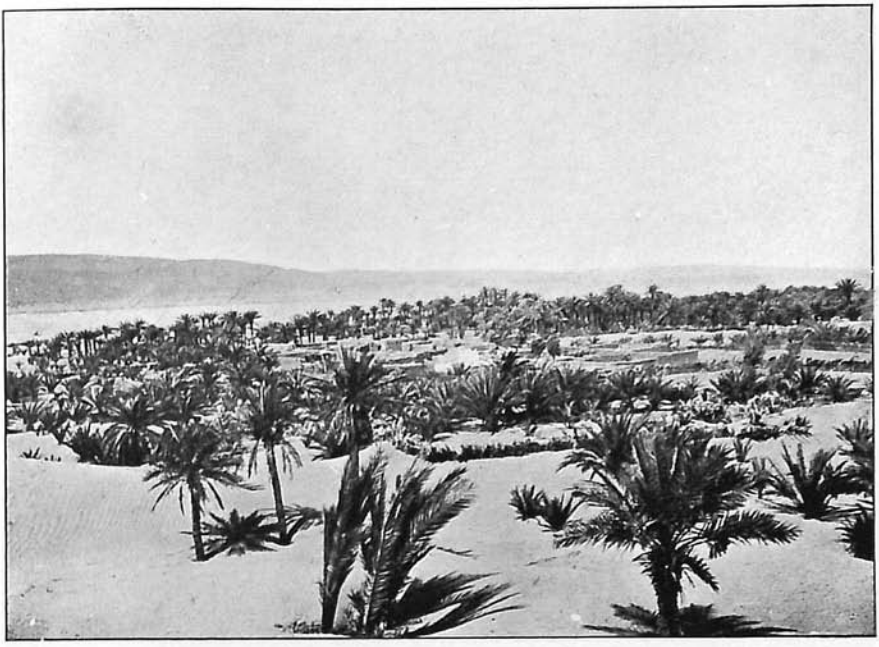
Стѣна Танаронъ
(Нижніе Альпы).
Пластъ конгломерата, сохранившійся отъ разрушенія атмосферными агентами.





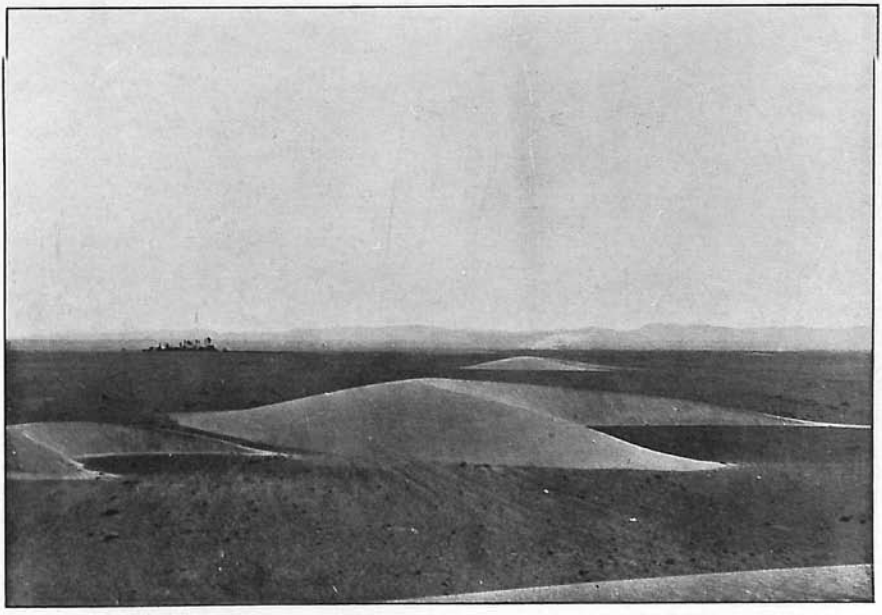
Негат. Ф. Фуро.

Большія дюны Большого Эрга,
область Уаръ.



Негат. капитана Беранже.

Долина Саура (Оранская Сахара), засыпанная дюнами.



Негат. доставл. М. А. Дереймсъ.

Барханы Ля Іойя (выс. 1380 м.).
между Моллендо и Арекипа (Южн. Перу).



Негат. капитана Беранже

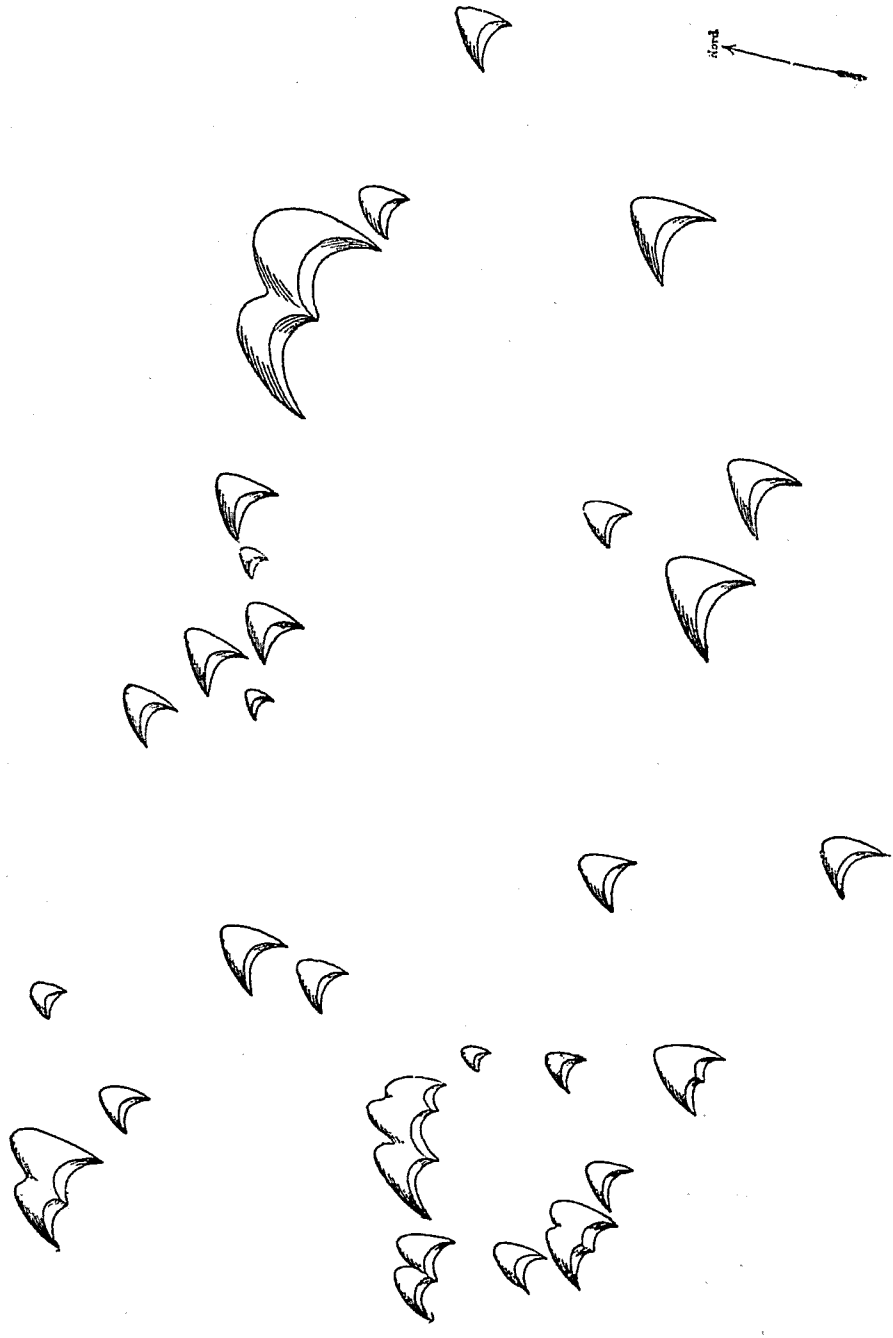
Песчаное море Бени-Аббесъ
(Оранская Сахара).

Въ странахъ съ болѣе или менѣе постояннымъ направленіемъ вѣтра высота дюнъ не превышаетъ 90 м. Въ странахъ же, гдѣ вѣтра дуютъ въ противоположномъ направленіи въ различныя времена года, высота дюнъ не будетъ такова. Такъ, напр., въ Сахарѣ и особенно въ Большомъ Эргѣ нѣкоторыя дюны достигаютъ 500 м. вышины. Но эти дюны не движатся потому-что, какъ это указалъ Ролланъ (34), результатъ движенія въ одномъ направленіи уничтожается въ слѣдующее время года движеніемъ въ противоположномъ направленіи. Фурнѣ же (35) описалъ тѣ безпрерывныя измѣненія, которыя претерпѣваетъ извилистый вершинный гребень дюны.

Большія дюны не перемѣняютъ своего мѣстоположенія, но песокъ, гонимый вѣтромъ, захватываетъ все новыя пространства, покрытыя до этого растительностью. Такимъ образомъ, исчезло уже нѣсколько оазисовъ Сахары (табл. XLVIII, 1).

Песчаныя равнины и пологіе склоны дюнъ съ надвѣтренной стороны часто бываютъ покрыты тонкою рябью, очень похожею *на волноприбойные знаки* (*ripplemarks*), образующіеся на днѣ моря морскими теченіями. Онѣ также напоминаютъ рябь моря волнуемаго легкою бризой и поверхность снѣжнаго поля во время небольшого вѣтра.

Когда вѣтеръ гонитъ тучи песка по пространству, представляющему очень слабое сопротивленіе тренію, то сначала образуются небольшія кучи песка, которыя вскорѣ принимаютъ диссимметричную форму дюнъ и сами являются препятствіемъ вѣтру. Зерна песка, встрѣчающія ихъ на своемъ пути, отклоняются направо и налѣво отъ нихъ, тогда какъ пространство находящееся сзади защищено отъ напора песка. Мало-по-малу куча принимаетъ форму полумѣсяца, рога котораго обращены къ подвѣтренной сторонѣ (табл. XLVIII, 2). Оба склона съ очень неравной покатостью соединяются изогнутымъ гребнемъ, который и оканчивается у концовъ полумѣсяца. Эти зачаточныя дюны очень часто встрѣчаются по краямъ пустынь, напр., въ Туркестанѣ, гдѣ они называются „*барханами*“ (фиг. 153). Онѣ часто соединяются по двѣ вмѣстѣ, и отъ ихъ сліянія образуются дюны въ формѣ валовъ, вытянутыхъ перпендикулярно къ направленію вѣтра. При перемѣнѣ вѣтра рога полумѣсяца исчезаютъ и снова появляются съ другой стороны, такъ что полумѣсяцъ обращается вогнутостью въ другую сторону. Въ „песчаныхъ моряхъ“ по краямъ Сахары (табл. XLIX) нерѣдко можно наблюдать полумѣсяцы, одновременно обращенные въ противоположныя стороны.



Фиг. 153.—Планъ дюнъ полулунной формы (*бархановъ*), окрестности Бухары (по Іоганну Вальтеру).

Масштабъ: $^1/_{30000}$.

Іог. Вальтеръ (27) считаетъ барханы типомъ дюнъ на плоскихъ равнинахъ и первоначальнымъ элементомъ, изъ котораго развиваются другія формы дюнъ. Эта точка зрѣнія, повидимому, приложима къ дюнамъ пустынь, но ее трудно примѣнить къ морскимъ дюнамъ, въ основаніи которыхъ всегда лежитъ песокъ.

Движеніе морскихъ дюнъ обыкновенно останавливается растительностью на небольшомъ разстояніи отъ моря, но дюны пустынь захватываютъ мало-по-малу громадныя пространства и распространяются далеко отъ того мѣста, гдѣ песокъ образовался благодаря вывѣтриванію. Онѣ достигаютъ областей, гдѣ нѣтъ большихъ песчаныхъ обнаженій; въ основаніи ихъ лежатъ самыя разнообразныя породы, что и даетъ право говорить объ *эоловой трансгрессіи*.

3 Корразія и коррозія.

Подъ терминомъ „*корразія*“ мы понимаемъ работу вѣтра ведущую къ созданію новыхъ формъ рельефа механическимъ путемъ, а подъ терминомъ „*коррозія*“—химическое дѣйствіе на породы воды, струящейся по склонамъ. Конечно, и корразія и коррозія являются факторами измѣненія рельефа земной поверхности, но способъ ихъ дѣйствія на породы совершенно различенъ. Вѣтеръ работаетъ въ горизонтальномъ направленіи, а вода въ направленіи наибольшаго наклона.

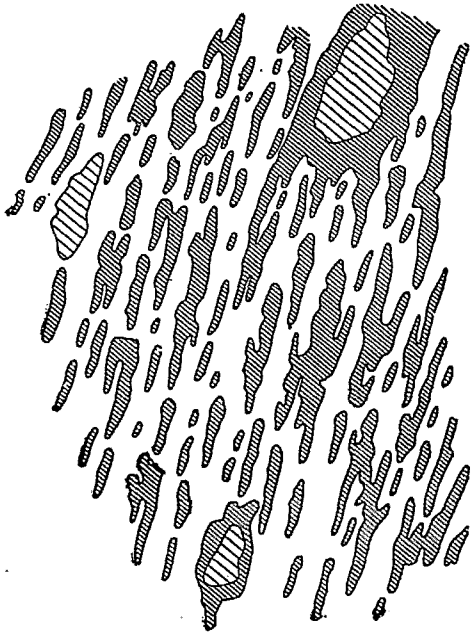
К о р р а з і я.—Какъ мы уже говорили, корразія представляетъ лишь побочное явленіе, сопровождающее переносъ песка вѣтромъ.

Когда бушующій вѣтеръ несетъ кварцевый песокъ и съ силой ударяетъ имъ объ утесы, то поверхность послѣднихъ полируется вслѣдствіе твердости зеренъ песка; мало-по-малу песокъ округляетъ всѣ рѣзкія неровности скалъ, вытачиваетъ и углубляетъ всѣ впадины. Такимъ путемъ быстро истираются непрочныя породы и рѣзче выступаютъ твердыя.

Фуро (35) неоднократно замѣчалъ въ Сахарѣ, что песокъ, гонимый вѣтромъ, держится невысоко надъ поверхностью, самое большое на 2—3 м. Это явленіе объясняетъ намъ, почему дефляція и корразія поражаютъ больше всего основанія утесовъ, чѣмъ и обусловливаются странныя грибообразныя формы отдѣльно стоящихъ въ пустынѣ скалъ и ярко выраженное столовое строеніе останцевъ изъ горизонтально наслоенныхъ породъ.

Впрочемъ, явленіе корразіи не пріурочено только къ пустынямъ, какъ это показываетъ строеніе утесовъ, находящихся въ долинѣ Роны и подвергающихся дѣйствію мистраля. Вполнѣ убѣдительнымъ доказательствомъ этого положенія служитъ также примѣръ корразіи у Гейдельбергскаго замка, приведенный Футтереромъ (38). Точно такія же явленія корразіи наблюдаются на стѣнахъ замковъ въ Вогезахъ.

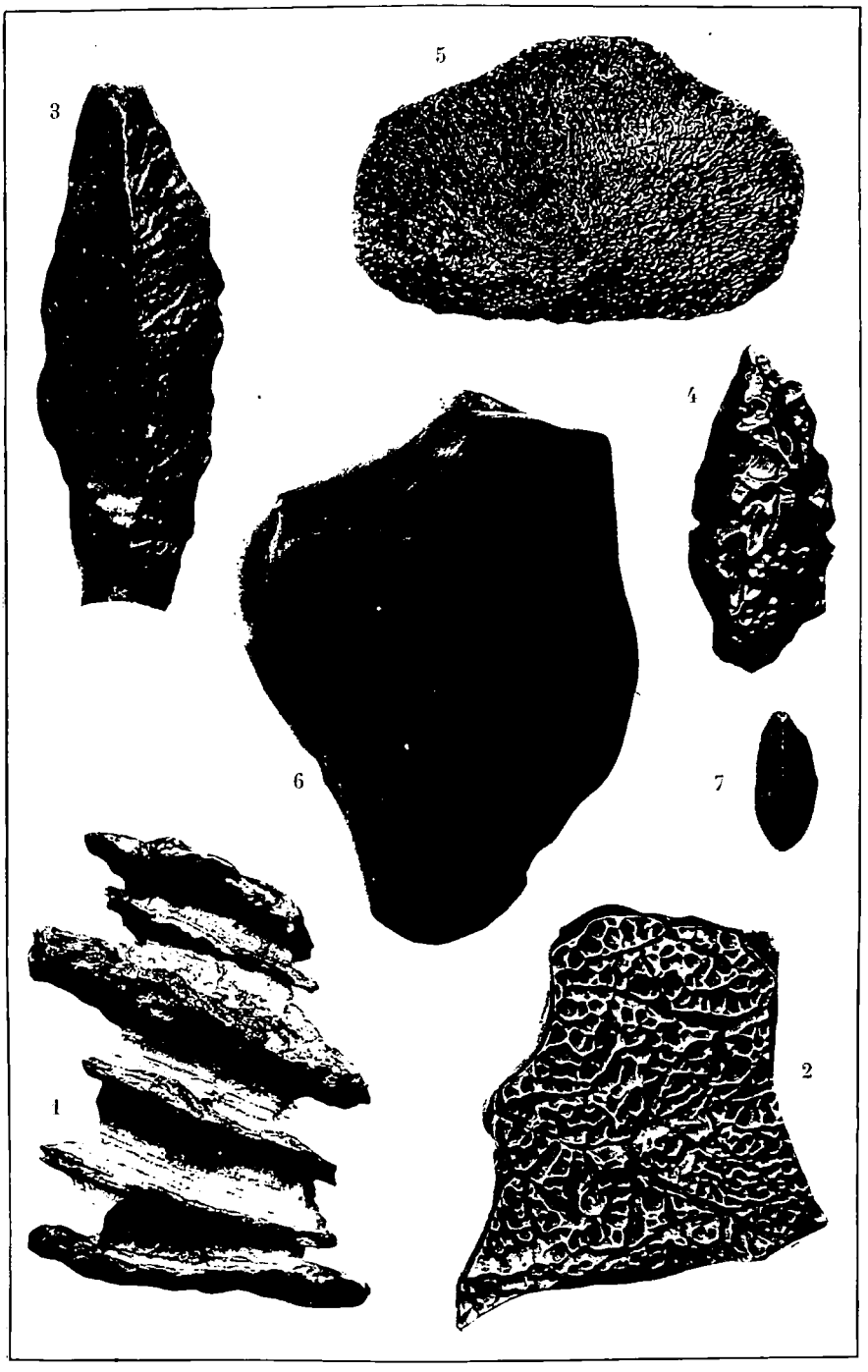
Корразія дѣйствуетъ не только на подножія скалъ, но и на горизонтальныя поверхности, только полируя ихъ, если онѣ состоятъ изъ твердыхъ породъ, и вырывая углубленія въ легко разрушаемыхъ породахъ. Свенъ Гединъ (33) наблюдалъ въ Центральной Азіи, въ пустынѣ Лопъ, почва которой состоитъ изъ глинистыхъ слоевъ, длинныя борозды въ формѣ желобковъ, раздѣленныя довольно неправильными, но болѣе или менѣе параллельными между собою гребнями, которые называются *jardangs* (фиг. 154—156). Дно этихъ желобковъ часто еще покрыто пескомъ (фиг. 156), и нельзя сомнѣваться, что гонимый вѣтромъ песокъ и прорылъ эти борозды почти одинаковой глубины, оставивъ между ними гребни, представляющіе части прежней поверхности, нетронутыя корразіей.



Фиг. 154.—Схематическій планъ пустыни съ гребнями называемыми *jardangs* (*ярданги*) (по Свенъ Гедину).

Вихри придаютъ совершенно особыя формы явленіямъ корразіи. Вращательное движеніе песка образуетъ вертикальныя коническія и цилиндрическія углубленія, совершенно аналогичныя „котламъ“, прорываемымъ эрозіей въ руслахъ потоковъ. Интересные примѣры эоловыхъ котловъ въ Нубійской пустынѣ были описаны Жанъ Брюномъ (40).

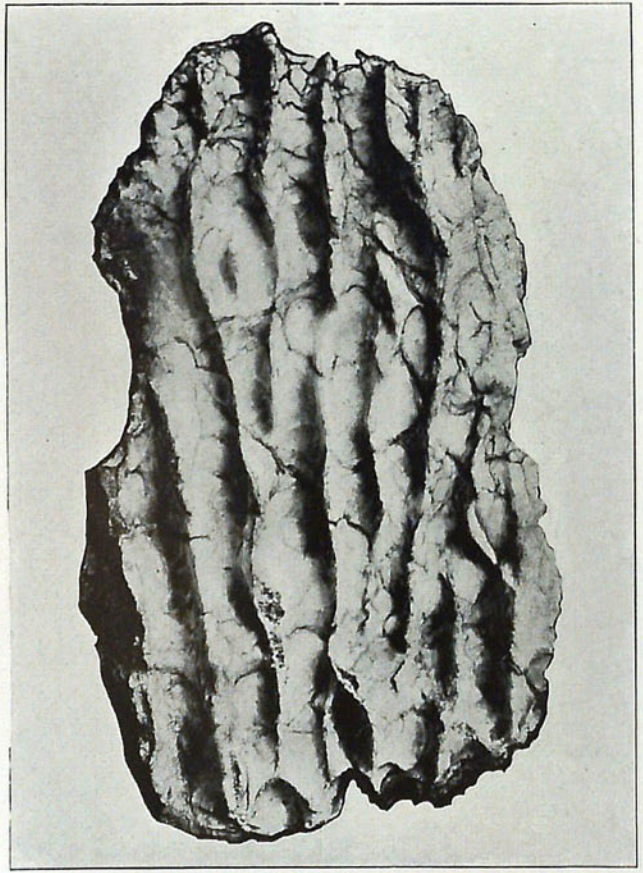
Дѣйствіе корразіи распространяется не только на скалы, но и на разбросанныя по пустынѣ каменныя глыбы; результатомъ ихъ истиранія также является рельефная обрисовка бо-

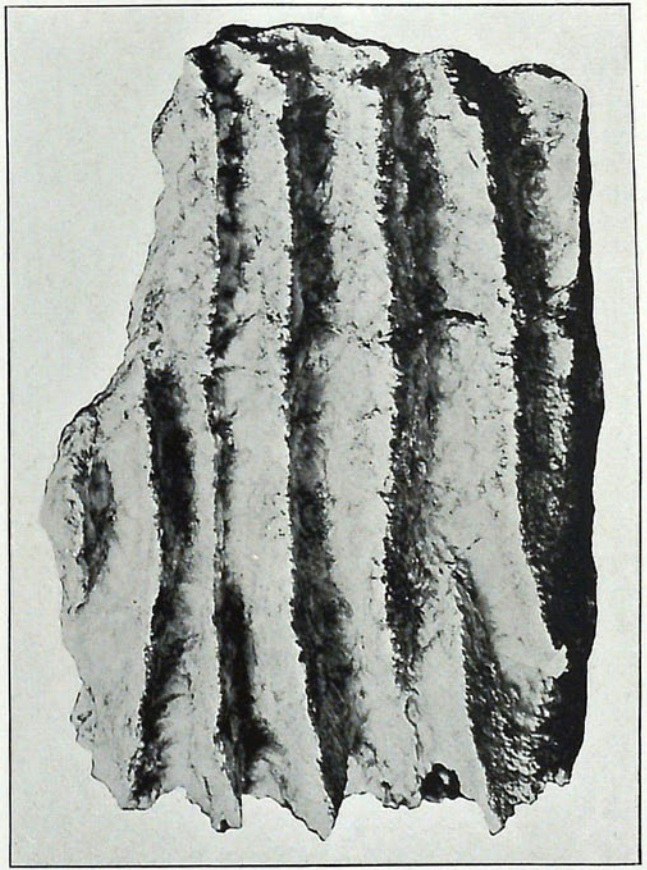


1, 5, 7 по Ф. Фурро; 6, негат. Г. Раго.

Камни выточенные вѣтромъ.

1) выступы твердыхъ частей, зонарный доломитъ, Сѣверная Сахара; 2) образованіе ячей на плитчатомъ известнякѣ, Иссауанскій Эргъ (Сѣверная Сахара); 3) червеобразныя впадинки на одной изъ сторонъ известковаго обломка, пустыня Мокранъ (Алжиръ); 4) изъѣденное палеолитическое орудіе, Иссауанскій Эргъ; 5) червеобразныя впадинки расходящіяся отъ одного центра, литографскій нуммулитовый известнякъ, пустыня Мокранъ; 6) ограненый валунъ, Пацо дель Портильо, Квебрадоръ (Аргентинская республика); 7) ограненный валунъ плато Инъ-Азауа (Сѣверная Сахара).



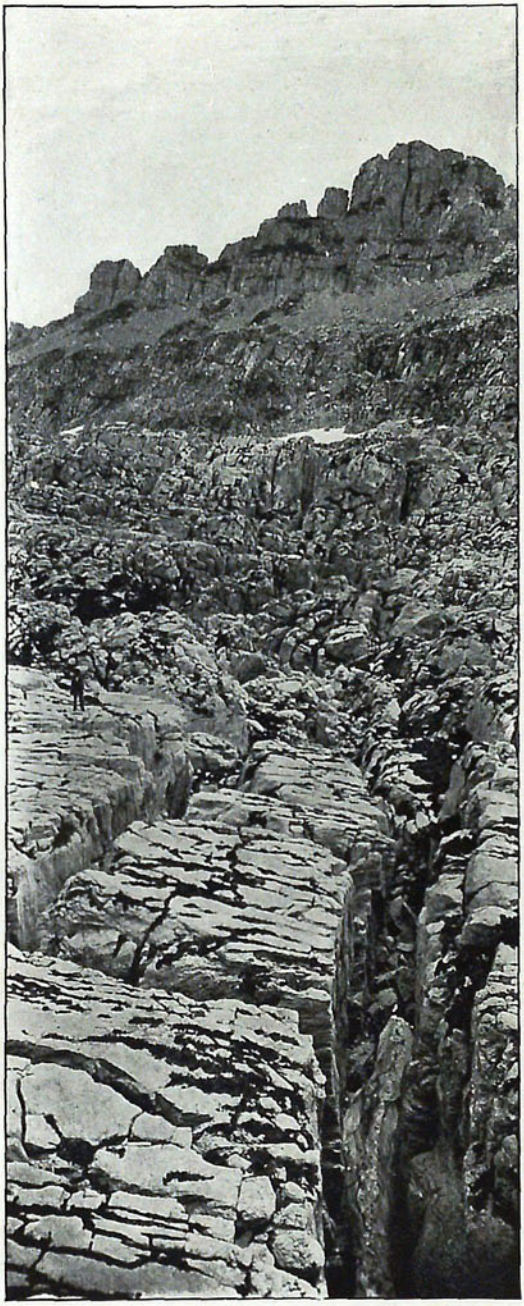


Негат. Г. Раго.

Коррозія произведенная дождевыми струями на поверхности сахаровидныхъ гипсовъ.

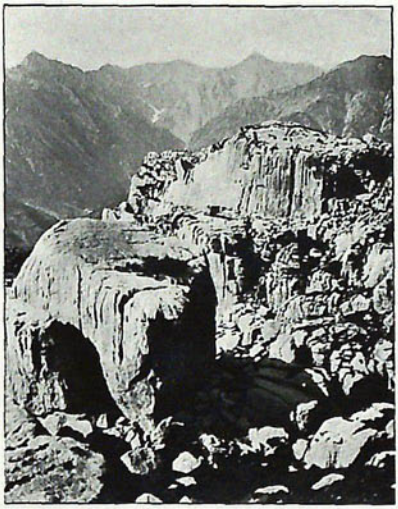
Биръ Мтирза, область Татауинъ (Тунисъ), образецъ взятый М. Первенкьеромъ. Умеиьш. $^1/_2$.

Негринъ (пров. Константины), образецъ взятый М. Л. Жало. Умеиьш. $^1/_2$.



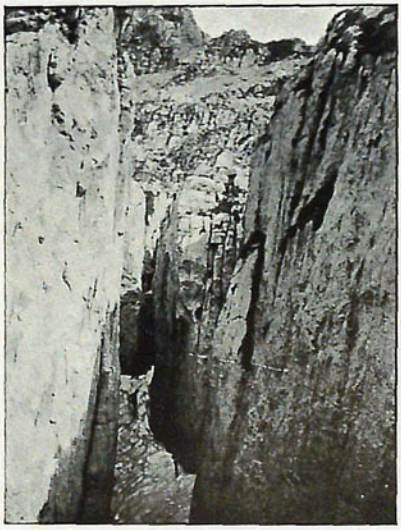
Негат. Е. А. Мартеля.

Большая щель и вершина Шабріеръ, (надвинутые юрскіе известняки).



Негат. Е. А. Мартеля.

Борозды произведенныя водяными струями.



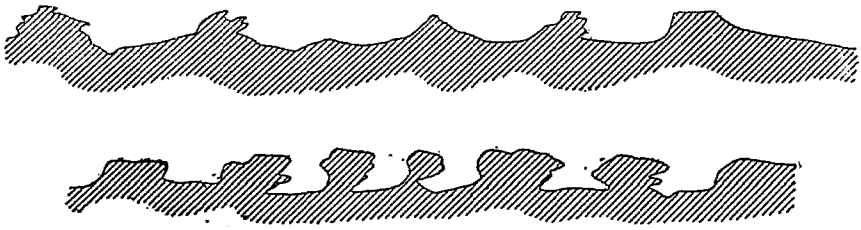
Негат. Э. Ога.

Дно большой щели.

Карровое поле Шабріеръ,
близъ Шоржъ (Верхніе Альпы).

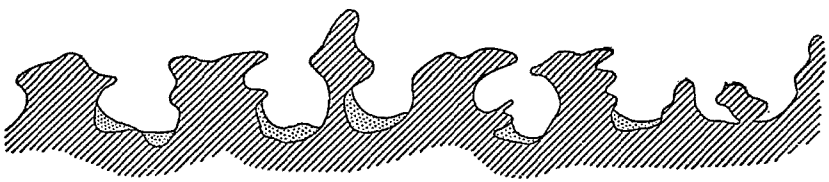
лѣе твердыхъ частей (табл. LI). Ископаемыя, находившіяся въ мягкихъ породахъ, совершенно очищаются отъ ихъ покрова, какъ будто бы они были тщательно отпрепарированы съ помощью тонкой металлической щетки.

Въ твердыхъ и однородныхъ породахъ, какъ напр., компактные известняки и красный желѣзнякъ, корразія образуетъ



Фиг. 155. Схематическій разрѣзъ Ярданговъ (по Свенъ Гедину).

рядъ небольшихъ углубленій, что придаетъ поверхности ячеистую структуру (табл. L, 2). Часто углубленія червеобразно изгибаются (табл. L, 3—5), что объясняется ихъ удлиненіемъ въ направленіи господствующаго вѣтра. Иногда же они расположены безъ опредѣленнаго порядка, пересѣкая другъ друга и образуя на поверхности породы настоящій *узоръ*; по мнѣнію



Фиг. 156. Ярданги раздѣленныя бороздами засыпанными пескомъ (по Свенъ Гедину).

Фуро, такое ихъ расположеніе возможно лишь благодаря мелкозернистости песка сѣверной Сахары, дѣлающаго эти рисунки на поверхности камней. Иногда углубленія расходятся лучами отъ какой-либо центральной точки (табл. L, 5). О. Абель (39), спеціально занимавшійся изученіемъ такой звѣздчатой структуры, сравниваетъ ее съ описанной Зюссомъ характерной структурой стекловатыхъ метеоритовъ, составляющихъ особую группу молдавитовъ; Зюссу удалось воспроизвести ее экспериментальнымъ путемъ, подвергая очень косому дѣйствію водянаго пара диски канифоли, приведенныя во вращательное движеніе. Такая аналогія, несомнѣнно, поразительна, но звѣздчатый рельефъ камней пустыни можетъ быть правильно истолкованъ лишь

на основаніи непосредственнаго наблюденія надъ способомъ его образованія на мѣстѣ.

Наконецъ, дѣйствіе песка на встрѣчаемые обломки выражается просто ихъ истираніемъ и полировкой. Тогда на камнѣ съ двухъ сторонъ образуются въ направленіи вѣтра плоскія поверхности, пересѣкающіяся наверху, образуя продольный гребень. Эти двѣ поверхности съ третьей поверхностью, на которой лежалъ камень, образуютъ трехгранную призму или, вѣрнѣе, тѣло, заостренное съ обоихъ концовъ, но имѣющее въ разрѣзахъ, перпендикулярныхъ къ оси, форму треугольника (табл. L, 6, 7). Это такъ называемые *граненые камни* или *дрейканторы*, очень распространенные какъ въ современныхъ пустыняхъ, такъ иногда и въ пустынныхъ формаціяхъ древнихъ геологическихъ періодовъ. Иногда граненые камни имѣютъ больше трехъ граней, что обусловлено тѣмъ, что они перемѣщались, и вѣтеръ корродировалъ ихъ въ различномъ направленіи. Плоскія и полированныя поверхности образуются преимущественно на очень твердыхъ плотныхъ известнякахъ и на кремнистыхъ породахъ.

К о р р о з і я.—Мы уже видѣли, что воды, струящіяся по склонамъ рыхлыхъ и однородныхъ породъ, прорываютъ въ нихъ въ направленіи наибольшаго наклона глубокія борозды, раздѣленныя параллельными гребнями. Если же склоны состоятъ изъ легко растворимыхъ породъ, то одинаковый результатъ достигается не смывомъ частицъ, а раствореніемъ.

Если поверхность склона состоитъ изъ каменной соли („соляныя скалы“ на сѣверѣ Африки) или гипса, то она покрывается рядомъ простыхъ или развѣтвленныхъ желобковъ, раздѣленныхъ чрезвычайно заостренными гребнями (табл. LI). Эти породы настолько легко растворимы, что желобки могли образоваться при участіи даже очень чистой воды, струящейся по склонамъ. Но чтобы прорыть такія же борозды на известнякѣ вода должна содержать извѣстное количество углекислоты.

Извѣстно, что дождевая вода содержитъ довольно много углекислоты и ея работѣ нужно приписать *узоры* на известковыхъ поверхностяхъ, вырѣзанные какъ бы рѣзцомъ (табл. LII, 2). Именно для такихъ явленій терминъ „коррозія“ является наиболѣе подходящимъ.

Известковыя же плато, на которыхъ въ широкихъ раз-

мѣрахъ проявилась корродирующая сила воды, называются *lapiaz* или *rascles* (нѣмецкіе термины—*карры* или *штраты* (41—43).

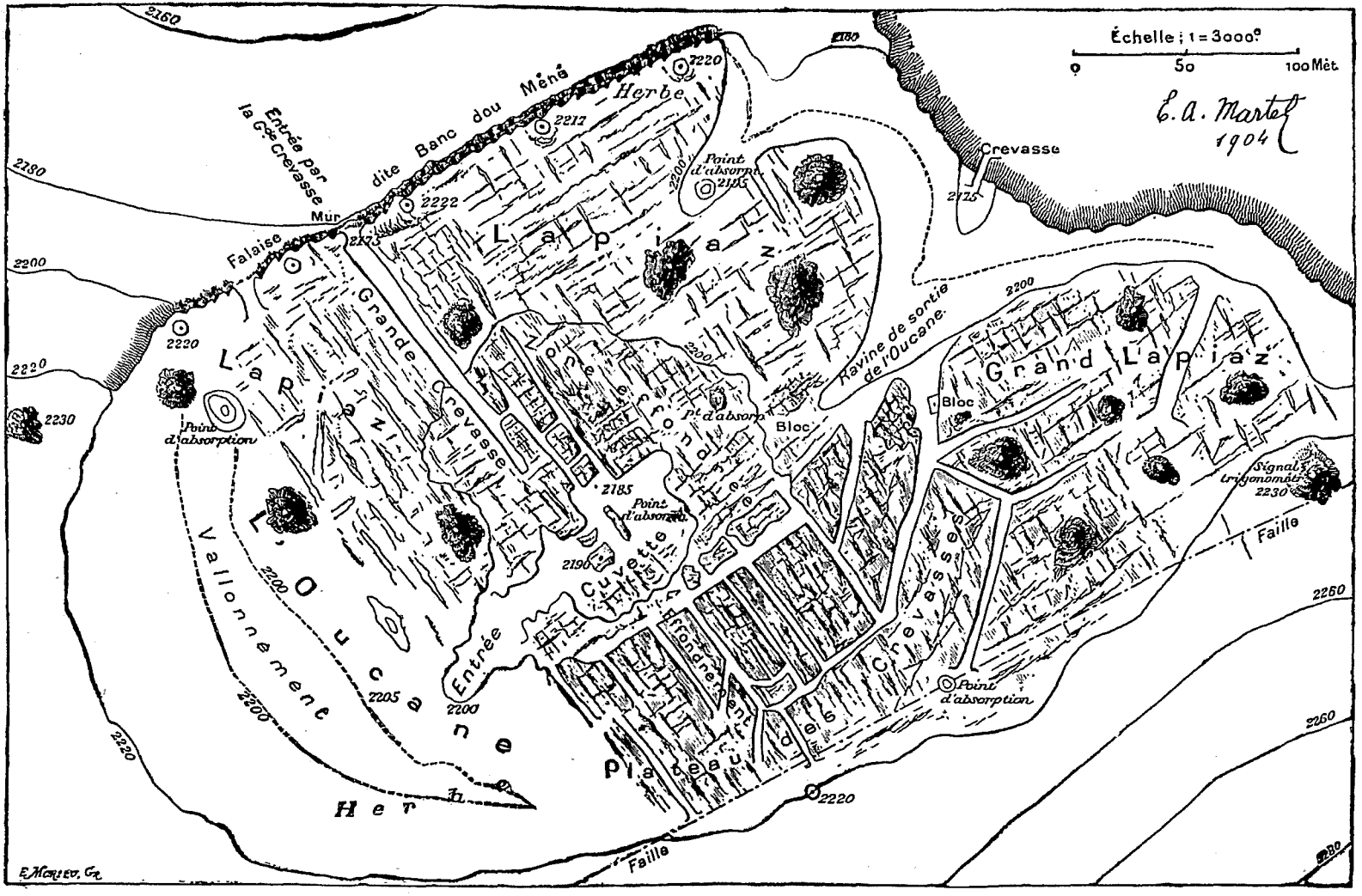
На склонахъ, борозды слѣдуютъ по линіямъ наибольшаго наклона. Въ началѣ они бываютъ неглубоки, но мало-помалу становятся все глубже и глубже, а гребни между ними становятся все выше и подраздѣляются на зубцы, такъ что карровая поверхность кажется покрытой остріями, направленными въ ту сторону, откуда стекаетъ вода. Такая структура очень рѣзко выражена въ Зильбернальпѣ, въ кантонѣ Гларусъ, и въ Сентисѣ (фиг. 157). Если поверхность известняка имѣетъ очень малый наклонъ, то работа дождевыхъ струй менѣе замѣтна и корродирующее дѣйствіе дождевой воды



Фиг. 157.—Карры Сентиса (по А. Гейму).

проявляется главнымъ образомъ вдоль діаклазъ и сбросовъ, которые благодаря этому яснѣе выступаютъ. Известковое поле имѣетъ тогда видъ города, прорѣзаннаго улицами, пересѣкающимися подъ прямымъ угломъ (табл. LII, фиг. 158). Замѣчательнымъ примѣромъ этого особаго типа служитъ карровое поле или „ouсane“ Шабріеръ близъ Шоржъ, въ департаментѣ Верхнихъ Альпъ, въ которомъ борозды, прорытыя стекающими струями, имѣютъ лишь второстепенное значеніе (табл. LII).

Типичныя карровыя поля встрѣчаются на самой различной высотѣ, такъ что нельзя считать ледники и снѣгъ факторами ихъ возникновенія, какъ предполагали прежнія теоріи. Карровыя поля встрѣчаются повсюду на голыхъ известнякахъ, незащищенныхъ растительнымъ покровомъ. Узкія борозды, напоминающія рѣзную работу, наблюдаются только на плотныхъ известнякахъ, болѣе же грубыя формы рельефа на всякихъ известнякахъ, даже на песчаникахъ, сцементированныхъ известью, и на гранитахъ.



Фиг. 158.—Планъ Уканъ-де-Шабріера, близъ Шоржа (Верхніе Альпы), типъ карръ возникшихъ вслѣдствіе коррозіи известковаго плато по разломамъ и діаклазамъ (клише доставлено Е. А. Мартелемъ).

Повсюду стекающія по наклоннымъ поверхностямъ струи приводятъ къ возникновенію одинаковыхъ внѣшнихъ формъ, независимо отъ того, производятъ ли онѣ смываніе обломковъ рыхлыхъ и однородныхъ породъ, или раствореніе легко растворимыхъ слоевъ, или коррозію известняковъ (25). Точно такое дѣйствіе оказываютъ теплые дожди на снѣгъ. Ничто такъ не напоминаетъ карровое поле, какъ *„кающіеся грѣшники“* (*nieve penitente*) на ледяныхъ поляхъ Андъ, которые были описаны многими учеными и въ частности Р. Гауталемъ. Впрочемъ, ихъ происхожденіе иногда приписывается не дождямъ, а теплымъ и сухимъ вѣтрамъ, которые вызываютъ таяніе снѣга.

4. Отложеніе осадковъ.

Дѣйствіе атмосферныхъ агентовъ въ концѣ концовъ почти всегда приводитъ къ отложенію осадковъ. Въ тѣхъ случаяхъ, когда разрыхленные или перемѣщенные элементы не захватываются рѣками, которыя нѣкоторую часть ихъ доносятъ до моря, на поверхности континентовъ образуются отложенія, которыя называются *субаэральными*, потому что въ противоположность другимъ осадкамъ они отлагаются не на днѣ водныхъ бассейновъ. Можно различить нѣсколько категорій субаэральныхъ отложеній, въ зависимости отъ того, подверглись ли ихъ элементы переносу и каковъ былъ характеръ этого переноса. Сейчасъ мы и приступимъ къ краткому обозрѣнію этихъ категорій.

Элювіальныя образованія.—Русскіе геологи называютъ *элювіальными образованіями* или *элювіемъ* продукты разрушенія, остающіеся на мѣстѣ вслѣдствіе недостаточности крутизны склона или отсутствія удаляющихъ обломки агентовъ; они противополагаютъ это понятіе дилювію прежнихъ ученыхъ, къ которому относились наносы, отложенные текучими водами и ледниками. Составъ этихъ отложеній безъ сомнѣнія зависитъ отъ характера горной породы, изъ которой они образовались. Классификація ихъ была построена, главнымъ образомъ, на ихъ минералогической природѣ, но мы не можемъ здѣсь удѣлить много времени ихъ подробному изученію.

Въ умѣренныхъ поясахъ преобладаютъ *суглинки* (*limons*). Они состоятъ, главнымъ образомъ, изъ глины, окрашеной въ желтый цвѣтъ водною окисью желѣза, чистой или смѣшанной въ различныхъ соотношеніяхъ съ кварцевымъ пескомъ и из-

вестнякомъ. Частью они являются одновременно продуктами разрыхленія и выщелачиванія. Нерастворимыя или слабо растворимыя вещества первоначальной породы встрѣчаются въ немъ обыкновенно въ видѣ отдѣльныхъ обломковъ. Однимъ изъ самыхъ извѣстныхъ примѣровъ элювіальныхъ формацій можетъ служить *глина съ кремнями* Парижскаго бассейна.

Въ тропическихъ странахъ продукты разрушенія горныхъ породъ имѣютъ совершенно другой характеръ; глина, т. е. водный силикатъ алюминія, въ нихъ обыкновенно замѣняется окисью алюминія, а водная окись желѣза—безводной полуторной окисью. Эту породу кирпично-краснаго цвѣта называютъ *латеритомъ*; названіе это было введено въ науку 100 лѣтъ тому назадъ Бухананомъ, который указалъ на большое распространеніе этой породы въ южной Индіи. Съ тѣхъ поръ этотъ терминъ, иногда неправильно употреблялся въ болѣе широкомъ смыслѣ, такъ что подъ именемъ латерита понимались даже алювіальныя образованія, окраска которыхъ обнаруживала достаточное количество окисловъ желѣза. Латеритъ представляетъ собою поверхностное образованіе и можетъ достигать значительной мощности. Онъ обыкновенно образуется насчетъ кристаллическихъ породъ, богатыхъ полевымъ шпатомъ, но до сихъ поръ еще не выяснены условія, при которыхъ кремпеземъ отдѣляется отъ алюминія; нѣкоторые ученые предполагаютъ, что въ этомъ процессѣ участвуютъ бактеріи.

Латеритъ сосредоточенъ въ области тропическихъ дождей. Онъ расположенъ преимущественно по плоскогоріямъ и гористымъ мѣстностямъ, гдѣ часто встрѣчается очень высоко надъ уровнемъ моря; но существуетъ латеритъ и перемытый дождевыми струями или текучими водами. Онъ встрѣчается тогда въ долинахъ.

Бокситъ такъ же, какъ и латеритъ, представляетъ смѣсь воднаго глинозема съ полуторной окисью желѣза. На югѣ Франціи онъ обыкновенно покоится на отложеніяхъ различнаго возраста, но самъ, повидимому, относится къ мѣловому періоду. Весьма вѣроятно, что онъ образовался при тѣхъ же условіяхъ и насчетъ тѣхъ же породъ, какъ и латеритъ. Въ настоящее время бокситъ является главной рудой алюминія.

Отложенія ключей.—Изъ предшествующей главы намъ уже извѣстно какъ почвенныя воды, содержащія углекислоту, растворяютъ известь въ видѣ двойного карбоната и какъ источ-

ники могутъ выводить эти воды на дневную поверхность. Воды теплыхъ источниковъ растворяютъ еще большее количество извести и, охлаждаясь, даютъ еще болѣе обильный ея осадокъ. Таково происхожденіе громадныхъ расположенныхъ уступами бассейновъ изъ углекислой извести, отлагаемой термами Гаммамъ-Мескутинъ въ провинціи Константинѣ (въ Алжирѣ) (табл. XLV,2); этой же причиной объясняется та легкость, съ какою теплые известковые источники инкрустируютъ попавшіе въ нихъ предметы.

Когда известковая вода достигаетъ поверхности земли и стекаетъ по склонамъ, покрытымъ мохомъ, площадь ея испаренія увеличивается; вода испаряется вмѣстѣ съ содержащейся въ ней углекислотой, а углекислая известь отлагается концентрическими слоями, которые или устилаютъ склонъ, или свѣшиваются сталактитами, какъ въ пещерахъ. Мохъ благопріятствуетъ выдѣленію извести, такъ какъ поглощаетъ углекислоту, растворенную въ водѣ. Ту же роль играютъ и многочисленныя зеленыя водоросли. Если осадокъ имѣетъ порошковатый видъ или если онъ рѣжется ножемъ, онъ называется *известковымъ туфомъ*; если же онъ болѣе плотенъ и обнаруживаетъ конкреціонный характеръ — *травертиномъ*. Въ той и другой породѣ часто встрѣчаются отпечатки листьевъ, самое же органическое вещество ихъ быстро разрушается, потому что пористое строеніе породы способствуетъ притоку воздуха. Другіе органы растеній и маленькія животныя, какъ напр., насѣкомыя, ракообразныя и др. также оставляютъ послѣ себя пустотки, какъ разъ соотвѣтствующія мѣсту, которое они занимали въ известковомъ осадкѣ.

Многіе туфы содержатъ также извѣстное количество водной окиси желѣза, которая въ отложеніяхъ *охры*, образующейся при сходныхъ условіяхъ, становится преобладающимъ элементомъ.

Существуютъ еще источники отлагающіе оолитовые осадки, подобные тѣмъ, какіе образуются въ соленыхъ озерахъ. Классическимъ примѣромъ такого отложенія служатъ *инкрустаціи Тиволи* (*dragées de Tivoli*).

Отложенія дождевой водой.—Дождевая вода, стекающая по склонамъ, вызываетъ настоящее отмучиваніе рыхлыхъ отложеній, встрѣчающихся ей на пути. Мелкіе элементы она уноситъ далеко, болѣе же крупные оставляетъ на мѣстѣ.

Многіе суглинки, отлагаемые на склонахъ, несомнѣнно

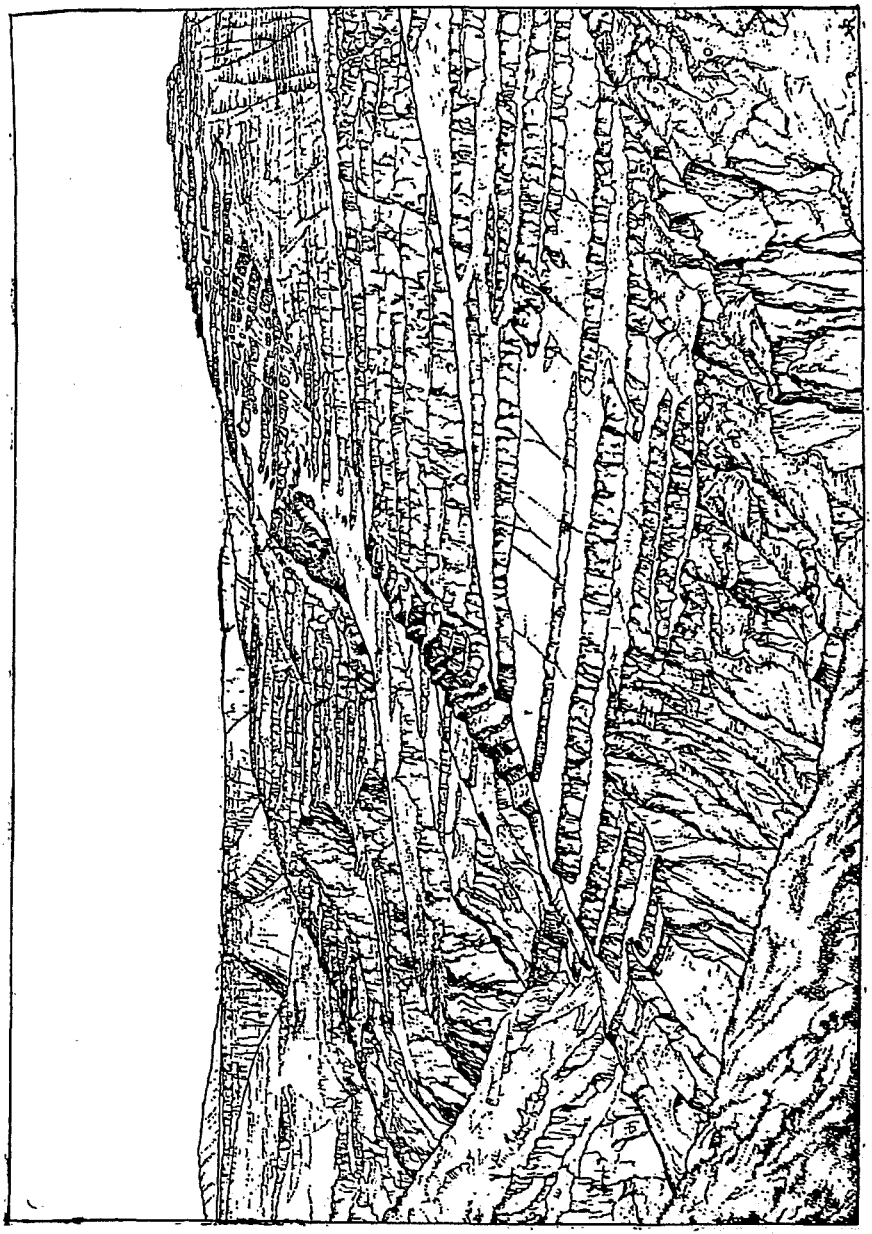
имѣютъ такое происхожденіе и ежедневно образуются у насъ на глазахъ. Въ нихъ часто встрѣчаются косо лежащія прослойки изъ небольшихъ угловатыхъ камешковъ, которые отложились на склонѣ прежде, чѣмъ успѣли округлиться взаимнымъ треніемъ. Многіе изъ такихъ суглинковъ, лежащихъ на склонахъ, представляютъ собою не что иное какъ перемытые дождевыми струями суглинки плоскихъ возвышенностей. Какъ намъ уже извѣстно многіе латериты и бокситы также представляютъ собою перемытые продукты распада и химическаго измѣненія породъ.

Эоловыя отложенія.— Намъ уже извѣстно какое значеніе имѣетъ вѣтеръ, переносящій на далекое разстояніе вулканическій пепелъ. Несомнѣнно, этотъ продуктъ вулканической дѣятельности примѣшивается ко всякимъ другимъ осадкамъ морскимъ или континентальнымъ, но настоящія его отложенія образуются лишь въ непосредственной близости съ вулканами. Въ полярныхъ странахъ обширныя поля снѣга и ледяные покровы отдѣляютъ падающій на нихъ пепелъ отъ находящейся подъ ними породы. Такова же судьба и космической пыли, образующейся отъ взрывовъ метеоритовъ или сопровождающей ихъ паденіе. Норденшильдъ назвалъ *кріоконитомъ* скопленія космической пыли, которыя онъ наблюдалъ на ледниковомъ покровѣ Гренландіи.

Дюны являются наиболѣе извѣстнымъ видомъ эоловыхъ образованій: мы уже говорили о нихъ какъ о явленіи переноса, но нужно еще разсмотрѣть ихъ какъ отлагающіеся осадки. Часто онѣ бываютъ закрѣплены проникающею въ песокъ водою, которая въ своемъ составѣ приноситъ вещества, служащія для цементированія *песка*. Опредѣлить эоловое происхожденіе современныхъ отложеній песка нетрудно, наоборотъ, образованіе песчаныхъ или песчаниковыхъ формацій древнихъ геологическихъ періодовъ очень часто остается для насъ неяснымъ. Критерій *„косвенной слоистости“*, на который часто указывали, совершенно недостаточенъ, такъ какъ такая же слоистость наблюдается и въ рѣчныхъ отложеніяхъ, и въ нѣкоторыхъ известнякахъ морского происхожденія. Правда, относительное расположеніе послѣдовательныхъ слоевъ имѣетъ нѣкоторыя различія въ томъ и другомъ случаѣ.

Наконецъ, большинство современныхъ ученыхъ во главѣ съ Ф. Фонъ-Рихтгофеномъ признаютъ эоловое происхожденіе *лёсса*, который представляетъ собою известковый суглинокъ,

очень распространенный въ четвертичныхъ отложеніяхъ центральной и восточной Европы и въ Южной Америкѣ. Совершенно аналогичныя отложенія образуются теперь въ централь-



Фиг. 159.—Террасы въ лёссѣ Кан-су
(по фотографіи В. Обручева; фигура взята у Э. Зюсса, La face de la Terre, т. III).

ной Азіи, особенно въ Туркестанѣ и на западѣ и сѣверѣ Китая, гдѣ они достигаютъ нѣсколькихъ сотъ метровъ мощности (фиг. 159). Образующая ихъ пыль задерживается обильно рас-

тущими на нихъ злаками. Такимъ образомъ лёссъ является такимъ же характернымъ отложеніемъ степей, какимъ дюны являются для пустынь.

Во второй части этого труда мы еще вернемся къ вопросу о лёссѣ, возбудившему много споровъ, такъ какъ его разсматривали, то какъ илъ, отлагаемый разливомъ рѣкъ, то какъ осадокъ, образовавшійся при участіи дождевыхъ струй и даже какъ ледниковое отложеніе, пока Рихтгофенъ не указалъ на его истинную природу.

---

1. — Albert Heim. Notizen über Wirkungen des Blitzschlages auf. Gesteine. *Jahrb. d. S. A. C.*, XXI, стр. 342—357, 1 фиг., 1886.

2. — Israel C. Russell. Subaerial decay of rocks and origin of the red color of certain formations. *Bull. U. S. Geol. Surv.*, n° 52, 65 стр., 5 табл. 1889.

3. — Fr. Katzer. Ueber die rothe Farbe der Schichtengesteine. *Neues Jahrb. f. Mineral.*, 1899, II, стр. 177—181.

4. — G. Linck. Ueber die dunkelen Rinden der Gesteine der Wüsten. *Jenaische Zeitschr. d. Naturwiss.*, XXXV, стр. 329—336, 1901.

5. — Th. Schloesing. Leçons de Chimie agricole [professées à l'École d'application des Manufactures de l'État et recueillies par Th. Schloesing fils]. Autogr., in-4°. 1883, 1re partie: De l'atmosphère. 2e partie: Du sol.

6. — J. Thoulet. De la solubilité de quelques substances dans l'eau de mer. *C. R. Ac. Sc.*, CX, стр. 652—654, 1890.

7. — Th. Schloesing et A. Müntz. Sur la nitrification par les ferments organisés *C. R. Ac. Sc.*, LXXXV, стр. 1018—1020, 1877.

8. — A. Müntz. Sur la dissémination du ferment nitrique et sur son rôle dans la désagrégation des roches. *Annales de Chimie et de Phys.*, 6e sér, XI, стр. 136—144, 1887.

9. — S. Winogradsky. Recherches sur les organismes de la nitrification. *Annales de l'Institut Pasteur*, IV, стр. 213—231, 257—275, 760—771, 1890.

10. — A. Müntz. Recherches sur la formation des gisements de nitrate de soude. *Annales de Chimie et de Physique*, 6 sér., XI, стр. 111—135, 1887.

11. — Id. Sur la décomposition des roches et la formation de la terre arable. *C. R. Ac. Sc.*, CX, стр. 1370—1372, 1890.

12. — S Winogradsky. Sur l'assimilation de l'azote gazeux de l'atmosphère par les microbes. *C. R. Ac. Sc.*, CXVIII, стр. 353—355, 12 февр. 1894.

13. — J. C. Branner. Ants as geological agents in the Tropics. *Journ. of Geol.*, VIII, стр. 151—153, 3 фиг., 1900.

14. — Charles Darwin. The formation of vegetable mould. In 8o, 313 стр. Londres et New-York, 1883.

15. — N. S. Shaler. The origin and nature of soils. *12th ann. Report U. S. Geol. Surv.*, I, стр. 219—345, табл. II—XXXI, 27 фиг., 1891.

16. — N. Sibirtzew. Étude des sols de la Russie. *Congrès géol. intern. Compte rendu de la VIIe session*, стр. 73—125. St-Pétersbourg, 1899.

17. — George P. Merrill. Rocks, Rockweathering and Soils. 2d edit. 1 vol. in-8o, XXI+400, стр., 31 табл., 42 фиг., New-York, 1906.

18. — Arb. Heim. Einiges über die Verwitterung der Berge. *Neujahrsblatt d. Zür. naturf Ges.*, 35 стр., 1874.

19. — Adam Piwowar. Ueber Maximalböschungen trockener Schuttkegel und Schutthalden. Inaug.-Dissert. Univers. Zürich. 1 br. in-8° 29 p. (v. aussi *Vierteljahrsschrift d. Zür. naturf. Ges.*, XLVIII, стр. 335—359). Zurich, 1903.

20. — Albert Heim. Ueber Bergstürze. *Neujahrsblatt d. Zür. naturf. Ges.*, 31 стр., 1882.

21. — Id. Der Bergsturz von Elm. *Zeitschr. d. D. Geol. Ges.*, XXXIV, стр. 74—115, табл. IV, 1882.

22. — Jakob Oberholzer. Monographie einiger prähistorischer Bergstürze in den Glarneralpen. *Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz*, N. F., IX. Lief., 209 стр., 1 карта, 4 табл., 19 фиг., 1900.

23. — C. Schmidt. Der Murgang des Lammbaches bei Brienz. *Sammlung populärer Schriften herausg. v. d. Ges. Urania* n° 43, 28 стр., 9 фиг., Berlin, 1896.

24. — Marcellin Boule. Les agglomérats andésitiques de l'Auvergne. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3° sér, XXVIII, стр. 156—158, 1900.

25. — Siegmund Günther. Erdpyramiden und Büsserschnee als gleichartige Erosionsgebilde. *Sitzungsber. d. math.-phys. Kl. d. K. B. Akad. d. Wiss. zu München.* XXXIV, стр. 397—420, 7 фиг., 1905 (многочисленныя цитаты).

26. — Johannes Walther. Die Denudation in der Wüste und ihre geologische Bedeutung, Untersuchungen über die Bildung der Sedimente in der ägyptischen Wüste. *Abh. d. math.-phys. Cl. d. K. Sächs. Ges. d. Naturw.* XVI, стр. 345—569, 99 фиг., 8 табл. Leipzig, 1891.

27. — Id. Das Gesetz der Wüstenbildung. 1 vol. gr. in-8°, 175 стр., 50 фиг. Berlin, 1900.

28. — N. A. Sokolow. Die Dünen. Bildung, Entwickelung und innerer Bau. Deutsche Ausg. v. A. Arzruni. 1 vol. in-8°, 288 стр., 15 фиг., 1 табл. Berlin, 1894.

29. — Vaughan Cornish. Formation des dunes de sable. Trad. de l'anglais par E. Cammaerts. *Université nouvelle. Institut géogr. de Bruxelles.* Public. n° 2. 37 стр., 23 фиг. Bruxelles, 1900 (1897).

30. — Otto Baschin. Die Entstehung wellenähnlicher Oberflächenformen. Ein Beitrag zur Kymatologie. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin*, XXXIV, стр. 408—424, 1899.

31. — Id. Dünenstudien. *Ibid.*, XXXVIII, стр. 422—430, 4 фиг., 1903.

32. — Eug. von Cholnoky. Die Bewegungsgesetze des Flugsandes. *Földtani Közlöny*, XXXII, стр. 106—143, 21 фиг., табл. I—II, 1902.

33. — Sven Hedin. Scientitic results of a journey in Central Asia, 1899—1902. 2 vol. in-4°, 523 et 717 стр., 56 et 76 табл., 446 и 297 фиг., Stockholm, 1904 et 1905.

34. — G. Rolland. Sur les grandes dunes du Sahara. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3° sér., X стр., 30—47 табл. III, 1882.

35. — F. Foureau. Quelques considérations sur les dunes et les phénomènes éoliens. Mission Saharienne. Documents scientifiques, t. I, стр. 213—237, фиг. 25—36, табл. XVIII, XIX, 1905.

36. — J. F. Pompeckj. Barchane in Südperu. *Centralbl. f. Miner.*, 1906, стр. 373—378, 1 фиг.

37. — R. Beck. Ueber die corrodirendeWirkung des Windes im Quadersandstein-Gebiet der Sächsischen Schweiz. *Zeitschr. d. D. Geol. Ges*, XLVI, стр. 537—546, 4 фиг., табл. XLIII, 1894.

38. — K. Futterer. Ein Beispiel für Winderosion am Heidelberger Schloss *Mitt. d. Grossh. Badischen Geol. Landesanst.*, III, стр., 473—496, табл. XIII—XVI, 1897.

39. — O. Abel. Ueber sternförmige Erosionsscul pturen auf Wüstengeröllen. *Jahrb. d. k. k. geol Reichsanst*, LI, стр. 24—40, табл. II, 1 фиг., 1902.

4 . — Jean Brunhes. Érosion tourbillonnaire éolienne. Contribution à l'étude de la morphologie désertique. *Mem. della Pontificia Accad. Romana dei Nuovi Lincei*, XXI, стр. 129—148, табл. III, IV, 1903.

41. — A. Heim. Ueber die Karrenfelder. *Jahrb. d. S. A. C.*, XIII, стр 421—433, 2 фиг., 1878.

42. — Emile Chaix. Contribution à l'étude des lapiés. La topographie du désert de Platé (Haute-Savoie). *Le Globe*, XXXIV, Mém., 47 стр., 15 табл., 1 карта, 1895.

43. — E. A. Martel. L'Oucane de Chabrières (Hautes-Alpes). *La Montagne*, 2e ann., стр. 501—523, 5 фотогр. табл., 2 карты, 1906.

44. — Max Bauer. Beiträge zur Geologie der Seyschellen, insbesondere zur Kenntniss des Laterits. *Neues Jahrb. f. Miner.*, 1898, II, стр., 163—219 табл. X—XI.

45. — T. H. Holland. On the Constitution, Origin and Dehydratation of Laterite. *Geol. Mag.*, Dec. IV, X, стр. 59—69, 1903.

46. — A. Lacroix. Résultats minéralogiques et géologiques de récentes explorations dans l'Afrique occidentale française et dans la région du Tchad. *Revue coloniale*, V, стр. 129—139, 205—223, 1905.

См. также: 0, 1-9; 0, 18-21; VIII, 4.

Ч. Дарвинъ. Образованіе почвеннаго слоя дождевыми червями. Москва 1882, (переводъ сочиненія 14).

Н. А. Богословскій. О нѣкоторыхъ явленіяхъ вывѣтриванія въ области русской равнины. *Изв. Геол. Ком.*, т. XVIII, № 5, 1899.

Н. А. Богословскій. Къ сравнительной химической характеристикѣ коры вывѣтриванія центрально-русскихъ и нѣкоторыхъ Западно-европейскихъ областей. *Изв. Геол. Ком.*, т. XXIII, № 5-6, 1904.

П. А. Земятченскій. Желѣзныя руды центральной части Европейской Россіи. СПБ, 1889.

Н. М. Сибирцевъ. Почвовѣдѣніе. Выпускъ I. Почвообразованіе (наносы и вывѣтриваніе). С.-Петербургъ, 1900.

А. Н. Сабанинъ. Краткій курсъ почвовѣдѣнія т. in. 8⁰, 263 стр. 24 фиг. 9 табл. Москва, 1909.

К. Д. Глинка. Почвовѣдѣніе 1908.

К. Д. Глинка. Латериты и красноземы тропическихъ и субтропическихъ широтъ и родственныя имъ почвы умѣренныхъ широтъ. *Почвовѣдѣніе* 1903, стр. 235-264.

К. Д. Глинка. Изслѣдованія въ области процессовъ вывѣтриванія. *Тр. Спб. Общества*. т. XXXIV, вып. 5, Отд. Геол. и Мин., 178 стр. 1 фототип. табл. Спб. 1906.

А. П. Павловъ. О туркестанскомъ и европейскомъ лёссѣ. *Прот. Моск. Общ. Испыт. Природы*, 1903, № 4-9.

А. П. Павловъ. О рельефѣ равнинъ и его измѣненіяхъ подъ вліяніемъ работы подземныхъ и поверхностныхъ водъ. *Землевѣдѣніе*, т. V, 1898.

Н. А. Соколовъ. Дюны. Ихъ образованіе, развитіе и внутреннее строеніе. *Тр. Спб. Общ. Естеств.* 1884. 286 стр., 15 фиг. (№ 28 представляетъ дополненное нѣмецкое изд. этого сочиненія).

П. А. Тутковскій. Къ вопросу о способѣ образованія лёсса. Землевѣдѣніе т. VI, 1899. (Сочиненіе сопровождается спискомъ литературы, заключающимъ въ себѣ 318 №№).

А. А. Черновъ. Въ защиту эоловаго происхожденія нѣкоторыхъ лёссовъ. Почвовѣдѣніе 1909, № 3, стр. 248, (краткое содержаніе доклада).

А. П. Павловъ. Замѣчанія по поводу доклада А. А. Чернова. Тамъ же стр. 249.

В. А. Обручевъ. Къ вопросу о происхожденіи лёсса. (Въ защиту эоловой гипотезы). 38 стр. 1 табл. Томскъ, 1911.

ГЛАВА XXV.

Работа текучихъ водъ.

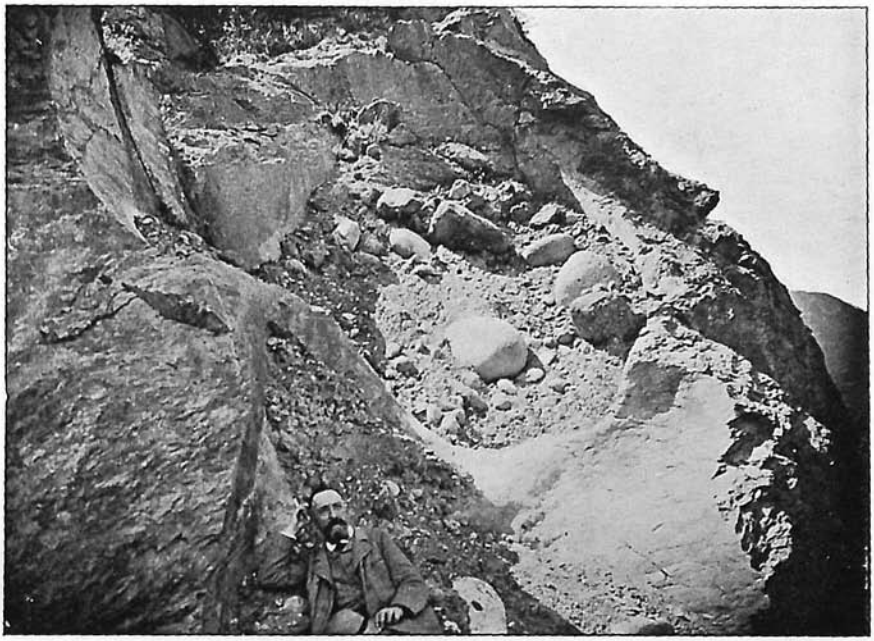
Эрозія и смывъ.—Потоки.—Отдѣлы теченія рѣки. — Денудирующая работа текучихъ водъ.—Перемѣщеніе водораздѣловъ и захватъ сосѣднихъ бассейновъ.—Дѣйствіе текучей воды на горныя породы различнаго состава.—Дѣйствіе текучихъ водъ въ складчатыхъ областяхъ.—Послѣдовательные циклы эрозіи и образованіе террасъ.—Отложеніе осадковъ.

Эрозія и смывъ. — Часто подъ именемъ эрозіи неправильно понимается работа рѣкъ, заключающаяся въ прорытіи углубленій. Правильнѣе подъ этимъ терминомъ разумѣть побочное явленіе, сопровождающее переносъ минеральныхъ обломковъ текучими водами и заключающееся въ истираніи ими русла и береговъ рѣчного ложа. Эрозія текучими водами, понимаемая въ этомъ смыслѣ, вполнѣ соотвѣтствуетъ коррозіи, производимой вѣтромъ, и въ меньшей степени коррозіи, производимой дождевыми водами, дѣйствіе которыхъ имѣетъ преимущественно химическій характеръ. Что же касается работы уноса, производимой потоками, то она выражается главнымъ образовъ въ *смывѣ* болѣе или менѣе рыхлыхъ массъ, образующихъ берега и загромождающихъ русло рѣки.

Эродирующая работа рѣки проявляется въ тѣхъ мѣстахъ ея русла, гдѣ теченіе достаточно быстро, чтобы захватить такіе матеріалы, которые въ спокойной водѣ погрузились бы на дно. Особенно же велико ея значеніе въ томъ случаѣ, когда, какъ это бываетъ со всякой жидкой массой протекающей по руслу имѣющему извѣстную ширину, въ водѣ происходятъ вихревыя движенія, вслѣдствіе чего взвѣшенныя частицы вращаются на мѣстѣ и по нѣскольку разъ трутся о ту же стѣнку и такимъ образомъ вытачиваютъ берегъ по вогнутымъ поверхностямъ.

Въ то же время большія каменныя глыбы, которыя перемѣщаются водою по дну рѣки, трутся другъ о друга, округляются, шлифуются и принимаютъ въ концѣ концовъ эллипсоидальную или шарообразную форму.

При большихъ неровностяхъ склона, у подножія водопадовъ и въ порогахъ водовороты прорываютъ коническія и цилиндри-



Негат. В. Кильяна.

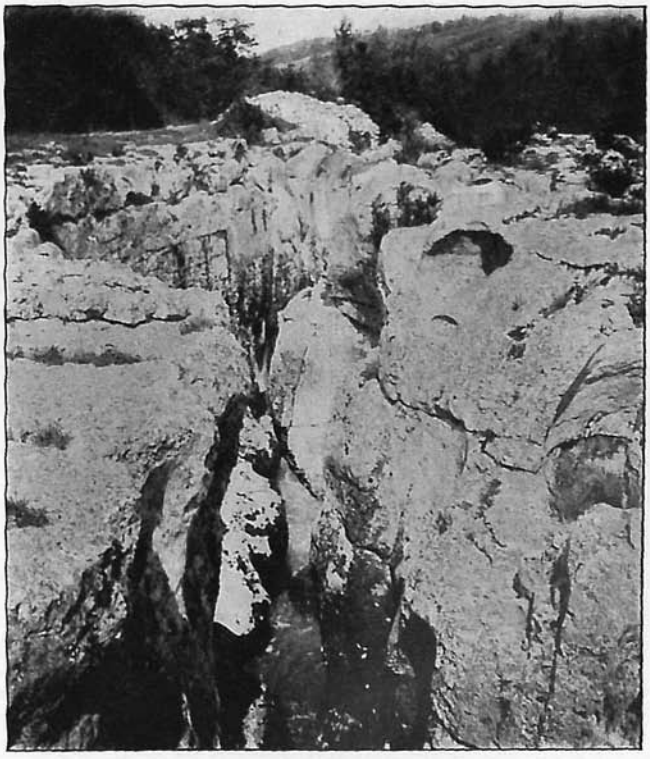
Котелъ Юбэ, Понъ-де-Меоланъ.
(Нижніе Альпы).



Негат. Э. Ога.

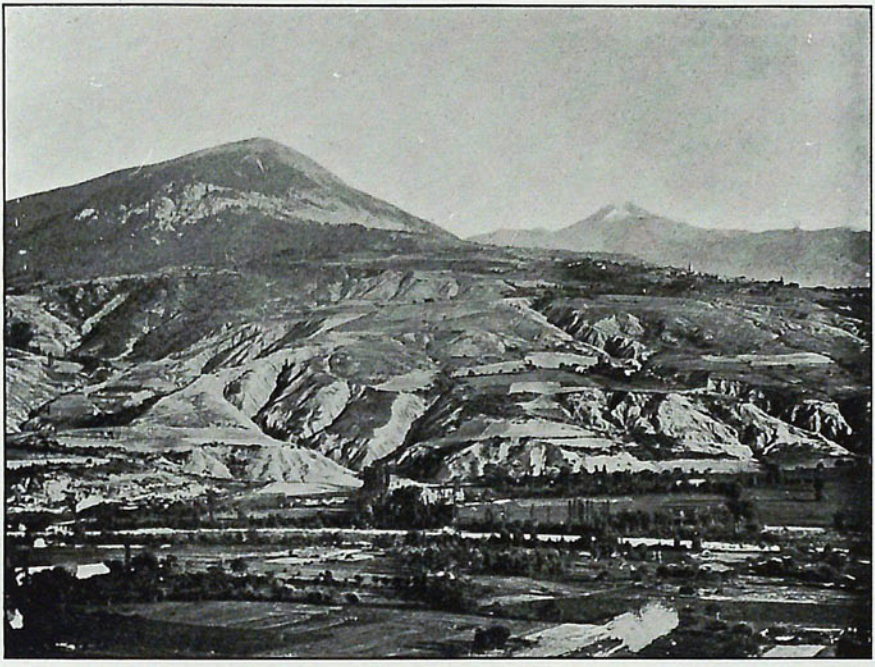
Тотъ же котелъ, очищенный отъ наполнявшихъ его обломковъ.





Негат. Е. А. Мартеля.

Исчезновеніе Вальсерины,
близъ Бельгарда (Энъ).
Роль „котловъ“ въ формированіи эрозіонныхъ ущелій.



Негат. Э. Ога.

Зачаточные потоки Сенъ-Совёръ, противъ Эмбрена (Верхніе Альпы).

Мергеля среднеоолитовой серіи.



Негат. Э. Ога.

Потокъ и деревня Юбэ

(Нижніе Альпы).

Мергеля среднеоолитовой серіи. Устьевой конусъ частію покинутый потокомъ.

ческія углубленія, такъ называемыя, *исполинскіе котлы*, на стѣнкахъ которыхъ часто можно наблюдать спиральныя бороздки—слѣды вытачиванія, произведеннаго пескомъ и гальками [1]). На днѣ котла часто находятъ мелкій матеріалъ, который своимъ вращательнымъ движеніемъ производилъ углубленіе, и одинъ или нѣсколько большихъ округленныхъ камней (табл. LIII, 1), работѣ которыхъ совершенно неосновательно приписывали прежде первостепенное значеніе (2).

Если нѣсколько котловъ образовались въ непосредственномъ сосѣдствѣ, то раздѣляющія ихъ перегородки мало-по-малу протираются, и котлы соединяются между собою. Русло рѣки оказывается въ этомъ мѣстѣ углубившимся, и о бывшемъ существованіи котловъ свидѣтельствуютъ лишь расположенныя одна подлѣ другой округло отшлифованныя впадины на бокахъ канала, по которому течетъ теперь вода (табл. LIV).

Эрозія можетъ осуществляться лишь въ такихъ частяхъ рѣки, гдѣ теченіе очень быстро, гдѣ берега круты, а породы, образующія ложе, достаточно плотны и могутъ выдерживать вытачиваніе, не распадаясь на обломки. Рыхлыя породы подъ дѣйствіемъ воды очень быстро поддаются разрушенію, прибрежные утесы подтачиваются въ основаніи и потомъ обрушиваются. Обломки ихъ, конечно, уносятся теченіемъ, въ крайнемъ случаѣ, во время разлива рѣки. Такимъ образомъ въ работѣ прорытія русла смывъ имѣетъ бо̀льшее значеніе, чѣмъ эрозія, всегда сосредоточенная только въ опредѣленныхъ частяхъ рѣки. На практикѣ же бываетъ обыкновенно очень трудно установить степень участія обоихъ факторовъ, поэтому совершенно невозможно разграничить ихъ изученіе. Законы, по которымъ совершается прорытіе руслъ текучими водами и которые мы постараемся вывести изъ фактовъ наблюденія, оказываются вѣрными независимо отъ того, который изъ факторовъ имѣлъ въ данномъ случаѣ бо̀льшее значеніе.

П о т о к и. — Чтобы составить себѣ общее представленіе о различныхъ проявленіяхъ работы текучихъ водъ, совершенно

[1]) Ж. Брюнъ (1) имѣлъ случай наблюдать въ 1897 г. исполинскіе котлы во всѣхъ стадіяхъ ихъ образованія въ водоотводномъ каналѣ, прорытомъ въ 1872 г. при шлюзованіи рѣки Мегрожъ около Фрейбурга. Котлы въ самомъ началѣ своего образованія имѣютъ въ серединѣ *коническій выступъ*, окруженный спиральной впадиной. Только котлы, достигшіе полнаго развитія, имѣютъ вогнутое дно, а самые старые принимаютъ цилиндрическую форму.

излишне брать въ качествѣ объекта наблюденія большую рѣку на всемъ ея протяженіи отъ верховьевъ до устья и изучать разнообразныя явленія, обусловленныя ея работой; наблюденія надъ *потоками* даютъ намъ полную, хотя и въ уменьшенномъ размѣрѣ, картину работы текучихъ водъ въ отдѣльныхъ частяхъ воднаго потока; наблюдая за потокомъ, мы присутствуемъ, какъ бы при опытѣ синтетческой геологіи, производимомъ передъ нами самой природой [1]).

Основываясь на непосредственномъ наблюденіи горныхъ потоковъ, Александръ Сюрелль уже 70 лѣтъ тому назадъ открылъ законы, управляющіе работой текучей воды, т. е. раньше Дена (5), раньше Гейма (6), раньше Дэвиса (17). Исходной точкой нашихъ разсужденій будутъ также наблюденія надъ потоками, и затѣмъ уже мы попытаемся приложить къ работѣ рѣкъ полученные этимъ путемъ выводы.

Посмотримъ сначала, какія явленія интересующаго насъ порядка совершаются на очень правильной возвышенной грядѣ, лишенной растительности и состоящей изъ однородной породы, какъ напр., склонъ долины рѣки Дюранса, расположенный противъ городка Анбрёнъ (табл. X, 1) и состоящій изъ черныхъ среднеюрскихъ мергелей, мало проницаемыхъ и не очень прочныхъ.

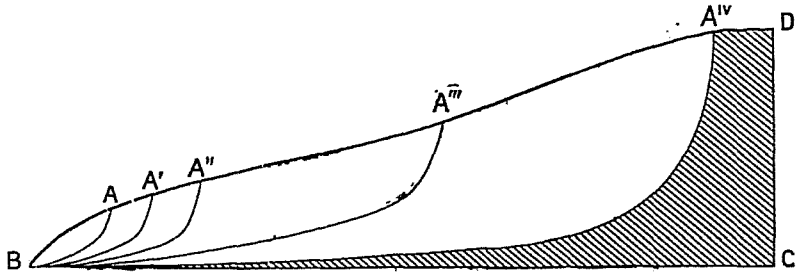
Дождевая вода, стекая по такимъ склонамъ, образуетъ сначала сѣть небольшихъ струй, а затѣмъ желобки, пользуясь для этого маленькими неровностями рельефа, этому содѣйствуютъ также небольшія мѣстныя различія въ количествѣ выпадающаго дождя. По мѣрѣ движенія внизъ по склону быстрота теченія воды усиливается; въ то же время увеличивается количество воды вслѣдствіе присоединенія новыхъ ручейковъ; благодаря этимъ двумъ причинамъ живая сила воды въ нижней части склона гораздо больше, чѣмъ въ верхней, и поэтому въ нижней части склона вода начинаетъ рыть себѣ русло, имѣющее форму рытвины съ крутыми берегами, заканчивающейся какъ бы тупикомъ (фиг. 160). Эта рытвина сначала очень короткая все увеличивается снизу вверхъ, поднимается все выше по склону и мало-по-малу достигаетъ его вершины.

---

[1]) Послѣ сильныхъ дождей можно часто наблюдать, какъ миніатюрные горные потоки образуются на отбросахъ нѣкоторыхъ карьеръ, особенно на глинистыхъ, напр., въ Исси около Парижа, гдѣ добывается пластичная глина.

Точка расположенная внизу склона, отъ которой начинается размываніе оврага, *называется теперь базисомъ эрозіи* (*base level*), а Сюрелль называлъ ее *неподвижной точкой*. Изъ этого наблюденія вытекаетъ слѣдующій первый законъ:

Прорытіе склона текучими водами идетъ отъ устья къ верховью и начинается отъ опредѣленной точки, находящейся у подножія склона и называемой базисомъ эрозіи. Прорытіе идетъ регрессивно. Потоки, образующіе рытвину или узкій оврагъ, о которыхъ мы только что говорили, возникаютъ иногда почти внезапно, въ продолженіе одного сильнаго грозоваго ливня. Ихъ можно назвать *зачаточными потоками*. Если склонъ не понижается или если онъ повышается по направленію къ верховью, потокъ сохраняетъ форму рва до самой вершины склона, которой онъ, наконецъ, достигнетъ; но если крутизна склона



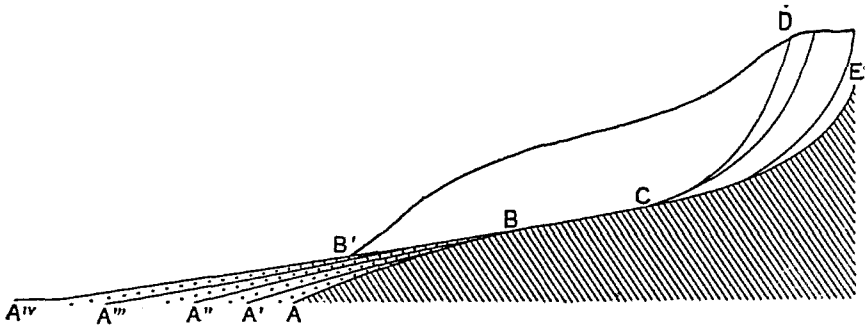
Фиг. 160. Послѣдовательные профиля равновѣсія (BA, BA', BA'',...) начинающаго формироваться потока. Базисъ эрозіи въ B.

уменьшается въ его верхней части, и особенно если онъ переходитъ въ слабопокатый уступъ, за которымъ опять слѣдуетъ крутая часть склона, оврагъ подходитъ къ такому мѣсту, гдѣ сѣть водяныхъ струй безпорядочно развѣтляется по направленію къ вершинѣ склона. Каждый ручеекъ въ силу принципа регрессивнаго размыванія русла текучей водой разрабатываетъ свое особое русло, и такимъ образомъ получается цѣлая сѣть развѣтвляющихся овраговъ, сходящихся внизу къ одному ущелью, которымъ и служитъ первоначальный оврагъ зачаточнаго потока. Благодаря смывающей работѣ дождевыхъ струй, площадь занятая этой сѣтью ручейковъ превращается въ обширную воронкообразную впадину, форма которой способствуетъ тому, что вода, падающая на очень большую поверхность, быстро стекаетъ къ одному мѣсту. Эта площадь, пользуясь терминомъ Сюрелля, называется *сборнымъ бассейномъ потока* (табл. LV,2). Вода здѣсь сильно подмываетъ породы и часто вызываетъ

оползни, которые постепенно распространяются до краевъ бассейна и содѣйствуютъ его увеличенію, часто насчетъ сборнаго бассейна сосѣдняго потока.

Матеріалы, захватываемые струями и отрываемые при прорытіи руслъ, сносятся къ общему устью всей сѣти и затѣмъ несутся по первичному оврагу, который становится теперь *каналомъ истеченія.*

Здѣсь къ мелкимъ осколкамъ и илу примѣшиваются большія каменныя глыбы, падающія съ сосѣднихъ горъ во время обваловъ.



Фиг. 161. Продольный профиль потока приближающагося къ состоянію равновѣсія.
CDE, сборный бассейнъ; BC, каналъ истеченія; BAA^IV, конусъ выноса.

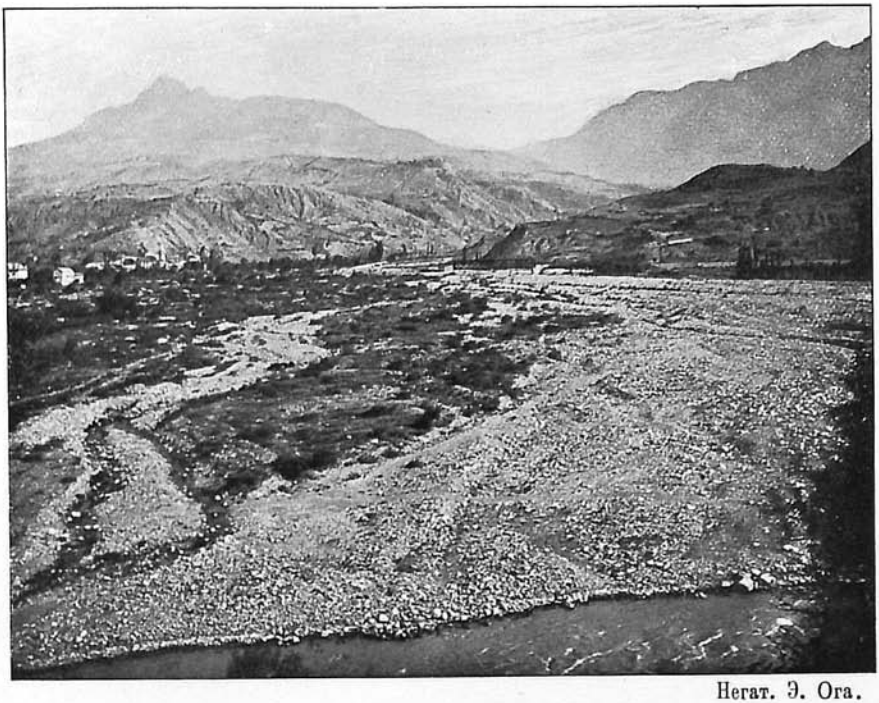
Воды, несущіяся въ долину съ изумительной быстротой, несутъ весь этотъ матеріалъ и съ силой бьютъ осколками и глыбами о крутые берега канала, который благодаря этому расширяется и мало-по-малу принимаетъ извилистое очертаніе. И дѣйствительно, та или иная причина постоянно заставляетъ воду отклоняться въ сторону; но такъ какъ берегъ перегораживаетъ ей дорогу, то она отбрасывается отъ встрѣченнаго препятствія подъ угломъ, равнымъ углу ея удара. Въ результатѣ потокъ дѣлаетъ рядъ поворотовъ съ вогнутыми и выпуклыми берегами.

Когда потокъ выходитъ изъ ущелья, всѣ принесенные имъ матеріалы попадаютъ въ долину и отлагаются вѣерообразно (фиг. 161), образуя болѣе или менѣе низкій полуконусъ, вершина котораго находится у основанія канала истеченія, а образующими оказываются послѣдовательно отлогавшіеся слои, благодаря тому, что по этой обширной поверхности потокъ течетъ то съ одной стороны, то съ другой. Это — *ложе выноса*, по терминологіи Сюрелля, или *конусъ выноса.* Размѣры конусовъ зависятъ отъ



Негат. О. Рава.

Потокъ Ріу Бурду.
Долина Юбэ, выше Барселоннетты (Нижніе Альпы).



Негат. Э. Ога.

Потокъ Реаллонъ (Верхніе Альпы).
Видъ отъ Савинъ.



Негат. Э. Ога.

Устьевой конусъ потока Савинъ (Верхніе Альпы)
(противъ предыдущаго).
Передній край отрѣзанъ Дюрансомъ.

размѣровъ потока; склоны его вверху круче, чѣмъ внизу и варьируютъ соотвѣтственно характеру обломковъ (таблица LVI).

Такимъ образомъ типичный и дѣятельный потокъ подраздѣляется на три части, и каждой изъ нихъ свойственъ особый рядъ явленій. Въ верховьи, т. е. въ сборномъ бассейнѣ преобладаетъ *уносъ* матеріала, независимо отъ того, обусловленъ ли онъ смывающей работой дождевой воды, или вырываніемъ руслъ текучей водой, или оползнями. Въ средней части или въ каналѣ истеченія совершается *переносъ* матеріаловъ; потокъ здѣсь не углубляетъ русла и не отлагаетъ наносовъ. Въ нижней части въ конусахъ выноса потокъ только отлагаетъ; здѣсь происходитъ работа *намыва* (фиг. 161).

Когда всѣ три отдѣла выполняютъ свойственную имъ работу, то можно сказать, пользуясь терминологіей Сюрелля, что потокъ имѣетъ свой *профиль равновѣсія или кривую русла. Продольный профиль русла, начиная съ базиса эрозіи, представляетъ собой правильную кривую, которая обращена вогнутой стороной къ небу, которая становится касательной къ горизонту въ нижней своей части и круто поднимается къ верховью, такъ что становится почти касательной къ вертикальной линіи.* Таковъ второй законъ, также намѣченный Сюреллемъ и опредѣляющій условія работы текучей воды. Ж. де ла Ноё и Эм. де Маржери (7) провѣрили этотъ законъ экспериментальнымъ путемъ и кромѣ того доказали, что форма профиля не зависитъ отъ тяжести и величины уносимыхъ рѣкою матеріаловъ, а также и отъ характера дна, при условіи, конечно, достаточно продолжительнаго размывающаго дѣйствія воды, позволяющаго считать равновѣсіе установившимся.

Профиль равновѣсія, называемый Сюреллемъ также *предѣльнымъ склономъ*, является такимъ склономъ, по которому всего удобнѣе можетъ стекать вода, и уносить своимъ теченіемъ тѣ или другіе матеріалы. Состояніе равновѣсія достигается, какъ скоро сопротивленіе тренію со стороны ложа и береговъ потока уравновѣшивается силой текучей воды. Такое состояніе далеко не всегда достигается въ полной мѣрѣ всѣми потоками. Уже зачаточные потоки стремятся осуществить нормальную кривую склона. Въ типичныхъ потокахъ эти условія распространяются на всѣ три части (табл. LV, 2; LVI); но въ нихъ часто встрѣчаются переломы склона, и каналъ истеченія не всегда имѣетъ уклонъ, соотвѣтствующій условіямъ равновѣсія.

Если этотъ уклонъ больше, чѣмъ въ нормальной кривой, потокъ продолжаетъ углублять свое русло, пока равновѣсіе не будетъ достигнуто; конечно, это неизбѣжно сказывается на всѣхъ оврагахъ, питающихъ потокъ, такъ что сборный бассейнъ также увеличивается и врѣзывается дальше въ окружающіе склоны.

Равнымъ образомъ и измѣненія въ базисѣ эрозіи нарушаютъ установившееся равновѣсіе. Если этотъ базисъ понизится вслѣдствіе углубленія русла рѣки, въ которую впадаетъ потокъ, или если онъ отодвинется къ верховью вслѣдствіе размыва тою же рѣкою передняго края конуса выноса (табл. LVII, 2), углубленіе русла начнется съ новаго базиса эрозіи и, направляясь отъ низовьевъ вверхъ, станетъ распространяться на все теченіе потока, пока не будетъ возстановленъ нормальный профиль равновѣсія. Примѣромъ подобнаго явленія можетъ служить потокъ Савинъ, въ департаментѣ Верхнихъ Альпъ, гдѣ новый каналъ истеченія прорытъ въ древнемъ намывномъ конусѣ, на которомъ расположено селеніе.

Когда потокъ вполнѣ выработалъ свой профиль равновѣсія или, выражаясь словами Сюрелля, когда онъ достигъ своего *предѣльнаго склона*, то онъ приблизился къ концу своего дѣятельнаго существованія [1]).

Нѣкоторые потоки достигаютъ очень большихъ размѣровъ благодаря тому, что одинъ и тотъ же каналъ истеченія получаетъ воду изъ нѣсколькихъ потоковъ или изъ нѣсколькихъ сборныхъ бассейновъ. Эти потоки текутъ по настоящей долинѣ, а громадный конусъ выноса ихъ распространяется даже по дну канала истеченія, загроможденному наносами. Потоки Реаллонъ

---

[1]) Въ этомъ случаѣ при работахъ урегулированія потока очень опасно перемѣщать базисъ эрозіи; можно запруживать потокъ въ предѣлахъ конуса выноса, но не слѣдуетъ прорывать для него новаго русла. Самымъ вѣрнымъ средствомъ борьбы съ неожиданными разливами потока служитъ лѣсонасажденіе въ сборномъ бассейнѣ, которое задерживаетъ стокъ дождевой воды. Наоборотъ, вырубка лѣса на склонахъ можетъ вызвать образованіе новыхъ потоковъ. Когда потокъ еще не выработалъ свой профиль равновѣсія, лучше всего бориться съ его разрушительнымъ дѣйствіемъ, препятствуя ему углублять русло и воздвигая преграды въ его руслѣ. Сюрелль рекомендуетъ запруживать рѣки фашинами или палисадами съ плетнемъ изъ хвороста, а не дорого стоющими стѣнками, которыя могутъ быть подрыты и снесены. Къ сожалѣнію, не всегда слѣдуютъ этимъ совѣтамъ Сюрелля и при работахъ по регулированію потоковъ и лѣсонасажденію часто не считаются съ регрессивнымъ ходомъ эрозіи, производимой потоками.

(табл. LVII, 1) и Боскодонъ около города Амбрёнъ являются, безъ сомнѣнія, лучшими примѣрами этой категоріи „*сложныхъ потоковъ*“, которые Сюрелль называетъ *потоками первой категоріи*, противополагая ихъ *потокамъ второй категоріи*, которые „спускаются непосредственно съ водораздѣла по линіи наибольшаго наклона“. Послѣдніе являются нашими типичными потоками съ однимъ воронкообразнымъ сборнымъ бассейномъ. Сюрелль между прочимъ приводитъ слѣдующіе ихъ примѣры: Мердарель около Сэнъ-Крепенъ, потоки св. Марфы и Брамафанъ около Амбрёнъ и знаменитый Ріу Бурду около Барцеллонеты (табл. LVI). Сюрелль кромѣ того выдѣляетъ *третью категорію потоковъ*; это—наши зачаточные потоки, которые не имѣютъ сборнаго бассейна, а непосредственно стекаютъ со склоновъ горъ. Въ качествѣ примѣра онъ указываетъ Сэнъ-Совэръ противъ Амбрёна (табл. LV, 1), де ла Рошеттъ около Гапъ и Комбъ около Пюи-Сэнъ-Эзебъ всѣ—въ департаментѣ Верхнихъ Альпъ.

Въ Валисѣ имѣются столь же замѣчательные примѣры всѣхъ трехъ „категорій“ потоковъ, но породы по которымъ они здѣсь протекаютъ не такъ однородны, какъ въ горахъ Амбрюнэ и Юбэ, такъ что на морфологическій характеръ ихъ вліяютъ и другіе факторы.

Отдѣлы теченія рѣки.—Между тремя категоріями потоковъ, конечно, существуетъ рядъ промежуточныхъ видовъ; точно также нѣтъ рѣзкой границы между сложными потоками первой категоріи и горными рѣками, и между послѣдними и рѣками въ собственномъ смыслѣ слова. „И дѣйствительно“, пишетъ Сюрелль (3, стр. 21), „вода течетъ по руслу потока, слѣдуя тѣмъ же самымъ законамъ, что и вода въ самыхъ большихъ рѣкахъ. Кривая паденія потока получается при тѣхъ же условіяхъ, какъ и кривая паденія рѣчки или рѣки съ тою лишь разницей, что въ послѣднемъ случаѣ увеличенъ горизонтальный масштабъ, а вертикальный остался безъ измѣненія. Здѣсь измѣнено отношеніе абсциссы къ ординатѣ, но характерныя свойства кривой остались неизмѣнными. Такимъ образомъ потоки не представляютъ явленій отличныхъ отъ тѣхъ, какія свойственны самымъ большимъ рѣкамъ, но представляютъ ихъ въ преувеличенномъ масштабѣ. Основная способность потоковъ углублять русло, переносить матеріалъ и отлагать его—характерна и для всѣхъ рѣкъ; но въ дѣятельности рѣкъ она менѣе очевидна, такъ какъ проявляется на болѣе обширномъ пространствѣ, въ

дѣятельности же потоковъ, проявляясь на сравнительно незначительномъ пространствѣ, она обнаруживается очень ясно.

Въ виду этого теперь намъ остается только приложить къ рѣкамъ законы, выведенные при наблюденіяхъ надъ потоками.

Какъ и русло потока, русло рѣки подраздѣляется на три отдѣла верхній, гдѣ преимущественно сосредоточена работа уноса матеріала; средній, гдѣ переносъ преобладаетъ надъ уносомъ и отложеніемъ осадковъ; и нижній, гдѣ преобладаютъ явленія отложенія и образуются наносы (6).

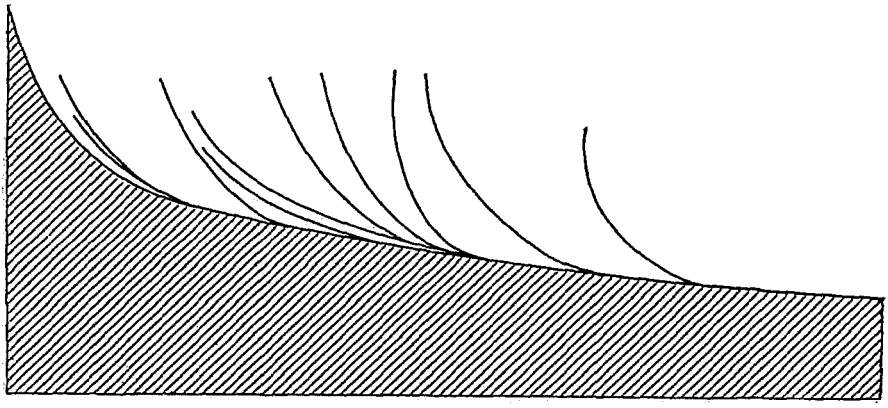
Верхній отдѣлъ рѣки по своему характеру соотвѣтствуетъ потоку и, дѣйствительно, состоитъ изъ многочисленныхъ потоковъ, которые впадаютъ въ главную долину. Углубленіе дна идетъ здѣсь очень интенсивно вслѣдствіе сильнаго наклона поверхности.

Средній отдѣлъ обыкновенно находится въ долинѣ съ плоскимъ дномъ, сравнительно широкой и образовавшейся въ предшествующую эпоху. Рѣка блуждаетъ по этой долинѣ, т. е. ея ложе то подходитъ къ одной сторонѣ долины, то къ другой. Крупные обломки переносятся здѣсь быстро, по крайней мѣрѣ, во время разливовъ рѣки, ихъ углы скругляются вслѣдствіе взаимнаго тренія, и они превращаются въ гальки, которыя во время низкой воды загромождаютъ русло. Во время же разлива гальки перемѣщаются массами, какъ будто подъ водяною рѣкой существуетъ другая рѣка—каменная. Такъ какъ дно рѣки здѣсь плоско, то поперечный разрѣзъ долины имѣетъ форму U, тогда какъ въ верхнемъ отдѣлѣ, гдѣ дѣйствуетъ только сила текучей воды, преобладаютъ профиля, имѣющіе видъ V.

Въ нижней части рѣка течетъ по настолько пологому склону, что не можетъ увлекать съ собой крупныхъ обломковъ; они отлагаются на днѣ, образуя пластъ гравія, все болѣе и болѣе мелкаго по мѣрѣ приближенія къ устью. Самыя тонкія частицы, которыя находятся въ водѣ взвѣшенными, уносятся въ море въ особенно большомъ количествѣ во время разливовъ рѣки. Здѣсь рѣка имѣетъ очень ясно выраженную тенденцію развѣтвляться на многочисленные рукава, чѣмъ обусловливается появленіе острововъ. При устьѣ же часто образуется дельта, поразительно аналогичная съ конусомъ выноса потока.

Рѣки такъ же, какъ и потоки, стремятся установить профиль равновѣсія, который и здѣсь представляетъ вогнутую кривую съ указанными выше геометрическими признаками. Базисъ эрозіи рѣкъ находится въ ихъ устьѣ, т. е. на уровнѣ

моря. Базисы эрозіи притоковъ, выработавшихъ свои профиля равновѣсія, находятся въ мѣстахъ впаденія ихъ въ рѣку. Ниже этой границы они не могутъ углублять свои русла. Въ этомъ состояніи равновѣсія всего гидрографическаго бассейна осуществляется *согласованіе устьевъ*, и продольные профиля всѣхъ притоковъ являются касательными къ продольному профилю главной рѣки (фиг. 162); если предположить, что всѣ эти кривыя спроектированы на одну и ту же вертикальную плоскость, то кривая главнаго русла будетъ для нихъ объемлющей, какъ это доказалъ Пенкъ при изученіи рѣки Вѣны и ея притоковъ выше города Вѣны.

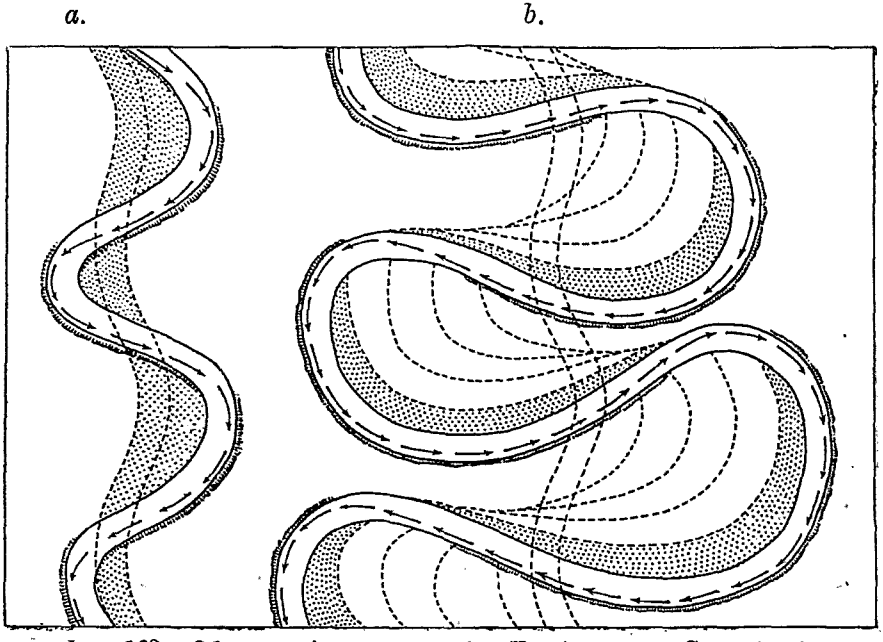


Фиг. 162.—Профиля равновѣсія потока и его притоковъ. Согласованіе устьевъ (по А. Пенку).

Рѣка выравниваетъ свое русло очень медленно, даже если ея профиль уже очень близокъ къ профилю равновѣсія, и особенно часто ей приходится уменьшать слишкомъ крутой склонъ въ среднемъ отдѣлѣ своего теченія. Если рѣка протекаетъ по узкому руслу, она достигаетъ этого тѣмъ что глубоко прорываетъ свое русло, начиная отъ низовья къ верховью; если же она течетъ по широкой долинѣ или равнинѣ, она бываетъ не въ состояніи преодолѣть препятствіе, оказываемое ея теченію матеріалами, образующими ложе, такъ что она, не углубляя русло, лишь удлиняетъ его, описывая рядъ излучинъ (11, стр. 311).

Эти излучины называются *меандрами*, а способъ ихъ образованія извѣстенъ уже съ давнихъ поръ. Во время разливовъ рѣка течетъ по *бо́льшему руслу* и отлагаетъ въ немъ свои наносы, въ которыхъ она затѣмъ, когда вода спадаетъ, прорѣзываетъ *меньшее ложе*, сначала почти неизвилистое. Въ сла-

бых изгибахъ теченіе, направляясь по прямому направленію къ берегу, встрѣчаетъ его подъ извѣстнымъ угломъ и подъ такимъ же угломъ отбрасывается и встрѣчаетъ противоположный берегъ, отъ котораго отклоняется по той же причинѣ (фиг. 163, *a*). Такимъ путемъ теченіе все время отклоняется отъ одного берега къ другому. Тамъ, гдѣ берегъ оказываетъ ему сопротивленіе, вода его подмываетъ и тѣмъ самымъ увеличиваетъ вогнутость. Наоборотъ, у берега, противоположнаго этому изгибу, она отлагаетъ аллювій и тѣмъ увеличиваетъ его выпук-

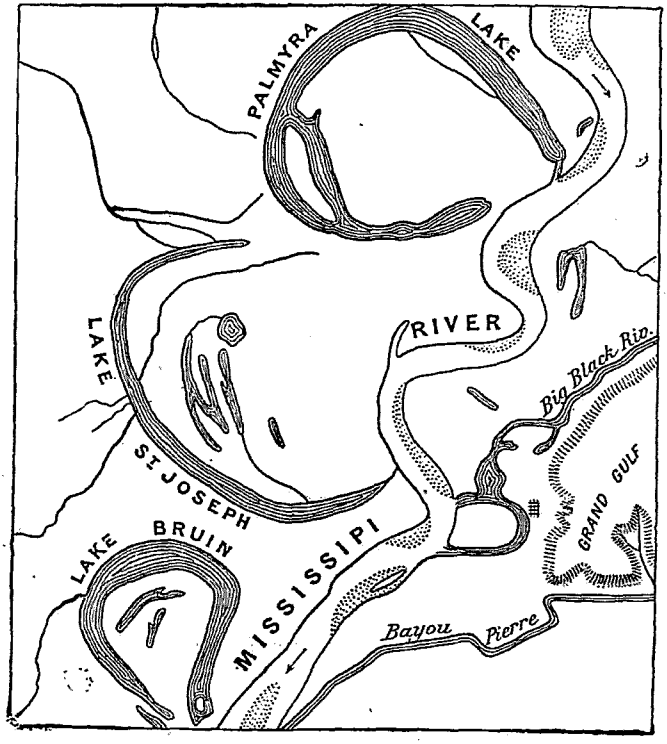


Фиг. 163.—Образованіе излучинъ (по Чемберлену и Солисбери).
a, начальныя стадіи; *b*, послѣдовательныя положенія въ болѣе позднихъ стадіяхъ.

лость (фиг. 163, *b*). Извилины все болѣе и болѣе увеличиваются, такъ что промежутки между отдѣльными *изгибами* все суживаются и въ концѣ концовъ сводятся на нѣтъ. Тогда рѣка изъ одной меандры можетъ непосредственно переливаться въ другую (фиг. 164), не заходя въ промежуточную извилину, которая превращается въ *заводь (старица—Altwasser)*, т. е. въ озеро или каналъ, куда заходитъ вода во время рѣчныхъ разливовъ. Въ то же время рѣка, укорачивая свое русло, увеличиваетъ свое паденіе и быстроту теченія, и получаетъ возможность углублять русло.

Три отдѣла рѣки съ ихъ характерными особенностями, которыя мы выше отмѣтили, далеко неодинаково развиты во всѣхъ

рѣкахъ. Когда же развитіе ихъ осуществляется приблизительно одинаково, то говорятъ, что рѣка достигла *зрѣлости*. В. Моррисъ Девисъ различаетъ (17) въ *жизненномъ циклѣ* рѣки рядъ стадій, которыя онъ болѣе или менѣе удачно сравниваетъ съ возрастами человѣческой жизни: дѣтствомъ, юностью, молодостью, зрѣлостью и старостью. Мы не будемъ воспроизводить здѣсь довольно подробно разработанную классификацію американскаго



Фиг. 164.—Старицы (ox—bows) Миссисипи превращенныя въ озера (по Н. С. Шелеру).

ученаго, такъ какъ точное опредѣленіе періодовъ жизни рѣки требуетъ такихъ свѣдѣній, которыя нами будутъ даны лишь на послѣдующихъ страницахъ. Если же ограничиться только тремя періодами, то ихъ нетрудно охарактеризовать, располагая уже имѣющимися у насъ знаніями.

Въ періодъ *юности* работа рѣки почти на всемъ ея протяженіи проявляется въ эродированіи дна: даже въ нижнемъ отдѣлѣ состояніе равновѣсія еще не достигнуто. Дюрансъ является хорошимъ примѣромъ рѣки въ этомъ періодѣ ея развитія.

Въ періодъ *зрѣлости* каждый отдѣлъ русла осуществляетъ

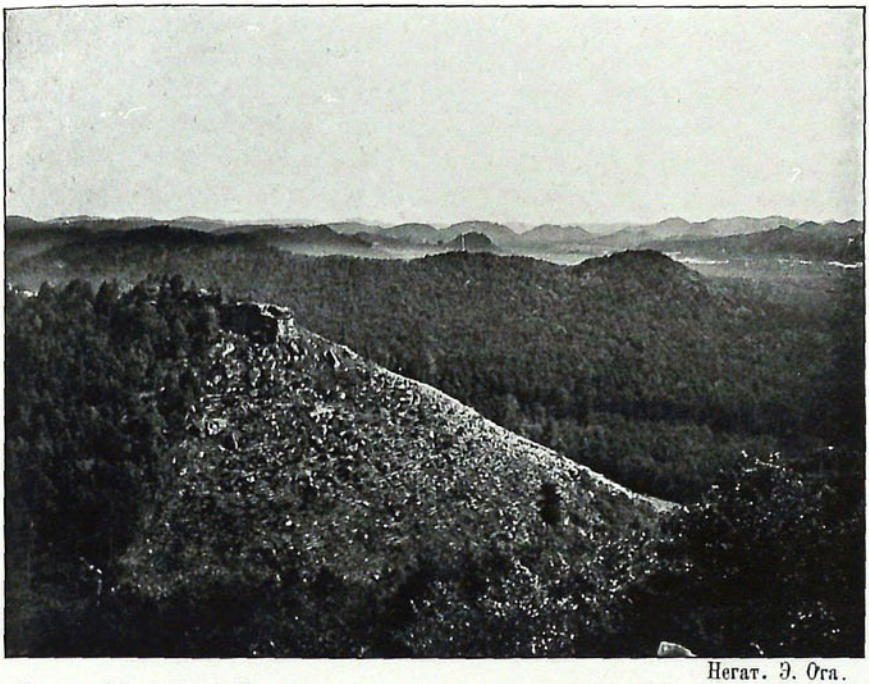
свойственную ему работу. Профиль равновѣсія достигнутъ во всѣхъ трехъ отдѣлахъ, но еще не вполнѣ въ верхнемъ отдѣлѣ. Луара болѣе или менѣе соотвѣтствуетъ второму періоду въ жизни рѣки.

Въ періодъ *старости* отложеніе аллювія захватываетъ и средній отдѣлъ, гдѣ рѣка, не имѣя силы выровнять склонъ путемъ углубленія русла, удлиняетъ свое теченіе, описывая меандры. Даже въ верхней части рѣка почти не эродируетъ, и переносимый матеріалъ доставляется, главнымъ образомъ, стекающей струями, дождевой водой. Профиль равновѣсія вполнѣ выработанъ, такъ какъ долины плоски, почти до самаго ихъ начала, гдѣ склонъ очень крутъ. Большая часть русскихъ рѣкъ подходитъ подъ эту характеристику, которая въ полномъ объемѣ приложима къ Миссиссипи.

Такимъ образомъ, три описанные періода въ жизни рѣки болѣе или менѣе близко соотвѣтствуютъ тремъ категоріямъ потоковъ, намѣченнымъ Сюреллемъ.

Денудирующая работа текучихъ водъ. Работа текучихъ водъ не ограничивается только вытачиваніемъ углубленій въ возвышенностяхъ земной коры и выработкой изъ нихъ рѣчныхъ долинъ; конечный результатъ этой работы выражается въ сглаживаніи этихъ возвышенностей или по крайней мѣрѣ въ превращеніи ихъ въ области съ слабымъ рельефомъ или въ такъ называемыя *пенеплены* (*предгольныя равнины*). Сейчасъ мы постараемся дать картину процесса, приводящую къ такимъ результатамъ.

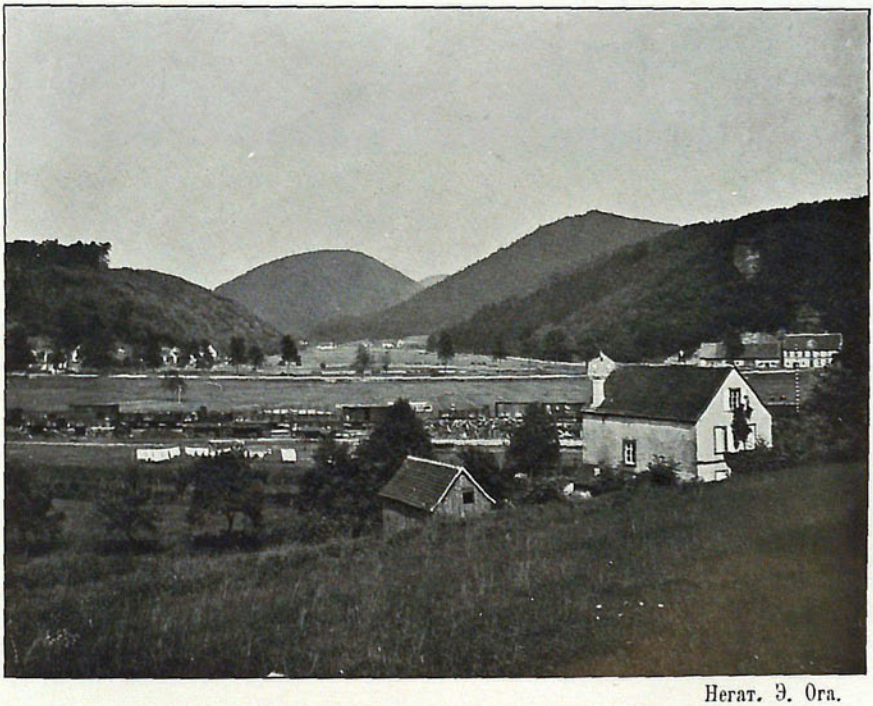
Предположимъ, что съ одного и того же водораздѣла текутъ двѣ рѣки въ противоположныхъ направленіяхъ и производятъ работу выравниванія своихъ руслъ отъ низовьевъ къ верховьямъ, т. е. къ одной и той же точкѣ. Въ такомъ случаѣ часто происходитъ встрѣча или пересѣченіе двухъ профилей (фиг. 165). Бассейны обѣихъ рѣкъ будутъ тогда раздѣляться простымъ гребнемъ тѣмъ болѣе узкимъ, чѣмъ дно каждой долины будетъ ближе къ состоянію идеальнаго равновѣсія; участіе атмосферныхъ агентовъ постепенно уменьшитъ его вышину, и между долинами образуется *проходъ*, который будетъ все понижаться. Вслѣдствіе того, что къ такимъ же результатамъ приводитъ и работа другихъ рѣкъ, текущихъ по склонамъ горной гряды, послѣдняя въ концѣ концовъ окажется пересѣченной проходами и мало-по-малу превратится въ рядъ небольшихъ массивовъ,



Негат. Э. Ога.

Часть Нижнихъ Вогезъ, видъ отъ развалины фалькенштейна, близъ Нидербронна (Эльзасъ).

Плато изрѣзанное на отдѣльные холмы приближающіеся къ стадіи предѣльной равнины.

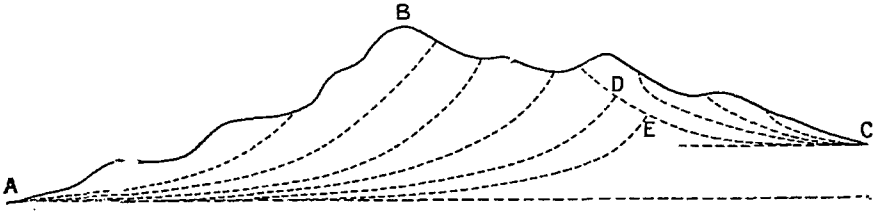


Негат. Э. Ога.

Плоскодонныя долины Нижнихъ Вогезъ, сообщающіяся между собою очень низкими перевалами.

Филиппсбургъ (Лотарингія).

расположенныхъ другъ возлѣ друга. Притоки рѣкъ также будутъ стремиться установить сообщеніе между сосѣдними долинами одного и того же склона. Когда же всѣ рѣки выработаютъ свои профиля равновѣсія, проходы сдѣлаются очень низкими, такъ что вся горная гряда превратится въ плато, служащее базисомъ эрозіи всѣхъ рѣкъ; тамъ и сямъ будутъ возвышаются на немъ отдѣльно стоящіе холмы, между которыми будутъ свободные проходы изъ одной долины въ другую. Подобный характеръ рельефа почти выработался, напр., въ Нижнихъ Вогезахъ, гдѣ текучія воды, дѣятельно работая въ непрочныхъ породахъ, размыли невысокій куполъ изъ вогезскаго песчаника на рядъ небольшихъ холмиковъ, напоминающихъ мѣстность разрытую кротами (табл. LVIII, 1). Широкія долины съ плоскимъ дномъ (табл. LVIII, 2) имѣютъ въ верховьяхъ довольно



Фиг. 165.—Захватъ потока CED, базисъ эрозіи котораго находится въ C, другимъ потокомъ AE, имѣющимъ болѣе низкій базисъ эрозіи въ A (по A. де Ляпparану).

крутые склоны или сообщаются между собою черезъ невысокіе водораздѣлы.

Эти отдѣльные холмы, конечно, также подвергаются разрушающему дѣйствію текучихъ водъ и атмосферныхъ агентовъ; они еще больше изрѣзываются и замѣтно уменьшаются въ вышинѣ. Продукты ихъ разрушенія скопляются въ долинахъ, такъ какъ рѣки своимъ теченіемъ уже не въ состояніи уносить ихъ.

Такимъ образомъ, на ряду съ уменьшеніемъ возвышенностей идетъ заполненіе углубленій и гористая мѣстность превращается въ волнообразную поверхность, которая имѣетъ видъ почти равнины, или въ *пенеплену*, пользуясь терминомъ введеннымъ В. М. Девисомъ (16,17) [1]). Такова дальнѣйшая судьба всѣхъ горныхъ массивовъ, но, какъ мы увидимъ ниже, обновленіе гидрографической сѣти можетъ снова придать мѣстности гористый рельефъ.

---

[1]) Этотъ терминъ впервые появился въ статьѣ В. М. Девиса, напечатанной въ 1889 г. (Amer. Journ. of Sc. 3d ser. vol XXXVII, p. 430). Лишь позднѣе были указаны слѣдствія, вытекающія изъ этого новаго понятія.

Текучія воды являются главнѣйшимъ факторомъ *денудаціи*, т. е. постепеннаго сноса верхнихъ слоевъ земной коры (18). Конечно, участіе въ этомъ явленіи и атмосферныхъ агентовъ не подлежитъ сомнѣнію: часто, напр., они являются причиной отступанія крутыхъ береговъ, ведущаго къ расширенію долинъ и постепенному разрушенію находящихся между ними возвышенностей. Отдѣльные холмики, почему-либо избѣжавшіе разрушенія, называются *холмами—свидѣтелями* или просто *свидѣтелями* [1]), такъ какъ они являются лучшимъ указателемъ распространенія того или иного слоя, теперь уже совершенно исчезнувшаго (19).

Перемѣщеніе водораздѣловъ и захватъ сосѣднихъ бассейновъ.—Предположимъ, что оба склона горной гряды имѣютъ одинаковый уголъ наклона и находятся въ одинаковыхъ климатическихъ условіяхъ, и что базисъ эрозіи рѣкъ, текущихъ по обоимъ склонамъ, отстоитъ на равномъ разстояніи отъ вершины; въ такомъ случаѣ рѣки будутъ работать одинаково интенсивно на обоихъ склонахъ, профиля равновѣсія по ту и другую сторону будутъ симметричны, и вершина гряды сдѣлается тогда линіей *водораздѣла*.

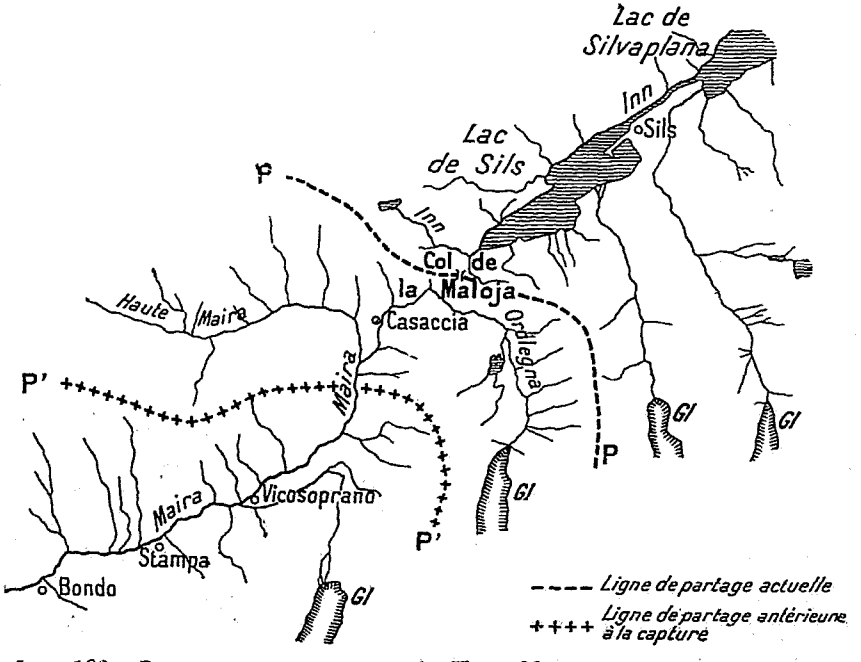
Но представимъ себѣ другой случай, когда одинъ склонъ круче другого, и базисъ эрозіи текущихъ съ этой стороны рѣкъ ближе къ вершинѣ; эти рѣки путемъ регрессивной эрозіи гораздо быстрѣе, чѣмъ рѣки противоположнаго склона достигнутъ вершины возвышенности. Подобный порядокъ вещей наблюдается по даннымъ Г. Фабра (20) на обоихъ склонахъ плато Маржеридъ въ Севеннахъ, гдѣ, благодаря близости къ морю склона со стороны Роны (200 км.), притоки рѣки Ардешъ гораздо скорѣе эродируютъ этотъ склонъ, чѣмъ притоки Гаронны на Атлантическомъ склонѣ того же плато, такъ какъ ихъ базисъ эрозіи лежитъ гораздо дальше (болѣе 1000 км.). Рѣки ронскаго склона имѣютъ очень ясно выраженную тенденцію перемѣщать свои верховья дальше на западъ, такъ что онѣ захватываютъ своими верховьями такія части плато, которыя раньше принадлежали рѣкамъ бассейна Гаронны. Такимъ образомъ здѣсь наблюдается настоящее *перемѣщеніе линіи водораздѣла*.

Въ только что приведенномъ примѣрѣ долины обоихъ скло-

---

[1]) Намъ кажется всего удобнѣе называть ихъ *останцами*. *Прим. ред.*

новъ все же раздѣляются между собой плоскогоріемъ, которое лишь по краямъ было изрѣзано регрессивной эрозіей, такъ что хотя профиля равновѣсія рѣкъ обоихъ склоновъ и стремятся приблизиться другъ къ другу, но все же еще не сошлись вмѣстѣ. Если же базисъ эрозіи рѣкъ одного склона лежитъ ниже базиса эрозіи рѣкъ другого склона, то профиля равновѣсія встрѣтятся, но тѣмъ не менѣе перемѣщеніе водораздѣла будетъ продолжаться при чемъ увеличивать свои бассейны будутъ тѣ рѣки, базисъ эрозіи которыхъ лежитъ ниже (фиг. 165). Это и называется *захватомъ* сосѣдняго бассейна; иногда говорится также, что одна изъ рѣкъ *обезглавила* другую.



Фиг. 166.—Захватъ верхняго теченія Инна Майрой на перевалѣ Малойя (по А. Гейму).

PP—нынѣшній водораздѣлъ, P'P'—прежній водораздѣлъ (до захвата).

Однимъ изъ самыхъ замѣчательныхъ примѣровъ подобнаго явленія служитъ долина верховьевъ Инна и Майры въ окрестностяхъ перевала Малойи (фиг. 166).

Поднимаясь по широкой долинѣ Верхняго Энгадина, гдѣ находятся истоки Инна, достигаютъ сначала озеръ Сенъ-Морицъ, Сильваплана, а еще далѣе Сильсъ, и ожидаютъ увидѣть за ними амфитеатръ горъ, съ которыхъ стекаютъ потоки образующіе своимъ сліяніемъ Иннъ. Но вмѣсто этого долина неожиданно оканчивается тотчасъ выше озера Сильсъ позади

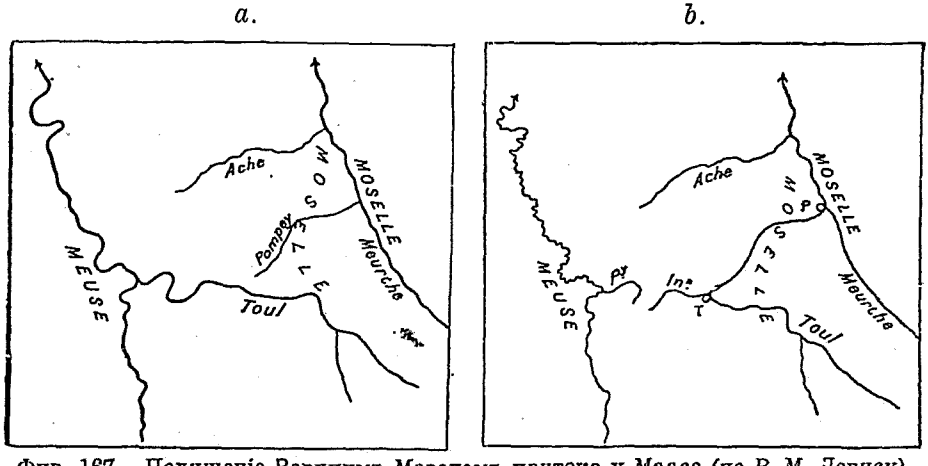
отелей Малойи и крутымъ, но низкимъ гребнемъ отдѣляется отъ долины рѣки Майры, которая течетъ въ сторону, противоположную Инну, и впадаетъ въ Адріатическое море. Ни одна болѣе или менѣе значительная рѣка не впадаетъ въ Сильсъ, а Иннъ имѣетъ здѣсь видъ небольшого ручейка. Геймъ такъ объясняетъ это любопытное явленіе (21): по его мнѣнію Энгадинъ представляетъ собою долину, обезглавленную Майрой; Майра же образовалась изъ сліянія трехъ рѣчекъ: Верхней Майры, Орденьи и Альбиньи, которыя сначала текутъ къ востоку и сѣверу, какъ бы направляясь въ озеро Сильсъ, но, недостигнувъ его, внезапно измѣняютъ свое направленіе. Несомнѣнно, что раньше эти рѣки впадали въ озеро Сильсъ, а водораздѣлъ рѣкъ, текущихъ въ Чернсе и Адріатическое море, находился не у Молойи, а около Впкосопрано (фиг. 166, P′P′). Майра вслѣдствіе большой крутизны склона, эродировала сильнѣе Инна, и постепенно прорѣзывала гребень, раздѣлявшій ихъ бассейны; подвигаясь вверхъ, она завладѣла тремя рѣчками, прежде впадавшими въ озеро Сильсъ, и обезглавила Верхній Энгадинъ.

В. Киліанъ констатировалъ совершенно аналогичный захватъ верховьевъ рѣки Дюранса въ ущельи Монъ-Женевръ рѣкой Дора-Рипарія. Неоспоримымъ доказательствомъ этого явленія служитъ присутствіе въ древнемъ аллювіи Дюранса окатанныхъ галекъ изъ породъ итальянскаго склона.

Гораздо въ большихъ размѣрахъ это явленіе—перемѣщенія водораздѣла и похищенія—происходили и теперь еще происходятъ въ Кордильерахъ, при чемъ Тихоокеанскій склонъ стоитъ въ болѣе выгодныхъ условіяхъ. Это явленіе послужило даже причиной серьезныхъ осложненій, происходившихъ въ продолженіе болѣе десяти лѣтъ между Чили и Аргентинской республикой, при чемъ при разрѣшеніи конфликта третейскимъ судомъ была принята во вниманіе особенность даннаго географическаго положенія.

Борьба рѣкъ не ограничивается только захватомъ области верховьевъ одной рѣки другой рѣкой, но распространяется и на притоки, которые онѣ отвоевываютъ другъ у друга. Хорошимъ примѣромъ можетъ послужить рѣка Маасъ, которая была изслѣдована съ этой точки зрѣнія американскимъ географомъ В. М. Девисомъ (22). Въ настоящее время эта рѣка какъ бы зажата между широко развитыми развѣтвленіями бассейновъ Сены и Мозеля и лишена притоковъ, которые, по мнѣнію Девиса, были отняты ея сосѣдями. Такъ Сена черезъ посредство Эны захва-

тила Эръ, который нѣкогда впадалъ въ Баръ; Мозель нѣкогда впадалъ въ Маасъ около Паньи-Сюръ-Мезъ и затѣмъ сталъ притокомъ Мёрты и передалъ ей даже свое названіе (фиг. 167). Часть его теперешняго теченія между Туль и Помпеи представляетъ ничто иное какъ лѣвый притокъ прежней Мёрты-Мозеля, какимъ теперь является Ашъ. Благодаря бо́льшей своей силѣ этотъ притокъ могъ измѣнить все верхнее теченіе Мозеля выше Туль и создать современное направленіе русла, замѣчательное своимъ колѣнообразнымъ изгибомъ, который характеренъ для многихъ похищенныхъ рѣкъ, (*захватные изгибы*



Фиг. 167.—Похищеніе Верхнимъ Мозелемъ притока у Мааса (по В. М. Девису)

a, расположеніе рѣкъ до похищенія; *b*, современное расположеніе. In, Энгрессенъ; P, Помпей; Py, ручей Паньи; T, Туль.

Девиса). Отъ прежней рѣки впадавшей въ Маасъ сохранились лишь незначительныя рѣки, какъ Энгрессенъ и Паньи. Тамъ, гдѣ проходило прежнее русло Мозеля, теперь осталась изогнутая впадина съ глинистымъ дномъ, которая соотвѣтствуетъ прежней меандрѣ, но вода больше сюда не заходитъ. Это долина Валь де л'Анъ; ея происхожденіе было правильно объяснено многими учеными, начиная съ Боблей и кончая Вольгемутомъ (23), при чемъ Вольгемутъ предполагалъ, что Валь де л'Анъ была покинута Мозелемъ, вслѣдствіе сопротивленія глинистаго дна эродирующей силѣ рѣки, въ результатѣ котораго русло ея оказалось загроможденнымъ. Вверхъ отъ Паньи въ аллювіи Мааса встрѣчаются даже вогезскія гальки, которыя выше по теченію рѣки отсутствуютъ; ихъ могло сюда принести только древнее теченіе Мозеля.

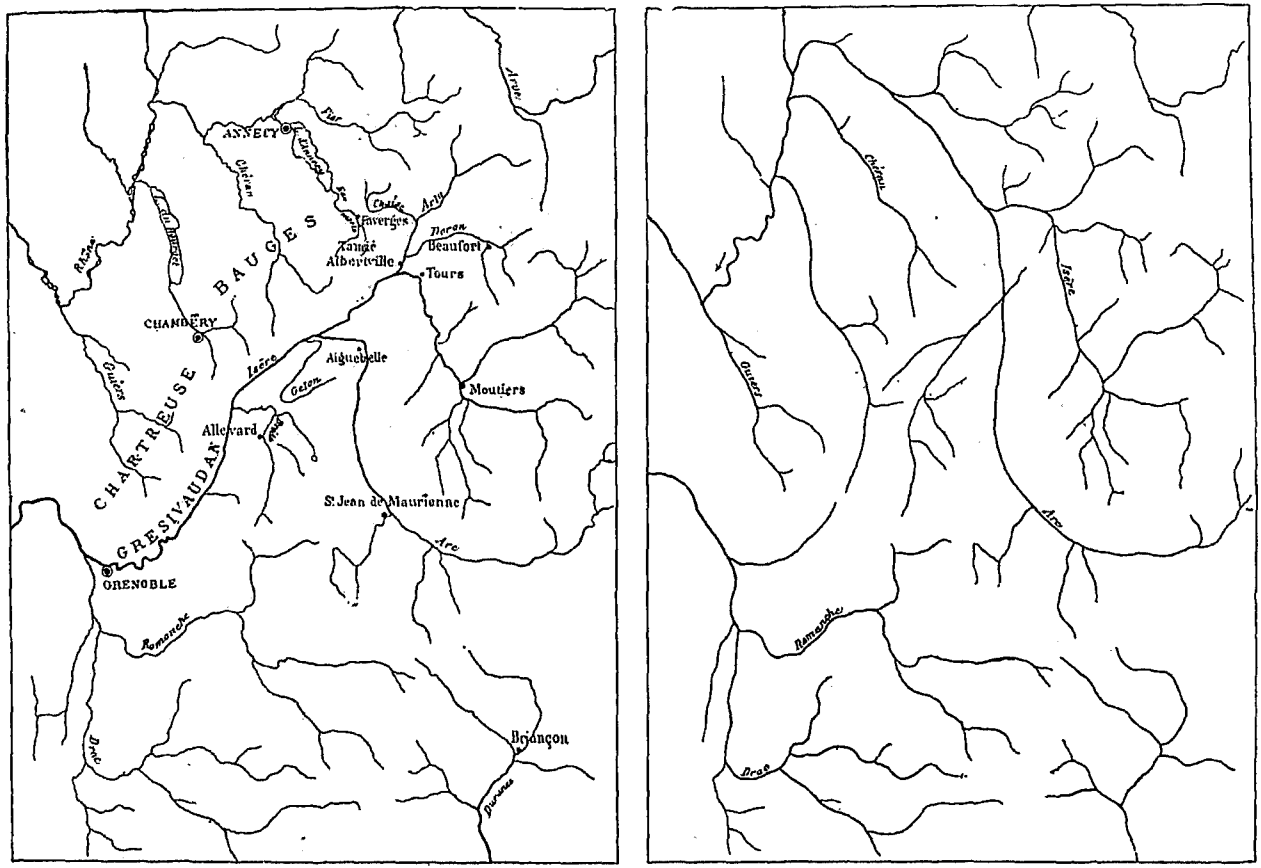
Валь де л'Анъ является типичной *сухой* или *мертвой долиной*, которая образуется тамъ, гдѣ рѣка, будучи похищена другой рѣкой, должна бываетъ оставить свою долину. Пожалуй, еще болѣе наглядным примѣромъ служитъ долина Фавержъ, описанная М. Люжономъ (24). Впадина озера Аннеси продолжается вверхъ въ видѣ широкой долины съ плоскимъ дномъ, по которой теперь протекаютъ двѣ маловодныя рѣки: Eau Morte (Мертвая Вода), впадающая въ озеро и носящая очень характерное названіе, и Шезъ, которая течетъ въ противоположномъ направленіи, какъ бы поднимаясь по долинѣ. Обѣ рѣки раздѣляются водораздѣломъ Фавержъ настолько незначительнымъ, что по нему можно незамѣтно перейти, изъ одного бассейна въ другой. Шезъ теперь впадаетъ въ Арли, которая соединяется съ р. Доронъ и вмѣстѣ съ ней впадаетъ въ Изеръ, въ томъ самомъ мѣстѣ, гдѣ послѣдняя, имѣвшая до этого направленіе съ Ю. В. на С. З., рѣзко мѣняетъ его и течетъ до самаго Гренобля въ направленіи съ С. В. на Ю. З. (фиг. 168). Люжонъ предполагаетъ, что, въ отдаленную эпоху, опредѣлить которую затруднительно, не только Арли Доронъ, Изеръ, но даже и Аркъ текли на сѣверъ по мертвой теперь долинѣ Фавержъ. Какая нибудь рѣка, энергично размывая юрскій мергель въ долинѣ Грезиводанъ, захватила эти рѣки и увлекла ихъ на югъ [1]), сокративъ такимъ образомъ ихъ путь до Роны, который прежде шелъ черезъ Фавержъ, озеро Аннеси и долину Фьеръ и былъ гораздо длиннѣе.

Дѣйствіе текучей воды на горныя породы различнаго состава.—До сихъ поръ въ нашихъ разсужденіяхъ мы предполагали, что текучая вода работала надъ рельефомъ однороднаго литологическаго состава или совсѣмъ не принимали во вниманіе природы поверхности земной коры. Теперь намъ и предстоитъ проанализировать тѣ или иныя измѣненія русла рѣки, которыя могутъ быть обусловлены этимъ факторомъ.

Разсмотримъ сначала работу рѣкъ въ мѣстностяхъ съ однороднымъ характеромъ поверхности и затѣмъ перейдемъ къ работѣ рѣкъ въ такихъ мѣстностяхъ, гдѣ поверхностные слои земной коры состоятъ изъ чередующихся слоевъ рыхлыхъ и твердыхъ породъ.

Обломочныя породы, состоящія изъ несцементированныхъ элементовъ, оказываютъ наименьшее сопротивленіе эродирующей

[1]) Быть можетъ нѣкоторое время Изеръ впадалъ въ Рону черезъ водораздѣлъ Шамбери, представляющій теперь тоже мертвую долину.



a. *b.*

Фиг. 168.—Похищеніе Верхняго Изера и Арка Дракомъ и Нижнимъ Изеромъ (по Морису Люжону).
a, современное положеніе; *b*, положеніе предшествовавшее похищенію.

силѣ рѣкъ. Одинаково легко размываются ею и скопленія вулканическихъ продуктовъ, и рѣчной аллювій, и отложенія моренъ и осыпей, и рѣка очень быстро достигаетъ профиля равновѣсія особенно, если къ этимъ грубымъ матеріаламъ примѣшиваются тонкіе элементы, болѣе или менѣе глинистые, которые нѣсколько задерживаютъ впитываніе воды въ породу и тѣмъ препятствуютъ уменьшенію количества воды. Русла, прорытыя въ такихъ породахъ, имѣютъ значительную ширину, такъ какъ вода подмываетъ берега и вызываетъ обвалы ихъ.

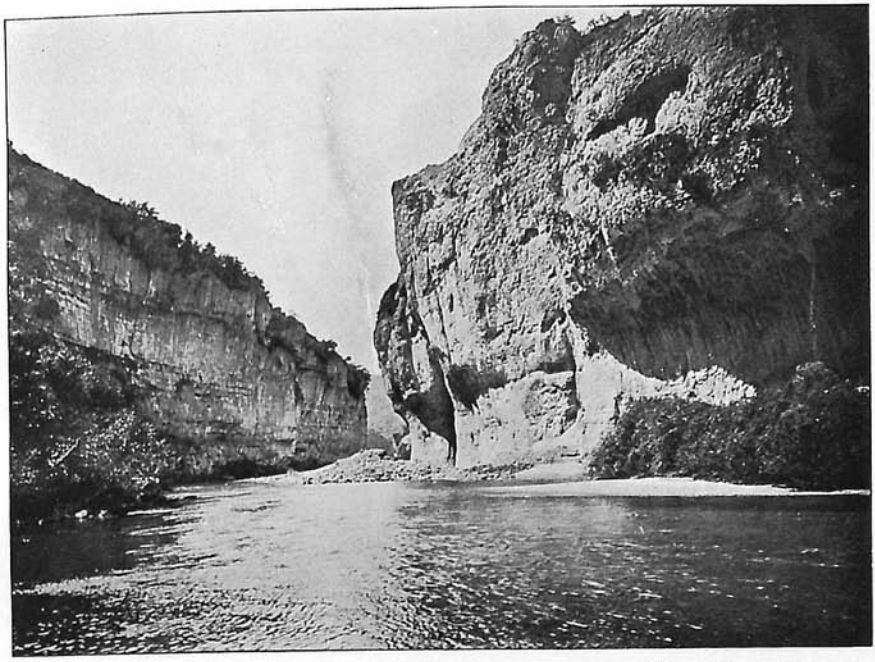
Въ пескахъ и пористыхъ песчаникахъ очень много воды уходитъ въ породу, вслѣдствіе чего рѣка эродируетъ медленно, но нормально. То же самое наблюдается и въ мѣловыхъ формаціяхъ, гдѣ образуются очень сырыя долины съ плоскимъ дномъ.

Напротивъ, въ глинистыхъ мѣстностяхъ, почти непроницаемыхъ для воды, такъ что дождевая вода стекаетъ въ видѣ многочисленныхъ и сильныхъ ручьевъ, долины узки и безконечно развѣтвляются. Поперечный разрѣзъ ихъ имѣетъ форму V такъ же, какъ и въ долинахъ прорытыхъ въ гранитныхъ породахъ.

Наконецъ, въ сильно растрескавшихся известнякахъ процессъ образованія долинъ носитъ совершенно особый характеръ. Вода, попадающая на ихъ поверхность, проникаетъ въ трещины и уходитъ въ подземныя галлереи; она тотчасъ же достигаетъ базиса эрозіи и течетъ подъ землею, появляясь на поверхность въ видѣ воклюзскихъ источниковъ. Своды подземныхъ галлерей часто обрушиваются, а остающіяся части ихъ образуютъ естественные мосты; обломки породы сначала загромождаютъ русло, а потомъ при разливахъ рѣки уносятся. Мало-по-малу плато оказывается изрѣзаннымъ ущельями съ отвѣсными стѣнами и съ плоскимъ дномъ, имѣющими въ поперечномъ разрѣзѣ форму U. Прекрасными примѣрами такихъ ущелій могутъ служить долины Тарна и Ардешъ (грав. LIX).

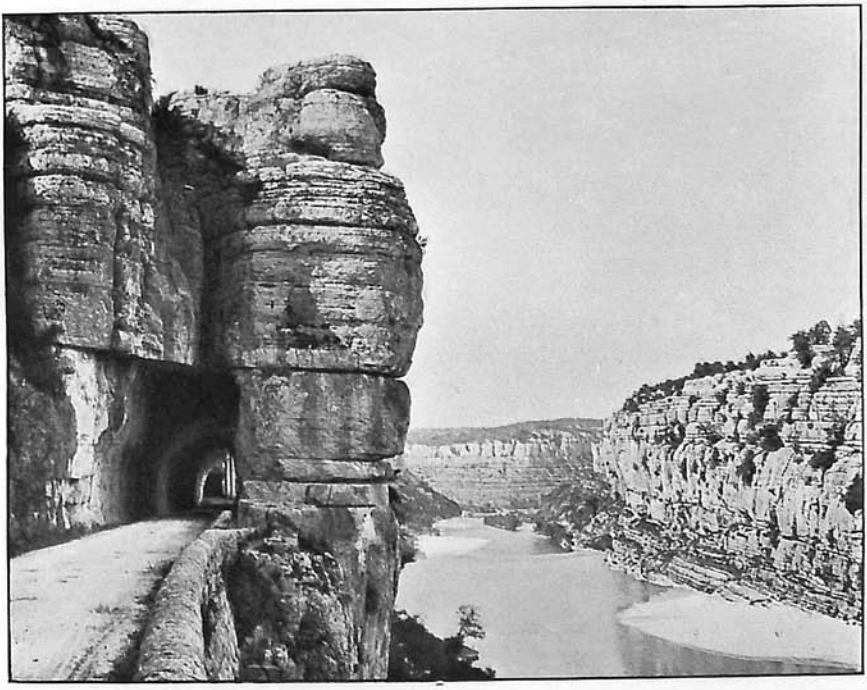
Въ компактныхъ же известнякахъ, въ песчаникахъ, лежащихъ мощными мало проницаемыми слоями, въ изверженныхъ компактныхъ породахъ, и иногда въ сланцахъ образуются очень узкія ущелья съ вертикальными и даже нависшими стѣнами (табл. LX), гдѣ эродирующая работа рѣки проявляется преимущественно въ водоворотахъ (см. выше, стр. 443), какъ напр., въ ущельи Perte du Rhône, въ ущельяхъ Вальсеринъ (табл. LIV), Фіеръ, Тріентскомъ, Тамина и др. (2,7).

Когда рѣки работаютъ надъ неодинаково сопротивляющимися

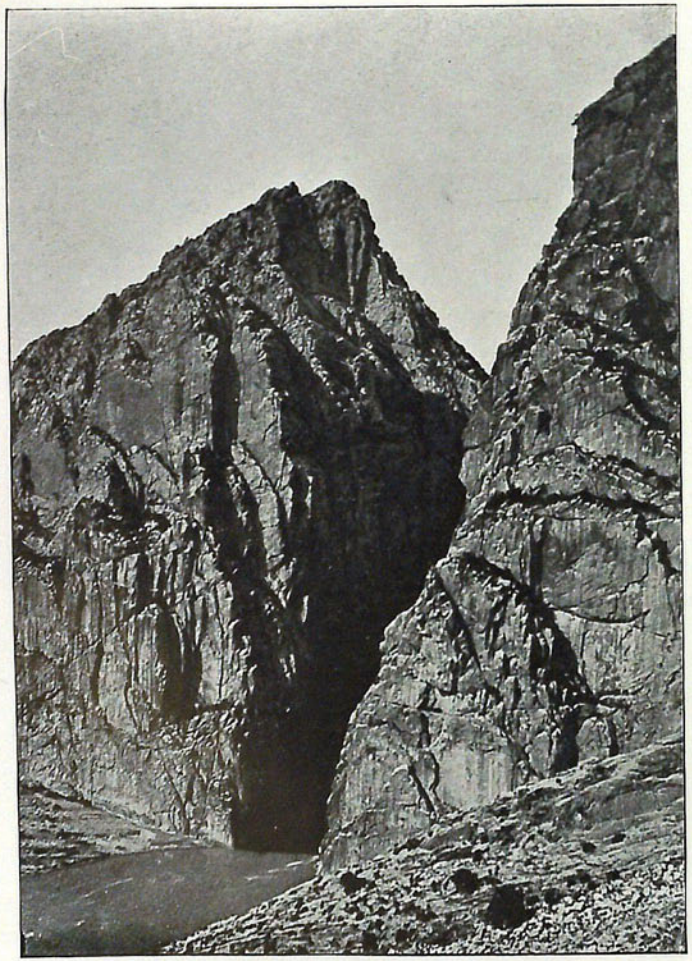


Негат. Е. А. Мартеля.

Ущелье Тарны.
Тѣснина.

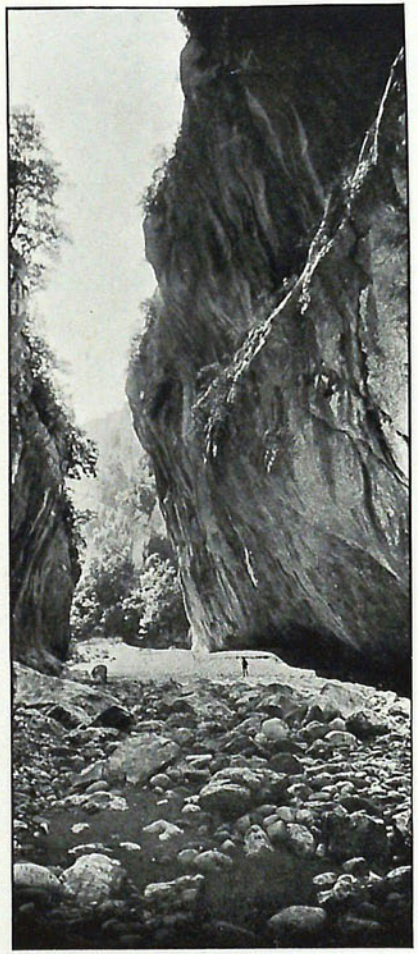


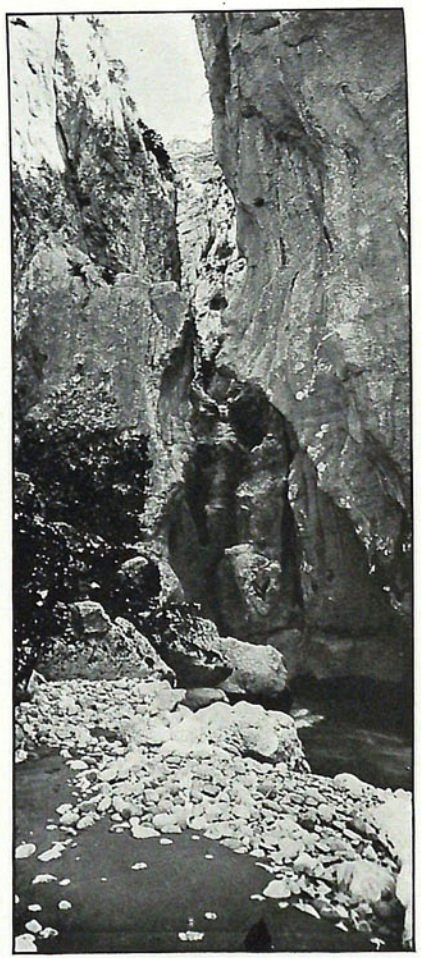
Ущелья Ардеша, близъ Рюома,
въ верхнеюрскихъ известнякахъ.



Негат. Андалузской экспедиціи.

Ущелья Гобантесъ (Андалузія),
вырытыя въ вертикальныхъ известнякахъ верхней юры.
(*Титона*).





Негат. Е. А. Мартеля.

Каньонъ Вердонъ (Нижніе Альпы),
вырытый въ горизонтальныхъ известнякахъ верхней юры.

слоями, чередующимися между собой, то болѣе твердые слои образуютъ выступы, и при горизонтальномъ положеніи слоевъ образуются ступенчатые профили. Въ продольномъ профилѣ твердые слои обусловливаютъ нарушеніе непрерывности склона и вызываютъ образованіе водопадовъ, постепенно отступающихъ къ верховью, такъ какъ рыхлые слои, находящіеся подъ твердыми въ основаніи водопада, размываются, и твердые слои лишенные опоры обваливаются. Ніагара является классическимъ примѣромъ отступающаго водопада. Здѣсь рѣка уже прорыла вверхъ отъ озера Онтаріо ущелье болѣе 11 км. длины, по всей длинѣ котораго наблюдается мощный пластъ твердаго известняка, покоющагося на сланцахъ. Паденіе воды обусловлено присутствіемъ этого твердаго известковаго пласта. Такъ какъ водопадъ ежегодно отступалъ приблизительно на 1 м. 30 см., то можно заключить, что на прорытіе ущелья потребовалось приблизительно 8500 лѣтъ.

Потоки изверженныхъ породъ могутъ явиться такимъ же препятствіемъ при установленіи профиля равновѣсія, какъ и болѣе прочные слои въ горизонтально лежащей серіи осадочныхъ слоевъ. Поэтому рѣки, текущія въ области развитія базальтовъ, часто образуютъ водопады въ мѣстахъ пересѣченія потоковъ лавы.

Каждое изъ этихъ препятствій является временнымъ базисомъ эрозіи для части рѣки, идущей отъ него вверхъ.

Рѣки разрѣзаютъ мѣстности съ неодинаково прочными горизонтально лежащими слоями на столовыя плоскогорія, которыя американскіе геологи называютъ *мэзами* (*mesas*). Базальтовое плато Куаронъ (табл. XXVIII, 2) въ Виварэ является лучшимъ во Франціи примѣромъ такого спеціальнаго топографическаго типа.

Дѣйствіе текучихъ водъ въ складчатыхъ областяхъ.—Дѣйствіе текучихъ водъ на складчатую область, состоящую изъ болѣе или менѣе однородныхъ слоевъ значительной мощности, какъ напр., сланцевыя серіи геосинклиналей, приводитъ къ тѣмъ же результатамъ, что и работа ихъ надъ однородными горизонтально лежащими породами; при чередованіи же мягкихъ и твердыхъ слоевъ, мягкіе слои разрушаются текучей водой, а твердые выдаются выступами, какъ это наблюдается и въ горизонтальныхъ породахъ. Во всякомъ случаѣ намъ слѣдуетъ нѣсколько ближе познакомиться съ измѣненіями русла рѣки въ зависимости отъ дислокацій земной коры.

Протекая по просто наклоннымъ слоямъ, рѣки стремятся направить свое теченіе или по паденію слоевъ, или по линіямъ обнаженій. Въ первомъ случаѣ наклонъ рѣчного русла можетъ имѣть или одинаковое направленіе съ наклономъ слоевъ, и тогда направленіе рѣки называется *согласнымъ*, или противоположное, и тогда направленіе рѣки называется *несогласнымъ* [1]).

Согласно падающая рѣка вначалѣ обнаруживаетъ при продольномъ разрѣзѣ разрывы наклона въ мѣстахъ пересѣченія прочныхъ слоевъ, которые выдаются въ видѣ уступовъ, а промежуточные между ними части рѣки, или бьефы, имѣютъ почти горизонтальное положеніе; но водопады появляются здѣсь лишь какъ исключеніе, и рѣкѣ довольно быстро удается выровнять свой профиль. Къ этой категоріи относятся рѣки западной части Парижскаго бассейна.

Супротивныя рѣки при продольномъ разрѣзѣ обнаруживаютъ еще болѣе ломанный продольный профиль, такъ какъ твердые слои вызываютъ здѣсь образованіе водопадовъ, или пороговъ, и рѣка тратитъ гораздо больше времени на выработку кривой паденія.

Рѣка, текущая вдоль выхода слоя на поверхность, называется *послѣдующей* (*субсеквентной*) [2]). Большею частью она прорѣзываетъ русло въ рыхломъ слоѣ и протекаетъ по *моноклинальной* диссимметричной долинѣ, одинъ склонъ которой образованъ крутымъ обрѣзомъ одного изъ твердыхъ слоевъ, а другой пологимъ склономъ другого твердаго слоя, лежащаго ниже.

Притоки согласно падающихъ и супротивныхъ рѣкъ являются почти всегда, хотя бы въ части своего теченія, рѣками простирающимися.

Въ областяхъ, смятыхъ въ правильныя складки, какъ напр., Юра, гдѣ прямыя или косыя складки тянутся параллельно другъ другу на большомъ разстояніи, синклинали образуютъ долины, а антиклинали — горы. Главная рѣка течетъ обыкновенно по синклинальной впадинѣ, называемой *val*, куда и впадаютъ ея притоки; одни изъ нихъ слегка углубляютъ склоны антиклинальныхъ сводовъ и называются *ruz*, другіе пересѣкаютъ ихъ и образуютъ узкія поперечныя долины *клюзы*

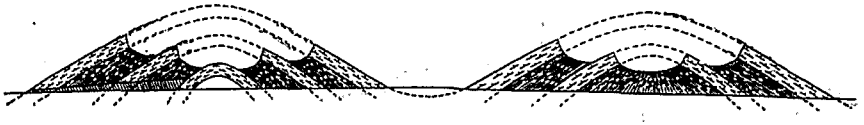
---

[1]) На русскомъ языкѣ болѣе удобно употреблять термины: рѣки согласно падающія и рѣки супротивныя. *Прим. ред.*

[2]) Такъ какъ эти рѣки текутъ по простиранію слоевъ, то терминъ „рѣки простирающіяся“ былъ бы для нихъ наиболѣе подходящимъ. *Прим. ред.*

(*cluses*). Въ клюзы впадаютъ въ свою очередь простирающіеся ручьи, текущіе параллельно къ осямъ антиклиналей, на границѣ между твердымъ и мягкимъ слоемъ и образующіе *комбы* (*combes*) (фиг. 169).

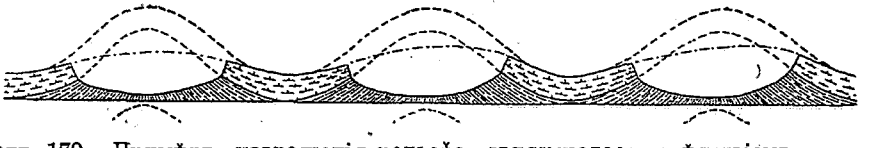
Въ нѣкоторыхъ областяхъ, напр., въ Божь и Діуа антиклинали были такъ глубоко размыты, что обнаружилось даже ихъ ядро; и если оно состоитъ изъ мягкихъ слоевъ, то главная рѣка прорываетъ въ немъ свое русло.



Фиг. 169.—Образованіе комбовъ и выступовъ твердыхъ пластовъ въ серіи простыхъ и правильныхъ складокъ (по О. Барре).

Правая часть фигуры показываетъ, что по оси антиклинали съ легко разрушаемымъ ядромъ могутъ образоваться антиклинальныя долины.

Въ синклиналяхъ же, наоборотъ, твердые слои сохраняются въ видѣ „останцовъ“, окруженныхъ крутыми обрывами. Средняя ихъ часть представляетъ высокую долину, изъ которой вода вырывается черезъ выемку въ скалистомъ боку долины и низвергается водопадомъ. Здѣсь, слѣдовательно, произошло *извращеніе рельефа*, такъ какъ синклинали занимаютъ болѣе высокія мѣста, чѣмъ антиклинали (фиг. 170).



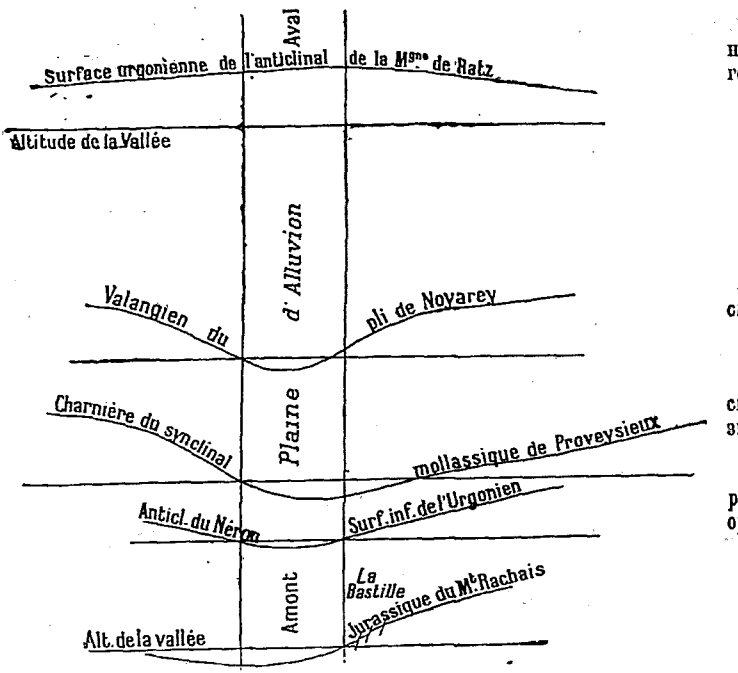
Фиг. 170.—Примѣръ извращенія рельефа, являющагося слѣдствіемъ сохраненія твердыхъ слоевъ на днѣ синклиналей и быстраго размыванія легко разрушаемыхъ ядеръ антиклиналей (по Г. де ля Ноэ и Е. де Маржери).

Высокія долины часто имѣютъ видъ эллиптическихъ бассейновъ и вполнѣ заслуживаютъ названіе синклинальныхъ котловинъ (табл. VIII, 1). Такіе останцы являются также характерной топографической особенностью Туниса; арабы называютъ ихъ „калаатами“ и „газаа“.

Въ Альпахъ встрѣчается очень много продольныхъ долинъ, по которымъ текутъ простирающіяся рѣки; затѣмъ эти рѣки покидаютъ середину горной цѣпи и переходятъ въ равнины, пересѣкая внѣшнія зоны складчатости *поперечными выходными долинами*, самыми замѣчательными примѣрами которыхъ яв-

ляются долина Роны, между Мартиньи и Женевскимъ озеромъ и долина Изера внизъ отъ Гренобля. Морисъ Люжонъ (26) подробно изслѣдовалъ такія поперечныя долины и пришелъ къ заключенію, что всѣ онѣ образовались вслѣдствіе опусканія оси складокъ по линіи, перпендикулярной къ ихъ направленію.

Рѣки, конечно, воспользовались этими пониженными мѣстами, чтобы пересѣчь внѣшнія горныя цѣпи и затѣмъ, выравнивая свое ложе, глубже прорыли свои русла (фиг. 171).



Оргонская поверхность антиклинали горы Рацъ.

Высота долины.

Валанжинскій ярусъ складки нуаяре.

Замбкъ молласовой синклинали Провейзьё.

Антиклиналь Неронъ Нижн. поверхн. оргонскаго яруса.

Юра горы Раше.

Фиг. 171.— Поперечное *синклинальное опусканіе складокъ прорѣзаемыхъ* Изеромъ (по Морису Люжону). Средняя полоса представляетъ аллювіальную равнину, внизу рисунка верховье, вверху—низовье.

Вертикальный масштабъ 1:100000, горизонтальный 1:200000.

Всѣ эти примѣры доказываютъ намъ направляющее значеніе складокъ на теченіе рѣкъ. Что же касается лежачихъ складокъ и шарріажныхъ покрововъ, напластованныхъ болѣе или менѣе горизонтально, то они вліяютъ на работу текучей воды, такъ же какъ и правильно лежащіе осадочные, слои горизонтальные или немного наклонные.

Сбросы также имѣютъ рѣшающее значеніе въ опредѣленіи направленія рѣкъ. Въ теченіе долгаго времени господствовало мнѣніе, что глубоко врѣзавшіяся поперечныя долины обязаны

своимъ происхожденіемъ трещинамъ земной коры, по которымъ въ силу наименьшаго сопротивленія направлялись рѣки. Гейму принадлежитъ заслуга опроверженіи этой теоріи: приводя цѣлый рядъ убѣдительныхъ примѣровъ, какъ напр., ущелье рѣки Рейсса и Віамаля, онъ доказалъ полную независимость образованія поперечныхъ долинъ отъ первоначальныхъ разломовъ коры (69). Однако несомнѣнно, что сбросы нерѣдко приводятъ въ соприкосновеніе твердые и мягкіе слои, чѣмъ и облегчается работа эрозіи вдоль дислокаціонной линіи особенно при наклонномъ положеніи слоевъ.

Впадины, окаймленныя параллельными сбросами, почти всегда становятся долинами, по которымъ текутъ большія рѣки. Достаточно указать на долины Рейна, отъ Базеля до Майнца, на обѣ Лимани, на долину Іордана и на большую сбросовую впадину восточной Африки.

Послѣдовательные циклы эрозіи и образованіе террасъ.—Намъ уже извѣстно, что меандры являются характерной чертой рѣкъ въ періодъ „старости“ и образуются въ той части теченія, гдѣ рѣки способны лишь къ боковой, а не къ глубинной эрозіи. Правда, встрѣчаются рѣки, меандры которыхъ сильно углублены, такъ что русло ихъ окаймлено высокими скалами, которыя часто переходятъ въ плато и слѣдуютъ за всѣми извилинами рѣки. Само собой очевидно, что если бы рѣка проложила свое русло по плато путемъ регрессивной эрозіи, начиная съ базиса эрозіи, то она прорыла бы далеко не столь извилистое ущелье, а меандры образовались бы уже позже въ тальвегѣ широкой долины и не врѣзались бы въ скалы. Форма меандръ доказываетъ намъ, что онѣ образовались на равнинѣ по которой блуждала рѣка, т. е. на поверхности плато.

Условія первоначальнаго наклона должны были измѣниться по причинѣ, о которой мы будемъ говорить ниже, и рѣка начавшая снова углублять свое русло, эродировала меандры вглубь и мало-по-малу углубилась въ свои берега, такъ что они приняли видъ отвѣсныхъ скалъ. Конечно, по мѣрѣ того какъ меандры углублялись, изгибы ихъ становились еще больше, такъ какъ рѣка продолжала подкапывать вогнутые берега и отлагать аллювій на выпуклостяхъ излучинъ.

Классическими примѣрами такихъ меандръ являются излучины Мааса и Мозеля, тамъ гдѣ эти рѣки пересѣкаютъ Арденскій массивъ.

Въ то время, когда эти рѣки прокладывали меандры на древней предѣльной равнинѣ, ихъ профиль равновѣсія былъ уже выработанъ. *Обновленіе* устарѣвшей гидрографической сѣти дало имъ возможность снова начать углублять свои русла, пока онѣ не выработали новыхъ профилей равновѣсія, опирающихся на болѣе низкій базисъ эрозіи. Поуэлль говоритъ, что эти рѣки древнѣе долины, по которой онѣ сейчасъ текутъ. Американскіе авторы называютъ ихъ *антецедентными* (*предшествующими*).

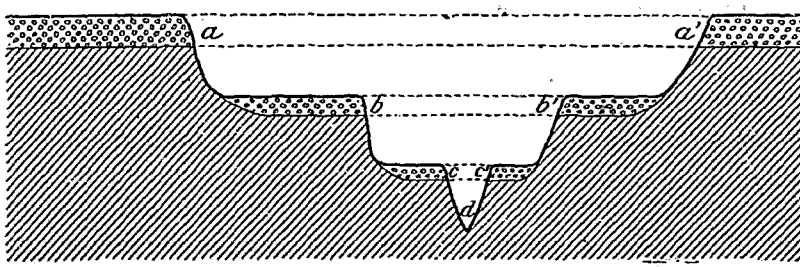
Направленіе русла большинства антецедентныхъ рѣкъ не зависитъ отъ тектоническихъ условій мѣстности, по которой онѣ протекаютъ. Онѣ перерѣзаютъ препятствія, встрѣчающіяся на ихъ пути, независимо отъ сопротивленія оказываемаго имъ горными породами и переходятъ изъ одной синклинали въ другую, прорѣзая раздѣляющую антиклиналь, состоящую изъ твердыхъ горныхъ породъ.

Бирсъ, протекающій черезъ Бернскую и Базельскую Юру, въ теченіе долгаго времени былъ въ этомъ отношеніи загадкой для ученыхъ. Но если мы предположимъ, что эти рѣки текли раньше по такой поверхности, гдѣ этихъ различій въ сопротивленіи не существовало и что ихъ русла постепенно углублялись, тогда затрудненіе легко устранится: рѣка углубляла свое русло, перерѣзая безразлично всякіе слои его образующіе и такимъ образомъ могли быть пропилены ущелья въ антиклиналяхъ изъ твердыхъ слоевъ. Такой способъ образованія поперечныхъ долинъ Рихтгофенъ назвалъ *эпигенніей*, а американскіе ученые называютъ подобныя рѣки *наложенными* (*surimposés*).

Иногда эпигеннія бываетъ обусловлена прежнимъ существованіемъ простирающихся долинъ. Рѣка въ то время, когда она достигла своего профиля равновѣсія, протекала по изоклинальной долинѣ на границѣ между мягкимъ и твердымъ слоемъ. Внезапно наступило обновленіе бассейна, и рѣка стала быстро углублять свое русло, не перемѣщая его; такимъ образомъ было было прорыто узкое ущелье въ подстилающихъ твердыхъ слояхъ, а мягкіе слои были постепенно снесены денудаціей. Подобное явленіе наблюдается въ ущельяхъ Ардешъ между Вогэ и Рюомъ; нѣкогда рѣка протекала по границѣ между юрскимъ известнякомъ и нижнемѣловыми мергелями; съ наступленіемъ новаго цикла эрозіи, рѣка глубоко врѣзалась въ известнякъ и теперь течетъ по ущелью, извилистый характеръ котораго долго не находилъ себѣ надлежащаго объясненія.

Обновленіе рѣкъ, достигшихъ періода старости, представляетъ собою распространенное явленіе, и въ одной и той же долинѣ можно нерѣдко наблюдать слѣды нѣсколькихъ цикловъ эрозіи.

На склонахъ долины можно часто видѣть нѣсколько уступовъ, соотвѣтствующихъ древнимъ русламъ рѣки; въ каждомъ изъ нихъ съ наступленіемъ новаго цикла эрозіи вырывалось новое русло рѣки (фиг. 172). Каждый уступъ можетъ быть покрытъ аллювіемъ, отложеннымъ рѣкою въ то время, когда на этой высотѣ находился тальвегъ ея долины. Русло каждаго новаго цикла прорыто въ аллювіи предшествующаго цикла, и часто даже углублено до болѣе низкаго уровня. Аллювіальные покровы, соотвѣтствующіе прежнимъ тальвегамъ, образуютъ нѣсколько



Фиг. 172.—Схематическій разрѣзъ системы трехъ вложенныхъ одна въ другую террасъ.

aa', верхняя самая древняя терраса; *bb'*, средняя терраса; *cc'*, нижняя самая новая терраса; *d*, нынѣшнее русло рѣки.

террасъ, какъ бы вложенныхъ одна въ другую, при чемъ наиболѣе древняя терраса находится вверху, а наиболѣе новая внизу. Такое *вкладываніе террасъ* одной въ въ другую было уже давно изучено Престичемъ.

Каждая терраса соотвѣтствуетъ извѣстной фазѣ отложенія аллювія, во время которой рѣка болѣе или менѣе выработала свой профиль равновѣсія. Каждое же новое углубленіе долины, падающее на промежутокъ между эпохами образованія двухъ террасъ, соотвѣтствуетъ обновленію рѣчного бассейна въ началѣ новаго цикла эрозіи.

На склонѣ одной и той же долины рѣдко наблюдается болѣе трехъ или четырехъ ярусовъ террасъ. Въ долинѣ Сены наблюдается очень высокій горизонтъ галечника, покрывающій плато; еще ниже находятся двѣ террасы, которымъ Бельгранъ далъ названіе „верхній уровень“ и „нижній уровень“. Мы еще остановимся на количествѣ, возрастѣ и способѣ образованія

террасъ большими европейскими рѣками, когда во второй части этого сочиненія перейдемъ къ изученію четвертичной эры. Сейчасъ же постараемся опредѣлить причины обновленія бассейновъ съ болѣе общей точки зрѣнія.

Если оставить въ сторонѣ измѣненія климата, могущія вызвать измѣненія въ количествѣ воды въ рѣкахъ, но не могущія вызвать обновленія рѣки, достаточнаго для углубленія меандръ, то приходится признать, что явленія, о которыхъ мы говоримъ, должны быть приписаны перемѣнамъ въ условіяхъ паденія рѣки. Въ попыткахъ объяснить эти явленія сталкиваются двѣ очень различныя теоріи; изъ которыхъ каждая имѣетъ своихъ сторонниковъ и, быть можетъ, обѣ соотвѣтствуютъ дѣйствительности въ отдѣльныхъ частныхъ случаяхъ.

Одна теорія развитая Поуэллемъ (12), Деттономъ (30) и Е. Титце (29) предполагаетъ, что начало обновленія лежитъ въ верховьи рѣки или по крайней мѣрѣ въ той ея части, гдѣ началась новая стадія эрозіи. Другая теорія, защищаемая Пенкомъ (33, Ловлемъ (31) и генераломъ де Ламотъ (35,36) ищетъ причину явленія въ измѣненіяхъ въ области устьевъ рѣки.

Согласно первой гипотезѣ, мѣстность, по которой протекала рѣка, подверглась поднятію послѣ того какъ установился профиль равновѣсія: обновленіе рѣки было, слѣдовательно, вызвано увеличеніемъ крутизны паденія, и, по мѣрѣ поднятія массива, рѣка постепенно углубляла свое русло. Генералъ Бурденъ вполнѣ правильно сравниваетъ это явленіе „съ работой пилы, перепиливающей балку, которую особымъ механизмомъ подводятъ подъ пилу и приподнимаютъ по обѣимъ сторонамъ лезвія по мѣрѣ того, какъ оно врѣзывается въ дерево“.

Мы увидимъ ниже, что подобныя массовыя поднятія представляютъ обычное явленіе въ исторіи горныхъ цѣпей. Безъ допущенія поднятій трудно объяснить происхожденіе глубоко прорѣзанныхъ ущелій съ отвѣсными краями, каковы, напр., Большой каньонъ Колорадо въ Аризонѣ, гдѣ рѣка сначала течетъ по равнинѣ, затѣмъ глубоко врѣзывается въ массивъ и, пересѣкая его, выходитъ съ противоположной стороны.

Другая гипотеза видитъ причину обновленія въ перемѣнахъ базиса эрозіи. Если уровень моря опускается, или что то же масса континента повышается, базисъ эрозіи оказывается гораздо ниже, чѣмъ онъ былъ въ предшествующій циклъ эрозіи. Рѣкѣ вновь приходится выравнивать кривую паденія, снова эродируя

отъ устьевъ къ верховью, пока она не выработаетъ профиль равновѣсія, соотвѣтствующій новымъ условіямъ склона.

Если горная мѣстность поднимается, а базисъ эрозіи остается неподвижнымъ, то разница въ высотѣ террасъ уменьшается по мѣрѣ приближенія къ устью рѣки, и прежніе тальвеги сливаются, даже не достигнувъ базиса эрозіи, оставшагося неподвижнымъ. Ближе къ устью аллювіальные наносы уже не вложены болѣе одинъ въ другой, а болѣе новые отлагаются на болѣе древніе. Подобное явленіе, повидимому, наблюдается въ долинѣ Дюрансы.

Напротивъ, въ случаѣ опусканія базиса эрозіи, террасы сближаются по мѣрѣ приближенія къ верховьямъ, гдѣ ихъ уровни стремятся слиться въ одинъ общій. У устья же онѣ по ту и другую сторону соединяются съ древними пляжами, которые соотвѣтствуютъ послѣдовательнымъ положеніямъ уровня моря и служили для рѣки въ различные періоды базисами эрозіи. Террасы долины Иссера въ Алжирѣ, тщательно изслѣдованныя генераломъ де Ламотъ (35), вполнѣ соотвѣтствуютъ этимъ условіямъ.

Если же вся горная мѣстность не приподнимается а, наоборотъ, опускается, то отложеніе аллювія захватываетъ, поднимаясь все выше и выше по рѣкѣ, весь ея продольный профиль. Къ такимъ же результатамъ приводитъ и повышеніе базиса эрозіи. Если это движеніе будетъ продолжаться въ томъ же направленіи, безъ поворотовъ въ противоположную сторону, которые побуждали бы рѣку возобновлять эрозію, отложенія аллювія принимаютъ такіе размѣры, что рѣка потеряется въ своемъ собственномъ аллювіи, не будучи въ состояніи вслѣдствіе своего ничтожнаго паденія достигнуть моря. Такова, вѣроятно, причина *одряхленія* рѣкъ центральной Сахары.

Отложенія осадковъ. Намъ остается сказать еще нѣсколько словъ объ осадкахъ, отлагаемыхъ текучими водами. Мы можемъ наблюдать ихъ или въ выемкахъ, нарочно прорытыхъ человѣкомъ въ тальвегѣ долинъ, или на берегахъ современныхъ рѣкъ, или на обрывистыхъ краяхъ террасъ, или, наконецъ, въ древнихъ геологическихъ серіяхъ, гдѣ они обыкновенно встрѣчаются совмѣстно съ другими континентальными образованіями и вклиниваются въ отложенія морского происхожденія. Въ большинствѣ случаевъ это обломочныя отложенія; исключеніе представляютъ только осадки химическаго или органическаго происхож-

денія. Ихъ принято называть *аллювіемъ*; иногда ихъ также называютъ *дилювіемъ* особенно за предѣлами Франціи, но употребленіе этого термина неудобно тѣмъ, что съ нимъ связаны теоритическія идеи, уже давно отвергнутыя.

Аллювіальныя образованія по степени крупности обломковъ раздѣляются на *галечники* (сцементированный галечникъ называется *конгломератомъ*), *гравіи*, *пески и суглинки*. Это различіе размѣровъ аллювіальныхъ отложеній соотвѣтствуетъ различнымъ скоростямъ теченія отлагавшаго ихъ воднаго потока. Серія напластованныхъ слоевъ аллювія различной степени крупности показываетъ на періодическія измѣненія въ дебитѣ рѣки, на правильную послѣдовательность рѣчныхъ разливовъ и низкаго стоянія уровня. *Косое напластованіе* часто наблюдается въ аллювіальныхъ отложеніяхъ, но оно встрѣчается также и въ нѣкоторыхъ серіяхъ морского и эоловаго происхожденія. Большой наклонъ отдѣльныхъ слоевъ всегда является доказательствомъ работы текучей воды.

Что касается органическихъ остатковъ, находимыхъ въ аллювіи, то, кромѣ разныхъ рѣчныхъ моллюскъ (*Unio*, *Anodonta*, *Cyrena* и др.), это почти исключительно принесенные водою трупы животныхъ или нанесенные теченіемъ растительные остатки.

---

1. — Jean Brunhes. Les marmites du barrage de la Maigrauge *Bull. Soc. fribourgeoise des Sc. nat.*, VII, стр. 169—185, 7 фиг., 1899.

2. — Id. Le travail des eaux courantes: la tactique des tourbillons *Mém. de la Soc. fribourgeoise des Sc. Nat. Géol. et Géogr.*, II, fasc. 4, стр. 153-224, 14 фиг., 1902.

3. — Alexandre Surell. Étude sur les torrents des Hautes-Alpes. 1 vol. in-4⁰ 283 стр., 6 табл. Paris, 1841.

4. — Id. 2-e édition, avec une suite par Ernest Cézanne. 2 vol. in-8⁰ xv + 321 стр., 4 табл. и xvi + 386 стр. 12 фиг., Paris, 1870-1872.

5. James D. Dana. U. S. Exploring Expedition during the years 1838-1842, under the command of Charles Wilkes. X, Geology. 1 vol. in-4⁰, XII + 756 стр., фиг., атласъ in-folio, 21 табл. Philadelphia, 1849.

6. — Albert Heim. Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung. 1. Abschnitt V, Die Erscheinungen der Oberfläche, стр. 247-346. Basel 1878.

7. — G. de la Noë et Emm. de Margerie. Les formes du terrain. *Serv Géogr. de l'Armée.* 1 vol. in-4⁰, 105 стр., атласъ in-4⁰, 49 табл. Paris, 1888.

8. — A. A. Humphreys and H. L. Abbot. Report upon the Physics and Hydraulics of the Mississipi River. 1 vol. in-4⁰, 456+cxlvi стр., 20 табл. Philadelphia, 1861.

9. — J. Beete-Jukes. On the mode of formation of some of the river-valleys in the South of Ireland. *Quart. Journ. of the Geol. Soc.*, XVIII, стр. 378-403, табл. XIX, XX, 1862.

10. — L. Rütimeyer. Ueber Thal-und See-Bildung. Beiträge zum Verständniss der Oberfläche der Schweiz. 1 vol. in-4⁰ 95 стр. 1 табл. Basel. 1869.

11. — Dausse. Études relatives aux inondations et à l'endiguement des rivières. *Mém. prés. par divers savants à l'Acad. des Sc. de l'Inst. de France, Sc. mathém et phys.*, XX, стр. 287-507, 12 табл., 1872.

12. — J. W. Powell. On the physical features of the Valley of the Colorado. *Exploration of the Colorado River of the West and its Tributaries.* In-4⁰, стр. 149-244, фиг. 50-79. Washington, 1875.

13. — R. D. Oldham. On the law that governs the action of flowing streams. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, XLIV, стр. 733-739, 1888.

14. — Philippson. Ein Beitrag zur Erosionstheorie. *Peterm Mitt.*, XXXII, стр. 67-79, 12 фиг., 1886.

14. *bis* — Id Studien über Wasserscheiden. 1 br. in-8⁰, 163 стр. 42 фиг. Leipzig, 1886.

15. — A. Penck. Das Endziel der Erosion und Denudation. *Verh. d. VIII. Deutschen Geographentags zu Berlin* стр. 91-100, 1889.

16. — W. M. Davis. La pénéplaine. *Annales de Géogr.*, VIII, стр. 289-303, 385-404, 6 фиг. 1899.

17. — Id. Baselevel, Grade and Peneplaine. *The Journal of Geology*, X, стр 77-111, 1902.

18. W. Branco. Ein neuer Tertiär-Vulkan nahe bei Stuttgart, zugleich ein Beweis, dass sich die Alb einst bis zur Landeshauptstadt hinausdehnte. Universitätsprogramm, 68 стр. 1 карта, 2 фиг. Tübingen, 1892.

19. — Passarge. Ueber Rumpfflächen und Inselberge. *Zeitschr. d. D. geol, Ges*, LVI, Monatsber. стр. 193-215, 1904.

20. — G. Fabre. Compte-rendu de l'excursion du jeudi 21 septembre 1892 à Langogne. *Bull. Soc. Géol. Fr.* 3⁰ sér., XXI, стр. 620-625, 1894.

21. — Albert Heim. Die Seen des Oberengadin. *Jahrb. d. S. A. C.*, XV стр. 429-436, 1880.

22. — W. M. Davis. La Seine, la Meuse et la Moselle. *Annales de Géogr.*, V. стр. 25-49, 5 фиг., 1 карта 1895.

23 Jules Wohlgemuth. Sur la cause du changement de lit de la Moselle, ancien affluent de la Meuse *A. F. A. S. Congrès de Paris*, стр. 403-408, 3 фиг., табл. IX, 1890.

24. — Maurice Lugeon. Leçon d'ouverture du cours de Géographie physique professé à l'Université de Lausanne. *Bull. Soc. Vaud. Sc. nat.*, XXXIII, стр. 49-78, табл. I-III, 1897.

25. — W. M. Davis. The Development of certain English Rivers. *The Geogr. Journ.*, V, стр. 127-146, 3 фиг, 1895.

26. — Maurice Lugeon. Recherches sur l'origine des vallées des Alpes occidentales. *Ann. de Géogr.*, X, стр. 295-317, 401-428, табл. XXX-XXXII-XXXVII-XXXVIII, 22 фиг., 1901.

27. — K. Futterer. Durchbruchsthäler in den Süd-Alpen. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. in Berlin*, XXX стр. 1-94, табл. I IV, 1895.

28. — J. Cornet. Études sur l'évolution des rivières belges. *Annales de la Soc. Géol. de Belg.*, XXX, Mém. стр. 261-500, 36 фиг., 1904.

29. — Emil Tietze. Einige Bemerkungen über die Bildung von Querthälern, *Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanst.*, XXVIII, стр. 581-610, 1878; XXXII стр. 685-768, 1882.

30. — Clarence E. Dutton. Tertiary History of the Grand Canon District. *Monogr. U. S. Geol. Surv.*, II, XIV+264 стр., фиг., атласъ in-folio 23 табл 1882.

31. — Ferd. Löwl. Die Entstehung der Durchbruchsthäler. *Peterm. Mitth.*, XXVIII, стр. 405-416, 1882.

32. — Id. Ueber Thalbildung. 1 vol., in-8°, 136 стр., 26 фиг. Prague, 1884.

33. — Albrecht Penck. Ueber Periodicität der Thalbildung. *Verh. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin*, XI, стр. 39-59, 1884.

34. — Joseph Le Conte. A Post-Tertiary Elevation of the Sierra Nevada shown by the River beds. *Amer. Journ. of Sc.*, 3d ser., XXXII, стр. 167-181, 10 фиг. 1886.

35. — De Lamothe. Note sur les anciennes plages et terrasses du bassin de l'Isser (département d'Alger) et de quelques autres bassins de la côte algérienne. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3 sér., XXVII, стр. 257-303, 10 фиг., табл. III, 1899.

36. — Id. Étude comparée des systèmes de terrasses des vallées de l'Isser, de la Moselle, du Rhin et du Rhône. Preuves que leur formation est due à des oscillations eustatiques du niveau de basse. *Ibid.*, 4 sér., 1, стр. 297-383, 17 фиг., 1901.

37. — J. C. Russell. River Development as illustrated by the Rivers of North America. 1 vol. in—8°, 327 стр., 17 табл., 23 фиг. London, New York. 1898.

См. также: 0,1— 9; 0,18—21.

В. В. Докучаевъ. Способы образованія рѣчныхъ долинъ Европейской Россіи. *Труды Спб. Общ. Естеств.* т. IX, 1878. 221 стр., 8 фиг., 3 табл.

И. Леваковскій. Воды Россіи по отношенію къ ея населенію. 1 т. 286 стр. Харьковъ 1890.

Кн. В. Масальскій. Овраги черноземной полосы Россіи, ихъ распространеніе, развитіе и дѣятельность. 1 т. in. 8°, 251 стр. и приложенія 68 стр. 10 фототип. табл. Спб. 1897. (сопровождается обширнымъ спискомъ литературы по вопросу объ оврагахъ).

С. Никитинъ. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 56, гл. IX. Современныя образованія въ рѣчныхъ долинахъ и озерныхъ котловинахъ Тр. Геол. Комит. т. I, № 2, 1884 стр. 104—128.

Ѳ. Н. Чернышевъ. Общая геол. карта Россіи л. 139. Тр. Геол. Комит. т. III, № 4. 1869 г., стр. 297—305.

А. П. Павловъ. О рельефѣ равнинъ и его измѣненіяхъ подъ вліяніемъ работы подземныхъ и поверхностныхъ водъ. 59 стр., 22 фиг., 1 фотот. табл *Землевѣдѣніе*. 1898.

В. В. Докучаевъ. Матеріалы къ оцѣнкѣ земель Нижегородской губерніи. Вып. XIII, гл. V. Современныя образованія Нижегородской губ. 71 стр., 8 фиг. Спб. 1886.

Труды экспедиціи для изслѣдованія источниковъ главнѣйшихъ рѣкъ Европейской Россіи издаваемые А. А. Тилло. 8 выпусковъ этого сочиненія изд. съ 1895 по 1905 г.г. содержатъ многочисленныя работы С. Н. Никитина Д. Н. Анучина и др. авторовъ и сопровождаются картами и фототип. табл.

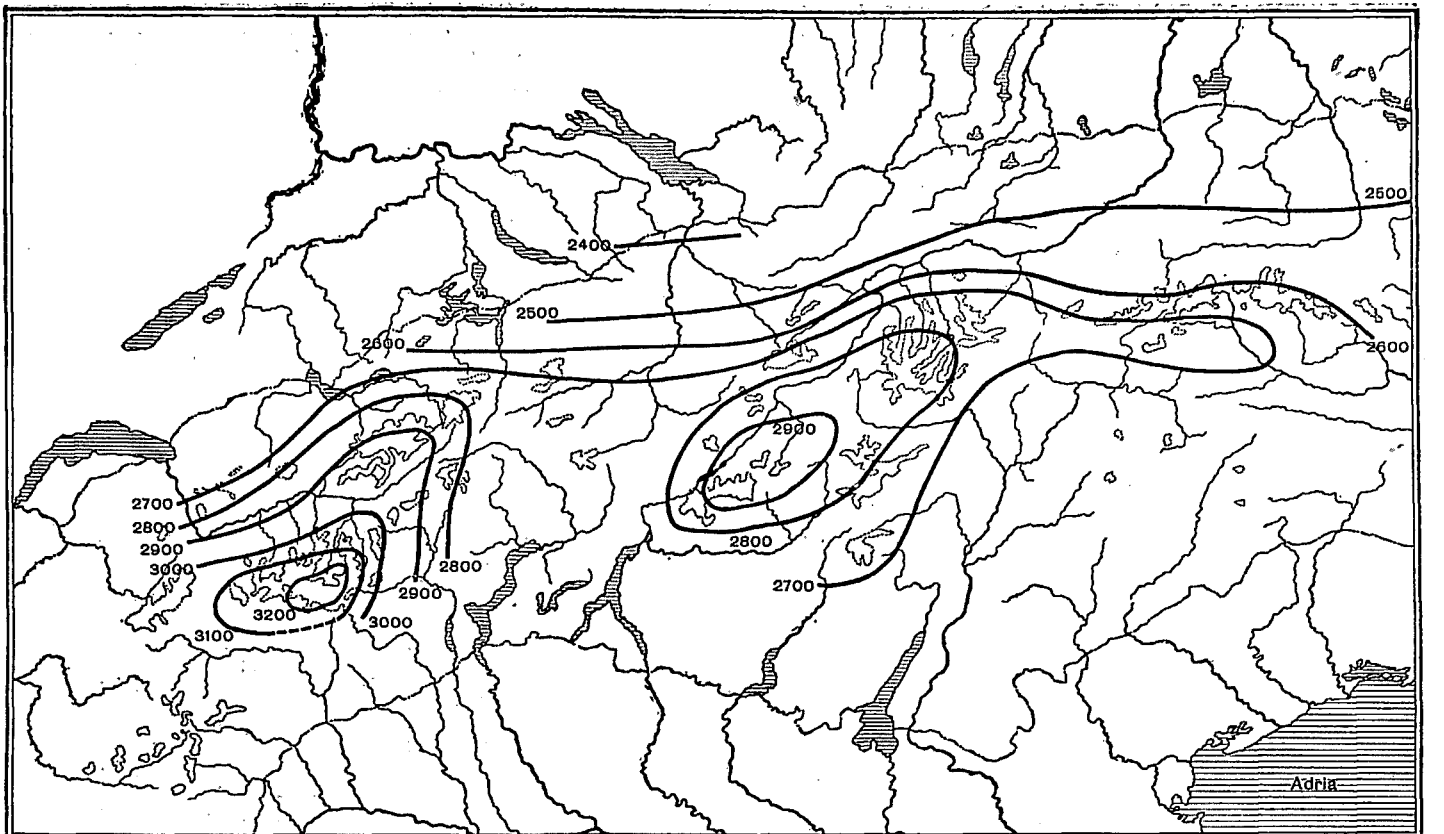
ГЛАВА XXVI.

Ледники.

Географическое распредѣленіе ледниковъ и ихъ главные типы.—Происхожденіе льда глетчеровъ и его физическія особенности. — Движеніе ледника и причины этого движенія. — Уносъ льда. — Измѣненія режима ледниковъ.— Явленія переноса и отложенія.—Коррозія.—Прежнее распространеніе ледниковъ.— Доказательства неоднократнаго вторженія ледниковъ. — Гипотезы о причинахъ ледниковыхъ періодовъ.

Ледники представляютъ собой болѣе или менѣе значительныя массы движущагося льда, встрѣчающіеся на континентахъ или на большой высотѣ надъ уровнемъ моря, или въ далекихъ отъ экватора широтахъ. Точно такъ же, какъ вѣтеръ, дождевыя струи и рѣки, ледники являются могущественными агентами уноса, переноса, отложенія осадковъ и даже коррозіи. Мы должны главнымъ образомъ остановиться на этихъ геологическихъ функціяхъ ледниковъ, но и *физика ледниковъ* представляетъ не меньшій интересъ; она составляетъ теперь предметъ самостоятельной отрасли геофизики; намъ необходимо будетъ познакомиться съ главнѣйшими выводами этой науки, во всякомъ случаѣ въ тѣхъ предѣлахъ, въ какихъ это знакомство необходимо для яснаго и отчетливаго представленія значенія ледниковъ въ глиптогенезисѣ (1—7).

Географическое распредѣленіе ледниковъ и ихъ главные типы.—Необходимымъ условіемъ образованія ледника въ какой нибудь области земного шара является рельефъ земной поверхности, поднимающійся выше *нижней границы вѣчныхъ снѣговъ*. Положеніе этой границы зависитъ, главнымъ образомъ, отъ климатическихъ условій и обусловлено взаимодѣйствіемъ температуры и гигрометрическаго состоянія воздуха, вслѣдствіе чего высота ея сильно колеблется даже въ близко расположенныхъ мѣстностяхъ, находящихся на одной и той же широтѣ (фиг. 173). Но никогда даже въ полярныхъ странахъ нижняя граница вѣчныхъ снѣговъ не спускается до самого уровня моря.



Фиг. 173.—Нижняя граница вѣчнаго снѣга въ Альпахъ (по Г. Гессу).
Топкій пунктиръ обозначаетъ приблизительно контуры массивовъ покрытыхъ ледниками.

Въ горныхъ же областяхъ, въ центрѣ большого массива она всегда находится выше, чѣмъ на его окраинахъ, какъ это было установлено для Альпъ, Норвегіи, Кавказа и другихъ горныхъ цѣпей. Кромѣ того, она спускается ниже на склонахъ, обращенныхъ на сѣверъ, чѣмъ на склонахъ, глядящихъ на югъ, и подвергается годовымъ колебаніямъ зависящимъ, главнымъ образомъ, отъ обилія падающаго снѣга (22—23).

Во всѣхъ широтахъ образованію ледниковъ благопріятствуетъ морской климатъ въ соединеніи съ большой высотой мѣста надъ уровнемъ моря, и, наоборотъ, даже въ полярныхъ областяхъ въ слабо приподнятыхъ равнинахъ внутреннихъ частей континентовъ ледники отсутствуютъ. Это наблюдается, напр., въ Сибири, гдѣ температура опускается чрезвычайно низко.

Нижняя граница вѣчнаго снѣга не всегда является нижней границей ледниковъ, которые могутъ спускаться гораздо ниже и даже иногда доходятъ до уровня моря, что обусловливается постояннымъ истеченіемъ льда внизъ по долинамъ, которое и представляетъ самую замѣчательную особенность ледниковъ.

Въ *полярныхъ областяхъ ледники занимаютъ такія* громадныя пространства, по сравненію съ которыми размѣры глетчеровъ умѣренныхъ широтъ кажутся совершенно ничтожными. Они образуютъ тамъ обширные покровы, которые почти совершенно покрываютъ континенты, большіе острова или по крайней мѣрѣ обширныя плоскогорія. Ледники умѣренныхъ странъ всегда движутся по долинамъ, направляясь по ихъ тальвегу отъ сборнаго или питающаго бассейна внизъ по долинѣ, и принимаютъ поэтому болѣе или менѣе удлиненную форму. Это и есть ледники въ *собственномъ смыслѣ слова* или *горные ледники* въ противоположность *ледниковымъ покровамъ полярныхъ странъ*. Каждая изъ этихъ двухъ категорій ледниковъ заключаетъ въ себѣ нѣсколько разныхъ типовъ, которые, такъ же какъ двѣ главныя категоріи, связаны рядомъ переходныхъ формъ. Разсмотримъ сейчасъ эти разнообразные типы ледниковъ.

Ледниковые покровы. — *Континентальными ледниковыми покровами* или *инландсейсами* называются массы льда, покрывающія цѣлые континенты, какъ напр., Антарктическій континентъ, или большіе острова, какъ напр., Гренландія и Баффинова Земля.

Ледъ образуется здѣсь въ центрѣ острова или континента и затѣмъ распространяется по отлогимъ склонамъ къ периферіи, такъ что ледниковый покровъ имѣетъ иногда, напр., въ

Гренландіи, форму громаднаго щита (8). Тамъ и сямъ надъ поверхностью ледянаго покрова возвышаются утесы непокрытые льдомъ, называемые въ Гренландіи *нунатакми*. Ихъ больше встрѣчается по окраинамъ, чѣмъ въ центрѣ, такъ что масса льда, спускаясь къ побережью, разбивается ими какъ бы на отдѣльные ледники, приближающіеся къ типу горныхъ ледниковъ.

Трудно вычислить площадь, занимаемую массой льда, почти сплошь покрывающей Антарктическій континентъ, площадь же Гренландскаго ледниковаго покрова исчисляется въ 2 милліона квадратныхъ километровъ.

Въ широтахъ, болѣе удаленныхъ отъ полюсовъ, ледниковый покровъ не распространяется на такія громадныя пространства и составляетъ, такъ называемые *мѣстные ледниковые покровы*, занимающіе высокія плоскогорія и питающіе нѣсколько горныхъ ледниковъ, расходящихся по долинамъ. Это *скандинавскій типъ ледниковъ* (табл. LXII, 2), лучшими примѣрами котораго могутъ служить Юстедальсбре и Свартизенъ въ Норвегіи (9).

Ледники этого типа встрѣчаются также въ Исландіи; ледниковый покровъ Шпитцбергена (10,11) является настоящимъ инландсейсомъ, но мѣстами онъ питаетъ громадные горные ледники, движущіеся къ морю по широкимъ и пологимъ долинамъ.

Горные ледники или ледники въ собственномъ смыслѣ слова. Различіе между скандинавскими и горными ледниками заключается въ томъ, что ледники перваго типа имѣютъ одинъ общій бассейнъ питанія, а каждый горный ледникъ питается своимъ собственнымъ бассейномъ и затѣмъ или стекаетъ по дну долины, или увѣнчиваетъ вершину горной гряды, или заполняетъ дно циркообразной впадины.

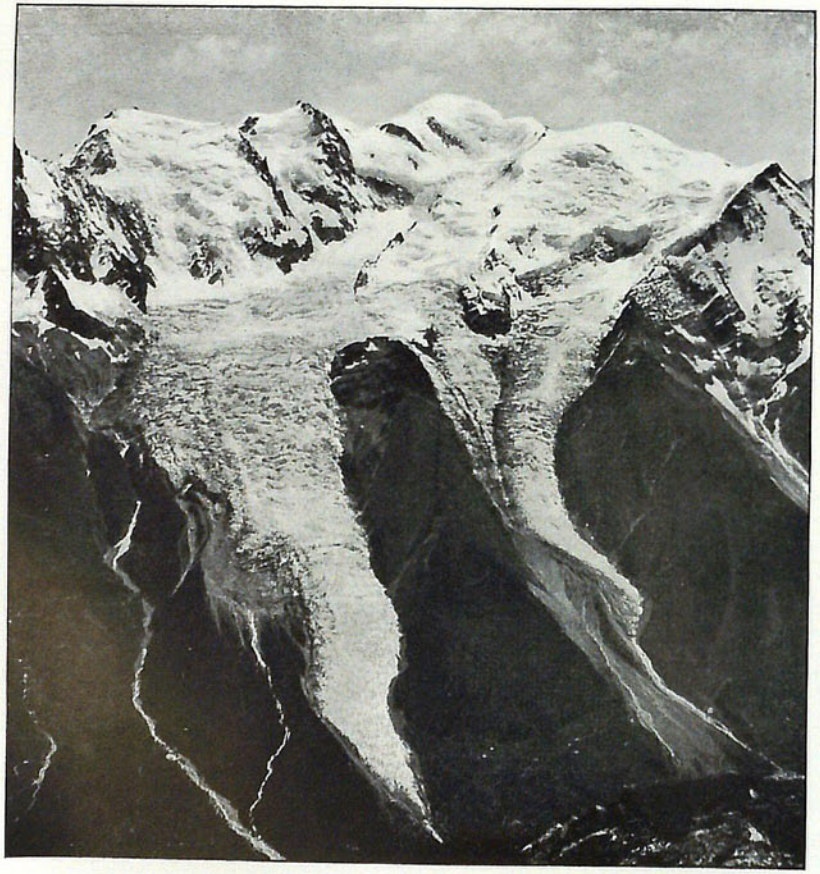
Долинные ледники обыкновенно принято называть *альпійскимъ типомъ* ледниковъ Ихъ бассейнъ питанія можетъ быть вполнѣ приравненъ сборному бассейну горнаго потока (табл. LXI). Выходя изъ него, они текутъ, заключенные между двумя крутыми краями долины, вслѣдствіе чего развиваются, главнымъ образомъ, въ длину и принимаютъ *языкообразную форму* (*Gletscherzunge*). Кромѣ того, различаютъ *простые ледники*, классическими примѣрами которыхъ являются ледникъ Боссонъ (табл. LXII) въ массивѣ Монъ Бланъ, оба ледника Гриндельвальда (12) и ледникъ Розенлауи въ Аарскомъ массивѣ (въ Швейцаріи). Имъ можно противопоставить *полисинтетическіе*



Негат. Терразъ.

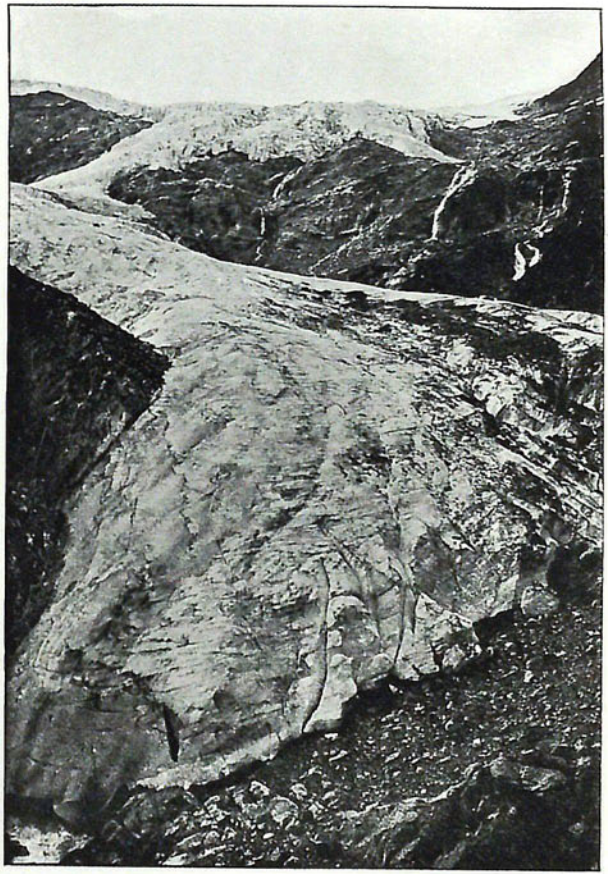
Вершина Монблана

и питающіе бассейны ледниковъ Боссонъ и Таконназъ раздѣленные гребнемъ Гранъ Мюле.



Негат. Терразъ.

Ледники Боссонъ и Таконназъ,
массивъ Монбланъ.



Негат. Ш. Веленъ.

Ледникъ Буаръ, близъ Одде (Норвегія).



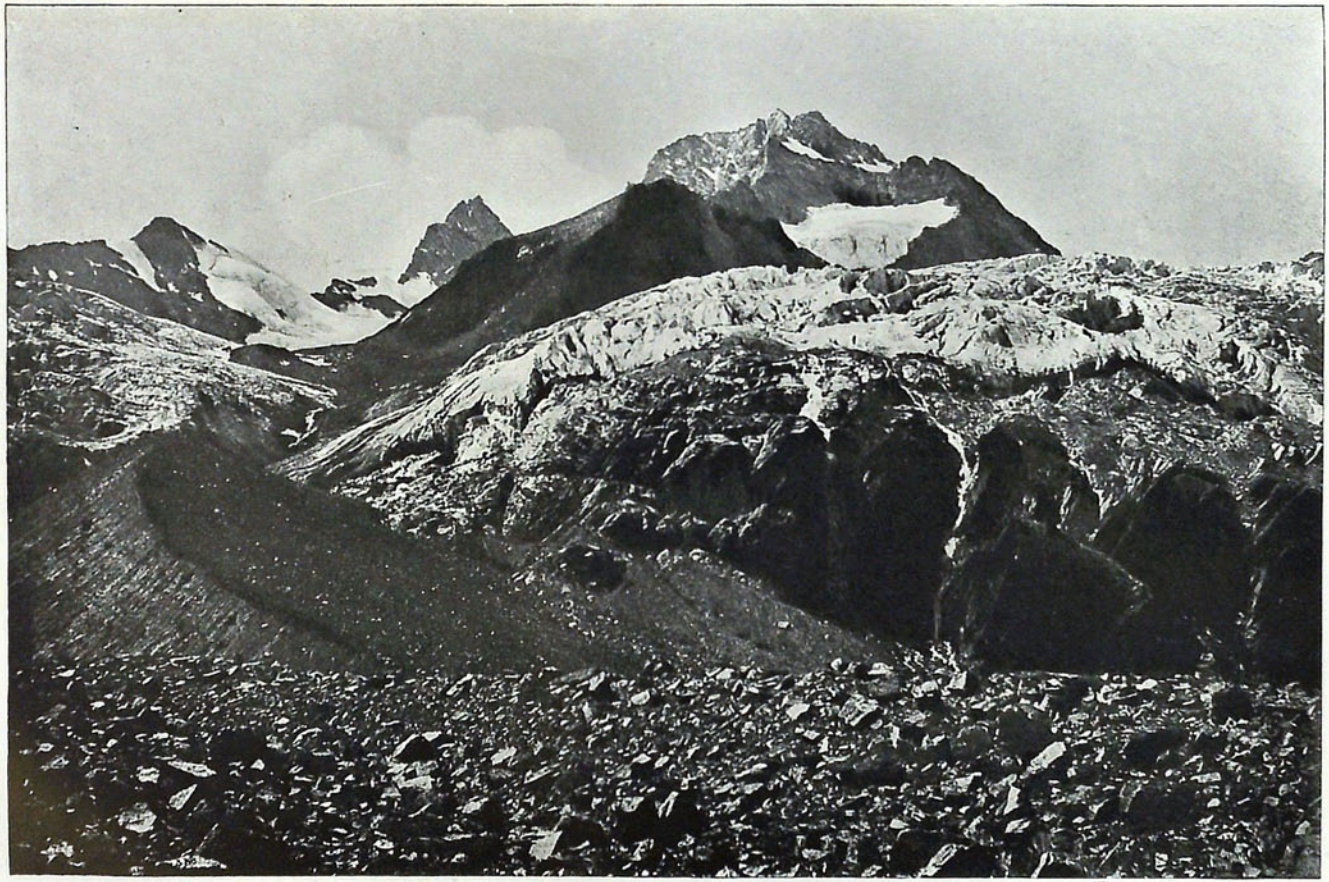
Негат. П. Корбенъ.

Ледяное море (La mer de Glace).
Береговыя морены, полосы грязи, трещины.



Негат. П. Корбенъ.

Нижній конецъ Ледяного моря.
Береговыя морены, поперечныя трещины



Негат. Витторіо Селла.

Велленкуппе и Габельгорнъ (Валисъ).
Цирковый ледникъ, конечная морена, курчавыя скалы.



Негат. П. Корбенъ.

Ледникъ Монъ де Лянсъ.

Видъ съ плато Ампари, близъ Ля Гравъ (Верхніе Альпы).

Ледяной покровъ съ висячими ледниками.



Негат. Терразъ.

Ледопадъ Ледяного моря у Шапо.

или сложные ледники, которые образуются въ результатѣ сліянія двухъ или нѣсколькихъ ледниковъ, каждый изъ которыхъ имѣетъ свой собственный бассейнъ питанія. Обыкновенно ихъ конецъ движется по сравнительно плоской долинѣ, и они имѣютъ почти всегда болѣе пологій склонъ, чѣмъ простые ледники. Лучшими ихъ примѣрами могутъ служить Алечскій ледникъ въ Валисѣ и Mer de Glace (Ледяное море) (табл. LXIII). Къ этой же категоріи относятся многіе ледники Кавказа (15), Гималайскихъ горъ и Новой Зеландіи (17).

Совершенно особый типъ сложныхъ ледниковъ представляютъ собой *глетчеры предгорій* (*piedmont-glaciers*). Въ этомъ случаѣ нѣсколько простыхъ или сложныхъ ледниковъ выдвигаются на прибрежную равнину и здѣсь сливаются въ одну обширную разстилающуюся массу льда, похожую своей формой на громадный пирогъ, и представляющую собой почти горизонтальную поверхность. Наиболѣе извѣстнымъ примѣромъ такого ледника является глетчеръ Маляспина на юго-западномъ побережьѣ Аляски (19), который образовался насчетъ глетчеровъ горъ Св. Иліи и Логанъ, и занимаетъ пространство въ 3500 кв. км., имѣя наибольшую ширину въ 96 км.

Другимъ тоже очень исключительнымъ типомъ горныхъ ледниковъ являются глетчеры вулканическихъ конусовъ. Покровъ льда или фирна лежитъ обыкновенно на вершинѣ вулканическаго конуса и даетъ начало хорошо обособленнымъ ледникамъ, которые стекаютъ по баранкосамъ, почти совершенно ихъ заполняя. Этотъ типъ горныхъ ледниковъ встрѣчается какъ на вулканахъ полярныхъ странъ, напр., на вулканѣ Янъ Майенъ, такъ и на вулканахъ умѣренныхъ поясовъ каковы, напр., Шаста въ Калифорніи, Ренье въ штатѣ Вашингтонъ (20) и даже въ тропическихъ странахъ, напр., на Килиманджаро.

Ледники, покрывающіе вершины высокихъ горныхъ грядъ и не спускающіеся въ долины, называются *висячими*. Ихъ называютъ также *глетчерами пиренейскаго типа*, такъ какъ, хотя они встрѣчаются и въ Альпахъ [1]), но исключительно характерны для Пиренеевъ. Отъ ихъ нижнихъ краевъ часто отрываются ледяныя глыбы, которыя нагромождаются у подножія обрыва и сливаясь образуютъ новый *возрожденный ледникъ*. Такъ

[1]) Ледникъ Монъ-де-Ланъ въ массивѣ Уазанъ является настоящимъ ледниковымъ покровомъ, питающимъ многочисленные висячіе глетчеры, (грав. LXV, 1) и служитъ переходной ступенью между глетчерами пиренейскаго и скандинавскаго типа.

получаютъ начало *цирковые ледники*, которые питаются падающимъ льдомъ и фирномъ и занимаютъ дно болѣе или менѣе округлыхъ впадинъ, окруженныхъ отвѣсными утесами (табл. LXIV).

Долинные глетчеры могутъ считаться наиболѣе типичными ледниками и во всякомъ случаѣ наиболѣе извѣстными, такъ что мы будемъ ихъ брать за исходную точку при изученіи физическихъ и геологическихъ особенностей ледниковъ и лишь попутно въ случаѣ необходимости будемъ указывать признаки, отличающіе другіе типы ледниковъ.

Происхожденіе льда глетчеровъ и его физическія особенности.—Снѣгъ, падающій во всѣ времена года на очень высокихъ горныхъ массивахъ, скатывается со склоновъ въ видѣ лавинъ и скопляется во впадинахъ, гдѣ уплотняется подъ дѣйствіемъ собственной тяжести и превращается въ фирнъ или *неве*. Вслѣдствіе уплотненія своей массы и поверхностнаго таянія, снѣгъ подвергается глубокимъ измѣненіямъ. Кристаллики его слипаются, деформируются, образуются зерна, включенныя въ массу, на поверхности болѣе или менѣе жидкую, а внутри—твердую и богатую воздушными пузырьками. Такимъ путемъ возникаетъ такъ называемый *пузырчатый* ледъ; затѣмъ пузырьки воздуха удаляются черезъ трещины, ледъ становится болѣе однороднымъ и болѣе прозрачнымъ и превращается въ голубой *глетчерный ледъ*, между тѣмъ какъ фирнъ бываетъ бѣлаго цвѣта. Структура глетчернаго льда также очень характерна и существенно отличается отъ структуры льда, образовавшагося путемъ непосредственнаго замерзанія воды.

Глетчерный ледъ состоитъ изъ очень неправильныхъ, но округлыхъ зеренъ различныхъ размѣровъ, при чемъ каждое зерно представляетъ собою одинъ кристаллъ. Каждое зерно имѣетъ особую оптическую оріентировку, тогда какъ кристаллы льда, образовавшагося на поверхности какого нибудь замерзшаго озера, имѣютъ всѣ одно и тоже направленіе, и ихъ оптическія оси перпендикулярны къ поверхности воды. Въ нижней части ледника ледъ имѣетъ гораздо болѣе крупныя зерна, чѣмъ въ началѣ ледника; они достигаютъ здѣсь размѣровъ голубинаго яйца, тогда какъ зерна фирна едва имѣютъ величину горошины. Изъ этого можно сдѣлать выводъ, что каждый кристаллъ питается и растетъ или насчетъ воды, образующейся благодаря таянію и циркулирующей въ промежуткахъ между зернами,

или путемъ соединенія двухъ или нѣсколькихъ сосѣднихъ кристалловъ, при чемъ крупныя зерна поглощаютъ болѣе мелкія; но для этого необходимо чтобы сосѣдніе кристаллы имѣли одинаковую оптическую оріентировку, что могло быть достигнуто ихъ вращательными движеніями. Хагенбахъ-Бишовъ (24,25), спеціально изучавшій зерна ледниковаго льда, считаетъ все же необходимымъ для объясненія роста зеренъ допустить вмѣшательство молекулярныхъ силъ.

По мѣрѣ сползанія внизъ по долинѣ, глетчерный ледъ не только дѣлается болѣе крупнозернистымъ, но и болѣе прозрачнымъ и плотнымъ. По даннымъ Ж. Вало, изслѣдовавшаго глетчеръ Mer de Glace (Ледяное море) въ Альпахъ, плотность льда на высотѣ 3020 м. равняется 0,88, а на высотѣ 1850 м.— 0,91 (26).

Температура льда также неодинакова въ различныхъ мѣстахъ ледника. Колебанія температуры, обусловливаемыя смѣной временъ года, сказываются лишь въ поверхностныхъ слояхъ, на глубинѣ же температура льда соотвѣтствуетъ температурѣ его таянія и, слѣдовательно, измѣняется съ давленіемъ. Наблюденія Ф. А. Фореля и Хагенбахъ-Бишофа (27), Блюмке и Гесса (28) вполнѣ подтверждаютъ данныя, добытыя экспериментальнымъ путемъ, и выводы термохиміи, устанавливающія, что давленіе въ 2200 кгр. на квадратный сантиметръ понижаетъ температуру таянія льда до—22°.

Это свойство льда и особенности его структуры значительно способствуютъ его истеченію и, какъ это мы сейчасъ увидимъ, движенію ледника.

Пластичность является характерной чертой льда вообще, а не одного только глетчернаго льда, такъ же какъ и способность смерзанія, т. е., способность отдѣльныхъ кусковъ льда, имѣющихъ температуру таянія, спаиваться между собою при простомъ соприкосновеніи, безъ большого давленія.

Намъ остается отмѣтить еще одну физическую особенность глетчернаго льда—его *слоистость*, которая особенно отчетливо наблюдается въ фирнѣ, но достигаетъ, хотя и съ извѣстными измѣненіями, и нижнихъ частей ледника. Причина слоистости объясняется чередованіемъ періодовъ обильнаго и малаго выпаденія снѣга, что и обуславливаетъ образованіе чередующихся слоевъ льда, богатаго и бѣднаго пузырьками воздуха, т. е. бѣлаго или голубого (табл. LXIII).

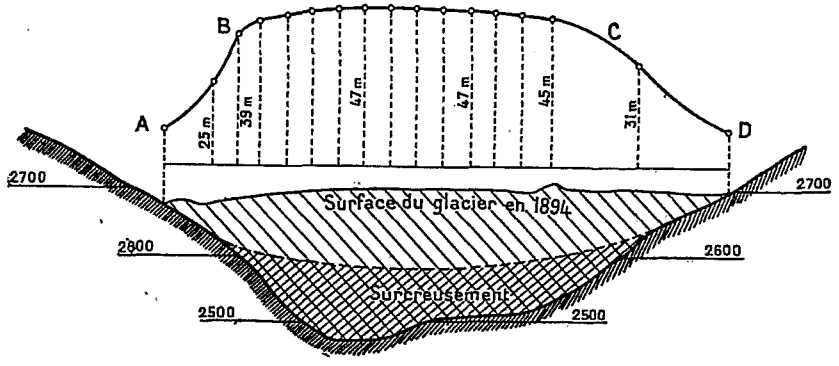
Движеніе ледника и причины этого движенія. Ледникъ не является мертвымъ и неподвижнымъ тѣломъ, всѣ его части находятся въ постоянномъ и правильномъ движеніи внизъ, и ледъ течетъ какъ пластичное вещество, подобное, напр., смолѣ. Это явленіе констатировали многіе ученые уже болѣе ста лѣтъ, и оно неизбѣжно вытекаетъ изъ факта поступательнаго движенія ледника, которое иногда наблюдали у нижняго конца его, а также и изъ нѣкоторыхъ случайныхъ наблюденій: такъ, напр., лѣстница, оставленная де-Соссюромъ въ 1788 г. у подножія Черной Иглы (Aiguille Noire) была найдена въ 1832 г. на четыре тысячи метровъ ниже. Одежды жертвъ катастрофы, происшедшей въ 1820 г. на ледникѣ Grand-Plateau на Монъ-Бланѣ, появились наружу въ 1861 г. у подножія глетчера Боссонъ. Рядъ болѣе или менѣе точныхъ измѣреній, которымъ подверглись нѣкоторые ледники, преимущественно альпійскіе, далъ возможность установить тѣ законы, которымъ подчинено движеніе ледниковъ. Первые изслѣдователи и особенно Агассицъ съ своими сотрудниками, а затѣмъ Форбсъ и Тиндаль производили свои измѣренія, устанавливая рядъ кольевъ, идущихъ поперекъ ледника, т. е. перпендикулярно къ направленію движенія. Спустя нѣкоторое время прямая линія этихъ кольевъ перемѣщалась такъ, что средніе колья оказывались ниже крайнихъ, указывая этимъ на болѣе быстрое движеніе осевой части ледника сравнительно съ боковыми.

Геймъ во время своихъ замѣчательныхъ изслѣдованій Ронскаго ледника (5) придумалъ другой способъ измѣренія, замѣнивъ линію кольевъ цѣпью близко лежащихъ камней, окрашенныхъ въ различный цвѣтъ для каждаго поперечнаго профиля. Но глубоко вбиваемые колья лучше чѣмъ камни выполняютъ свое назначеніе, такъ какъ не могутъ перемѣщаться отъ поверхностнаго таянія окружающаго ихъ льда. Въ настоящее время перемѣщеніе поставленныхъ вѣхъ измѣряется путемъ визированія. Этотъ способъ употреблялъ Ж. Валло (26) при изслѣдованіи глетчера Мег de Glace, Финстервальдеръ при измѣреніяхъ ледника Фернагтфернеръ (14), Блюмке и Гессъ при изслѣдованіи ледника Гинтерейсфернеръ (28) въ массивѣ Этцталь.

Новые способы болѣе точнаго измѣренія подтвердили результаты, добытые предшествующими изслѣдованіями, и окончательно установили, что въ простыхъ ледникахъ движеніе льда

сначала идетъ быстро ускоряясь отъ краевъ къ серединѣ, и, наконецъ, постепенно замедляя быстроту ускоренія, достигаетъ своего максимума по оси ледника. Таковъ же точно характеръ движенія и сложныхъ ледниковъ. Все происходитъ такъ, какъ будто срединныхъ моренъ и не существуетъ.

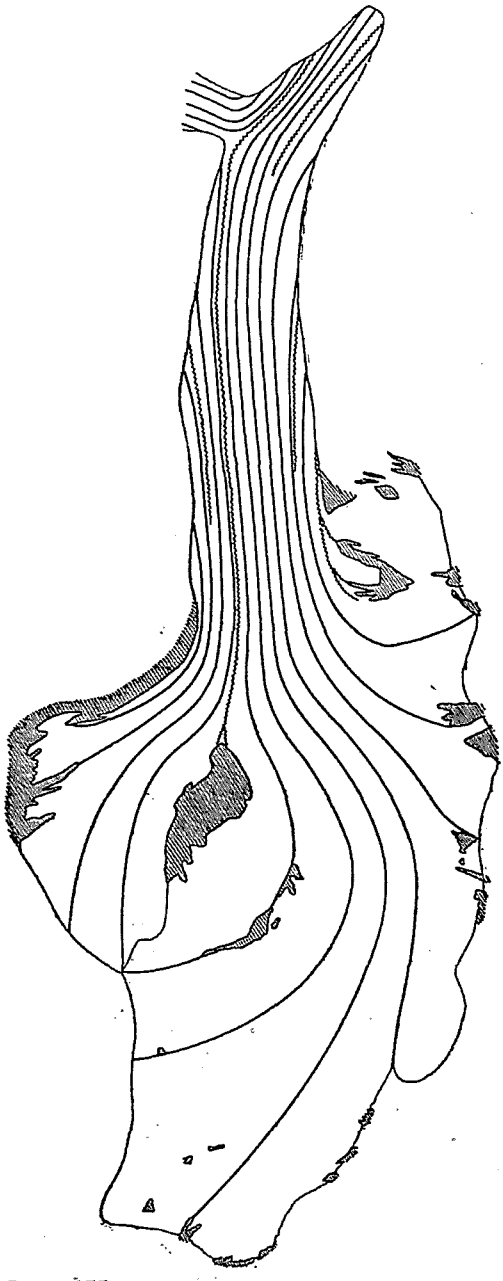
Но, вопреки ожиданіямъ, кривая описанная спустя нѣкоторое время цѣпью камней не имѣетъ формы параболы, обращенной концами вверхъ; на самомъ дѣлѣ кривая лишь слегка выгибается у краевъ, а въ средней части ледника приближается къ прямой линіи (фиг. 174). Такимъ образомъ движеніе ледника подобно движенію вязкаго вещества, не прилипающаго къ ложу потока.



Фиг. 174.—Поперечный разрѣзъ Гинтерейсфернера (по Г. Гессу). ABCD, кривая представляющая скорости движенія на поверхности.

Если изобразить въ проэкціи на горизонтальной плоскости пути, пройденные вѣхами послѣдовательныхъ профилей, то мы получимъ рядъ линій сначала, сходящихся, а затѣмъ принимающихъ направленіе болѣе или менѣе параллельное къ оси ледника, т. е. къ линіи наибольшихъ скоростей. Эти линіи, вмѣсто того чтобы оставаться параллельными и вновь сходиться къ нижнему концу ледника, слегка расходятся по краямъ, когда ледникъ вступаетъ въ узкое ложе, и подходятъ къ берегамъ подъ очень острымъ угломъ, какъ это изображено на фиг. 175, заимствованной у Гесса.

Линія, соединяющая точки максимальной быстроты движенія, на самомъ дѣлѣ не вполнѣ совпадаетъ съ геометрической осью ледника; Агассицъ уже давно доказалъ, что она переходитъ отъ берега къ берегу, описывая извилистую линію, которая повторяетъ и какъ бы подчеркиваетъ излучины береговъ, такъ же какъ и теченіе воды въ рѣкѣ, изгибающейся меандрами. Быстрота движе-



Фиг. 175.—Траекторіи, указывающія движеніе льда въ сложномъ ледникѣ (по Г. Гессу).

Сѣрыя мѣста представляютъ выступы породы на мѣстѣ, волнистыя линіи — среднія морены.

нія льда тѣмъ больше, чѣмъ ближе къ поверхности ледника и постепенно увеличивается по мѣрѣ сползанія ледника, такъ что въ долинѣ ледъ движется быстрѣе, чѣмъ въ фирновой области. Она достигаетъ максимума въ мѣстахъ наибольшей толщины ледника. Она пропорціональна наклону ложа. Она увеличивается тамъ, гдѣ поперечный профиль ложа съуживается, а съ его расширеніемъ она уменьшается.

Такимъ образомъ движеніе ледника слѣдуетъ тѣмъ же законамъ, какъ и истеченіе жидкостей, заключенныхъ въ русло, какъ это предвидѣлъ еще въ 1840 г. монсеньеръ Рандю, епископъ въ Аннеси. Различія въ томъ и въ другомъ случаѣ, по словамъ Гесса (7), имѣютъ лишь количественное значеніе и обусловливаются вязкостью льда.

Прежде думали, что лѣтомъ ледъ движется вдвое быстрѣе, чѣмъ зимой, и днемъ быстрѣе, чѣмъ ночью. Но изслѣдованіями Ж. Валло (26) эти мнѣнія были опровергнуты, и быстрота движенія льда въ какой либо опредѣленной точкѣ можетъ считаться постоянной въ теченіе цѣлаго года.

Абсолютная быстрота движенія глетчернаго льда весьма разнообразна и колеблется между 25 мм. и 1,25 м. въ часъ. По даннымъ Валло, при одинаковомъ наклонѣ русла ледъ движется въ 10000 разъ медленѣе, чѣмъ вода (26), такъ что скорость его теченія можно сравнить съ движеніемъ маленькой стрѣлки карманныхъ часовъ.

Прямымъ слѣдствіемъ движенія ледниковъ является *образованіе трещинъ*. Онѣ раскалываютъ даже фирнъ на призматическія глыбы, на плоскостяхъ раскола которыхъ отчетливо видно слоистое строеніе льда. Ихъ называютъ *серакамы* въ виду ихъ сходства съ савойскими сырами, которые такъ называются.

Очень большая поперечная трещина, часто широкая и глубокая, называемая *rimaye* или *Bergschrund*, отдѣляетъ почти всегда верхній фирнъ отъ области, гдѣ собственно начинается истеченіе. Рядъ параллельныхъ ей трещинъ (табл. LXI) напоминаетъ трещины, образующіяся на пришедшемъ въ движеніе грязевомъ потокѣ (табл. XLIII, 3). Ниже наблюдается система *краевыхъ трещинъ*, идущихъ отъ краевъ ледника и направляющихся подъ острымъ угломъ вверхъ. Онѣ образуются вслѣдствіе неодинаковаго растяженія массы льда въ серединѣ и по краямъ, гдѣ его движеніе впередъ сильно стѣснено, какъ это и наблюдается въ кривой, которую намѣчаетъ цѣпь камней, положенныхъ поперекъ ледника: мы видимъ, что ея края идутъ почти параллельно берегамъ (фиг. 174).

Поперечныя трещины происходятъ отъ неровностей склона, отъ выступовъ въ продольномъ профилѣ ледниковаго ложа. Очень широкія на поверхности поперечныя трещины суживаются по направленію вглубь, гдѣ растяженіе меньше, чѣмъ на поверхности. Онѣ иногда наблюдаются совмѣстно съ краевыми трещинами, и тогда ледникъ бываетъ покрытъ сѣтью трещинъ, разбивающихъ его на неправильныя глыбы, принимающія иногда остроконечныя формы (табл. LXV, 2).

Наконецъ, *продольныя трещины* появляются въ нижней части ледника, когда онъ изъ узкаго ложа переходитъ въ широкое и разстилается здѣсь въ видѣ вѣера. Онѣ расходятся къ нижнему концу, такъ какъ самое сильное натяженіе дѣйствуетъ въ поперечномъ направленіи къ оси ледника.

Трещины, раскалывающія ледникъ какъ въ узкомъ ложѣ, такъ и въ расширенномъ его концѣ, даютъ возможность очень отчетливо наблюдать пластовое расположеніе льда, кото-

рое, по мнѣнію Гесса (7), происходитъ отъ расплющиванія въ узкомъ ложѣ ледника слоевъ фирна, о которыхъ мы уже говорили выше (табл. LXIII).

Здѣсь не мѣсто разбирать всѣ теоріи, предложенныя для объясненія природы и причины движенія ледниковаго льда, и мы не будемъ рѣшать вопросъ, движется ли ледъ вслѣдствіе расширенія, или просто подъ вліяніемъ силы тяжести, или отъ замерзанія воды, находящейся въ промежуткахъ между зернами, или это движеніе есть ничто иное, какъ теченіе вязкой массы и т. п. Къ тому же этотъ вопросъ скорѣе входитъ въ область математической физики. Гессъ резюмируетъ состояніе нашихъ свѣдѣній въ этой области примѣрно слѣдующимъ образомъ (7).

Ледникъ представляетъ собою массу льда, текущую по наклонной поверхности, какъ очень вязкая жидкость. Его движеніе поддерживается взаимнымъ давленіемъ его частей, задерживается треніемъ о его ложе, и управляется законами внутренняго тренія. Быстрота движенія измѣняется въ различныхъ его частяхъ и не можетъ быть приравнена къ простому скольженію по наклонной плоскости.

Пластичность льда имѣетъ молекулярный характеръ: она дѣлаетъ его способнымъ къ истеченію, зернистость льда и его температура благопріятствуютъ движенію, но не являются его причиной.

Можно прибавить еще, что Дригальскій (8) допускаетъ, что ледъ можетъ двигаться не только по наклонной, но и по горизонтальной поверхности.

Уносъ льда. — Питаніе ледника снѣговыми обвалами и лавинами можетъ происходить только выше границы вѣчныхъ снѣговъ; исключеніе составляютъ лишь возродившіеся ледники. Но ледникъ, постоянно стекая внизъ, спускается ниже этой границы и попадаетъ въ такія области, средняя температура которыхъ значительно выше температуры таянія льда. Напр., въ Новой Зеландіи ледники спускаются вплоть до лѣсовъ древовидныхъ папортниковъ. Въ Альпахъ въ 1892 г. ледникъ Боссонъ подвигался впередъ, пролагая себѣ путь черезъ лѣсъ и опрокидывая ели.

Отсюда само собой вытекаетъ, что ледникъ, хотя бы въ теченіе части года, долженъ подвергаться значительному *уносу*, т. е. терять извѣстную часть льда вслѣдствіе таянія и испаренія.

Испареніе льда вызывается дѣйствіемъ солнечныхъ лучей и сухихъ вѣтровъ, каковъ, напр., фёнъ Швейцарскихъ Альпъ, который часто обвѣваетъ поверхность ледниковъ. Испареніе имѣетъ большое значеніе въ уносѣ льда, но степень его участія въ этомъ процессѣ сравнительно съ таяніемъ очень трудно опредѣлить.

Таяніе ледника происходитъ одновременно какъ на поверхности, такъ и на глубинѣ. На поверхности оно обусловлено совмѣстнымъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей, дождя, теплыхъ вѣтровъ, сырыхъ вѣтровъ, которые сгущаютъ водяной паръ въ иней и тѣмъ согрѣваютъ поверхность льда. Вѣтеръ и инсоляція, несомнѣнно, въ большей мѣрѣ чѣмъ дождь, обусловливаютъ таяніе льда, что доказывается болѣе сильнымъ таяніемъ льда въ сухіе и теплые лѣтніе дни, чѣмъ въ дождливую погоду.

Твердыя тѣла, попадающія на поверхность глетчера, какъ пыль, и особенно морены способствуютъ въ широкой степени таянію поверхности ледника, такъ какъ температура ихъ всегда выше температуры льда. Отчасти по этой же причинѣ, а отчасти вслѣдствіе отраженія солнечныхъ лучей отъ скалистыхъ береговъ ледника, таяніе его идетъ интенсивнѣе по краямъ, чѣмъ въ серединѣ.

На днѣ глетчера таяніе вызывается также соприкосновеніемъ льда съ горными породами, имѣющими температуру выше точки таянія льда. Правда, мы еще не располагаемъ точными свѣдѣніями объ этой температурѣ, но значеніе ея въ таяніи льда доказываютъ намъ воды, которыя вытекаютъ изъ подъ ледника и о которыхъ мы еще будемъ говорить.

Полный итогъ уноса льда неоднократно исчислялся учеными, при чемъ многія изъ этихъ вычисленій были основаны хотя на неточныхъ, но методическихъ измѣреніяхъ уменьшенія размѣровъ ледника въ различныхъ его частяхъ. Блюмке и Гессъ (7) удалось этимъ путемъ построить кривыя одинаковаго уноса для глетчера Гинтерейсфернеръ въ массивѣ Этцталь, гдѣ уносъ для нѣкоторой данной точки колеблется отъ 2—7 м. въ годъ, имъ также удалось доказать полную независимость этихъ кривыхъ отъ горизонталей, обусловленныхъ наибольшимъ уносомъ по краямъ ледника.

Выпуклая форма ледника движущагося по долинѣ и его нижняго конца объясняется болѣе интенсивнымъ таяніемъ краевъ.

ледника, сравнительно съ срединною частью [1]). Тогда какъ фирновая область, гдѣ питаніе преобладаетъ надъ уносомъ, имѣетъ всегда ровную или даже слегка вогнутую поверхность.

Если не принимать во вниманіе испаренія, то продуктомъ уноса льда является *вода*, которая встрѣчается на поверхности, въ серединѣ и на днѣ ледника и течетъ иногда въ видѣ настоящихъ потоковъ.

Одни изъ этихъ потоковъ текутъ по поверхности въ узкихъ и глубокихъ бороздкахъ, прорытыхъ ими благодаря живой силѣ, пріобрѣтенной ими вслѣдствіе значительнаго наклона поверхности. Другія воды циркулируютъ внутри по трещинамъ, закрытымъ сверху выпавшимъ снѣгомъ или смерзшимся льдомъ. Если же путь по такой трещинѣ оказывается закрытымъ къ ея нижнему концу, или если онъ преграждается выступомъ скалистаго дна, вода тутъ задерживается, расширяетъ свое ложе и образуются *подледниковые карманы*. Одинъ изъ такихъ кармановъ прорвался 12 іюля 1892 г. и вода въ количествѣ 100,000 куб. м. хлынула съ высоты болѣе 3000 м. въ долину Біоннасей, затѣмъ въ долину Бонъ-Нанъ и снесла селенія Біоннэ и Бэнъ-де-Сенъ-Жервэ (35).

Иногда вода съ поверхности уходитъ въ глубину глетчера по поглощающимъ колодцамъ, которые она прорываетъ во льду своимъ вращательнымъ движеніемъ и которые называются ледниковыми *мельницами*. Они очень похожи на исполинскіе котлы, образуемые рѣками на скалистомъ днѣ.

На днѣ ледника кромѣ того образуются *подледниковыя рѣки*, ложемъ которыхъ служитъ подстилающая ледникъ порода. Онѣ текутъ иногда по настоящимъ галлереямъ и находятъ выходъ гдѣ нибудь сбоку ледника или на его концѣ, питая *ледниковый потокъ*. Наблюденіями г-жи Валло надъ подледниковымъ потокомъ глетчера Mer de Glace (36) было установлено, что при одинаковомъ наклонѣ дна быстрота теченія подледниковаго потока въ два раза медленнѣе теченія потока на открытомъ воздухѣ. Ложе подледниковаго потока бываетъ обыкновенно очень узко.

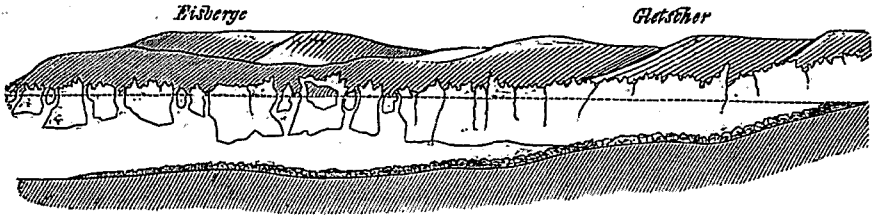
Всѣ эти данныя относительно уноса вещества въ ледникахъ были добыты изученіемъ ледниковъ альпійскаго типа, но они приложимы и къ ледникамъ другихъ типовъ, конечно, съ тѣми

---

[1]) У многихъ глетчеровъ массива Уазанъ уносъ идетъ настолько интенсивно, что нижняя часть ледника имѣетъ въ поперечномъ разрѣзѣ не выпуклую, а вогнутую форму.

или иными ограниченіями, обусловленными разницей климатическихъ условій.

Такъ, напр., въ ледникахъ, спускающихся къ морю, уносъ проявляется еще въ одной формѣ, которая встрѣчается какъ исключеніе въ альпійскихъ глетчерахъ, напр., на озерѣ Меръеленъ у края Алечскаго глетчера (въ Валисѣ). Эта форма уноса, называемая *velage*, заключается въ томъ, что отъ края ледника, какъ только онъ спускается къ озеру, фіорду или морю, отрываются большія глыбы льда, и образовавшіеся такимъ образомъ *айсберги* (ледяныя горы) уносятся водою. На фиг. 176 наглядно изображено это явленіе, которому очень благопріятствуютъ приливы и отливы.



Фиг. 176.—Образованіе айсберговъ въ гренландскомъ фіордѣ путемъ откалыванія отъ ледника входящаго въ море (по Гелланду)

Извѣстно, что надъ поверхностью воды возвышается лишь восьмая часть всей вышины ледяной горы. И такъ какъ есть айсберги, выступающіе надъ водой на 70 м., то, слѣдовательно, вся высота ихъ достигаетъ 500 или 600 м., что краснорѣчиво свидѣтельствуетъ о громадной мощности нижней части ледника.

Айсберги, спускающіеся изъ долинныхъ ледниковъ въ фіорды, имѣютъ изрѣзанныя причудливыя формы. Наоборотъ, глыбы, отрывающіяся отъ громаднаго ледниковаго покрова Антарктическаго континента, имѣютъ правильную призматическую форму, а ихъ поверхность поднимается надъ моремъ въ видѣ плато.

Измѣненія режима ледниковъ.—Когда стаиваніе и испареніе ледника компенсируется выпадающимъ снѣгомъ, или другими словами уносъ матеріала уравновѣшивается питаніемъ, то ни размѣры, ни положеніе глетчера не измѣняются. Если питаніе ледника идетъ сильнѣе уноса, то конецъ глетчера продвигается внизъ по долинѣ, а при преобладаніи уноса надъ питаніемъ, наоборотъ, отступаетъ вверхъ.

Въ первомъ случаѣ ледникъ *наступаетъ*, а во второмъ—*отступаетъ*.

Обыкновенно со смѣной временъ года ледники подвергаются незначительнымъ измѣненіямъ; зимой уносъ почти не происходитъ, а лѣтомъ ледникъ слабѣе питается, вслѣдствіе чего лѣтомъ онъ немного отступаетъ, а зимой спускается.

На ряду съ этими очень слабыми измѣненіями наблюдаются другія болѣе значительныя, происходящія періодически черезъ промежутки въ нѣсколько лѣтъ.

Такъ, напр., ледникъ Боссонъ съ 1875 г. началъ спускаться и достигъ максимальной длины въ 1892 г.; съ этого года и до нашихъ дней онъ находится въ періодѣ отступанія. Въ теченіе же XIX вѣка онъ переживалъ періоды наступанія съ 1812 по 1818 г., съ 1826 по 1830 г., съ 1837 по 1839 г. и съ 1843 по 1854 г. Относительно движенія верхняго ледника Гриндельвальда Эд. Рихтеру (41) удалось почерпнуть изъ архивовъ свѣдѣнія за еще болѣе продолжительный періодъ; годы 1595, 1709, 1735, 1768, 1814 и 1890 были годами начала наступанія ледника; а въ годы 1605 г., 1719, 1743, 1778, 1822, 1855 и 1898 ледникъ достигалъ максимальнаго удлиненія.

Сопоставляя года наступанія обоихъ ледниковъ въ теченіе XIX вѣка, мы замѣчаемъ приблизительное совпаденіе данныхъ, и это совпаденіе распространяется и на другіе альпійскіе ледники, о движеніи которыхъ у насъ имѣются свѣдѣнія.

Конечно, начало или конецъ того или другого періода не наступаетъ сразу во всѣхъ ледникахъ; измѣняется также для каждаго отдѣльнаго ледника и продолжительность періода наступанія, но въ среднемъ эти моменты въ жизни всѣхъ ледниковъ совпадаютъ довольно точно. Что касается самого послѣдняго наступанія, то было доказано, что за нимъ почти во всѣхъ альпійскихъ ледникахъ начался періодъ отступанія. Повидимому, этотъ періодъ приходитъ теперь къ концу и имѣются даже нѣкоторыя указанія на скорое начало періода обратнаго движенія.

Эд. Рихтеръ (41) на основаніи полученныхъ имъ данныхъ съ 1592 г. могъ установить, что послѣдовательные періоды наступанія ледниковъ отдѣляются другъ отъ друга промежутками отъ 20 до 45 лѣтъ. Средняя изъ этихъ двухъ цифръ довольно хорошо соотвѣтствуютъ промежутку въ 35 лѣтъ, установленному Брюкнеромъ (40) для смѣны сухихъ и теплыхъ годовъ холодными и сырыми годами; такое чередованіе Брюкнеру удалось подмѣтить, сопоставляя свѣдѣнія за нѣсколько столѣтій относительно суровыхъ зимъ, обильныхъ выпаденій снѣга, измѣненій уровня озеръ, времени сбора винограда и т. д.

Кромѣ того само собою бросается въ глаза соотвѣтствіе между наступаніемъ ледниковъ и рядомъ сырыхъ и холодныхъ годовъ, и невольно хочется видѣть между этими явленіями причинную зависимость. Но, впрочемъ, былъ указанъ и рядъ ледниковъ, которые, повидимому, составляютъ исключеніе въ общемъ синхронизмѣ отступаній и наступаній ледниковъ. Нужно остановиться на объясненіи причинъ этого явленія.

Ф. А. Форель (42) уже давно указалъ на то, что періодическія измѣненія ледниковъ распространяются не только на ихъ форму, но и на ихъ объемъ, другими словами, что происходятъ одновременныя и однородныя измѣненія во всѣхъ трехъ измѣреніяхъ ледниковъ въ ихъ длинѣ, ширинѣ и толщинѣ. Ж. Валло (26), въ теченіе 9-ти лѣтъ непосредственно наблюдавшій и точно измѣрявшій глетчеръ Mer de Glace, подтвердилъ заключеніе Фореля и высказалъ слѣдующій взглядъ на измѣненія ледника.

Сырой и холодный періодъ вызываетъ увеличеніе мощности фирна на всей поверхности верхняго резервуара ледника. Тогда эта масса снѣга, часто занимающая громадную площадь, начнетъ сползать вмѣстѣ съ ледникомъ и, будучи сильно сжата въ узкомъ ущельѣ, увеличитъ ледникъ въ его нижней части. Это какъ бы громадная волна, которая спускается внизъ и протекаетъ довольно долго, увеличивая мощность и длину ледника, т. е., другими словами, вызывая его періодическое наступаніе. Но чтобы спуститься внизъ волна затрачиваетъ много лѣтъ, такъ что причина и слѣдствіе раздѣлены большими промежутками времени, и эпоха наступанія нижняго конца ледника зависитъ отъ длины ледника и быстроты его движенія. Вслѣдствіе этой зависимости періоды наступаній и отступаній не точно совпадаютъ во всѣхъ ледникахъ, и конечный результатъ быстро сказывается на ледникахъ короткихъ и долго не наступаетъ для ледниковъ длинныхъ. Такъ, напр., движеніе впередъ или отступаніе всегда происходитъ раньше въ глетчерѣ Боссонъ, а въ глетчерѣ Mer de Glace, который значительно длиннѣе его, замѣчается только черезъ нѣсколько лѣтъ.

Само собой понятно, что географическое положеніе можетъ также оказывать нарушающее вліяніе на измѣненія въ режимѣ глетчеровъ, и эти измѣненія проявляются неодинаково, въ зависимости отъ того, находятся ли ледники въ континентальномъ или морскомъ климатѣ, подвержены они или нѣтъ дѣйствію сырыхъ вѣтровъ и т. д.

Выводы относительно періодичности измѣненій *ледниковъ*

были установлены на основаніи изученія альпійскихъ ледниковъ, которые теперь являются наиболѣе извѣстными. Скандинавскіе и пиренейскіе ледники въ Европѣ, ледники арктическихъ странъ и ледники другихъ частей свѣта даютъ далеко не столь опредѣленные результаты, но ихъ режимъ болѣе или менѣе согласуется съ тѣми выводами, которые дало изученіе альпійскихъ ледниковъ.

Подвергнувъ критическому анализу данныя наблюденій надъ бореальными ледниками, т. е. надъ ледниками Гренландіи, Исландіи, Янъ Майена, Шпицбергена, Земли Франца Іосифа и Скандинавіи, Ш. Рабо пришелъ къ слѣдующему выводу (43): До XVIII вѣка ледники занимали значительно меньшую площадь, чѣмъ теперь, и такое минимальное ихъ распространеніе, вѣроятно, продолжалось нѣсколько вѣковъ. Въ XVIII вѣкѣ и въ первое десятилѣтіе XIX вѣка происходитъ громадное увеличеніе ледниковъ, превосходящее по своимъ размѣрамъ обычныя колебанія ихъ размѣровъ. Ледники занимаютъ въ это время такія пространства, которыя никогда не были ими покрыты въ теченіе настоящаго періода. Это наступаніе ледниковъ было общимъ явленіемъ для всего сѣвернаго полушарія. XIX-ый вѣкъ является неопредѣленнымъ періодомъ: въ нѣкоторыхъ областяхъ происходитъ значительное увеличеніе ледниковъ, за которымъ слѣдуетъ небольшое ихъ отступаніе; въ другихъ областяхъ ледники, сохраняя въ началѣ вѣка максимальные размѣры, затѣмъ отступили также интенсивно, какъ альпійскіе глетчеры въ послѣдніе 50 лѣтъ. Такимъ образомъ, по даннымъ Ш. Рабо, кромѣ измѣненій, обнимающихъ непродолжительные періоды, въ жизни ледниковъ наблюдаются еще и другія измѣненія, охватывающія цѣлые вѣка.

Нѣкоторые ученые находятъ, впрочемъ, подобное обобщеніе преждевременнымъ въ виду современнаго состоянія нашихъ знаній. Но во всякомъ случаѣ остается пожелать, чтобы въ дальнѣйшемъ продолжались и расширялись систематическія наблюденія, которыя для нѣкоторыхъ ледниковъ имѣются уже за много лѣтъ [1]).

---

[1]) Кромѣ наблюденій ледниковъ, предпринятыхъ отдѣльными изслѣдователями, слѣдуетъ упомянуть о мѣстныхъ комитетахъ, организуемыхъ для изученія ледниковъ. Такіе комитеты существуютъ въ Швейцаріи, Франціи и Италіи. Кромѣ того существуетъ международная комиссія для изученія ледниковъ, имѣющая свой органъ „Annales de Glaciologie“, печатающійся на четырехъ языкахъ.

Явленія переноса и отложенія. — Ледники часто сравнивали съ рѣками и особенно съ потоками, имѣющими свой сборный бассейнъ, свой каналъ истеченія и свой конусъ выноса. Это сходство особенно замѣтно, если смотрѣть на ледникъ, какъ на агентъ переноса. Въ бассейнѣ питанія ледника преобладаетъ разрушеніе и уносъ матеріала, въ каналѣ ледника— переносъ, а у конца ледника—отложеніе осадковъ.

Разрушеніе и уносъ матеріала лишь отчасти обусловленъ работой ледника, главнымъ же образомъ онъ производится работой атмосферныхъ агентовъ, которые, какъ намъ уже извѣстно изъ предшествующей главы (гл. XXIV), разрушаютъ горныя породы. Продукты разрушенія горныхъ вершинъ и утесовъ, окружающихъ бассейнъ питанія, падаютъ на фирнъ или на ледникъ частью въ видѣ глыбъ, частью въ мелко раздробленномъ состояніи.

Мы увидимъ ниже, что и самъ ледникъ сглаживаетъ свое дно и берега, постоянно отрываетъ отъ нихъ матеріалъ и, слѣдовательно, дѣйствуетъ какъ агентъ уноса.

Но какъ бы ни происходилъ уносъ матеріала посторонніе элементы, попадающіе въ глетчеръ, уносятся его движеніемъ внизъ, слѣдуя или по поверхности, или по дну ледника и затѣмъ, когда ледъ таетъ, отлагаются или въ его нижней части, или по краямъ. Скопленія этихъ продуктовъ по примѣру Л. Агассица принято называть ледниковыми *моренами* (45).

Однѣ морены находятся въ движеніи, другія отложились окончательно и могутъ притти въ движеніе только въ случаѣ новаго наступанія ледника, который вновь можетъ ихъ увлечь своимъ движеніемъ. Члены международной комиссіи для изученія ледниковъ, собравшись въ 1899 г. подъ предсѣдательствомъ Эд. Рихтера у ледника Роны, положили этотъ принципъ въ основаніе правильнаго подраздѣленія моренъ и предложили слѣдующую классификацію (46):

- Движущіяся морены
  - Поверхностныя м.
    - Боковыя м.
    - Серединныя м.
  - Внутреннія м.
  - Нижнія м.
- Неподвижныя морены
  - Моренные валы
    - Продольныя м.
    - Краевыя м.
      - Береговыя м.
      - Конечныя м.
  - Донныя морены
    - Глубинныя м.
    - Друмлины.

Движущіяся морены сливаются съ ледникомъ въ единое движущееся тѣло. *Поверхностныя морены* образуются отъ паденія на поверхность ледника обломковъ горныхъ вершинъ, окружающихъ бассейнъ питанія, или утесовъ, образующихъ берега ледяной рѣки. Эти обломки движутся, оставаясь на поверхности ледника, и слѣдуютъ по тѣмъ же путямъ, какъ и подстилающій ихъ ледъ. Изъ фирновой области они попадаютъ на ледникъ и продолжаютъ двигаться съ нимъ далѣе внизъ; иногда они вмѣстѣ съ несущимъ ихъ льдомъ приваливаются къ берегамъ, какъ это изображено на фиг. 177, и образуютъ *боковыя морены*, состоящія изъ скопленія каменныхъ глыбъ, сохранившихъ болѣе или менѣе свои первоначальныя формы. Если посреди ледника выдается надъ поверхностью скала, или если два ледника сливаются въ одинъ (полисинтетическіе ледники), то пути переносимыхъ глыбъ сходятся вмѣстѣ, начиная отъ этой скалы или отъ мѣста схожденія двухъ ледниковъ и образуется гряда обломковъ, уносимыхъ далѣе внизъ параллельно оси ледника. Это и будетъ *серединная морена*.

Если ледникъ встрѣчаетъ, загромождающія дно долины каменныя глыбы, онъ уноситъ ихъ съ собой; если онъ встрѣчаетъ на своемъ пути скалистые выступы дна, онъ разрушаетъ ихъ, отрывая отъ нихъ обломки, которые также уноситъ съ собою. Эти каменныя глыбы постоянно трутся другъ о друга, и истираются, а поверхность ихъ подвергается ряду измѣненій, о которыхъ мы еще будемъ говорить впереди. Мало-по-малу между глетчеромъ и его дномъ образуется болѣе или менѣе мощный слой изъ мелкаго гравія и ила, смѣшанныхъ съ каменными глыбами различной величины. Это такъ называемая *нижняя* или *донная морена*. Иногда даже нѣсколько слоевъ обломочнаго матеріала и льда чередуются между собой, какъ напр., на Шпицбергенѣ (10,11). Въ другихъ мѣстахъ донной морены совсѣмъ нѣтъ и глетчеръ покоится непосредственно на скалистомъ днѣ, какъ это констатировалъ Ж. Валло (47) для ледника Mer de Glace.

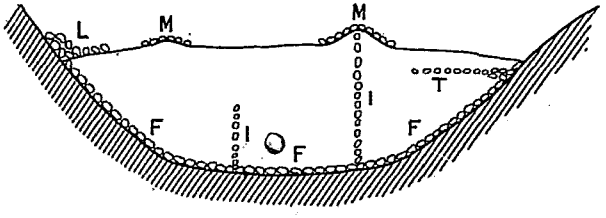
Донная морена слѣдуетъ движенію ледника внизъ и представляетъ собой какъ бы рѣку изъ щебня, текущую подъ рѣкой изо льда.

Когда два глетчера сливаются въ одинъ, то въ мѣстѣ соприкосновенія ледяныхъ массъ матеріалы донной морены сдавливаются, морены внѣдряются краями одна въ другую, отмѣчая границу слившихся ледниковъ и образуютъ такъ называемую

внутреннюю морену. Прорывая галлереи во льду, можно было убѣдиться въ существованіи подъ срединной мореной тонкаго вертикальнаго слоя изъ обломочныхъ матеріаловъ.

Донная морена можетъ быть втиснута давленіемъ въ трещины ледника или она можетъ продолжать двигаться надъ поверхностью льда, движеніе котораго остановлено препятствіемъ, и такимъ способомъ образуются иногда *поперечныя морены*.

Относительное расположеніе этихъ категорій движущихся моренъ изображено схематически на фиг. 177, которую мы заимствуемъ у Гесса (7).



Фиг. 177.—Схема, показывающая расположеніе движущихся моренъ въ поперечномъ разрѣзѣ альпійскаго ледника (по Г. Гессу).

F, донная морена; I, внутреннія морены; M, срединныя морены; T, поперечныя морены; L, боковыя морены.

Когда обломочные матеріалы достигаютъ области таянія ледника, дальнѣйшее ихъ движеніе тотчасъ прекращается, и они образуютъ *неподвижныя морены*; онѣ тѣмъ болѣе доступны для наблюденія, чѣмъ таяніе идетъ интенсивнѣе и особенно хорошо видны въ эпохи отступанія ледника. Поверхностные морены превращаются тогда въ *моренные валы*; если они расположены по берегамъ ледника, то называются *береговыми моренами* (табл. LXIII, XIV), если расположены у конца ледника, то называются *конечными моренами*. Съ матеріалами поверхностныхъ моренъ здѣсь смѣшиваются матеріалы донной морены. Донная морена или выносится на берега глетчера, или превращается тоже въ конечную морену; такъ, въ глетчерѣ Shecillewaet въ Канадѣ (48), по наблюденіямъ Пенка (48), конечная морена возникла отъ накопленія въ нижней части ледника большой массы донной морены. Глубинное происхожденіе нѣкоторыхъ конечныхъ моренъ доказывается встрѣчающимися въ нихъ многочисленными исштрихованными валунами.

Срединныя и внутреннія морены соединяются и, послѣ стаиванія ледника, оставляютъ слѣдъ своего движенія въ видѣ *продольныхъ моренъ*.

Нижняя морена также останавливается, и при стаиваніи ледника обнаруживаются большія площади, занимаемыя ею, или въ видѣ *глубинной морены* съ болѣе или менѣе плоской поверхностью, или въ видѣ *друмлиновъ*, т. е. въ видѣ небольшихъ эллиптическихъ холмовъ съ осью идущей параллельно направленію движенія льда.

Сильное развитіе конечной морены свидѣтельствуетъ о томъ, что ледникъ долгое время оставался безъ движенія непосредственно за ея отложеніемъ. Когда же онъ снова приходитъ въ движеніе, онъ разрушаетъ моренный валъ, при чемъ образовавшія его каменныя глыбы попадаютъ въ его донную морену, которая такимъ образомъ увеличится уже насчетъ поверхностныхъ элементовъ.

При отступаніи ледника конечная морена остается въ видѣ *мореннаго амфитеатра*. Выше ея обыкновенно находится бассейнъ, соотвѣтствующій прежнему мѣстоположенію нижней части ледника и составляющій, такъ называемую, *центральную впадину* (*Zungenbecken*). Часто она превращается въ озеро или болото, иногда же на днѣ ея возвышаются друмлины.

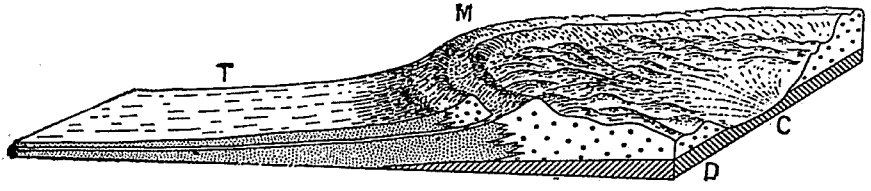
Моренный валъ имѣетъ диссимметричную форму: онъ круто падаетъ къ леднику, такъ какъ ледникъ стремился удержать его матеріалы въ равновѣсіи, и спускается отлого съ противоположной стороны, такъ какъ вода, образовавшаяся отъ таянія льда, уносила обломки внизъ и при этомъ округляла ихъ. Дю Пакье назвалъ этотъ склонъ *переходнымъ конусомъ*; и дѣйствительно, онъ составляетъ переходъ между ледниковыми отложеніями и *ледниково-рѣчными или флювіогляціальными галечниками.*

Часто эти галечники лежатъ слоями, которые на вершинѣ переходнаго конуса чередуются съ моренными отложеніями, такъ какъ обѣ фаціи вклиниваются одна въ другую.

Моренный амфитеатръ, центральная впадина и переходный конусъ, вмѣстѣ взятые, составляютъ *ледниково-рѣчной аппаратъ* или *ледниковый комплексъ*. Часто центральная впадина бываетъ окружена двумя или нѣсколькими поясами моренъ, которыя, по терминологіи Пенка, образуютъ *ледниковую серію* (фиг. 178).

Коррозія.—Намъ уже извѣстно, что ледникъ увлекаетъ своимъ движеніемъ всевозможные обломки горныхъ породъ, устилающіе его дно. Эти каменные обломки быстро вмерзаютъ

въ массу льда, которая истираетъ скалистое дно глетчера; треніе бываетъ тѣмъ интенсивнѣе, чѣмъ сильнѣе давленіе и быстрота движенія глетчера. Вмерзшія въ ледъ глыбы дѣйствуютъ при этомъ какъ рубанки или рѣзцы, а поверхность, по которой онѣ двигаются, шлифуется или покрывается шрамами. Поверхность гранитныхъ или вообще твердыхъ породъ, подстилающихъ ледникъ, бываетъ обыкновенно прекрасно отполирована; известнякъ же покрывается параллельными шрамами, указывающими на направленіе движенія ледника. Рыхлыя породы быстро истираются, отъ нихъ отрываются обломки, которые входятъ въ составъ донной морены. На обнажающихся при отступаніи ледника поверхностяхъ, съ которыхъ люди или стекающая вода удаляютъ покровъ донной морены, можно прекрасно наблюдать штриховку,



Фиг. 178.—Ледниковая серія (по А. Пенку).
C, центральная впадина; M, моренный амфитеатръ; T, переходный конусъ; D, друмлины.

полировку и борозды, произведенныя ледникомъ, и результаты его шлифующей работы. Горныя породы, возвышавшіяся выступами на днѣ ледника, округлены и превращены въ *курчавыя скалы* (табл. LXIV, LXVI). Одинъ склонъ ихъ, болѣе подвергшійся корродирующему дѣйствію ледника, бываетъ пологій, а другой крутой и не такъ хорошо отшлифованный, такъ какъ по нему треніе шло сверху внизъ и, слѣдовательно, встрѣчало меньшее сопротивленіе.

Валуны, входящіе въ составъ донной морены, кромѣ того трутся другъ о друга, истираютъ выдающіеся углы, но не округляются, а сохраняютъ плоскія поверхности, чѣмъ они и отличаются отъ морскихъ и рѣчныхъ валуновъ. Известковая галька бываетъ обыкновенно покрыта многочисленными штрихами, идущими въ различныхъ направленіяхъ, что указываетъ на измѣнявшееся положеніе каждаго обломка, по отношенію къ сосѣднимъ. *Исштрихованные валуны* являются характернымъ элементомъ ледниковыхъ формацій; даже малоопытный наблюдатель сразу можетъ ихъ отличить отъ валуновъ, встрѣчающихся, напр., въ осыпяхъ. Конечно, шрамы сохраняются лишь на валунахъ,

находящихся въ водонепроницаемыхъ породахъ; въ водопроницаемыхъ же породахъ они быстро уничтожаются просачивающейся водой. Также и ледниковая полировка чаще всего сохраняется на породахъ, защищенныхъ отъ дѣйствія атмосферныхъ агентовъ ледниковымъ иломъ.

Но спрашивается, служатъ ли эти проявленія корродирующей силы ледниковъ доказательствомъ того, что ледники способны въ значительной мѣрѣ измѣнить топографическія формы, занимаемыхъ ими долинъ, или другими словами могутъ ли они производить работу эрозіи.

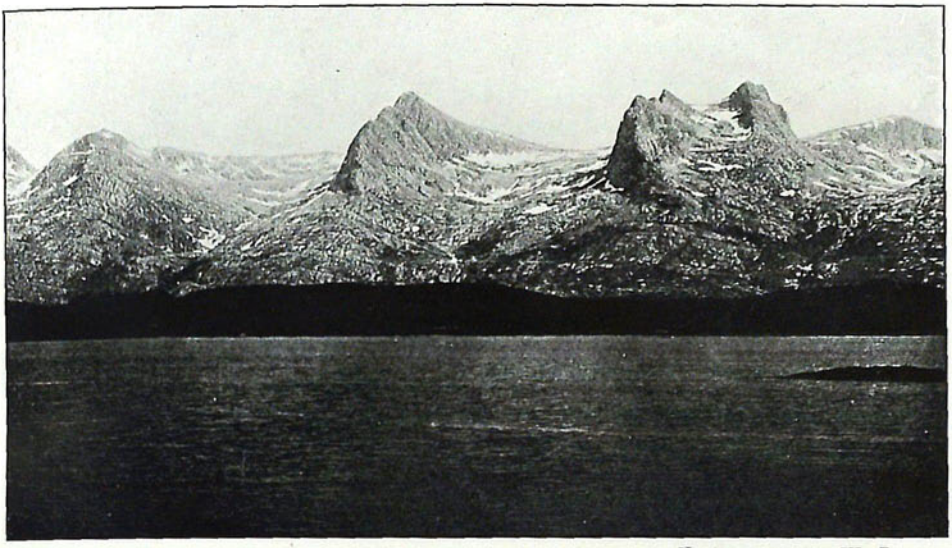
Отвѣтъ на этотъ вопросъ даютъ двѣ противоположныя теоріи. Одни ученые высказываются въ положительномъ смыслѣ; другіе, наоборотъ, утверждаютъ, что ледники даже защищаютъ свое ложе отъ эродирующаго дѣйствія текучей воды. Мы сейчасъ подробнѣе познакомимся съ обѣими теоріями.

Намъ уже извѣстно, что долины, исключительно эродируемыя текучей водой, имѣютъ въ поперечномъ разрѣзѣ форму V. Долины же, носящія ясныя доказательства движенія по нимъ ледника, имѣютъ плоское дно и очень крутые склоны и, слѣдовательно, въ *поперечномъ разрѣзѣ—форму* U [1]) (табл. LXVIII). Несомнѣнно, что измѣненіе профиля надо отнести насчетъ ледниковой эрозіи.

Болѣе того, въ мѣстностяхъ, гдѣ никогда не было ледниковъ, наблюдается полное согласованіе продольныхъ разрѣзовъ боковыхъ долинъ съ главной долиной (см. стр. 451 фиг. 162): въ ледниковыхъ же долинахъ подобной согласованности не наблюдается. Притоки впадаютъ тамъ въ главную долину узкими ущельями или низвергаются въ нее каскадами, образуя такимъ путемъ настоящія „висячія долины“, которыя являются самымъ очаровательнымъ украшеніемъ альпійскаго пейзажа. По мнѣнію А. Пенка (49) и В. Морриса Девиса (50) такое расположеніе долинъ было вызвано тѣмъ, что главныя долины *послѣ своего образованія* были еще углублены ледниковой эрозіей, такъ что тальвеги висячихъ долинъ, являющихся остатками древней гидрографической сѣти, перестали нормально согласоваться съ

---

[1]) Конечно, можно сравнивать между собой только долины, прорытыя въ одной и той же породѣ, напр., въ слюдяныхъ сланцахъ. U—образную форму долинъ, прорытыхъ въ этой породѣ въ Альпахъ, мы можемъ приписать лишь ледниковой эрозіи, такъ какъ въ другихъ мѣстностяхъ, напр., въ Виваре, въ которыхъ никогда не было ледниковъ, почти всѣ долины, въ слюдяныхъ сланцахъ, имѣютъ въ поперечномъ разрѣзѣ форму V.



Негат. доставл. Ш. Веленъ.

Семьсестеръ (Нордландъ) (частичный видъ).

Углубленія вытертыя древними ледниками.



Негат. Ш. Веленъ.

Ледниковая полировка Нёредальсёренъ.

Провинція Бергенъ (Норвегія).

прежнимъ тальвегомъ главной долины вслѣдствіе ея переуглубленія. В. Киліанъ (53) совершенно иначе объясняетъ это явленіе; по его мнѣнію главная долина была переуглублена текучими водами, а боковыя долины были совершенно защищены отъ эрозіи мѣстными ледниками, занимавшими ихъ послѣ исчезновенія главнаго ледника. Когда же растаяли и эти мѣстные ледники, то подледниковая топографія поперечныхъ долинъ оказалась несогласованной съ топографіей главной долины. Въ этой теоріи остается совершенно непонятнымъ, почему регрессивная эрозія водъ, образовавшихся отъ таянія отступавшихъ ледниковъ, не возстановила въ короткое время согласіе профилей равновѣсія боковыхъ долинъ съ профилемъ главной долины.

Но характерная форма поперечнаго разрѣза долины и существованіе висячихъ долинъ неисчерпываютъ аргументовъ въ пользу ледниковой эрозіи. *Продольный профиль* большихъ альпійскихъ долинъ представляетъ собой такія особенности, которыя еще очевиднѣе доказываютъ, что онѣ подверглись вторичной ледниковой эрозіи. Очень часто происхожденіе большихъ озеръ по окраинамъ Альпъ, громадная глубина которыхъ указываетъ на существованіе противосклоновъ въ ихъ тальвегѣ, приписывали движеніямъ почвы, вызывающимъ образованіе синклинальной впадины по краямъ горной цѣпи. Точно также объясняли и происхожденіе норвежскихъ *фіордовъ*, на которые теперь уже установился взглядъ, какъ на древнія ледниковыя долины, затопленныя моремъ и которыя почти всегда отдѣляются отъ моря скалистымъ уступомъ, а не подводнымъ мореннымъ валомъ, какъ предполагали ранѣе (табл. LXVII, 2).

Изученіе фіордовъ въ Норвегіи, Патагоніи, Аляскѣ и Гренландіи, предпринятое Отто Норденшёльдомъ (54), пролило совершенно новый свѣтъ на этотъ вопросъ. Промѣры дна во всѣхъ этихъ странахъ вполнѣ опредѣленно доказали, что фіорды имѣютъ вогнутый профиль тальвега, при чемъ это не является особенностью только главныхъ фіордовъ. Большинство боковыхъ часто очень удлиненныхъ развѣтвленій этихъ заливовъ представляетъ собой впадину, которой предшествуетъ скалистый выступъ, слѣдовательно, и они имѣютъ также вогнутый тальвегъ съ противосклономъ. Если вогнутый профиль главныхъ фіордовъ еще можно было объяснять осѣданіемъ почвы, идущимъ параллельно берегу Скандинавіи, то это объясненіе совершенно неприложимо къ многочисленнымъ боковымъ развѣтвленіямъ фіор-

довъ, отходящихъ отъ нихъ въ самыхъ разнообразныхъ направленіяхъ; для этого пришлось бы вообразить себѣ чрезвычайно сложныя и непонятныя движенія земной коры. *Поэтому лишь ледниковая эрозія можетъ объяснить намъ вогнутую форму тальвега и противосклоны альпійскихъ долинъ и фіордовъ.*

Наконецъ, слѣды переуглубленія эродирующей работой ледника, занимавшаго нѣкогда долину, обнаруживаются не гдѣ придется, а въ опредѣленномъ мѣстѣ продольнаго профиля долины. Вогнутости профиля находятся обыкновенно непосредственно ниже сильнаго излома склона, слѣдовательно, тамъ, гдѣ ледникъ достигалъ максимальной быстроты движенія, а мощность его сильно возрастала. Сліяніе нѣсколькихъ ледниковъ также увеличиваетъ эродирующую силу массы льда, такъ какъ, вслѣдствіе уменьшенія ширины ложа, мощность и быстрота движенія ниже мѣста сліянія значительно возрастаютъ.

Совершенно особый видъ ледниковой эрозіи представляютъ собой цирки. Циркъ (по-нѣмецки *Kar*) по опредѣленію Э. де Мартонна (60), представляетъ собою „впадину, образующую родъ ниши на склонѣ горной массы, обыкновенно вблизи ея вершины; дно впадины или горизонтально, или чуть наклонно и окружено отвѣсными стѣнами, которыя понижаются, приближаясь къ устью такой впадины. Наклонъ дна никогда не бываетъ равномѣрнымъ, но представляетъ рядъ впадинъ, занятыхъ озерами или торфяниками, или серію уступовъ...“ Эта топографическая форма не имѣетъ ничего общаго со сборнымъ бассейномъ, прорытымъ эрозіонной работой потока; не можетъ она также быть объяснена и только одной ледниковой эрозіей, такъ какъ впадина имѣла бы тогда совершенно другую форму. Можно предположить, что исходною формой образованія цирка была эрозіонная воронка, но чередованіе морозовъ и оттепелей превратило ея склоны въ вертикальныя стѣны. Лавины на днѣ воронки дали начало небольшему возродившемуся леднику, который сначала удалилъ рыхлую почву, на которой онъ образовался, затѣмъ углубилъ дно и изъ глыбъ, постоянно падающихъ на его поверхность съ отвѣсныхъ склоновъ, образовалъ конечную морену. Такимъ образомъ постоянно поддерживается U-образная форма поперечнаго профиля цирка (табл. LXIV).

Итакъ, мы видимъ, что ледниковая эрозія обусловливаетъ появленіе совсѣмъ иныхъ топографическихъ формъ, чѣмъ эродирующая сила текучей воды; не слѣдуетъ кромѣ того оставлять безъ вниманія значеніе воднаго потока, берущаго начало

въ нижней части ледника отъ сліянія водъ, получаемыхъ отъ таянія льда. Этотъ потокъ, какъ и всякій другой горный потокъ, эродируетъ отъ устья къ верховью. Когда ледникъ отступаетъ, обнажая покатую поверхность, эта регрессивная эрозія становится еще болѣе замѣтной, и ея результатомъ является прорытіе узкаго ущелья на склонѣ, обнажающемся изъ-подъ отступающаго ледника. Такъ какъ результатомъ ледниковой эрозіи часто бываетъ образованіе скалистаго выступа, перегораживающаго долину, водный потокъ вытекающій изъ ледника, по мѣрѣ отступанія послѣдняго вверхъ, прорываетъ себѣ проходъ въ этомъ препятствіи. Такимъ способомъ образовалось, напр., узкое ущелье Ламмъ выше Мейрингена, прорытое Ааромъ въ известковомъ выступѣ въ Кирхетъ, въ то время какъ глетчеръ отступалъ изъ лежащей позади него впадины Гасли-имъ-Грундъ, имъ же самимъ прорытой (62,63). Такія ущелья, называемыя *эпигенными*, очень часто встрѣчаются въ Альпахъ. О пребываніи здѣсь ледника свидѣтельствуютъ морены, заполнившія въ бо́льшей или меньшей степени одну или нѣсколько впадинъ или бороздъ въ скалистомъ выступѣ, который такимъ образомъ превращается въ рядъ очень характерныхъ *холмовъ* (табл. LXVII, 2,3). Внизу течетъ обыкновенно потокъ, выравнивающій свой профиль равновѣсія (табл. XV, 2). Чтобы воспользоваться паденіемъ воды съ промышленными цѣлями нерѣдко пробиваютъ тоннель черезъ скалистый выступъ. Описанное здѣсь явленіе часто называется *surimposition glaciaire.*

Прежнее распространеніе ледниковъ.—На предшествующихъ страницахъ мы уже неоднократно упоминали вскользь о томъ, что нѣкогда ледники покрывали несравненно большія площади, чѣмъ теперь. Наблюденія надъ современными ледниками въ горахъ Европы указываютъ на довольно значительныя колебанія въ распространеніи ледниковъ, но на основаніи лишь этихъ наблюденій мы никакъ не могли бы представить себѣ, какихъ размѣровъ достигали эти измѣненія въ близкую намъ геологическую эпоху. Къ этому заключенію мало-по-малу привели ученыхъ чисто геологическія и даже географическія наблюденія, и оно пріобрѣтало все бо́льшую и бо́льшую степень достовѣрности. Впрочемъ, эти взгляды въ видѣ догадокъ были высказаны уже болѣе ста лѣтъ тому назадъ нѣкоторыми естествоиспытателями, нашедшими исштрихо-

ванныя породы и морены далеко за предѣлами долинъ, занятыхъ теперь ледниками.

Кажется, что впервые въ 1802 г. Дж. Плейферъ утверждалъ, что эрратическіе валуны, разсыпанные по Юрѣ, перенесены громадными ледниками. Но лишь Венецъ, исходя изъ мысли, поданной ему валлисскимъ охотникомъ за сернами Ж. Пьерромъ Перодэнь, выступилъ въ 1822 г. съ гипотезой, что нѣкогда вся верхняя долина Роны была занята ледникомъ. Ж. де Шарпантье расширилъ эту гипотезу, доказавъ ея приложимость ко всѣмъ Швейцарскимъ Альпамъ, и такимъ путемъ была создана *ледниковая теорія*. Лишь много позже она была примѣнена къ Скандинавіи и къ сѣверо-европейскимъ равнинамъ.

Указанія на большое развитіе прежнихъ ледниковъ черпаются изъ явленій переноса, коррозіи и эрозіи.

Эрратическіе валуны являются обломками горныхъ породъ, самыми разнообразными по своимъ размѣрамъ (самыя большія изъ нихъ достигаютъ тысячи кубическихъ метровъ) и по своему петрографическому составу совершенно несходными съ породами, на которыхъ они лежатъ. Они то увѣнчиваютъ вершины горныхъ гребней, то усѣиваютъ равнины, давая богатую пищу народному воображенію. Изученіе ихъ состава или заключающихся въ нихъ ископаемыхъ часто даетъ возможность установить откуда и какимъ путемъ они сюда попали. Въ ихъ распредѣленіи наблюдается извѣстная правильность: такъ, напр., валуны Юры были принесены изъ Валиса; по высотѣ же, на которой они находятся, совершенно нельзя допустить, чтобы они были перенесены текучей водой.

Иногда они лежатъ рядами или располагаются на поверхности валовъ, состоящихъ изъ обломочныхъ породъ. Въ этихъ валахъ нетрудно найти особенности краевыхъ и продольныхъ моренъ современныхъ глетчеровъ; они занимаютъ плато или расположены по склонамъ долинъ, часто слѣдуя за неровностями поверхности по горизонталямъ. Иногда же нѣсколько валовъ расположены одинъ надъ другимъ какъ бы ярусами. При изображеніи ихъ на картѣ, какъ это было сдѣлано для окрестностей Берна и на томъ листѣ геологической карты Франціи, гдѣ находится Гапъ, можно видѣть прежнее расположеніе ледника въ долинѣ и возстановить всѣ его лопасти благодаря полукруглымъ валамъ, которые можно признать за конечныя морены.

При входѣ въ большія альпійскія долины часто можно ви-

дѣть прекрасные моренные амфитеатры съ ихъ центральной впадиной, часто занятой озеромъ, и съ ихъ переходнымъ конусомъ, который, постепенно спускаясь, переходитъ въ равнину, устланную галечникомъ. Замѣчательно, что эти ледниковые комплексы сохранились иногда совершенно неизмѣненными. Иногда въ центрѣ впадины поднимаются друмлины. Въ другихъ областяхъ, и особенно въ равнинахъ сѣверной Европы, встрѣчаются большіе валы, состоящіе изъ обломочнаго матеріала, и подобные моренамъ, но представляющіе гребни болѣе рѣзко обрисованные; эти валы пересѣкаютъ страну въ направленіи перпендикулярномъ мореннымъ валамъ; въ Швеціи ихъ называютъ *âsar* (по-русски *озы*), въ Шотландіи *kames*. Нѣкоторые ученые разсматриваютъ ихъ какъ отложенія подледниковыхъ потоковъ, а другіе—какъ остатки внутреннихъ моренъ.

Не вездѣ, впрочемъ, имѣются столь убѣдительныя топографическія доказательства распространенія ледника, но ихъ могутъ замѣнить доказательства геологическаго характера въ видѣ особаго отложенія, извѣстнаго подъ именемъ *валунной глины* (*boulder clay* въ Англіи, *argille à blocaux* во Франціи). Это—неясно слоистая глина, смѣшанная съ пескомъ и мелкимъ гравіемъ и заключающая въ себѣ очень много валуновъ съ плоскими сторонами, исштрихованными въ разныхъ направленіяхъ, т. е. настоящіе *исштрихованные валуны*; эта глина есть ничто иное какъ подонная морена; часто она устилаетъ дно центральной впадины въ обширныхъ моренныхъ амфитеатрахъ. Поверхность ея неправильна, часто покрыта друмлинами, усѣяна озерами; это очень неопредѣленная топографія вполнѣ оправдывающая данное ей Дезоромъ названіе *моренный ландшафтъ* (44).

Явленія коррозіи и эрозіи служатъ не менѣе убѣдительными доказательствами распространенія ледниковъ въ древности. На ряду съ эрратическими валунами встрѣчаются курчавыя и покрытыя шрамами скалы, и по расположенію этихъ шрамовъ мы можемъ судить о направленіи движенія льда (табл. LXVI, 2). Часто исштрихованныя поверхности появляются подъ донной мореной. Иногда, напр., въ знаменитомъ Ледниковомъ саду Люцерна, онѣ сопровождаются исполинскими котлами, которые въ данномъ случаѣ обязаны своимъ происхожденіемъ подледниковымъ потокамъ, но сами по себѣ не могутъ служить доказательствомъ прежняго присутствія здѣсь ледника, такъ какъ они еще чаще встрѣчаются въ ущельяхъ, прорытыхъ текучей водой.

Отшлифованныя движеніемъ ледника поверхности породъ

встрѣчаются очень часто на склонахъ альпійскихъ долинъ до извѣстной высоты, выше которой формы горъ обусловлены исключительно работой атмосферныхъ агентовъ. Эродирующей силѣ текучей воды еще до сихъ поръ не удалось совершенно стереть слѣды древняго оледенѣнія. Во многихъ долинахъ верхняя граница отшлифованныхъ ледникомъ поверхностей отчетливо видна на одинаковой высотѣ по обѣимъ сторонамъ долины, она постепенно поднимается отъ низовьевъ къ верховью; очевидно, что до этой высоты долина была занята ледникомъ. Въ долинѣ Аара и Шамуни къ такому заключенію придетъ всякій внимательный наблюдатель (табл. LXVII, 1).

Въ полярныхъ странахъ только высокія вершины поднимались выше того уровня, до котораго достигалъ ледникъ, образуя, такъ называемые нунатаки, подобные тѣмъ, которые теперь возвышаются надъ ледниковомъ покровомъ Гренландіи (табл. LXVI, 1).

Намъ уже извѣстно, что озера въ альпійскихъ долинахъ и цирки служатъ доказательствами ледниковой эрозіи; слѣдовательно, мы всегда можемъ сказать опредѣленно о мѣстности, въ которой они встрѣчаются, что она подвергалась оледенѣнію въ геологическую эпоху, предшествующую нашей. Всѣ эти факты, вмѣстѣ взятые, даютъ намъ основаніе утверждать, что нѣкогда альпійскіе ледники занимали площадь несравненно бо́льшую, чѣмъ теперь. Въ періодъ ихъ наибольшаго распространенія всѣ Западные Альпы были погребены подъ ледниковымъ покровомъ, совершенно схожимъ съ инландсейсомъ Гренландіи, и надъ нимъ поднималось лишь нѣсколько очень высокихъ горныхъ вершинъ. Другіе горные массивы, какъ Пиренеи, Центральный массивъ Франціи, Татры не имѣли такихъ громадныхъ глетчеровъ. Весь же сѣверъ Европы находился подъ ледниковымъ покровомъ, простиравшимся отъ главной горной цѣпи Скандинавіи по равнинамъ Россіи и Сѣверной Германіи.

Доказательства неоднократнаго вторженія ледниковъ.—Въ теченіе долгаго времени геологамъ былъ извѣстенъ лишь одинъ періодъ громаднаго распространенія ледниковъ, который обыкновенно относили къ началу четвертичной эры и называли *ледниковымъ періодомъ*. Но въ концѣ прошлаго вѣка стали извѣстны многочисленные факты, которые поколебали этотъ слишкомъ упрощенный взглядъ, установивъ съ одной стороны существованіе въ разныхъ странахъ очень обшир-



Негат. П. Корбенъ.

Пикъ Дрю.

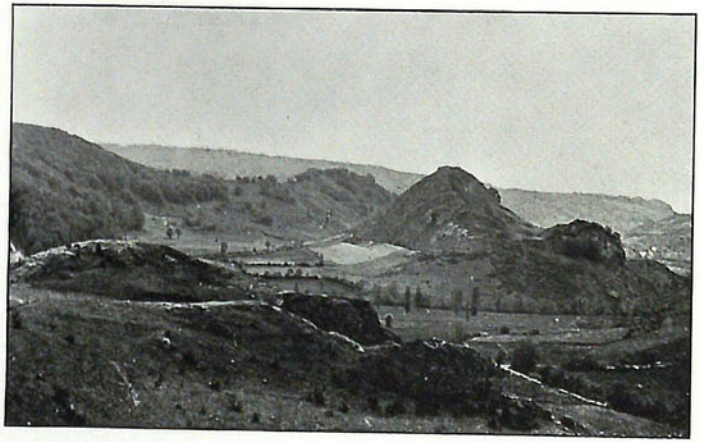
Внизу цирки въ стадіи образованія, морены, поверхности отполированныя четвертичными ледниками.



Негат. Шпрмера.

Холмы обдѣланные ледниковой эрозіей.

Гадменталь (Бернскіе Альпы).



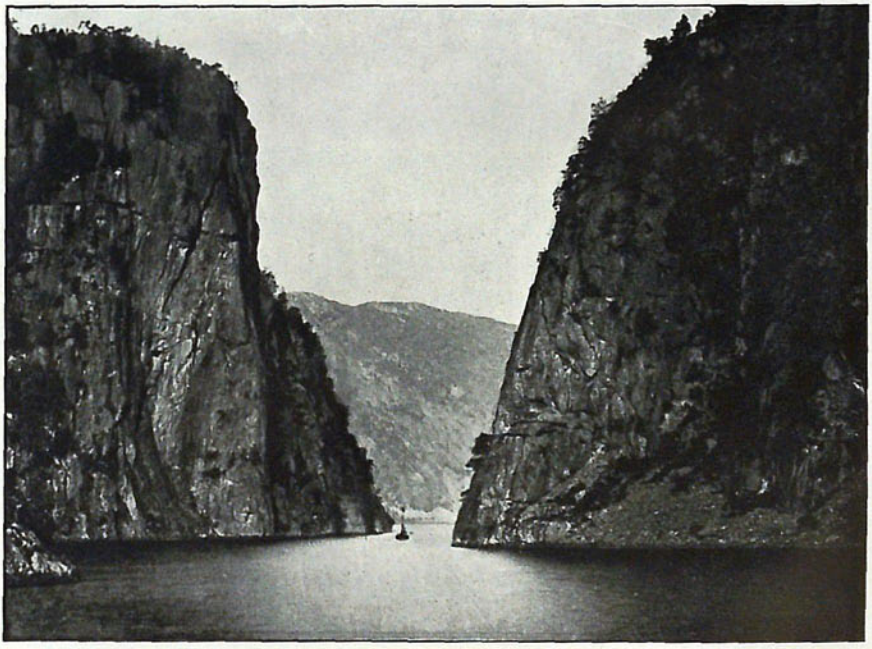
Негат. Э. Ога.

Верхняя долина Дордоньи выше Монъ-Дора.



Ля Мейе и долинка Этансонъ (Уазанъ).

Типъ долины вырытой ледникомъ.



Негат. доставл. Ш. Веленъ.

Ледниковая долина Норвегіи.

Суледальспортенъ, Суледаль.

ныхъ ледниковъ, относящихся къ палеозойной эрѣ, а съ другой стороны, доказавъ неоднократное наступаніе и отступаніе ледниковъ въ четвертичный періодъ.

Теорія, признающая нѣсколько послѣдовательныхъ фазъ оледенѣнія, раздѣленныхъ между собой межледниковыми эпохами, т. е. періодами отступанія ледниковъ, является теперь общепринятой. Разногласія по этому поводу сводятся лишь къ вопросу о числѣ фазъ оледенѣнія, которое колеблется у различныхъ ученыхъ отъ 3 до 6, и о степени значенія этихъ колебаній. Въ настоящее время мы не будемъ входить въ оцѣнку этихъ хронологическихъ вопросовъ, такъ какъ намъ придется подробно остановиться на нихъ во второй части этого труда при изученіи четвертичной эры. Здѣсь же мы лишь въ немногихъ словахъ коснемся природы тѣхъ фактовъ *стратиграфическаго и топографическаго* порядка, на основаніи которыхъ была установлена многократность фазъ оледенѣнія.

Въ одномъ и томъ же обнаженіи можно нерѣдко наблюдать два пласта валунной глины, наложенныхъ другъ на друга, т. е. другими словами двѣ донныя морены, при чемъ нижняя морена въ мѣстѣ соприкосновенія съ верхней мореной носитъ очевидные слѣды разрыхленія. Глина вслѣдствіе окисленія имѣетъ здѣсь красный цвѣтъ, а валуны—болѣе или менѣе разложились. Такъ какъ валунная глина почти водонепроницаема, а верхній ея пластъ остался неизмѣненнымъ или измѣнился лишь на поверхности, мы должны притти къ заключенію, что разрыхленіе нижняго пласта произошло на отрытомъ воздухѣ, раньше чѣмъ ледникъ отложилъ на его поверхности новый пластъ морены. Подобныя наблюденія могли быть произведены на очень обширныхъ пространствахъ, и мы имѣемъ полное право предполагать, что ледникъ, отложивъ первую донную морену, отступалъ достаточно далеко и долго, для того чтобы эти морена на довольно большомъ протяженіи подверглись разрыхленію на воздухѣ; затѣмъ ледникъ снова надвинулся на оставленныя имъ мѣста и отложилъ здѣсь новыя донныя морены.

Существованіе двухъ фазъ оледенѣнія, раздѣленныхъ періодомъ отступанія ледника, становится еще болѣе очевидно, когда между двумя ледниковыми образованіями наблюдаются *межледниковыя формаціи*, каковы, напр., лигниты, туфы, конусы выноса потоковъ, рѣчной аллювій, лёссъ эоловаго происхожденія, словомъ такія отложенія, которыя не могли образоваться

пока здѣсь находился ледникъ; кромѣ того, по ископаемымъ органическимъ остаткамъ, встрѣчающимся въ этихъ формаціяхъ, мы можемъ судить, что мѣстныя климатическія условія были совершенно несовмѣстимы съ присутствіемъ глетчера. Отсюда мы можемъ сдѣлать тотъ выводъ, что ледники отступили по меньшей мѣрѣ вплоть до своего бассейна питанія и на весьма продолжительное время.

Топографическіе аргументы, приводимые въ пользу этой теоріи являются не менѣе вѣскими.

Внѣшнія морены, встрѣчаются во многихъ мѣстностяхъ, особенно въ Альпахъ, въ самой различной степени сохранности: однѣ являются совершенно вывѣтрившимися, другія же настолько хорошо сохранились, что кажется, будто ледникъ только что отступилъ. Первыя находятся очень далеко отъ современныхъ глетчеровъ въ равнинахъ, окаймляющихъ горную цѣпь и служатъ границей наибольшаго распространенія ледниковъ; это такъ называемыя *внѣшнія морены*. Вторыя занимаютъ самыя долины и указываютъ какъ на меньшее простираніе ледниковъ, такъ и на большую индивидуализацію каждаго глетчера въ отдѣльности; ихъ называютъ *внутренними моренами*. Въ виду того, что онѣ сохранились несравненно лучше мы можемъ думать, что онѣ образовались значительно позже внѣшнихъ моренъ. Болѣе того, эти различныя морены составляютъ ледниковые комплексы и ледниково-рѣчныя образованія, о значеніи которыхъ мы уже говорили и которые встрѣчаются и во внутреннихъ и во внѣшнихъ моренахъ. Галечниковые покровы, соединяющіеся съ моренными амфитеатрами посредствомъ переходнаго конуса, могутъ быть связаны и съ той и съ другой системой моренъ, и можно сдѣлать чрезвычайно важное наблюденіе, что покровы, связывающіеся съ системой внѣшнихъ моренъ, лежатъ гораздо выше покрововъ, относящихся къ внутреннимъ моренамъ. Покровы той и другой системы образуютъ вставленныя другъ въ друга террасы, совершенно сходныя съ аллювіальными террасами рѣкъ, о происхожденіи которыхъ мы уже говорили въ предшествующей главѣ. Нѣтъ никаго сомнѣнія въ томъ, что верхнія террасы, входящія въ систему внѣшнихъ моренъ, являются болѣе древними формаціями, чѣмъ нижнія террасы внутреннихъ моренъ. Ихъ отдѣляетъ фаза эрозіи, соотвѣтствующая эпохѣ отступанія ледниковъ, т. е. межледниковому періоду.

Покровы галечниковъ, относящіеся къ внутреннимъ и къ внѣшнимъ моренамъ, являются не единственными покровами, встрѣчающимися по окраинамъ Альпъ.

Существуютъ еще два вида покрововъ, которые расположены гораздо выше верхнихъ и нижнихъ террасъ и образуютъ настоящія плато, переходящія вверху въ гораздо болѣе вывѣтрившіяся морены, чѣмъ тѣ, о которыхъ мы только что говорили.

Эти четыре покрова изъ галечниковъ несомнѣнно соотвѣтствуютъ четыремъ послѣдозательнымъ фазамъ оледенѣнія, чередующимся съ фазами отступанія глетчеровъ; въ періоды отступанія, водо́ы таявшихъ ледниковъ образовали потоки, прорывавшіе себѣ ложа въ покровѣ изъ галекъ предшествовавшей фазы оледенѣнія, т. е. ниже прежней топографической поверхности, и такимъ путемъ возникали террасы.

На доказательствахъ этихъ фактовъ и подробномъ описаніи ихъ примѣровъ мы остановимся тогда, когда перейдемъ къ исторіи четвертичной эры. Тамъ же нами будутъ даны и библіографическія указанія и необходимыя иллюстраціи къ только что указаннымъ даннымъ.

Входящія другъ въ друга террасы, соотвѣтствующія четыремъ періодамъ оледенѣнія, очень отчетливо видны и въ верхнихъ альпійскихъ долинахъ, гдѣ уже не встрѣчается ледниково-рѣчныхъ образованій, а однѣ только морены. Нерѣдко удавалось наблюдать, что каждая система моренъ располагается ниже моренныхъ образованій предшествовавшаго періода, которыя занимаютъ верхній надъ нею ярусъ. Слѣдовательно, прорытіе долинъ въ межледниковые періоды, начинаясь снизу, распространялось до самыхъ верховьевъ. Нѣкоторые ученые видятъ въ долинахъ серію желобовъ, вырытыхъ и переуглубленныхъ ледниковой эрозіей и входящихъ одинъ въ другой (56).

Сейчасъ мы не будемъ касаться вопроса о періодахъ оледенѣнія, предшествовавшихъ четвертичной эрѣ, такъ какъ намъ придется говорить о нихъ въ другихъ соотвѣтствующихъ мѣстахъ.

Гипотезы о причинахъ ледниковыхъ періодовъ.—Въ началѣ этой главы мы уже говорили о томъ, что непремѣннымъ условіемъ образованія ледниковъ являются существованіе высотъ, поднимающихся выше границы вѣчнаго снѣга. Поэтому мы имѣемъ полное основаніе думать, что наступаніе ледниковъ вызывается опусканіемъ этой границы. Отправной точкой всякой гипотезы, стремящейся опредѣлить причины наступанія ледниковъ, должно быть, слѣдовательно, выяс-

неніе условій этого опусканія въ областяхъ, подвергавшихся оледенѣнію, и объясненіе его періодичности.

Всѣ высказанныя по этому поводу гипотезы можно раздѣлить на двѣ категоріи — гипотезы астрономическія и геологическія.

Изъ *астрономическихъ гипотезъ* наибольшею популярностью пользуется гипотеза Джемса Кролля. Исходной ея точкой являются измѣненія наклона земной оси, къ эклиптикѣ, вызывающія явленіе *предваренія равноденствій*. Извѣстно, что это явленіе обнимаетъ періодъ въ 21000 лѣтъ и, слѣдовательно, въ каждые 10500 лѣтъ продолжительность теплаго времени, т. е. астрономическихъ весны и лѣта въ одномъ изъ полушарій больше продолжительности холоднаго времени на 8 дней. Отсюда слѣдуетъ, что поочередно каждое полушаріе получаетъ излишекъ тепла сравнительно съ другимъ, которое подвергается охлажденію достаточно сильному для объясненія наибольшаго распространенія ледниковъ. Измѣненія въ эксцентриситетѣ земной орбиты приводятъ къ тѣмъ же результатамъ съ той лишь разницей, что здѣсь періодъ исчисляется въ 86000 лѣтъ. Но будемъ ли мы опираться на то или другое астронимическое измѣненіе или на совпаденіе ихъ обоихъ, мы должны будемъ допустить чередованіе оледенѣнія въ обоихъ полушаріяхъ, и прежнее сильное развитіе экваторіальныхъ ледниковъ, напр., на Килимаджаро и Кеніа останется совершенно необъясненнымъ.

Другіе ученые искали причину охлажденія земной поверхности въ измѣненіи діаметра солнца или силы солнечнаго свѣта, но эти гипотезы совершенно не имѣютъ прочныхъ основаній. Нѣсколько бо́льшее значеніе имѣетъ гипотеза, опирающаяся на измѣненія солнечныхъ пятенъ. Періодичность этихъ измѣненій могла бы объяснить циклы Брюкнера и связанныя съ ними измѣненія размѣровъ ледниковъ, совершающіяся въ короткіе періоды.

Геологическія гипотезы выдвигаютъ въ качествѣ причины то вулканическія явленія, то измѣненія въ распредѣленіи суши и моря, то медленныя движенія суши.

Вулканическія явленія занимаютъ самое видное мѣсто въ теоріи Сванте Арреніуса (64). Отъ ихъ интенсивности зависитъ большее или меньшее количество углекислоты въ воздухѣ, а, по даннымъ Арреніуса, измѣненія въ ея содержаніи обусловливаютъ различія въ интенсивности лучеиспусканія и, слѣдовательно, измѣненіе температуры поверхности земли. Въ настоящее

время содержаніе углекислоты въ воздухѣ равняется приблизительно 0,03%.

Если бы ея содержаніе уменьшилось на $^2/_3$, то температура понизилась бы градуса на 3 на 55° сѣверной широты, а такого пониженія температуры было бы достаточно, чтобы Сѣверная Америка и весь сѣверъ Европы вновь покрылись льдомъ. Еслы бы, наоборотъ, содержаніе углекислоты удвоилось бы или утроилось, то въ тѣхъ же самыхъ областяхъ температура поднялась бы на 8 или 9 градусовъ и, слѣдовательно, установились бы такія же климатическія условія, какъ и въ эоценовую эпоху.

Повышеніе средней температуры кромѣ того повело бы къ болѣе интенсивному испаренію и, слѣдовательно, обогатило-бы воздухъ водянымъ паромъ, что въ свою очередь уменьшило-бы испусканіе тепловыхъ лучей землей и сдѣлало-бы климатъ болѣе жаркимъ, и такъ продолжалось бы пока уменьшеніе углекислоты не вызвало-бы измѣненія въ обратномъ смыслѣ.

Если допустить, что вулканическія явленія совершаются съ извѣстной періодичностью, то можно согласиться съ Фрехомъ (65), что измѣненія климата въ различные геологическіе періоды обусловлены измѣненіями степени интенсивности вулканизма. Во второй части мы еще остановимся на оцѣнкѣ этой гипотезы, которую, впрочемъ, при современномъ состояніи нашихъ знаній трудно примѣнить для объясненія многократной смѣны ледниковыхъ періодовъ въ теченіе четвертичной эры.

Не подлежитъ сомнѣнію, что крупныя перемѣны въ распредѣленіи суши и морей должны вызывать и перемѣны атмосферныхъ и морскихъ теченій, а тѣмъ самымъ и климатическихъ условій; поэтому не было недостатка въ попыткахъ примѣнить эту гипотезу къ объясненію причинъ наступленія ледниковой эпохи (66,67). Но фазы оледенѣнія представляютъ собой слишкомъ общія явленія, чтобы ихъ можно было истолковать чисто мѣстными причинами, и кромѣ того періодическая смѣна ледниковыхъ періодовъ въ четвертичную эру остается при этомъ совершенно непонятной.

Что же касается тектоническихъ гипотезъ, въ основаніе которыхъ кладутся вертикальныя движенія континентовъ, то мы остановимся на нихъ въ ближайшихъ главахъ и вернемся къ нимъ еще во второй части сочиненія при изученіи четвертичнаго періода.

1. — J. Tyndall. Les Glaciers et les Transformations de l'Eau 1 vol. in-8⁰ *Bibl. scient. intern.*, 264 стр., 8 табл., фиг., 2e éd. Paris, 1876.

2. — Louis Agassiz. Études sur les glaciers. 1 vol. in-8⁰, 347 стр., атласъ in-4⁰, 32 табл. Neuchâtel, 1840.

3. — Id. Système glaciaire ou Recherches sur les glaciers, leur mécanisme, leur ancienne extension et le rôle qu'ils ont joué dans l'Histoire de la Terre. 1re, partie : Nouvelles études et expériences sur les glaciers actuels, leur structure, leur progression et leur action physique sur le sol. 1 vol. in-8⁰, 598 стр., атласъ изъ 3 картъ и 9 табл. Paris, 1847.

4. — Dollfus-Ausset. Matériaux pour l'étude des glaciers. 13 vol. in-8⁰, 1 атласъ in-folio, 80 табл. Paris, 1864-1870.

5. — Albert Heim. Handbuch der Gletscherkunde. 1 m. in-8⁰, XVI+560 стр., 2 табл., 1 карта. Stuttgart, 1885.

6. — W. Kilian. Neige et glaciers. 4 fasc in-8o, 83+95+68+161 стр., фиг. Extr. du *Bull. Soc. des Touristes du Dauphiné*. Grenoble, 1891-1895.

7. — Hans Hess. Die Gletscher. 1 m. in-8o, 426 стр., 72 фиг., 4 карты. Braunschweig, 1904.

8. — Erich von Drygalski. Die Grönlandexpedition der Berliner Gesellschaft für Erdkunde, 1891-93. 2 m. in-8o, XIX + X+556 + 571 стр., 54+31 фиг. 53 табл., 10 картъ. Berlin, 1897.

9. — E. Richter. Die Gletscher Norwegens. *Geogr. Zeitschr.*, II, стр. 305-319, 3 фиг., 1896.

10. — E. J. Garwood and J. W. Gregory. Contributions to the Glacial Geology of Spitsbergen. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, LIV, стр., 197-225, 6 фиг., табл. XIII-XIX, 1898.

11. — E. J. Garwood. Additional Notes on the Glacial Phenomena of Spitsbergen. *Ibid.*, LV, стр. 681-690, табл. XLI-XLVIII, 1899.

12. — A. Baltzer. Studien am Unter-Grindelwaldgletscher über Glacialerosion, Längen-und Dickenveränderung. *Neue Denkschr. d. allgem. Schweizer. Ges. für die gesammten Naturwiss.*, XXXIII. 20 стр., 10 табл., 1 карта, 1898.

13. — E. Richter. Die Gletscher der Ostalpen. *Handb. z. D. Landes- u Volksk.*, III, 306, стр., 7 картъ, 2 вида, 44 фиг. Stuttgart, 1888.

14. — S. Finsterwalder. Der Vernagtferner, seine Geschichte und seine Vermessung in den Jahren 1888-89. *Wissensch. Ergänzungsh. z. Zeitschr. d. D. u. Œster. Alpen-Ver.*, I, 112 стр., 40 фиг., 1 карта, 2 табл., 1897.

15. — G. Merzbacher. Aus den Hochregionen des Kaukasus, 2 vol. in 8⁰ XXII+VI+957+963 стр., 34 табл., 12 panoramas, 195 фиг., 3 карты. Leipzig. 1901.

16. — Sven Hedin. Die Gletscher des Mus-tag-ata. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. Berlin*, XXX, стр. 94-134, табл. V, VI, 1895.

17. — R. von Lendenfeld. Der Tasman-Gletscher und seine Umrandung. *Peterm. Mitt.* Ergänzungsheft no 75, 80 стр., 2 карты, 1 табл., 10 фиг., 1884.

18. — Israel C. Russell. Existing Glaciers of the United States 5th *Ann. Rep. U. S. Geol. Surv.*, стр. 303-355, табл. XXXII-LV, фиг. 138-143, 1885.

19. — Id. Second Expedition to Mount St Elias in 1891. 13th *Ann. Rep. U. S. Geol. Surv.*, стр. 1-91, табл. III-XXI, 6 фиг. 1893.

20. — Id. Glaciers of Mount Rainier, 18th *Ann. Rep. U. S. Geol. Surv.*, II стр. 349-415, табл. LXV-LXXXII, 1898.

21. — Id. Glaciers of North America, a Reading Lesson for Students of Geography and Geology. 1 m. in-8o, X+210 стр., фиг. Boston, 1897.

22. — L. Kurowski. Die Höhe der Schneegrenze mit besonderer Berücksichtigung der Finsteraarhorngruppe. *Pencks Geogr. Abh.*, V, стр. 115-160, 4 фиг. 1891.

23. — J. Jegerlehner. Die Schneegrenze in den Gletschergebieten der Schweiz. *Beitr. zur Geophysik.*, V, стр. 486-568, табл. V. 1902.

24. — E. Hagenbach-Bischoff. Das Gletscherkörn. *Verh. d. naturf. Ges. in Basel*, VII, стр. 192-216, 1888.

25. — Rob. Emden. Ueber das Gletscherkorn. *Neue Denkschr. d. allgem. Schweizer. Ges. für die gesammten Naturwiss.*, XXXIII, 44 стр , 6 табл., 1893.

26. — J. Vallot. Matériaux pour l'étude de l'écoulement des glaciers du Mont-Blanc. Expériences sur la marche et les variations de la Mer de Glace. *Annales de l'Observatoire météor. phys. et glaciaire du Mont-Blanc*, I, стр. 47-64; IV, стр. 35-157, V, 61 табл., 1893, 1900.

27. — E. Hagenbach-Bischoff et F. A. Forel. La température de la glace dans l'intérieur du glacier. *Arch. des Sc. phys. et nat.*, 3e pér., XXI, стр. 1-20, 1 фиг. 1889.

28. — A. Blümcke und H. Hess. Tiefbohrungen auf dem Hintereisferner. *Mitt. d. D. u. Œster. Alpen-Ver.*, XXVII, стр. 280-283, 1901; XXVIII, стр. 254 255. 1902.

29. — Hans Crammer. Ueber den Zusammenhang zwischen Schichtung und Blätterung und über die Bewegung der Gletscher. *Centralbl. f. Miner.*, 1902, стр. 103-107.

30. — Id. Eis und Gletscherstudien. *N. Jahrb. f. Miner.* Beil.-Bd. XVIII, стр. 57-116, табл. VI-VIII, 30 фиг., 1904.

31. — F. A. Forel. Perméabilité du glacier. *Arch. des Sc. phys. et nat.* 3e pér., XVIII, стр. 5-23, 1887.

32. — A. A. Odin. Essai d'une application des principes de la mécanique à l'écoulement des glaciers. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.*, XXIV, стр. 33-63, табл. II-III, 1888.

33. — H. F. Reid. The Mechanics of Glaciers. *The Journ. of. Geol.*, IV, стр. 912-928, 3 фиг. 1896.

34. — Id. De la progression des glaciers, leur stratification et leurs veines bleues. *C. R. du VIIIe Congrès géol. intern.*, стр. 749-755, 1 фиг. Paris, 1900.

35. — J. Vallot, A. Delebecque et Duparc. Sur la catastrophe de Saint-Gervais. (12 juillet 1892). *Arch. des Sc. phys. et nat.*, 3e pér., XXXVIII, стр. 177-202, табл. IV-VI, 1892.

36. — Mme Gabrielle Vallot et M. J. Vallot. Expériences sur la vitesse de la circulation de l'eau dans les torrents et sous les glaciers. *Annales de l'Observatoire météor. phys. et glaciaire du Mont-Blanc*, IV стр. 19-34, 1900.

37. — W. Kilian et G. Flusin. Observations sur les variations des glaciers et l'enneigement dans les Alpes dauphinoises, organisées par la Société des Touristes du Dauphiné. 1 vol. in-4o, 230 стр., 24 фиг., 9 табл. Grenoble, 1900.

38. — W. Kilian. Les glaciers du Dauphiné, 1 br. in-4o, 38 стр., 3 табл. Grenoble, 1904.

39. — Ch. Jacob et G. Flusin. Étude sur le glacier Noir et le glacier Blanc, dans le massif du Pelvoux. *Annuaire Soc. des Touristes du Dauphiné*, no 30, 62 стр., 2 табл., 1 карта, 1905.

40. — Eduard Brückner. Klima-Schwankungen seit 1700 nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit. *Geogr. Abhandl. herausg. v. Penck*, IV, no 2, VIII+324 стр., 1 табл., 13 фиг., 1890.

41. — Ed. Richter. Geschichte der Schwankungen der Alpengletscher *Zeitschr. d. D. u. Œ. A.-V.*, XXII, стр. 1-74, 1891.

42. — F. A. Forel. Les variations périodiques des glaciers des Alpes. Rapports annuels. *Jahrb. d. S. A. C.*, 1879.

43. — Ch. Rabot. Les variations de longueur des glaciers dans les régions arctiques et boréales. 1 vol. in-8°, 250 стр. Genève et Bâle, 1900.

44. — E. Desor. Le paysage morainique, son origine glaciaire et ses rapports avec les formations pliocènes d'Italie. 1 vol. in-8°, 95 стр., 2 карты. Neuchâtel, 1875.

45. — August von Böhm. Geschichte der Moränenkunde. *Abhandl. d. k. k. geogr. Ges. in Wien*, III, n° 4, VIII+334 стр., 4 табл. 1901.

46. — Ed. Richter. Rapport de la Commission internationale des glaciers. *Congrès géol. intern. C. R. de la VIIIe session*, стр. 205-212. Paris, 1900.

47. — J. Vallot. La moraine profonde et l'érosion glaciaire. *Annales d l'Observatoire mètèor. phys. et glaciaire du Mont-Blanc*, III, стр. 153-182, фиг. 60-72, 1898.

48. — A. Penck. Der Illecillewaetgletscher. *Zeitschr. d. D. u. Œ. A.-V.*, XXIX, стр. 55-60, фиг., 1898.

49. — Albrecht Penck. Die Uebertiefung der Alpenthäler. *Verh. d. VII^ten internationalen Geographen-Kongresses in Berlin*, 1899, стр. 232-240, 1900.

50. — W. Morris Davis. Glacial erosion in France, Switzerland and Norway. *Proc. Boston Soc. of Nat. Hist.*, XXIX, n° 14, стр. 273-322, 3 табл., 1900.

51. — Wilhelm Salomon. Können Gletscher in anstehendem Fels Kare, Seebecken und Thäler erodiren ? *N. Jahrb. f. Miner*, 1900, II, стр. 117-138, табл. IV, V.

52. — Fr. Virgilio. Le nuove teorie sulla erosione glaciale. *Boll. del. C. A. I.* XXXIV, n° 67, 32 стр., 1901.

53. — W. Kilian. L'érosion glaciaire et la formation des terrasses. *La Gèographie*, XIV, стр. 261-274, фиг. 43-45. 1906.

54. — Otto Nordenskjöld. Topographisch-geologische Studien in Fjordgebieten. *Bull. of the Geol. Institution of the University of Upsala*, IV, 2, стр. 157-226 табл. VII, 1900.

55. — Ad. Blümcke und S. Finsterwalder. Zur Frage der Gletschererosion. *Sitzungsber. d. math.-phys. Classe d. k. b. Akad. d. Wiss. zu München*, XX, стр. 435-444, 1891.

56. — Hans Hess. Der Taltrog. *Peterm. Mitteil.*, XLIX, стр. 73-77, табл. VII-VIII, 1903.

57. — A. C. Ramsay. On the Glacial Origin of certain Lakes of Switzerland. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, XVIII, стр. 185, 1862.

58. — Ed. Richter. Geomorphologische Beobachtungen aus Norwegen. *Sitzungsber. math.-naturw. Classe d. kais. Akad. d. Wiss.*, CV, I, стр. 147-189, 2 табл., 2 фиг., 1896.

59. — Id. Geomorphologische Untersuchungen in den Hochalpen. *Peterm. Mitteil.*, Ergänzungsh. n° 132, 103 стр., 6 табл., 14 фиг., 1900.

60. — E. de Martonne. Sur la formation des cirques. *Annales de Gèogr.*, X, стр. 10-16, 1901.

61. — P. Lory. — Les cirques de montagne. *Revue des Alpes Dauphinoises*, 3e ann., n° 9, 15 стр., 3 фиг., 1901.

62. — Maurice Lugeon. Sur la fréquence dans les Alpes de gorges épigénétiques et sur l'existence de barres calcaires de quelques vallées suisses. *Bull. des Labor. de Géol. Univers. Lausanne*, no 2, 34 стр., 4 фиг, 9 табл. 1901.

63. — L. de Lacger. Étude de morphologie glaciaire (le Hasli im Grund). *Annales de Géogr.*, XII, стр., 289-302, 1903.

64. — Svante Arrhenius. Les oscillations séculaires de la température à la surface du globe terrestre. *Rev. gén. des Sciences*, 10e année, стр. 337-342, 1899.

65. — Fritz Frech. Studien über das Klima der geologischen Vergangenheit. *Zeitschr. d. Ges. f. Edrk. zu Berlin*, стр. 611-629, 671-693, табл. VIII, 1902.

66. — A. de Lapparent. Les causes de l'ancienne extension des glaciers. *Revue des questions scientifiques*, octobre 1893, 35 стр.

67. — Eugen Geinitz-Rostock. Wesen und Jrsache der Eiszeit. *Archiv. d. Vereins d. Freunde d. Naturg. in Mecklenburg.* LIX, 46 табл., 1 табл., 1905.

См. также: 0,1-9; 0,18-21.

Кн. Кропоткинъ. Изслѣдованія о ледниковомъ періодѣ 1 т. in 8o, стр. съ атласомъ табл. 1876. (Изд. Имп. Русс. Геогр. Общ.).

Я. С. Эдельштейнъ и А. П. Герасимовъ. Инструкція для изученія слѣдовъ древняго оледенѣнія въ альпійскихъ странахъ. in 8o, 36 стр., 10 фиг., 25 табл. Спб. 1909. (Изд. Имп. Русск. Геогр. Общ.).

А. И. Воейковъ. Новѣйшія изслѣдованія ледниковъ и причинъ ихъ измѣненій. *Зап. Имп. Русс. Геогр. Общ.* 1882.

ГЛАВА XXVII

Морское побережье.

Общія замѣчанія. — Уносъ матеріала. — Переносъ и отложеніе осадковъ.— Эстуаріи и дельты. — Образованіе континентальной платформы. — Коралловые рифы.

Общія замѣчанія. — Тотъ или другой характеръ морского побережья обусловленъ, главнымъ образомъ, работою моря, которая осуществляется при участіи волнъ, разбивающихся о морской берегъ, и заключается, какъ и работа другихъ внѣшнихъ динамическихъ агентовъ, *въ уносѣ, переносѣ и отложеніи осадковъ*. Мы сейчасъ не будемъ говорить объ отложеніи осадковъ на днѣ открытаго моря, такъ какъ на этомъ вопросѣ останавливались въ одной изъ предыдущихъ главъ, а займемся выясненіемъ условій отложенія осадковъ въ прибрежной полосѣ моря.

Извѣстно, что у скалистыхъ береговъ преобладаетъ разрушеніе и уносъ матеріала, а на пологомъ побережьѣ—отложеніе осадковъ. Что же касается переноса матеріаловъ, то, какъ мы сейчасъ увидимъ, онъ идетъ преимущественно параллельно берегу; поэтому будетъ вполнѣ умѣстно изучать его одновременно съ отложеніемъ осадковъ.

Мы также остановимся на возникновеніи континентальной платформы, на характерѣ устьевъ, ледниковыхъ явленій на побережьѣ и на образованіи коралловыхъ рифовъ.

Уносъ матеріала. — Морскія волны, разбивающіяся о берега, обладаютъ громадной динамической силой; какъ велика эта сила можно заключить изъ того, что волны часто перемѣщаютъ глыбы, вѣсящія до тысячи тоннъ. Измѣренія при помощи динамометра, произведенныя Т. Стэвэнсономъ на сѣверѣ Шотландіи, показали, что давленіе удара волны на квадратный

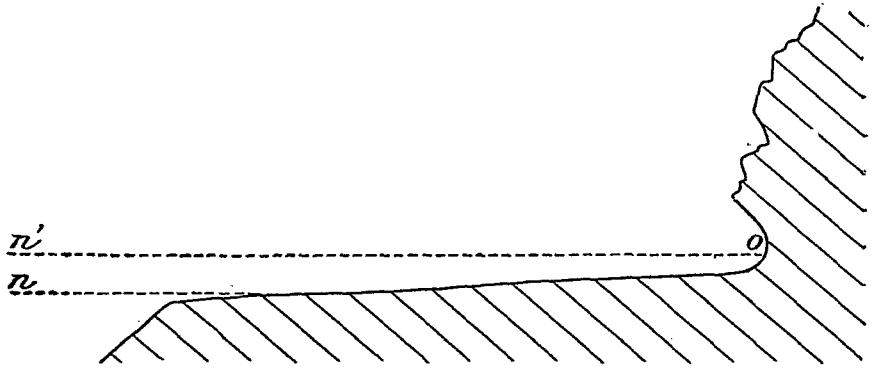
метръ лѣтомъ равняется въ среднемъ 3000 кгр., и зимой—10000 кгр., а въ сильную бурю можетъ достигать до 30500 кгр. Въ Шербургѣ давленіе въ среднемъ равняется 3250 кгр., а въ Алжирѣ—3500 кгр.

Когда волна приближается къ берегу перпендикулярно, то она обрушивается на него всею своею силой и дѣйствуетъ, какъ таранъ. Если волна попадаетъ на очень пологое побережье, то большая часть ея энергіи затрачивается на преодоленіе тренія и волна разбивается, не вызывая значительнаго механическаго эффекта; наоборотъ, если берегъ возвышается крутыми отвѣсными скалами, волны разбиваются о нихъ и поднимаются вертикально, достигая 50 м. вышины, и затѣмъ отбрасываются обратно.

Если же волна набѣгаетъ на берегъ подъ угломъ, то можно предположить, что сила ея разлагается на двѣ составляющія, одна изъ которыхъ направлена перпендикулярно, а другая параллельно берегу. Дѣйствіе первой будетъ имѣть такіе же результаты, какъ и въ предшествующемъ случаѣ, вторая же даетъ начало теченію, направляющемуся параллельно берегу, и является главнымъ агентомъ переноса матеріаловъ.

Волны, разбиваясь о крутой берегъ, прежде всего разрушаютъ основанія береговыхъ скалъ въ той части, которая находится между границами прилива и отлива. Въ результатѣ передъ скалами образуется наклонная къ морю поверхность, а въ скалахъ выемка; нависающія надъ нею каменныя массы вскорѣ затѣмъ обваливаются въ море. Волны тотчасъ же завладѣваютъ обвалившимися глыбами и то уносятъ ихъ дальше отъ берега, то снова съ силой бросаютъ ихъ о прибрежные утесы. Ударяясь другъ о друга эти обломки дробятся и округляются взаимнымъ треніемъ, но въ то же время волны дѣйствуютъ ими какъ картечью и тѣмъ самымъ получаютъ еще большую разрушительную силу. Выемка, навѣсъ которой обрушился, быстро возстанавливается; затѣмъ снова навѣсъ ея обваливается, и такимъ образомъ прибрежныя скалы мало-по-малу отступаютъ внутрь континента. Въ это же время наклонная поверхность, образовавшаяся передъ выемкой, болѣе и болѣе расширяется и превращается въ такъ называемую *прибрежную платформу* (фиг. 179). При отливѣ она обнажается и бываетъ то совершенно очищена волнами отъ обломковъ, отколовшихся отъ прибрежныхъ скалъ, то усѣяна ими. Обыкновенно же она заростаетъ зелеными водорослями и заселяется обильной прибрежной фауной (табл. LXIX, 1).

Прямымъ слѣдствіемъ отступанія прибрежныхъ скалъ является ихъ пересѣченіе съ топографическими формами мѣстности, расположенной за ними и, въ частности, съ долинами, прорытыми текучей водой. Базисъ эрозіи рѣкъ находился первоначально на уровнѣ моря, отступаніе же скалъ совершается съ такой быстротой, что рѣки не поспѣваютъ вырабатывать новые профиля равновѣсія и низвергаются съ прибрежныхъ скалъ водопадами. Такимъ путемъ возникаютъ *висячія долины*, (*vallées suspendues* или *valleuses*), хорошо развитыя на мѣловыхъ берегахъ (табл. LXIX, 1).



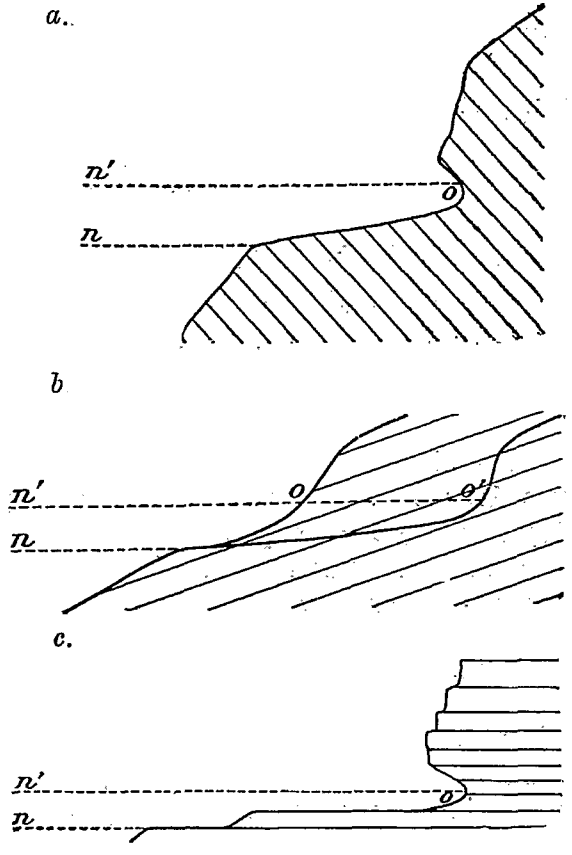
Фиг. 179. — Образованіе береговой платформы (по Ф. фонъ Рихтгофену). n, уровень отлива; n', уровень прилива; 0, пещера выточенная прибоемъ волнъ.

Характеръ породъ, изъ которыхъ состоитъ побережье, имѣетъ громадное вліяніе на интенсивность работы волнъ. Мягкія породы разрушаются очень быстро. Разрушеніе же компактныхъ породъ облегчаютъ проходящія по нимъ діаклазы; огромныя толщи слоевъ, подрытыя волнами, отрываются всею массой и вслѣдъ за тѣмъ быстро раздробляются. Корродирующее дѣйствіе соленой воды на нѣкоторыя породы, и въ частности на силикатовыя, способствуетъ образованію пещеръ и галлерей въ основаніи скалъ, отчего увеличивается и площадь подвергающаяся прибою волнъ. Твердыя породы, вслѣдствіе разрушенія мягкихъ, образуютъ береговые выступы, а дейки изверженныхъ породъ часто совершенно обнажаются работой волнъ (0,18).

Тектоническое расположеніе слоевъ также въ значительной мѣрѣ обусловливаетъ форму береговъ, создающуюся дѣйствіемъ волнъ.

Когда простираніе слоевъ идетъ параллельно берегу, дѣйствіе волнъ достигаетъ наибольшихъ результатовъ въ томъ случаѣ,

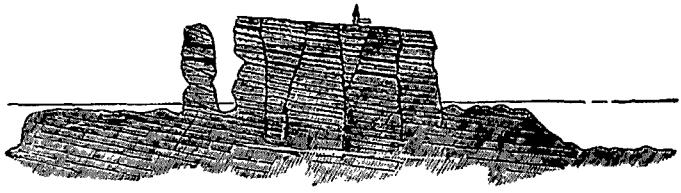
если слои имѣютъ наклонъ внутрь континента (фиг. 180, *a*), потому что, какъ только разрушается одинъ слой, ударамъ волнъ тотчасъ же подвергается другой, также нависшій пластъ. Если же, наоборотъ, слои имѣютъ правильный наклонъ къ морю (фиг. 180, *b*), волны поднимаются по нимъ, почти не встрѣчая сопротивленія, и вся сила ихъ затрачивается на треніе, не приводя почти ни къ какимъ видимымъ результатамъ (табл. LXXI, 1). Наконецъ, при горизонтальномъ положеніи слоевъ (фиг. 180, *c*) волны очень быстро прорываютъ выемку у основанія скалы, нависающіе утесы обламываются, но берегъ часто принимаетъ ступенчатую форму, чѣмъ также ослабляется дѣйствіе волнъ.



Фиг. 180. — Образованіе береговой платформы: a, въ слояхъ падающихъ внутрь страны; b, въ слояхъ наклоненныхъ къ морю; c, въ горизонтальныхъ слояхъ (по Ф. фонъ Рихтгофену). n, уровень отлива; n', уровень прилива; 0, пещера выточенная прибоемъ волнъ.

Когда простираніе слоевъ перпендикулярно къ общему направленію берега, и когда, слѣдовательно, волны, работаютъ въ направленіи простиранія, болѣе прочные слои образуютъ выступы и выдаются мысами, а мягкіе слои разрушаются, образуя бухты или *ріасы*, какъ ихъ называютъ въ Испаніи. Вмѣстѣ съ Ф. фонъ Рихтгофеномъ (0,18) можно назвать этотъ видъ береговъ *поперечнымъ или ріасовымъ*, противополагая его *продольнымъ берегамъ*. Особенно отчетливо выражены его характерные признаки въ Финистере, на восточномъ побережьѣ Англіи и еще лучше въ южномъ Китаѣ, гдѣ онъ тянется на протяженіи почти десяти градусовъ широты.

Складки съ чередующимися мягкими и твердыми слоями, доходя до моря, часто обнаруживаютъ пониженіе оси — *погруженіе*; тогда антиклинали, выступающія въ видѣ мысовъ имѣютъ переклинальныя окончанія, и море довольно глубоко проникаетъ въ синклинальныя впадины. Эта характерная форма береговъ, которую мы назовемъ *берегами погруженія* (*côtes d'ennoyage*), лучше всего выражена на обоихъ берегахъ гибралтарскаго пролива, который самъ находится въ мѣстѣ погруженія оси складокъ, соединяющихъ Атласъ съ Бетійскою цѣпью.



Фиг. 181.—Схематическій разрѣзъ острова Гельголанда, по направленію съ ЮЗ. на СВ., показывающій, что платформа болѣе развита на ЮЗ берегу, гдѣ слои наклонены внутрь (по I. Вальтеру).

Въ нѣкоторыхъ океанахъ, какъ напр., въ Атлантическомъ, преобладаетъ поперечный видъ береговъ; Зюссъ раздѣляетъ даже берега на двѣ категоріи: *берега атлантическаго типа и берега тихоокеанскаго типа*, гдѣ преобладаютъ берега параллельные простиранію складокъ (0,22).

Переносъ и отложеніе осадковъ.—Волны, прямо набѣгая на крутой берегъ, приводятъ обломки скалъ, скопляющіеся на прибрежной платформѣ, въ безпрерывное движеніе взадъ и впередъ, отъ моря къ берегу и обратно; во время этого движенія обломки окатываются другъ о друга, быстро округляются и превращаются въ *гальку*. Часть матеріала уносится въ открытое море, и дальнѣйшей его судьбы мы сейчасъ не будемъ касаться.

То же самое происходитъ и въ томъ случаѣ, если волны набѣгаютъ подъ прямымъ угломъ на пологое побережье: песокъ приводится здѣсь въ постоянное движеніе, но всегда въ направленіи, перпендикулярномъ къ линіи побережья.

Если же волны ударяются о берегъ подъ острымъ угломъ, одна изъ составляющихъ силъ направляется параллельно берегу и уноситъ съ собой обломки разрушающихся скалъ, какъ дѣлали бы это волны, движущіяся параллельно берегу. Крупные элементы передвигаются лишь на незначительное разстояніе, тогда

какъ песокъ долгое время движется вдоль берега, уносимый теченіемъ, постоянное направленіе котораго обусловлено господствующимъ вѣтромъ.

Переносъ продолжается до тѣхъ поръ, пока берегъ и теченіе остаются параллельными другъ другу; если же берегъ изгибается такъ, что оказываетъ препятствіе теченію, то матеріалы отлагаются и образуютъ *песчаный пляжъ* на одной сторонѣ бухты.

Наоборотъ, если берегъ дѣлаетъ противоположный изгибъ, или другими словами подается внутрь отъ направленія теченія, перенесеніе матеріаловъ продолжается безостановочно по первоначальному направленію, и часть матеріаловъ отлагается, образуя изъ галекъ или песку *стрѣлку* или *косу*, составляющую какъ бы продолженіе прежняго направленія берега и отдѣляющую бухту отъ моря (табл. LXX, 1). Если въ бухту впадаетъ рѣка, то коса прерывается каналомъ, служащимъ ей устьемъ, и находящаяся за валомъ *лагуна* болѣе или менѣе опрѣсняется. При отсутствіи же рѣки, впадающей въ заливъ, коса непрерывается и лагуна можетъ совершенно отдѣлиться отъ моря.

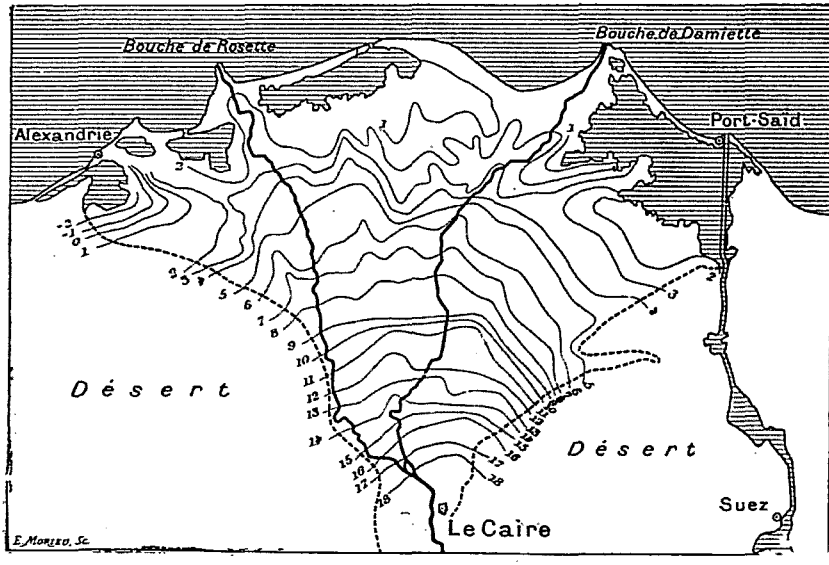
Такія лагуны очень часто встрѣчаются на многихъ побережьяхъ; на французскихъ берегахъ Средиземнаго моря ихъ называютъ *прудами* (*étangs*), на нѣмецкихъ берегахъ Балтійскаго моря онѣ извѣстны подъ именемъ *гафовъ* (*Haf*), а косы, ихъ отдѣляющія, называются тамъ *nehrung*; онѣ встрѣчаются также на восточномъ берегу Соединенныхъ Штатовъ, на восточномъ берегу Мадагаскара и въ другихъ странахъ.

Самымъ интереснымъ результатомъ переноса гальки и песка вдоль береговъ является образованіе почти прямолинейныхъ береговъ, вдоль которыхъ тянется такъ называемый *береговой валъ* (*cordon littoral*); стрѣлки и косы составляютъ его существенную часть.

Вдоль нѣкоторыхъ береговъ существуютъ два параллельныя теченія, имѣющія противоположное направленіе и дѣйствующія то одновременно, то поочередно; такъ что они приносятъ матеріалы въ одно и тоже мѣсто, обыкновенно въ проливъ, отдѣляющій островъ отъ материка. Въ результатѣ намывается коса суши или валъ изъ песка и щебня, соединяющій островъ съ континентомъ, Гулливеръ (4) называетъ его *tombolo*. Самымъ извѣстнымъ примѣромъ этого явленія могутъ служить полуострова Киберонъ (5), Кадиксъ, Наанъ, въ Массачузетсѣ, Монте

Аржентаріо въ Тосканѣ, соединенный тройнымъ перешейкомъ и др. Нѣкоторые острова соединяются съ континентомъ не сплошнымъ перешейкомъ, разрывы котораго, конечно, въ концѣ концовъ заполнятся приносомъ новаго матеріала. Въ такомъ положеніи находится, напр., Адамовъ мостъ въ Палкскомъ проливѣ, отдѣляющемъ Цейлонъ отъ Индостана (6).

Эстуаріи и дельты.—Устья большихъ рѣкъ, впадающихъ въ море, раздѣляются на двѣ категоріи — *эстуаріи и дельты* (8,9).



Фиг. 182.—Гипсометрія дельты Нила (по Уилькоксу, фигура взята у Э. Зюсса, *la Face de la Terre*, *т. II.*
Масштабъ 1: 3,000,000 высоты въ метрахъ.

Эстуаріи представляютъ собою большія и довольно глубокія устья, батиметрическія кривыя которыхъ, идущія мѣстами параллельно берегамъ, очерчиваютъ входящіе углы, что придаетъ эстуаріямъ сходство съ затопленными долинами.

Дельты, напротивъ, состоятъ изъ многихъ часто развѣтвляющихъ рукавовъ, образующихъ треугольные острова, откуда и произошло названіе дельта, заимствованное отъ греческой буквы Δ и примѣненное впервые къ устьямъ Нила (фиг. 182), но постепенно распространившееся на подобныя же устья другихъ рѣкъ; различные рукава обыкновенно не глубоки. Изобаты описываютъ линіи выпуклыя къ морю и окружающія дельту.

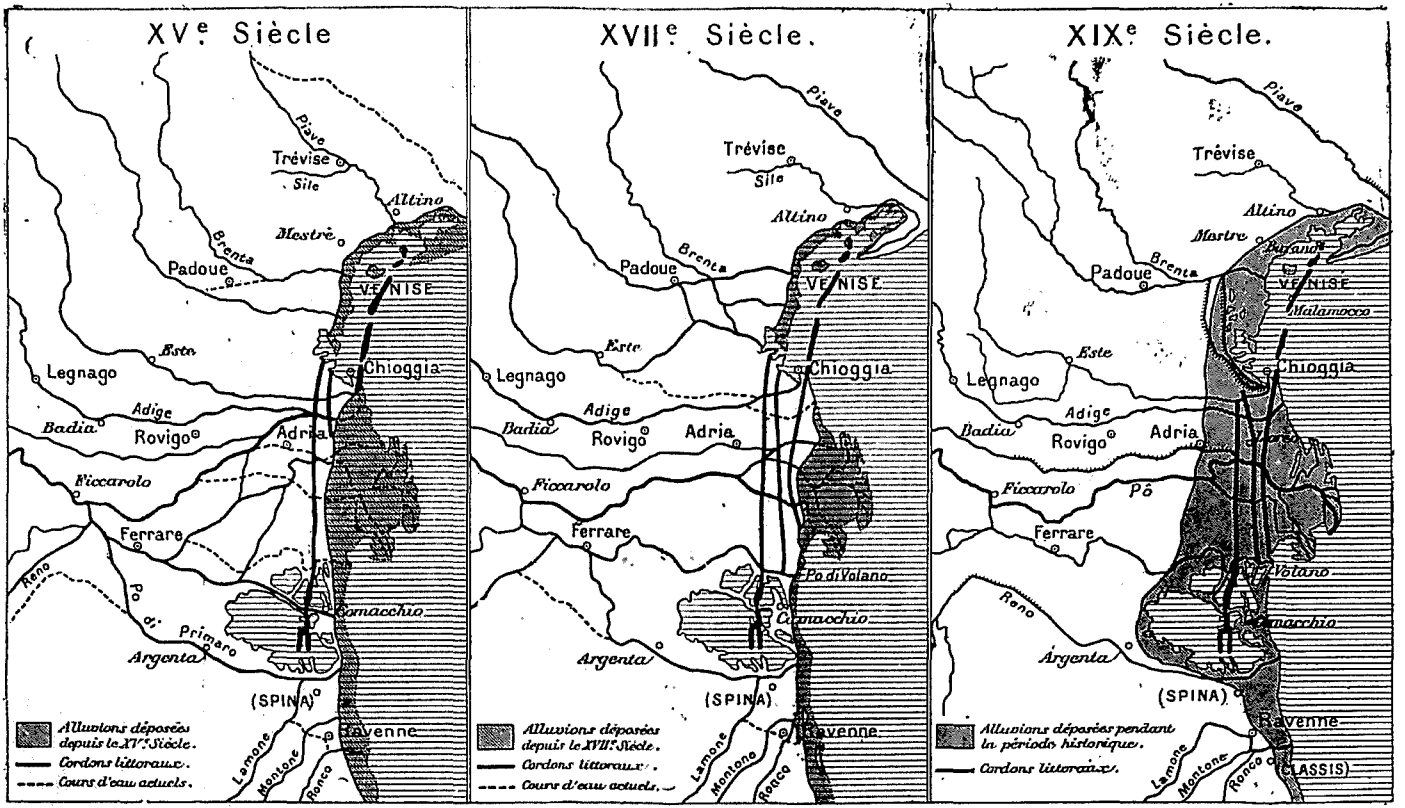
Если эстуаріи вызываютъ представленіе о захватѣ моремъ континента, то дельты несомнѣнно являются добычей земли, отвоеванной у моря, такъ какъ приносъ рѣкой матеріаловъ и ихъ отложеніе впереди острововъ дельты продолжается еще и въ наши дни. (Миссисипи, Рона, По и другія рѣки (фиг. 183).

Географическое распредѣленіе эстуаріевъ и дельтъ въ различныхъ моряхъ земного шара до извѣстной степени выясняетъ намъ относительныя условія ихъ образованія.

Устья большинства рѣкъ, впадающихъ въ Атлантическій океанъ, имѣютъ форму эстуаріевъ. Изъ европейскихъ рѣкъ можно назвать: всѣ рѣки Англіи, Эльбу, Сену, Луару, Гаронну, Тахо; изъ африканскихъ Габбонъ и Конго; изъ американскихъ— рѣку Св. Лаврентія, Амазонку, Ріо де ла Плату. Устья же рѣкъ, впадающихъ въ Средиземное море, какъ Эбро, Рона, Тибръ, По, Нилъ, Меджерда и др., имѣютъ форму дельтъ. Кромѣ того, дельтообразныя устья имѣютъ: Дунай, впадающій въ Черное море, Волга — въ Каспійское море, Миссисипи — въ Мексиканскій заливъ, Меконгъ—въ Китайское море и др. На основаніи этихъ примѣровъ можно какъ будто заключить, что рѣки, впадающія во внутреннія моря, гдѣ почти нѣтъ прилива и отлива, имѣютъ устья въ видѣ дельтъ; рѣки же, впадающія въ океанъ, оканчиваются эстуаріями. Но, напр., рѣки южной Россіи, текущія въ Черное море, оканчиваются *лиманами*, т. е. засаривающимися эстуаріями, а рѣки, впадающія въ Индійскій океанъ какъ Индъ и Гангъ, имѣютъ устья въ формѣ дельты такъ же, какъ и Лена, впадающая въ Сѣверный Ледовитый океанъ. Слѣдовательно, для превращенія устья рѣки въ эстуарій или дельту существованіе или отсутствіе приливовъ и отливовъ не являются существенно необходимыми, хотя приливы, несомнѣнно, представляютъ условіе неблагопріятное для быстраго намыванія осадковъ въ области рѣчного устья.

Болѣе того, иногда двѣ рѣки впадаютъ рядомъ въ одно и то же море, но одна рѣка оканчивается эстуаріемъ, а другая дельтой. Напр., рядомъ съ эстуаріемъ Габона находятся дельты Огойе и Нигера; рядомъ съ дельтой Лены на берегу Сѣвернаго Ледовитаго океана находятся эстуаріи Оби, Енисея и Хатанги. Такимъ образомъ трудно предположить, что морскія теченія, вызываемыя приливами, очищаютъ устья отъ осадковъ и препятствуютъ образованію дельтъ.

Съ другой стороны несомнѣнно, что рѣки, несущія въ море большое количество обломочнаго матеріала, ясно обнаруживаютъ



Фиг. 183.—Увеличеніе дельты р. По за историческое время (по Э. Рейеру, фигура взята у Э. Зюсса, *la Face de la Terre, т. II*). Масштабъ 1: 1850000.

I карта. Штриховка, аллювій отложившійся съ XV вѣка; черныя линіи, береговые валы; пунктиръ, нынѣшнія русла.
II карта. Штриховка, аллювій отложившійся съ XVII вѣка; черныя линіи, береговые валы; пунктиръ, нынѣшнія русла.
III карта. Штриховка, аллювій отложившійся за историческій періодъ; черныя линіи, береговые валы.

стремленіе къ образованію дельтъ, даже если нѣтъ другихъ благопріятствующихъ этому условій, каковы отсутствіе приливовъ и морскихъ теченій.

Но вопросъ объ образованія того или другого вида рѣчныхъ устьевъ получаетъ совершенно иное освѣщеніе, если мы не будемъ считать неизмѣннымъ относительный уровень морей, а допустимъ что онъ можетъ колебаться или вслѣдствіе вертикальныхъ движеній суши, или вслѣдствіе измѣненій абсолютной высоты морского уровня [1]).

Намъ уже извѣстно, что когда нижняя часть рѣки заключена въ узкую долину, то это указываетъ на отрицательное перемѣщеніе ея базиса эрозіи. Для большей ясности предположимъ, что такое перемѣщеніе происходитъ вслѣдствіе общаго возвышенія мѣстности. Если затѣмъ произойдетъ опусканіе, то море захватитъ долину, прорытую рѣкой въ предшествующую фазу, и такимъ путемъ образуется эстуарій. Мы имѣемъ даже достовѣрныя доказательства, что дѣло происходило именно такъ. Такъ, напр., на днѣ современнаго моря иногда сохраняется древнее ложе рѣки со всѣми ея меандрами, какъ это и наблюдается, напр., у рѣки Шатоленъ, недавно описанной Э. де Мартонномъ (14), изслѣдовавшимъ устье этой рѣки (фиг. 184). Еще чаще по дну моря можно прослѣдить долину, составляющую продолженіе эстуарія, направленіе котораго обозначается изобатами.

Предположимъ теперь, что послѣ періода устойчиваго положенія береговыхъ линій наступаетъ періодъ опусканія суши. Мало-по-малу эстуарій будетъ засыпанъ осадками, и явленіе окончится выдвиганіемъ дельты въ море, если, конечно, этому будетъ благопріятствовать протяженіе и наклонъ прибрежной платформы, а приливы и отливы или морскія теченія не будутъ препятствовать накопленію отложеній.

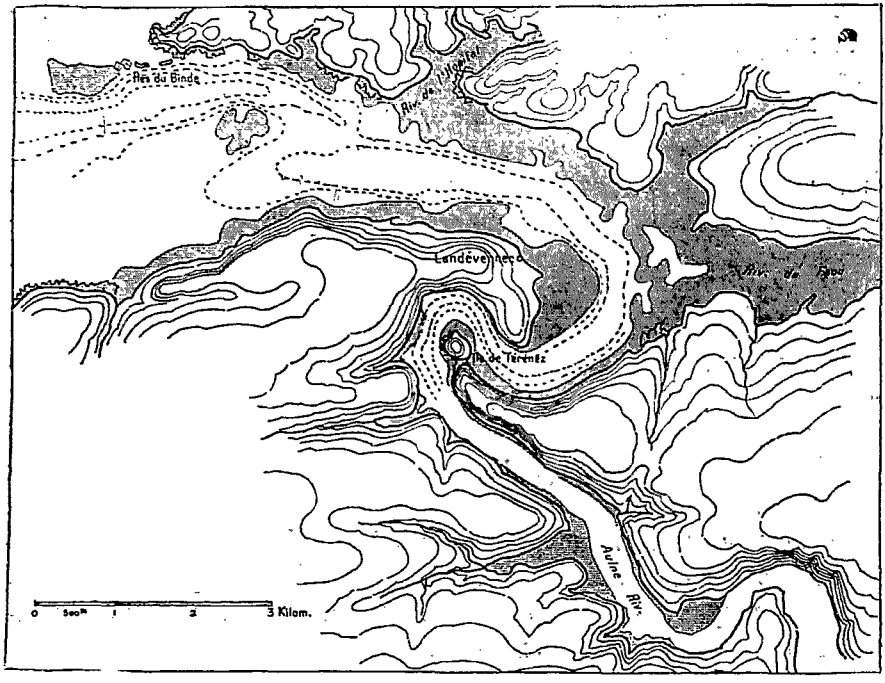
Такимъ образомъ эстуаріи и дельты являются лишь послѣдовательными фазами въ исторіи рѣки и показателями тѣхъ измѣненій, которымъ подверглись прибрежныя мѣстности. Теперь поэтому уже не является загадкой, почему изъ двухъ рѣкъ, впадающихъ въ одно и то же море, одна оканчивается дельтой, а другая эстуаріемъ.

Образованіе континентальной платформы. — Въ одной изъ предшествующихъ главъ (гл. II стр. 31) мы

---

[1]) Въ слѣдующей главѣ мы увидимъ, которая изъ этихъ двухъ теорій заслуживаетъ бо́льшаго довѣрія.

уже говорили, что обыкновенно современный берегъ не является настоящей границей между океанами и континентами, такъ какъ она часто лежитъ въ открытомъ морѣ, тамъ, гдѣ кончается подводная платформа болѣе или менѣе широкая, но рѣдко имѣющая глубину свыше 200 м., и начинается область глубокого моря. Эта платформа называется *континентальной ступенью*. Сейчасъ мы постараемся выяснить, какимъ путемъ она образовалась и имѣли ли при этомъ значеніе прибрежныя явленія.

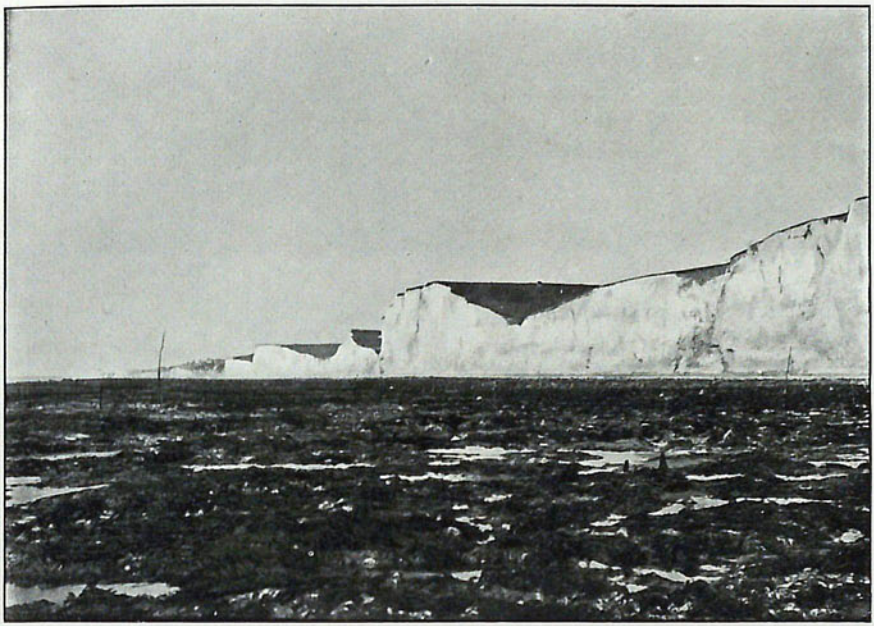


Фиг. 184.—Углубленныя извилины р. Шатоленъ и подводная рѣка составляющая ихъ продолженіе.

Перерѣзываніе одной извилины вслѣдствіе поднятія морского уровня. (Масштабъ 1: 100000).

Составлено Э. де Мартонномъ по картѣ въ масшт. 1 = 200000 Военнаго Географическаго Бюро и по морской картѣ № 3799).

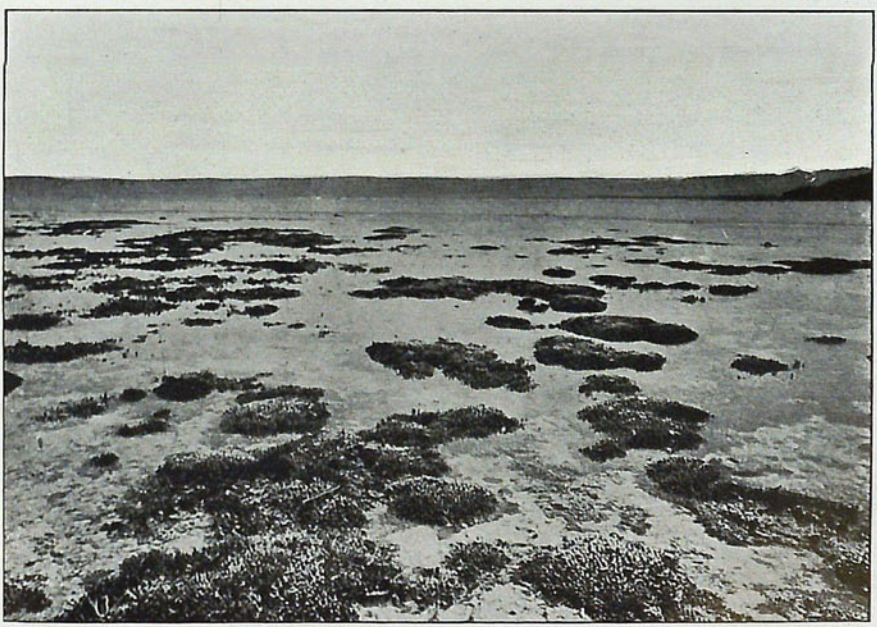
Мы не можемъ предполагать, что волны обладаютъ достаточной силой для того, чтобы на глубинѣ въ 200 м. могли сгладить всѣ неровности рельефа и создать наклонную поверхность, незамѣтно сливающуюся съ берегомъ. Правда, волны могли бы выровнять поверхность, покрытую несцементированными отложеніями, такъ какъ на глубинѣ въ 200 м. онѣ все же обладаютъ еще значительной силой; но континентальная ступень



Негат. Мюнье Шальмаса.

Долинка въ мѣлу.

Береговые утесы между Мерсъ и Бургъ д'О (Сомма).



Негат. Ф. Франсуа.

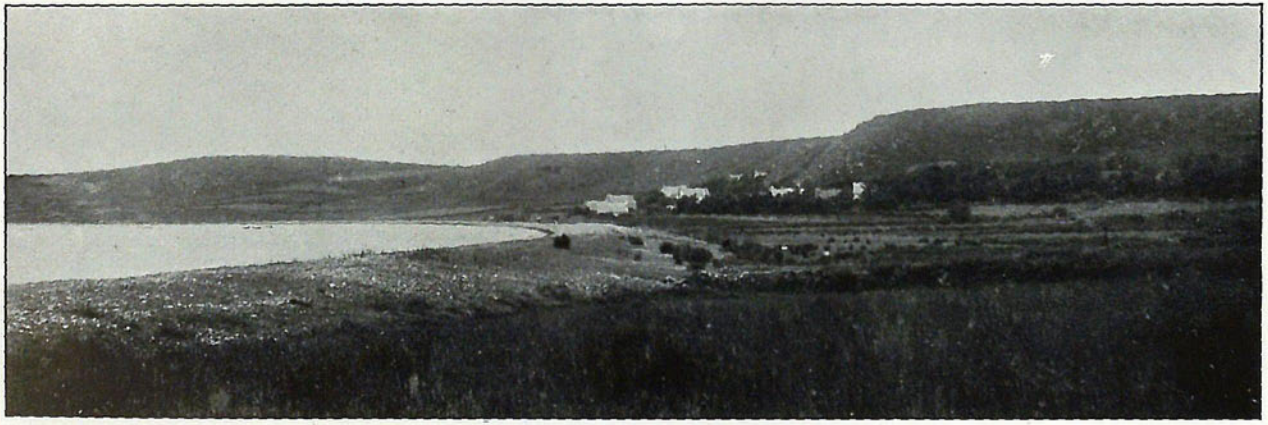
Мадрепоровый рифъ.

Входъ въ портъ Вила, островъ Вате (Новые Гебриды).



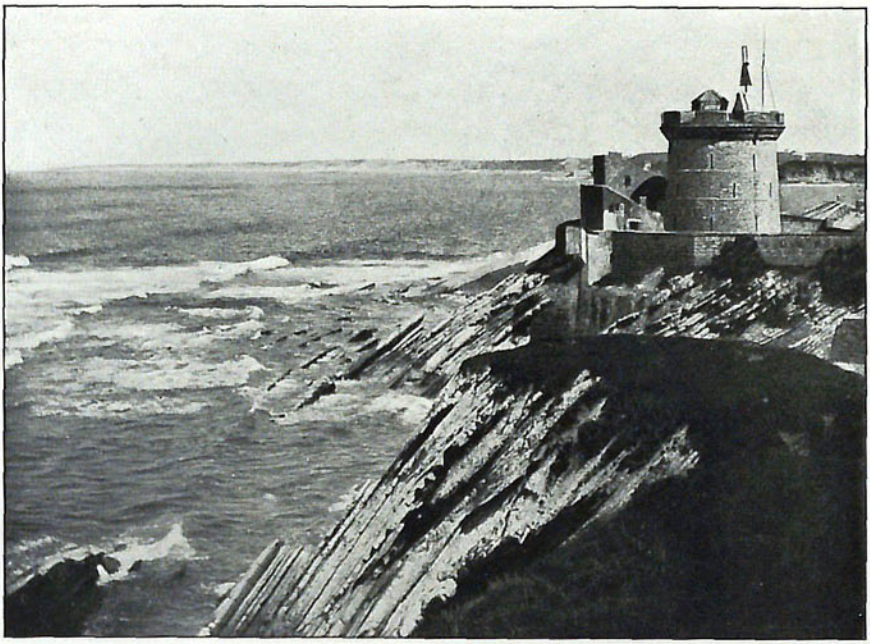
Негат. Л. Ляпикъ.

Коса называемая «Сійонъ де Тальберъ» близъ Трегье (Котъ-дю-Норъ).
Видъ съ косы на материкъ.



Негат. Л. Ляпикъ.

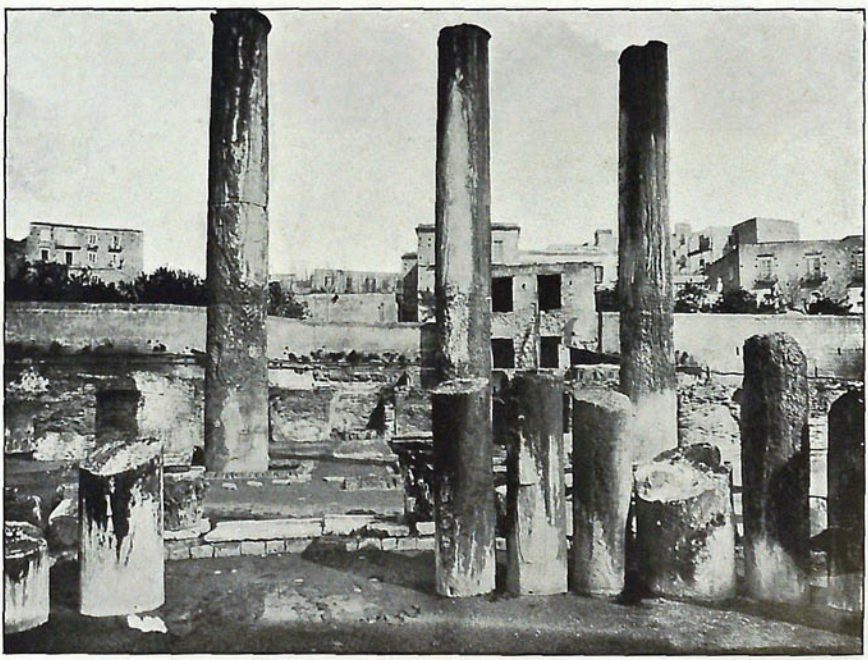
Бухта Де Лоне, близъ Пемполь (Котъ-дю-Норъ).
Опустившаяся долина отгороженная галечнымъ валомъ.
Уровень моря при приливѣ выше дна долины.



Негат. Нёрдейнъ.

Фортъ Сокоа, близъ Сенъ-Жанъ-де-Люзъ (Нижніе Пиренеи).

Плиты мѣловыхъ известняковъ уходящія въ море.



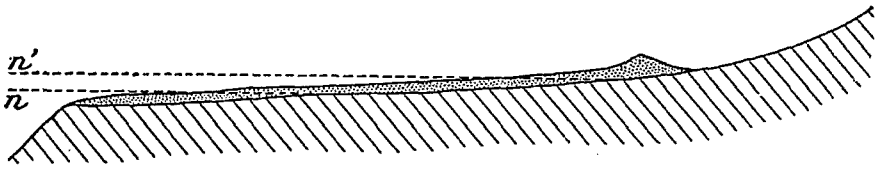
Негат. М. Морисса Люжона.

Храмъ Сераписа въ Пуццуоли.

часто является скалистой платформой, и въ этомъ случаѣ результатъ не соотвѣтствовалъ бы приложенной силѣ.

Ф. фонъ Рихтгофенъ доказалъ, что дѣйствительно работа волнъ имѣетъ значеніе при образованіи континентальной ступени, но что для объясненія ея возникновенія необходимо кромѣ того допустить захватъ прибрежной области моремъ (0,18).

Если допустить, что нѣкогда уровень моря находился на современной изобатѣ въ 200 м., т. е. на границѣ континентальной ступени, то на прежнемъ побережьѣ подъ ударами волнъ должна была образоваться прибрежная платформа, при условіяхъ, о которыхъ мы уже говорили выше. Ширина платформы постепенно увеличивается, но наступаетъ моментъ когда волны прокатившись по платформѣ теряютъ всю свою силу и лишаются способности подрывать утесы; платформа покрывается тогда отложеніями и дальнѣйшее отступаніе утесовъ прекращается. (фиг. 185).

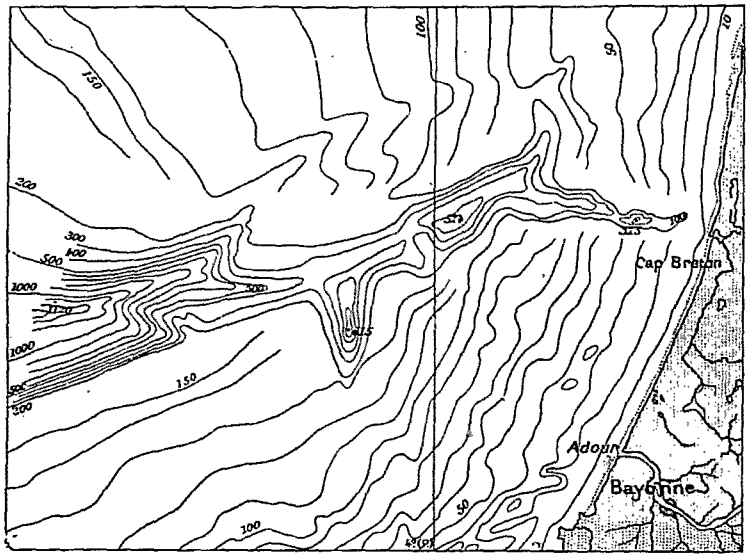


Фиг. 185.—Покрытіе береговой платформы осадками и прекращеніе отступанія береговыхъ скалъ (по Ф. фонъ Рихтгофену).
n, уровень отлива; n', уровень прилива.

Таковъ былъ бы характеръ этого процесса, если бы уровень, съ котораго начиналось разрушеніе побережья, оставался неизмѣннымъ; но, если одновременно съ дальнѣйшимъ распространеніемъ платформы вглубь континента, уровень моря повышается, вслѣдствіе ли абсолютнаго повышенія уровня морей или вслѣдствіе опусканія прибрежной области, отступаніе береговыхъ утесовъ не прекратится, и платформа все будетъ увеличиваться. Въ концѣ концовъ подъ водой образуется обширная покатая поверхность, которая будетъ увеличиваться насчетъ суши, пока не прекратится наступаніе моря; это и есть континентальная ступень, встрѣчающаяся во многихъ моряхъ. На побережьѣ Атлантическаго океана, процессъ этимъ, впрочемъ, не закончился. За періодомъ наступательнаго движенія моря послѣдовалъ періодъ его отступанія и обнаженія континентальной ступени. Тотчасъ же это пространство было захвачено текучими водами, базисъ эрозіи ихъ спускался все ниже и ниже; воды про-

рыли здѣсь глубокія борозды, которыя теперь вновь затоплены моремъ и составляютъ подводное продолженіе большей части рѣкъ, впадающихъ въ Антлантическій океанъ.

Ла Маншъ, по мнѣнію Эдм. Гулля (13), является одной изъ такихъ затопленныхъ долинъ. Передъ устьями Луары, Гаронны и Адура находятся впадины, являющіяся продолженіемъ ложа этихъ рѣкъ. Эти впадины простираются до нижняго края пологой поверхности, т. е. до внѣшняго края континентальной ступени. Самой замѣчательной въ этомъ отношеніи является впа-



Фиг. 186.—„Гуфъ“ Капъ Бретона погруженная долина западноевропейской континентальной платформы (по картѣ Франціи Фортификаціоннаго Депо, фигура взята у Э. Зюсса, la Face de la Terre, t. II).

дина Капъ Бретонъ, которая представляетъ собою древнее ложе Адура и его притоковъ (фиг. 186). Долины португальскихъ рѣкъ Дойро и Тахо продолжаются далеко въ море въ видѣ узкихъ бороздъ, спускающихся почти на 3000 м. ниже современнаго уровня океана. Конго также имѣетъ подводное продолженіе ложа. Всѣ эти долины были нѣкогда затоплены водой, благодаря движенію земной коры, при чемъ направленіе этого движенія было противоположно тому, которому онѣ обязаны своимъ прорытіемъ, и, надо полагать, что, со времени этого новаго погруженія ихъ, работой волнъ была создана новая прибрежная платформа, изъ которой постепенно образовалась современная континентальная ступень (11—14).

В. Рамзай первый указалъ на совмѣстное участіе волнъ и опусканій въ образованіи *равнинъ морской денудаціи*, выражаясь его словами. Рихтгофенъ затѣмъ точнѣе опредѣлилъ условія того процесса, который онъ назвалъ *морской абразіей*. Онъ приписываетъ ему громадное значеніе въ явленіи морскихъ трансгрессій, о которыхъ мы будемъ говорить въ слѣдующей главѣ. Современные же ученые, по примѣру В. М. Девиса, склонны преуменьшать роль морской абразіи и нѣсколько преувеличивать значеніе атмосферныхъ агентовъ и текучихъ водъ. По мнѣнію многихъ геологовъ явленію трансгрессіи всегда предшествовало образованіе предѣльной равнины на поверхности континента. Но этотъ вопросъ заслуживаетъ разсмотрѣнія въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ.

Коралловые рифы.—Въ тропической области вдоль большей части побережій тянутся рифы, построенные организмами, выдѣляющими въ своихъ тканяхъ значительное количество извести. Такъ какъ въ этихъ сооруженіяхъ наибольшее участіе принимаютъ кораллы, то и всѣ постройки принято называть *коралловыми рифами* (Табл. LXIX, 2).

Природа организмовъ, строящихъ рифы. Намъ уже извѣстно, при какихъ условіяхъ и какимъ путемъ нѣкоторые организмы выдѣляютъ свой скелетъ изъ углекислой извести. Многія безпозвоночныя живутъ *колоніями*, и каждая особь колоніи имѣетъ свой скелетъ. Скелеты всѣхъ организмовъ колоніи соединяются въ одну общую массу—*сложный полипнякъ*, части котораго постепенно отмираютъ, а еще живые организмы, его образующіе, размножаются путемъ дѣленія или почкованія. Эти организмы прекрасно приспособлены къ ударамъ волнъ, тѣмъ болѣе, что отдѣльныя части колоніи могутъ даже отламываться, что не приноситъ ущерба цѣлому; на отмершихъ частяхъ прежнихъ колоній поселяются новые строющіе колонію организмы.

Наибольшее значеніе въ сооруженіи коралловыхъ рифовъ имѣютъ роды составляющіе группу Anthozoa, но также и нѣкоторые Hydrozoa; таковы гидрокоралловыя и многочисленныя мшанки, которыя также участвуютъ въ этой работѣ то самостоятельно, то совмѣстно съ Anthozoa. Среди послѣднихъ простыя особи, размножающіяся половымъ путемъ, не строятъ рифовъ, а хорошо приспособляются къ жизни на илистомъ днѣ и иногда живутъ на большихъ глубинахъ; Anthozoa же, образующіе сложные полипняки, рѣдко встрѣчаются на большой глубинѣ. Они

раздѣляются на два подотряда: *Porosa* и *Aporosa*; первые растутъ гораздо быстрѣе вторыхъ, благодаря незначительной плотности ихъ скелета и присутствію ценснхимы, соединяющей отдѣльныя особи; главнѣйшими представителями этой группы являются Madreporidae и Poritidae. Изъ *Aporosa* можно назвать Astreidae, Fungidae и др. Во вторичную эру въ коралловыхъ рифахъ преобладали эти два семейства, въ палеозойную же эру почти всѣ безъ исключенія организмы, строящіе рифы, принадлежали къ исчезнувшимъ теперь Stromatoporidae, Tetracorallia и Tabulata.

Замѣтимъ кромѣ того, что заросли водорослей изъ семейства кораллинъ и особенно родъ *Lithothamnium*, часто образуютъ скопленія извести совершенно подобныя рифамъ; часто даже эти водоросли растутъ на отмершихъ частяхъ рифовъ, построенныхъ Anthozoa.

Условія, благопріятствующія образованію рифовъ.—Сосредоточеніе коралловыхъ рифовъ въ тропическихъ областяхъ и лишь около нѣкоторыхъ береговъ опредѣляется тѣмъ, что организмы, строящіе рифы, только здѣсь находятъ условія, необходимыя для своего существованія. Условія эти слѣдующія:

1. *Постоянная температура воды около 20°.* Коралловые рифы встрѣчаются только въ поясѣ, заключенномъ между изокримами въ 20° сѣвернаго и южнаго полушарій. Извѣстно что эти кривыя одинаковой температуры не идутъ всюду по параллелямъ, но представляютъ извѣстныя уклоненія, обусловленныя теченіями. Такъ, напр., въ настоящее время коралловыхъ рифовъ совершенно нѣтъ въ южномъ полушаріи, вдоль западныхъ береговъ Америки и Африки, вслѣдствіе проходящихъ здѣсь холодныхъ теченій.

2. *Нормальное содержаніе соли.* Рифы не встрѣчаются ни въ полупрѣсной водѣ, ни въ лагунахъ, гдѣ содержаніе соли выше нормальнаго. Совершенно не является необходимымъ для развитія строящихъ организмовъ обиліе въ водѣ углекислой извести, такъ какъ не было установлено, что въ водѣ около рифовъ имѣются большія отклоненія отъ нормальнаго содержанія углекислой извести.

3. *Чистота воды.* Рифы совершенно отсутствуютъ въ водѣ, содержащей взвѣшенными глинистыя частицы, которыя вредны для планктона, составляющаго пищу строящихъ рифы организмовъ. Вслѣдствіе этого рифы, тянущіеся вдоль берега, прерываются около устьевъ рѣкъ, впадающихъ въ море.

4. *Достаточное движеніе воды.* Это условіе во-первыхъ вытекаетъ само собой изъ предшествующаго, а во-вторыхъ необходимо для удаленія отмершихъ частей колоніи со стороны обращенной къ морю.

5. *Скалистое дно.* Молодыя колоніи могутъ прикрѣпляться лишь къ скалистому дну.

6. *Опредѣленная глубина.* Было отмѣчено, что средняя глубина въ 20 саж. (37 м.) является предѣльной, и глубже ея организмы, воздвигающіе рифы, не находятъ больше достаточно воздуха и свѣта для своего развитія. Максимальнымъ же предѣломъ является глубина въ 90 м.

Различныя категоріи коралловыхъ рифовъ. Со времени классическихъ трудовъ Чарльса Дарвина (15) и Джемса Дена (16) различаютъ слѣдующія категоріи коралловыхъ рифовъ.

I. *Береговые рифы* составляютъ пояса коралловыхъ сооруженій, непосредственно окаймляющіе сушу часто на очень большомъ протяженіи.

2. *Барьерные рифы расположены также* параллельно берегамъ, но отдѣлены отъ нихъ довольно широкимъ каналомъ, какъ напр., Большой Барьерный рифъ, который тянется вдоль австралійскаго берега на протяженіи почти 2400 км. и отдѣленъ отъ континента каналомъ отъ 50 км. до 100 км. ширины.

3. *Коралловые острова.* Самой распространенной формой ихъ являются *атоллы* (фиг. 187), окружающіе *лагуну* поясомъ рифовъ то совершенно замкнутымъ, то съ однимъ или нѣсколькими перерывами, черезъ которые лагуна сообщается съ моремъ.

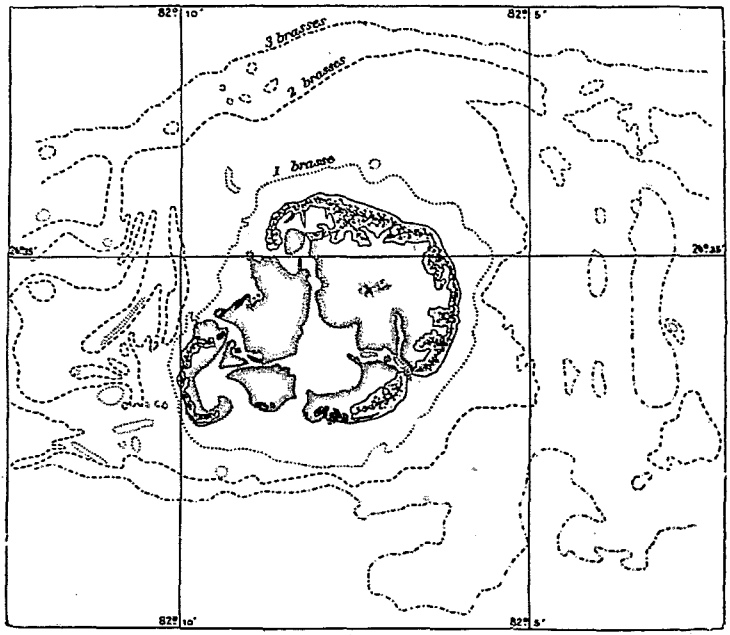
Во всѣхъ этихъ трехъ категоріяхъ рифовъ волны непосредственно ударяются о наружную сторону сооруженія, поэтому она лучше снабжена пищей и воздухомъ, а отмершія ея части быстрѣе уносятся, вслѣдствіе чего ростъ ея въ направленіи открытаго моря идетъ довольно быстро, контуры получаютъ очень изрѣзанныя очертанія и профиль внѣшняго склона, начиная отъ края болѣе или менѣе широкой подводной платформы, становится очень крутымъ.

Въ барьерныхъ же рифахъ и въ атоллахъ внутренняя сторона сооруженій имѣетъ не столь изрѣзанныя очертанія и не такой крутой склонъ.

Наружный край рифа представляетъ собой настоящую коралловую брекчію, образующуюся отъ раздробленія полипняковъ

ударами волнъ. Часто, впрочемъ, она совершенно зарастаетъ известковыми водорослями. Съ внутренней же стороны рифа полипняки, защищенные отъ ударовъ волнъ, растутъ безпрепятственно и часто достигаютъ большихъ размѣровъ.

Въ неглубокихъ лагунахъ атолловъ, глубина которыхъ не превышаетъ почти никогда 100 м., жизнь особенно интенсивно проявляется, и нерѣдко онѣ бываютъ близки къ заполненію осадками органическаго происхожденія.

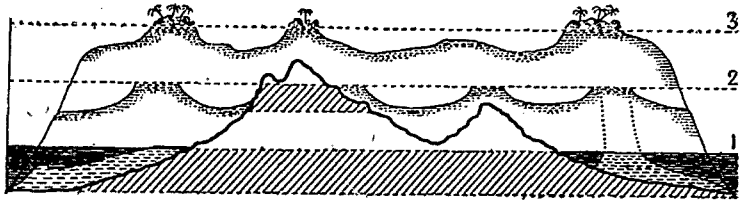


Фиг. 187.—Атоллъ Маркизскихъ острововъ (Флорида) по картѣ Берегового Бюро (Coast Survey), фигура взята у Э. Зюсса, *la Face de la Terre*, т. II).

Не всѣ коралловые острова являются атоллами; въ открытомъ морѣ существуютъ иногда большіе плоскіе рифы съ очень неправильными очертаніями, съ многочисленными отверстіями; какъ ложка для сниманія пѣны, и имѣющіе въ большинствѣ случаевъ форму громаднаго гриба. Ихъ часто называютъ *аброльжъ* (*abrolhos*), такъ какъ изъ такихъ рифовъ состоитъ архипелагъ Аброльжъ, находящійся у береговъ Бразиліи.

Теоріи образованія коралловыхъ рифовъ.—Объяснить происхожденіе береговыхъ рифовъ нетрудно; наоборотъ, существуетъ цѣлый рядъ теорій, различно объясняющихъ происхожденіе лагуны позади барьерныхъ рифовъ или въ центрѣ атолла. Наибольшей извѣстностью пользуется теорія Дарвина, развитая и обобщенная Дена.

Дарвинъ былъ пораженъ громадною мощностью нѣкоторыхъ рифовъ, т.-е. тѣмъ обстоятельствомъ, что ниже живущихъ теперь колоній находятся скопленія полипняковъ, представляющихъ тысячи вымершихъ поколѣній. Если эти скопленія полиповъ находятся значительно ниже той глубины, на которой могутъ жить кораллы, т.-е. глубже 40 м., то само собой понятно, что накопленіе послѣдовательныхъ толщъ отмершихъ полиповъ, могло совершаться лишь въ томъ случаѣ, если ростъ ихъ вверхъ компенсировался соотвѣтствующимъ пониженіемъ дна. Этотъ процессъ можно сравнить съ накопленіемъ осадковъ въ геосинклиналяхъ. При этихъ условіяхъ береговой, рифъ мало-по-малу превратился бы въ барьерный, а рифъ, окружавшій островокъ, превратился бы въ атоллъ, какъ это изображено на прилагаемой схемѣ (фиг. 188).



Фиг. 188.—Образованіе атолла (по Джемсу Д. Дэна). 1, 2, 3, уровни моря во время трехъ послѣдовательныхъ стадій процесса, соотвѣтствующіе тремъ профилямъ.

Дена находитъ слѣды подобнаго осѣданія во всей сѣверо-восточной части Тихаго океана, гдѣ такъ часто встрѣчаются атоллы, тогда какъ юго-западная часть того же океана носитъ слѣды обратнаго движенія. Граница, ихъ раздѣляющая, идетъ отъ Японіи къ островамъ Помоту, т.-е. какъ разъ соотвѣтствуетъ большой оси океана.

Но новѣйшія изслѣдованія не всегда подтверждали тѣ наблюденія, исходя изъ которыхъ Дарвинъ и Дена построили свою теорію. Во-первыхъ было обнаружено много коралловыхъ сооруженій незначительной мощности, во-вторыхъ изслѣдованія дна показали, что большія коралловыя массы на самомъ дѣлѣ имѣютъ обломочное происхожденіе и, слѣдовательно, соотвѣтствуютъ осыпямъ на внѣшней сторонѣ рифа. Поэтому теорія Дарвина мало-по-малу лишается прочнаго основанія, а, наоборотъ, довольно многочисленные факты говорятъ въ пользу другого объясненія, предложеннаго геологомъ экспедиціи *Челленджера* Джономъ Мерреемъ (17).

Меррей слѣдующимъ образомъ объясняетъ происхожденіе

атолловъ: Въ неглубокихъ мѣстахъ моря, расположенныхъ за предѣлами терригенной зоны, безпрерывно накопляются отложенія органическаго происхожденія, такъ что глубина въ этомъ мѣстѣ все уменьшается и уменьшается, пока не создадутся батиметрическія условія, благопріятныя для образованія рифовъ. Организмы, ихъ строящіе, имѣютъ бо́льшую жизнеспособность по окраинамъ, чѣмъ въ центрѣ, вслѣдствіе чего мало-по-малу и образуется характерная кольцеобразная форма атолловъ. Барьерные же рифы возникали поодаль отъ береговъ въ тѣхъ случаяхъ, когда прѣсныя воды, стекавшія съ сосѣдней суши, создавали такія условія, при которыхъ береговые рифы не могли развиться; этими неблагопріятными условіями было опрѣсненіе воды и приносъ глинистыхъ частицъ. Понятно также, что степень солености воды въ лагунѣ атолла быстро уклонится отъ нормальной, вслѣдствіе чего рифъ сохранитъ возможность развиваться только по периферіи.

Что касается Тихаго океана, то тамъ часто въ одномъ и томъ же архипелагѣ встрѣчаются очень жизнеспособные рифы рядомъ съ умершими рифами, приподнятыми на значительную высоту, что и дало поводъ думать, что въ концѣ третичной эры произошло общее поднятіе дна. Во всякомъ случаѣ нѣтъ никакихъ указаній на недавнее и непрерывно идущее осѣданіе его. Быть можетъ теорія Дарвина и приложима къ отдѣльнымъ случаямъ, но распространять ее на всѣ рифы было бы опасно. Мы не можемъ здѣсь подробно остановиться на вызванныхъ ею спорахъ, тѣмъ болѣе, что сущность разногласій по этому вопросу была прекрасно резюмирована многими учеными (0,1 18,19).

---

1. — Ch. H. Davis. A Memoir upon the Geological Action of the Tidal and other Currents of the Ocean. *Mem. of the Amer. Acad. Boston*, IV, стр 117—156, табл. I, II, 1849.

2. — F. G. K. Gilbert. The topographic features of Lake Shores 5th *Ann. Rep. U. S. Geol. Surv.*, стр. 69—123, табл. III—XX, фиг. 1—6, 1885.

3. — F. P. Gulliver. Cuspate forelands. *Bull. of the Geol. Soc. of America*, VII, стр. 309—422, табл. XVIII, 1896.

4. — Id. Shoreline topography. *Proc. Amer. Acad. Arts and Science*, XXXIV, стр. 151—258, 32 фиг, 1899.

5. — L. Joubin. La Presqu'île de Quiberon. *Bull. de l'Inst. Océanogr.*, nº 52, 24 стр., 4 табл., 19 фиг., 1907.

6. — Joh. Walther. Die Adamsbrücke und die Korallenriffe der Palkstrasse. *Peterm. Mitt.*, Ergänzungsheft nº 102, 40 стр., 2 карты, 1891.

7. — Alfred Philippson. Ueber die Typen der Küstenformen, insbesondere der Schwemmlandsküsten. *Festschrift Richthofen*, стр. 1—14, 17 фиг. 1893.

8. — Alfred Tylor. On the Formation of Deltas: and on the Evidence and Cause of Great Changes in the Sea-Level during the Glacial Period. *Geol. Mag.*, IX, стр. 392—399, 485—501, табл. XI, 1872.

9. — Rudolf Credner. Die Deltas. *Peterm. Mitt.*, Ergänzungsh. nº 56, 74 стр., 3 табл., 1878.

10. — Charles Barrois. Sur les phénomènes littoraux actuels du Morbihan. *Ann. de la Soc. Géol. du Nord*, XXIV, стр. 182—226, табл, IV, V, 1893.

11. — J. W. Spencer. Reconstruction of the Antillean Continent. *Bull of the Geol. Soc. of America*, VI, стр. 103—140, 1 табл., 1895.

12. — Wilfrid H. Hudleston. On the Eastern Margin of the North Atlantic Basin. *Geol. Mag.*. N. S., dec. IV, vol. VI, стр. 97—105, 145—157, табл. III, V—VII, 1899.

13. — Edward Hull. Des investigations récentes relatives aux anciennes vallées envahies par la mer et à divers autres traits physiques des îles Britanniques et de l'Ouest de l'Europe. *C. R. du VIIIe Congrès géol. intern.*, стр. 321—325. Paris, 1900.

14. — Emm. de Martonne. La pénéplaine et les côtes bretonnes. *Ann. de Géogr.* XV, стр. 213—236, 299—328, табл. IX—XII, XIV—XVII, 13 фиг., 1906.

15. — Charles Darwin. The structure and distribution of coral reefs. 1 vol. in-8º, 214 стр., фиг. London, 1842.

16. — James D. Dana. Corals and Coral Islands. 1 vol. in-8º, 398 стр., многочисл. табл. и фиг. London, 1885.

17. — John Murray. On the structure and origin of coral reefs and islands. *Proc. Roy. Soc. Edinburgh*, X, стр. 500—518, 1880.

18. — R. Langenbeck. Die Theorien über die Entstehung der Korallen-inseln und Korallenriffe und ihre Bedeutung für geophysische Fragen. 1 vol. in-8º, 190 стр., 5 фиг. Leipzig, 1890.

19. — M. Caullery. Les. récifs coralliens. *Annales de Géogr.*, IX, стр. 1—16, 193—210, 1900.

См. также: 0,1; 0,8; 0,18; 0,22; VIII, 9; XXV, 5.

ГЛАВА XXVIII.

Перемѣщеніе береговыхъ линій.

Доказательства недавнихъ перемѣщеній береговыхъ линій.—Морскія трансгрессіи и регрессіи.—Причины перемѣщенія береговыхъ линій.—Поднятія и опусканія почвы.—Законы трансгрессій и регрессій.—Орогеническія и эпейрогеническія движенія.

Въ предшествующихъ главахъ мы занимались явленіями литогенезиса, орогенезиса и глиптогенезиса, совокупность которыхъ составляетъ циклъ геологическихъ явленій. Мы видѣли, что конечнымъ моментомъ этого цикла является образованіе предѣльной равнины на мѣстѣ горной цѣпи, благодаря продолжительному дѣйствію текучихъ водъ, атмосферныхъ агентовъ, ледниковъ, словомъ всѣхъ тѣхъ силъ, которыя участвуютъ въ разрушеніи рельефа земной коры. Новый циклъ можетъ начаться, если предѣльная равнина будетъ вновь залита водой. Вся исторія геологическихъ временъ показываетъ намъ, что береговыя линіи не занимаютъ постояннаго положенія, а что, наоборотъ, распредѣленіе суши и морей постоянно измѣнялось отъ одного періода къ другому.

Доказательства недавнихъ перемѣщеній береговыхъ линій. — Перемѣщенія береговыхъ линій, соотвѣтствующія то наступанію, то отступанію моря, совершаются и въ наши дни, и во всякомъ случаѣ совершались въ сравнительно недавнія геологическія эпохи, отмѣченныя уже появленіемъ человѣка. Объ этихъ явленіяхъ написаны цѣлые тома (I—4; 0,22), но мы можемъ сейчасъ остановиться лишь на немногихъ примѣрахъ перемѣщенія, которые меньше всего вызываютъ разногласія. Легендарныя и историческія свѣдѣнія говорятъ намъ о многихъ городахъ, нѣкогда цвѣтущихъ, а теперь затопленныхъ моремъ. Такъ, напр., во время отливовъ въ заливѣ Дуарненэ (Бретань) можно видѣть подъ водой на глубинѣ 5—6 м. развалины города Иссъ (Ys), затопленнаго моремъ въ V вѣкѣ. Въ заливѣ Фосъ, около Марселя, на раз-

стоянiи 2 км. отъ современнаго берега, были найдены на глубинѣ 4—7 м. обломки черепицы и глиняной посуды и римскiя монеты, указывающiя на то, что здѣсь находился городъ, теперь скрытый подъ водой. Многочисленныя доказательства, сравнительно недавняго наступанiя моря встрѣчаются на всемъ побережьѣ Сѣвернаго моря и Ла Манша. Жители Голландiи и Фландрiи и теперь должны постоянно создавать искусственную защиту отъ морскихъ захватовъ. Въ эстуарiи Брель около города Трепоръ Мюнье Шальмасу удалось обнаружить путемъ буренiя глиняную посуду III и IV вѣка нашей эры, находящуюся даже при отливѣ на много метровъ ниже уровня моря и покоющуюся на лигнитовой формацiи съ сохранившимися стволами деревьевъ и съ прослойками содержащими *Cardium edule*, а сверху покрытую морскимъ пескомъ съ современными видами моллюскъ. Въ Вимере ниже современнаго уровня моря встрѣчаются остатки древняго затопленнаго лѣса и отшлифованныя каменныя орудiя. Въ Бретани было также указано немало примѣровъ подобныхъ явленiй. Мало того, тамъ находятся настоящiя *затопленныя долины*, дно которыхъ теперь расположено ниже уровня моря, и устье которыхъ загреждено валомъ изъ щебня (табл. LXX, 2).

Мы уже говорили, что ложе многихъ рѣкъ, впадающихъ въ Атлантическiй океанъ, прорытое въ континентальной платформѣ, продолжается по морскому дну дальше ихъ современнаго устья и что единственнымъ удовлетворительнымъ объясненiемъ этого явленiя можетъ быть гипотеза затопленiя моремъ окраинъ континентовъ уже послѣ образованiя на нихъ долинъ. Припомнимъ также, что на континентальную платформу слѣдуетъ смотрѣть какъ на равнину морской абразiи, постепенно захваченную моремъ. Чрезвычайно изрѣзанные берега, гдѣ, какъ напр., въ Далмацiи, море проникаетъ вглубь синклинальныхъ долинъ, являются также указанiемъ на наступанiе моря. Мы уже знаемъ, что возрастанiе коралловыхъ рифовъ вверхъ, наблюдавшееся во многихъ мѣстахъ, породило гипотезу постепеннаго осѣданiя морского дна въ нѣкоторыхъ мѣстахъ Тихаго океана.

На многихъ морскихъ берегахъ встрѣчаются и слѣды отступанiя моря. Извѣстно, напр., что у Шведскихъ и Финляндскихъ береговъ Балтiйское море отступило въ теченiе историческаго перiода, тогда какъ линiя русскаго и германскаго побережьевъ того же моря осталась безъ измѣненiя. Еще болѣе

замѣчательныя явленія наблюдаются на атлантическомъ побережьѣ Скандинавіи, гдѣ въ фіордахъ на различной высотѣ надъ уровнемъ моря, наблюдаются слѣды древнихъ побережій съ скопленіемъ раковинъ, прибрежныхъ моллюскъ и террасы или *seter*, соотвѣтствующія прибрежнымъ платформамъ, выбитымъ морскими волнами. Такимъ образомъ у береговъ Норвегіи пониженіе уровня моря шло скачками. На всемъ побережьѣ Средиземнаго моря также имѣются слѣды древнихъ береговыхъ линій, относящихся къ четвертичной эрѣ и образующихъ извѣстное число террасъ, расположенныхъ ярусами на все уменьшающихся высотахъ, такъ что можно сказать, что здѣсь все происходило такъ, какъ будто бы уровень моря, достигнувъ максимальной высоты, постепенно понижался. На этихъ фактахъ мы, впрочемъ, остановимся подробнѣе во второй части, когда перейдемъ къ исторіи четвертичной эры.

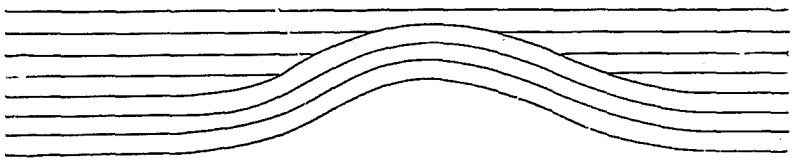
Каждый разъ какъ мы имѣемъ передъ собой рѣку, нижняя часть которой заключена въ узкое прорытое эрозіей ущелье и видимъ въ немъ слѣды недавней выработки профиля равновѣсія, у насъ есть основаніе думать, что лишь очень недавно произошло пониженіе базиса эрозіи этой рѣки, или, другими словами, что море отступило.

Къ такимъ же выводамъ приводятъ насъ и нѣкоторые коралловые рифы, находящіеся теперь на высотѣ нѣсколькихъ десятковъ и даже сотъ метровъ надъ современнымъ уровнемъ моря, какъ, напр., рифы Соломоновыхъ острововъ.

Наконецъ, есть морскіе берега, носящіе очевидные слѣды чередованія отступаній и наступаній моря; мы увидимъ ниже, что Скандинавія въ теченіе четвертичной эры подвергалась неоднократному чередованію этихъ фазъ такъ же, какъ и нѣкоторыя области Средиземно-морскаго побережья. Классическимъ примѣромъ можетъ служить храмъ Сераписа въ Пуццуоли (гр. LXXI, 2); отъ него остались лишь три вертикальныя колонны, которыя въ промежуткѣ между 3 и 5,30 м. ихъ вышины источены сверлящими моллюсками, что является неоспоримымъ доказательствомъ того, что храмъ, уже сооруженный, былъ затопленъ моремъ, которое здѣсь оставалось нѣкоторое время, и слѣды пребыванія котораго сохранились кромѣ того на аркѣ сосѣдняго моста. Въ настоящее время каменный полъ храма лежитъ нѣсколько ниже уровня моря, и на основаніи историческихъ документовъ извѣстно, что такой порядокъ вещей существуетъ съ 1538 г., когда было послѣднее большое изверг-

женіе Монте-Нуово. Въ то самое время, когда произошло поднятіе почвы, храмъ былъ засыпанъ массой рыхлыхъ вулканическихъ выбросовъ и лишь въ 1750 г. былъ раскопанъ усиліями человѣка, и покрывавшіе его вулканическіе продукты были удалены.

Морскія трансгрессіи и регрессіи. — Перемѣщеніе береговой линіи доказывается многочисленными и разнородными геологическими явленіями. Иногда можно бываетъ прослѣдить, такъ сказать, шагъ за шагомъ наступаніе или отступаніе древняго моря, но обыкновенно въ стратиграфической серіи удается лишь констатировать пробѣлъ, соотвѣтствующій фазѣ отступанія моря, между отложеніями, которыя соотвѣтствуютъ двумъ періодамъ его наступанія. Существованіе



Фиг. 189. — Образованіе подводной складки, обусловившее несогласное напластованіе слоевъ, не сопровождавшееся обнаженіемъ дна.

такой фазы часто обнаруживается кромѣ того *несогласнымъ напластованіемъ* двухъ серій морскихъ отложеній (табл. II). Очевидно, что послѣ первой фазы наступанія, произошло движеніе земной коры, т.-е. орогеническое движеніе, за которымъ послѣдовали явленія денудаціи. Когда же море вновь захватило, оставленную имъ было область, то отложенія этой новой фазы оказались несогласно напластованными на отложеніяхъ предшествующей фазы. Впрочемъ, одно только несогласное напластованіе не является еще неоспоримымъ доказательствомъ періода отступанія моря между двумя фазами его наступательнаго движенія, такъ какъ не слѣдуетъ забывать о возможности образованія складокъ на днѣ моря. Въ этомъ случаѣ и безъ періода отступанія можетъ оказаться несогласное напластованіе и даже перерывъ въ отложеніи осадковъ (фиг. 189) [1]). И обратно, согласное напластованіе двухъ серій отложеній не является

---

[1]) При изслѣдованіи горныхъ мѣстностей въ особенности слѣдуетъ считаться съ возможностью *механическаго несогласнаго залеганія*, явившагося слѣдствіемъ образованія складки сброса или шарріажа.

еще доказательствомъ непрерывности процесса отложенія осадковъ, такъ какъ оно могло быть обусловлено не отсутствіемъ фазы отступанія, а тѣмъ обстоятельствомъ, что, въ промежутокъ между двумя фазами наступанія моря, не было орогеническихъ движеній.

Вотъ данныя, на которыя можно опираться, дѣлая заключеніе объ отступаніи моря, имѣвшемъ мѣсто между двумя фазами его наступательнаго движенія.

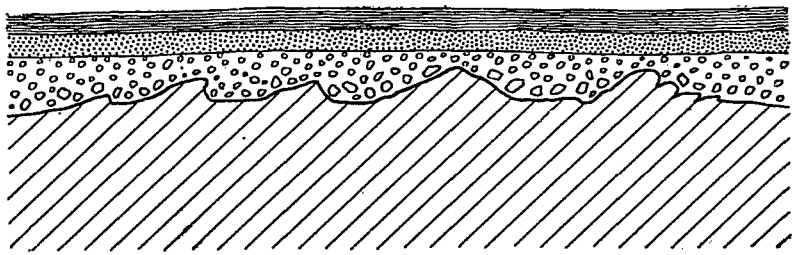
1) *Стратиграфическій пробѣлъ*, т.-е. отсутствіе какого-либо члена въ нормальной серіи отложеній. Правда, этотъ пробѣлъ могъ быть обусловленъ, напр., морскими теченіями, препятствовавшими отложенію осадковъ, но такое истолкованіе приложимо лишь къ пробѣламъ незначительной продолжительности; но, если въ осадочной серіи отсутствуетъ цѣлый ярусъ или цѣлая система, это предполагаетъ такой продолжительный перерывъ въ отложеніи, который трудно было-бы объяснить морскими теченіями.

2. *Явленія коррозіи или вывѣтриванія по границѣ между двумя серіями слоевъ.* Когда поверхность нижняго пласта серіи бываетъ источена сверлящими моллюсками, то не можетъ быть никакого сомнѣнія въ томъ, что этотъ слой, быть можетъ образовавшійся на значительной глубинѣ, находился нѣкоторое время если не надъ уровнемъ воды, то во всякомъ случаѣ очень близко къ ея поверхности, такъ какъ сверлящіе моллюски не могли бы жить на бо́льшей глубинѣ. Отступаніе моря становится еще очевиднѣе, если источенный слой является въ то же время и вывѣтрившимся, и особенно если вывѣтриваніе сопровождалось превращеніемъ углекислаго кальція въ фосфорно-кислый, что происходило подъ дѣйствіемъ экскрементовъ морскихъ птицъ, или если вывѣтриваніе происходило при участіи наземныхъ растеній, какъ на это указываетъ напр. „трубчатый мѣлъ“ окрестностей Парижа, который свидѣтельствуетъ о томъ, что до вторженія сюда моря въ Монтскую эпоху на мѣлу росъ лѣсъ и вывѣтриваніе породы шло вдоль древесныхъ корней.

3. *Вклиниваніе слоевъ континентальнаго происхожденія.* Иногда между двумя морскими серіями находятся отложенія, континентальное происхожденіе которыхъ не подлежитъ сомнѣнію: каковы, напр., гравій потоковъ, песчаники съ отпечатками слѣдовъ наземныхъ позвоночныхъ, слои, разбитые трещинами отъ высыханія, озерныя отложенія съ прѣсноводными моллюсками, элювіальныя образованія, какъ напр., бокситъ,

который представляетъ собой ничто иное какъ древній латеритъ. Впрочемъ, при опредѣленіи озерныхъ формацій, слѣдуетъ быть очень осторожнымъ, такъ какъ легко принять за нихъ отложенія эстуаріевъ, образовавшіяся въ морской средѣ, хотя и въ мѣстахъ сильно опрѣсненныхъ впадающими рѣками.

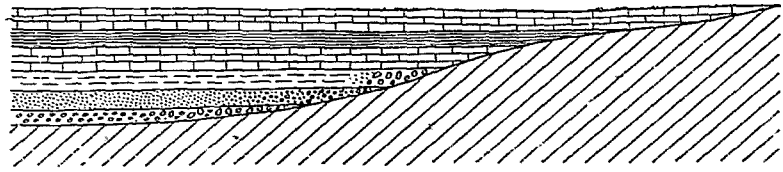
4. *Конгломераты въ основаніи серіи.*—Въ основаніи верхней осадочной серіи часто находятся конгломераты, образовавшіеся изъ обломковъ подстилающихъ породъ и заполняющіе всѣ углубленія слоевъ, лежащихъ въ основаніи. Очевидно, что верхняя серія отложилась на равнину морской абразіи, состоявшую изъ слоевъ нижней серіи. Обломочная формація изъ крупныхъ элементовъ, которою часто начинаются отложенія вновь наступающаго моря, называется *основнымъ конгломератомъ* (фиг. 190).



Фиг. 190.—Морская трансгрессія сопровождающаяся несогласнымъ напластованіемъ и начинающаяся основнымъ конгломератомъ.

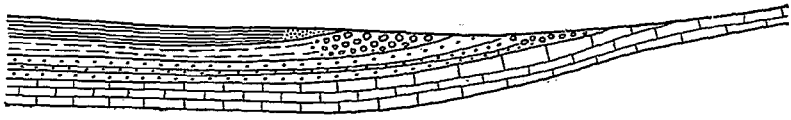
Вторженіе моря въ мѣстность, раньше имъ не залитую, называется *морской трансгрессіей*, отступаніе же моря изъ занятой имъ раньше области называется *морской регрессіей*. Трансгрессивное залеганіе какого-либо слоя осадочной серіи легко опредѣлить, констатировавъ несогласное налеганіе его на подстилающіе его слои, а въ случаѣ согласнаго напластованія—на основаніи тѣхъ или иныхъ данныхъ, указывающихъ на отступаніе моря въ эпоху промежуточную между отложеніемъ двухъ серій. Не всегда бываетъ легко опредѣлить максимальное распространеніе трансгрессіи, такъ какъ разрушеніе и уносъ текучими водами и атмосферными агентами часто уничтожаетъ древнія береговыя линіи, такъ что отъ трансгрессивныхъ слоевъ сохраняются лишь останцы или свидѣтели. Еще труднѣе бываетъ опредѣлить границы морской регрессіи, вслѣдствіе того же процесса денудаціи, который часто заставляетъ считать нѣкоторыя отложенія за регрессивныя по сравненію съ подстилающими ихъ слоями, тогда какъ на самомъ дѣлѣ верхній слой кажет-

ся отступающимъ лишь вслѣдствіе того, что онъ подвергся разрушенію на большемъ протяженіи чѣмъ нижній. Таковы, напр., отложенія Парижскаго бассейна, гдѣ отложенія вторичной серіи, выходятъ на поверхность концентрическими слоями, такъ что каждый слой нѣсколько отступаетъ по сравненію съ предшествующими и имѣетъ видъ регрессивнаго отложенія. Въ дѣйствительности же здѣсь произошла лишь общая денудація краевъ котловины, въ которой только въ немногихъ мѣстахъ сохранились древнія береговыя линіи.



Фиг. 191.—Трансгрессивное напластованіе слоевъ послѣдовательно отлагавшихся въ морѣ, наступавшемъ на область ранѣе не залитую.

Лишь въ рѣдкихъ случаяхъ трансгрессія распространяется сразу на всю область, которую она впослѣдствіи захватитъ: сначала море заливаетъ лишь краевыя части, затѣмъ постепенно покрываетъ все болѣе и болѣе значительныя пространства, пока трансгрессія не достигнетъ максимальнаго распространенія. Вслѣдствіе этого послѣдовательные слои трансгрессивной серіи перекрываютъ одинъ другой (фиг. 191), въ регрессивной же серіи, наоборотъ, горизонтальное протяженіе каждаго слоя меньше чѣмъ у нижележащаго (фиг. 192).



Фиг. 192.—Постепенное отступаніе слоевъ образующихъ регрессивную серію.

Классическимъ примѣромъ громадной морской трансгрессіи можетъ служить трансгрессія средняго отдѣла мѣлового періода, болѣе извѣстная подъ именемъ сеноманской (табл. XII, 8), такъ какъ въ сеноманскій вѣкъ она достигла максимальнаго распространенія. Впрочемъ, ея вліяніе чувствовалось еще съ самаго начала нижнемѣлового періода. Въ Парижскомъ бассейнѣ и въ другихъ областяхъ центральной Европы, конецъ юрскаго періода былъ отмѣченъ отступаніемъ моря и установленіемъ лагуннаго или озернаго режима. Различные слои неокома находятся

въ послѣдовательной трансгрессіи, и въ это время Парижскій бассейнъ вновь соединяется съ Ронскимъ черезъ проливъ Côte d'Or. Барремскій ярусъ соотвѣтствуетъ незначительному отступанію моря и возстановленію лагуннаго режима. Въ аптскій вѣкъ трансгрессія снова начинается и усиливается въ вѣкъ гольта. Въ сеноманскій вѣкъ трансгрессія достигаетъ своего максимума и заливаетъ древніе массивы, окружающіе Парижскій бассейнъ. Въ туронскій вѣкъ море становится болѣе глубокимъ, но площадь его распространенія по сравненію съ сеноманомъ сокращается.

Причины перемѣщенія береговыхъ линій.— На предшествующихъ страницахъ мы все время говорили о вторженіяхъ и отступаніяхъ моря или о морской трансгрессіи и регрессіи; мы съ умысломъ употребляли именно эти термины, которые ничего не предрѣшаютъ относительно самой природы перемѣщенія береговыхъ линій. Мы совершенно не касались вопроса о томъ, вызываются ли эти трансгрессивныя и регрессивныя движенія моря опусканіями и поднятіями суши, или измѣненіями уровня моря, т. е. мѣстными или общими повышеніями абсолютнаго уровня водъ, выражающимися наступаніемъ моря на прибрежныя области или пониженіями его уровня, ведущими къ обнаженію суши.

Ученые различныхъ временъ и различныхъ школъ примыкали то къ тому, то къ другому изъ этихъ двухъ предположеній. Чтобы избѣгнуть терминовъ, какъ бы заставляющихъ соглашаться съ тѣмъ или другимъ направленіемъ, Эд. Зюссъ вводитъ во второмъ томѣ своего „Лика Земли“, почти цѣликомъ посвященномъ разработкѣ этого вопроса, новые термины: *положительныя и отрицательныя движенія* (0,22). Къ сожалѣнію, другіе ученые, и особенно Гюнтеръ и Ратцель употребляютъ тѣ же самые термины для обозначенія направленія движеній суши. Желая положить конецъ всѣмъ недоразумѣніямъ Павловъ предложилъ назвать обѣ категоріи перемѣщеній, не касаясь ихъ природы, *геократическими и гидрократическими*. Таково же содержаніе и терминовъ *иммерзія и эмерзія, вторженіе моря и отступаніе моря, трансгрессія и регрессія*, и поэтому этими терминами мы и будемъ пользоваться въ дальнѣйшемъ изложеніи.

Въ теченіе долгаго времени геологи во главѣ съ Плайферомъ, Леопольдомъ фонъ Бухомъ и Ляйеллемъ приписывали

перемѣщеніе береговыхъ линій *медленнымъ колебаніямъ почвы*, какъ бы ея качаніямъ, которыя они ставили въ связь съ землетрясеніями. Иссель (4) даже назвалъ эти движенія *брадисейсмами*. Позже эта гипотеза вертикальныхъ движеній континентовъ была вновь высказана только въ нѣсколько иной формѣ, но это произошло уже тогда, когда вслѣдъ за рядомъ выдающихся ученыхъ почти всѣ геологи довольно единодушно приписывали перемѣщенія береговыхъ линій главнымъ образомъ и даже исключительно *абсолютнымъ измѣненіямъ уровня моря*.

Абсолютныя измѣненія уровня моря.—Въ прежнее время ученые отвергали даже возможность этихъ измѣненій, такъ какъ по ихъ понятіямъ уровень океановъ представлялъ поверхность равновѣсія, которое никогда не могло быть нарушено. Между тѣмъ существуютъ двѣ причины, не считая приливовъ и отливовъ, которыя непремѣнно должны измѣнять, въ извѣстныхъ предѣлахъ, форму этой поверхности равновѣсія; это, во-первыхъ, притяженіе, оказываемое континентами на массу океанической воды, а во-вторыхъ возможное измѣненіе скорости вращенія земли.

Поверхность океановъ не соотвѣтствуетъ строго поверхности эллипсоида вращенія; въ виду того, что нить отвѣса отклоняется около континентальныхъ массъ, очевидно, что и поверхность океана должна слегка подниматься при приближеніи его къ скалистымъ берегамъ. Соотвѣтственно массѣ континента, уровень воды поднимается выше или ниже, и вычисленіе приводитъ къ довольно различнымъ цифрамъ для разныхъ континентовъ. Прежніе ученые думали, что измѣненія высоты горъ или появленіе новой горной цѣпи на окраинѣ континента неизбѣжно должно было вызвать въ сосѣднемъ морѣ пониженіе или повышеніе уровня. Исходя изъ этой мысли Пенкъ (8) занялся вопросомъ о вліяніи на уровень моря громадныхъ ледниковыхъ покрововъ. Образованіе подобнаго покрова, очевидно, должно было вызвать повышеніе уровня моря вокругъ суши, покрытой ледниковымъ покровомъ. Если согласиться съ Адемаромъ и Кроллемъ, что ледниковые періоды стоятъ въ зависимости отъ предваренія равноденствій (см. гл. XXVI, стр. 474), то они должны наступать поочередно то въ южномъ, то въ сѣверномъ полушаріи, и, слѣдовательно, они, то въ томъ, то въ другомъ полушаріи, должны обусловливать притяженіе воды къ полюсу (5).

Но, каковы бы ни были причины наступанія ледниковыхъ періодовъ, вычисленія Хергезелля (11), Дригальскаго (12, 14)

и Вудворда (13) показали, что притяженіе водъ ледниковыми покровами могло обусловить лишь незначительное повышеніе уровня моря. Считая, что мощность Скандинавскаго инландсейса равнялась 1000 м., повышеніе уровня моря, по даннымъ Хергезелля, могло достигнуть не болѣе четырехъ м.

Эд. Зюссъ остановился на второй причинѣ, способной измѣнить поверхность равновѣсія океановъ. Онъ допускаетъ, что быстрота вращенія земли могла измѣняться и такимъ образомъ повторяетъ мысль, впервые высказанную Сведенборгомъ еще въ 1721 г.; увеличеніе быстроты вращенія должно вызывать сплющиваніе полюсовъ и приливъ воды къ экватору; наоборотъ, уменьшеніе быстроты вращенія обусловитъ уменьшеніе сплющенности и притокъ воды къ полюсамъ. Эта теорія могла бы объяснить какъ обиліе морскихъ террасъ въ полярныхъ областяхъ, такъ и преобладаніе трансгрессій въ экваторіальныхъ районахъ, которое считали вполнѣ установленнымъ (0,22).

Но, вмѣсто того чтобы прибѣгать къ причинамъ космическимъ для объясненія *мѣстныхъ* колебаній морского уровня, можно указать геологическія причины, которыя могутъ вызвать *общія* измѣненія морского уровня. Эд. Зюссъ предлагаетъ называть эти общія измѣненія уровня *эвстатическими движеніями* и считаетъ осѣданія земной коры главной причиной эвстатическихъ отрицательныхъ движеній.

Конечно, такія осѣданія, какъ происшедшія въ концѣ третичной эры въ западной части Средиземнаго моря, въ Тирренскомъ морѣ и у Антильскихъ острововъ, должны были вызвать сильный притокъ воды во впадины, которыя появились на мѣстѣ суши, до этого поднимавшейся надъ уровнемъ моря. Вслѣдствіе этого уровень океановъ повсюду долженъ былъ равномѣрно понизиться. Болѣе древнія осѣданія Австрало-Индо-Малгашскаго и Тихоокеанскаго континентовъ также должны были понизить общій уровень океановъ, сообразно тому количеству воды, которое потребовалось на заполненіе глубокихъ впадинъ Индійскаго и Тихаго океановъ.

Положительныя эвстатическія движенія Зюссъ объясняетъ накопленіемъ осадковъ на днѣ океановъ и заполненіемъ ими океанскихъ впадинъ. Но, принимая во вниманіе чрезвычайную медленность отложенія краснаго абиссальнаго ила и съ другой стороны почти неизмѣняющуюся глубину геосинклиналей, вслѣдствіе осѣданія, компенсирующаго накопленіе осадковъ, мы едва ли согласимся считать эту причину соотвѣтствующей резуль-

татамъ, ей приписываемымъ. Скорѣе поэтому можно согласиться съ теоріями, которыя выдвигаютъ въ качествѣ причинъ положительныхъ эвстатическихъ движеній вулканическія изверженія или образованіе подводныхъ складокъ подъ дѣйствіемъ орогеническихъ движеній.

Современныя явленія, конечно, не могутъ пролить свѣтъ на эти вопросы, разрѣшеніе которыхъ входитъ въ область стратиграфической геологіи. Нѣсколько забѣгая впередъ и пользуясь выводами, къ которымъ мы придемъ, прослѣдивъ распредѣленіе суши и морей въ теченіе геологическихъ періодовъ, мы можемъ теперь же формулировать выводы, основанные на изученіи совокупности морскихъ трансгрессій и регрессій (XII, 12).

1. *Трансгрессіи совершаются не поочередно въ обоихъ полушаріяхъ, а одновременно по обѣимъ сторонамъ экватора.*

2. *Онѣ распространяются не по градусамъ широты, а, наоборотъ, совершаются одновременно въ полярныхъ и экваторіальныхъ областяхъ.*

3. *Онѣ не являются повсемѣстными.*

Первое положеніе отрицаетъ значеніе періодовъ оледенѣнія, чередующихся въ обоихъ полушаріяхъ, какъ причину перемѣщенія береговыхъ линій. Второе отвергаетъ гипотезу измѣненія быстроты вращенія земли. Третье, наконецъ, исключаетъ возможность взгляда на морскія трансгрессіи и регрессіи, какъ на эвстатическія движенія.

Поднятія и отпусканія почвы.—Признавая извѣстное значеніе за тѣми или иными факторами, дѣйствіемъ которыхъ ученые старались объяснить измѣненія уровня моря, и не отрицая самаго существованія этихъ измѣненій, мы въ концѣ концовъ должны возвратиться къ прежней теоріи медленныхъ поднятій и опусканій почвы и разсмотрѣть, могутъ ли они быть причиной морскихъ трансгрессій и регрессій.

Новѣйшія изслѣдованія, касающіяся исторіи Скандинавскаго полуострова въ теченіе четвертичной эры, явились лишь новымъ прочнымъ основаніемъ уже ранѣе высказаннымъ взглядамъ о вертикальныхъ движеніяхъ земной коры. Подробное изложеніе этой исторіи будетъ дано нами во II томѣ, а сейчасъ мы укажемъ въ общихъ чертахъ лишь на тѣ факты, которые очень наглядно доказываютъ связь наступаній моря и неоднократныхъ осѣданій Финно-Скандинавскаго массива въ его цѣломъ. Заслуга изслѣдованія геологической исторіи Скандинавіи послѣ ледниковаго періода

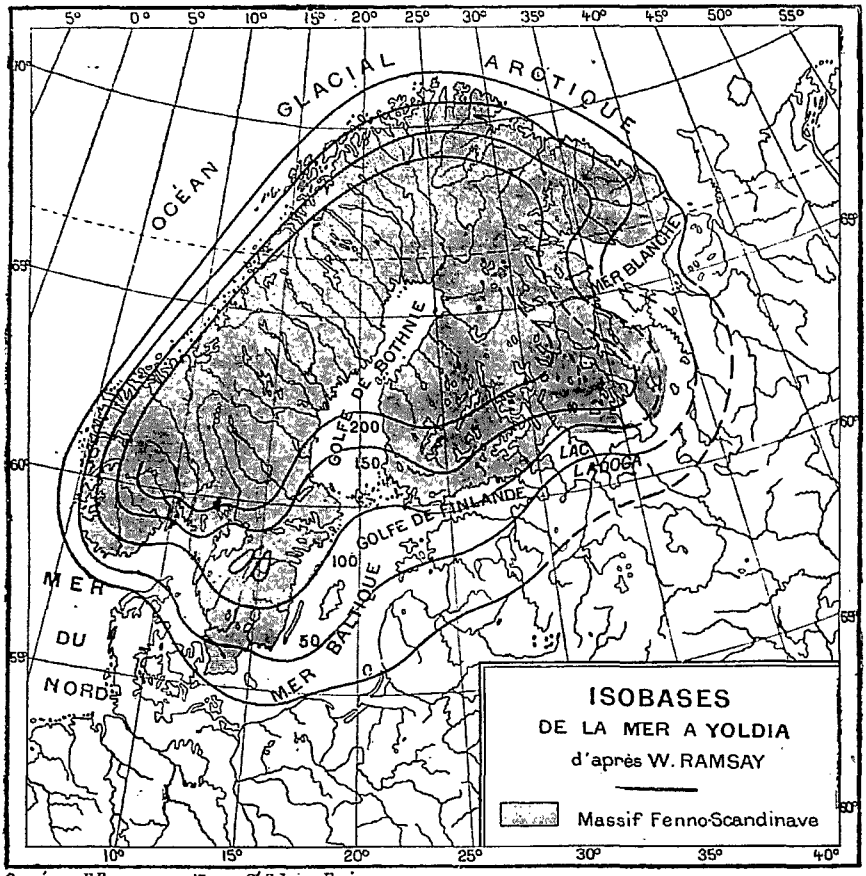
принадлежитъ, главнымъ образомъ, де Геру (18); выводы его были пополнены трудами В. Рамзая (19), посвященными изученію Финляндіи и Кольскаго полуострова или русской Лапландіи, которые вмѣстѣ съ Скандинавіей составляютъ Фенно-Скандію или Финно Скандинавскій массивъ, или, наконецъ, по терминологіи Зюсса, Скандинавскій щитъ, представляющій собой обширную область воздыманія въ поясѣ каледонскихъ складокъ.

Въ концѣ третьей большой фазы оледенѣнія четвертичной эры скандинавскій ледникъ постепенно отступалъ, оставляя за собой морены въ мѣстахъ своихъ временныхъ остановокъ. Одновременно съ таяніемъ ледника происходило наступательное движеніе моря, которое захватывало области, только что освободившіяся отъ глетчера и даже иногда заливало недавно отложенныя имъ морены, какъ это было констатировано В. Брёггеромъ (20) въ области къ югу отъ Христіаніи. Подобное движеніе моря становится понятнымъ лишь при томъ допущеніи, что одновременно съ таяніемъ ледниковъ происходило общее опусканіе области. Такимъ образомъ здѣсь море покрыло большую часть массива, кромѣ лишь его центральной части, еще занятой ледникомъ, и оставило слѣды своего пребыванія въ видѣ отложеній глины съ *Yoldia arctica*. Эти морскія отложенія представляютъ особый интересъ съ точки зрѣнія различной высоты, на которой они встрѣчаются, начиная съ 0 м. и кончая 270 м. надъ современнымъ уровнемъ моря. Слѣдовательно, послѣ періода морской трансгрессіи страна поднялась не на одинаковую повсюду высоту. Соединивъ на картѣ всѣ мѣста, гдѣ теперь эти глины находятся на одинаковой высотѣ надъ уровнемъ моря, де Геръ получилъ кривыя, которыя онъ назвалъ *изобазами* и которыя дали ему возможность изобразить на картѣ движенія дна Іольдіева моря со времени трансгрессіи. В. Рамзай пополнилъ эту карту кривыми, охватывающими Финляндію и Кольскій полуостровъ, и изданную имъ карту мы здѣсь и воспроизводимъ (фиг. 193).

Изъ событій, происшедшихъ въ Финно-Скандинавскомъ массивѣ послѣ отступанія Іольдіева моря, мы остановимся здѣсь лишь на новой трансгрессіи Литториноваго моря, послѣ которой мѣстность вновь подверглась поднятію. Отложенія этого моря находятся теперь на значительно меньшей высотѣ, чѣмъ отложенія Іольдіева моря; такъ въ русской Лапландіи они не встрѣчаются выше 20 м., въ центрѣ же массива изобаза въ

75 м. Литторинoваго моря почти точно соотвѣтствуетъ по своему положенію изобазѣ въ 200 м. Іольдіева моря, такъ что въ общемъ надо признать большое соотвѣтствіе въ очертаніи изобазъ обѣихъ морскихъ трансгрессій четвертичной эры.

При первомъ же взглядѣ на эту карту насъ сразу поражаетъ сходство очертаній изобазъ съ контурами Финно-Сканди-



Фиг. 193.—Изобазы Іольдіева моря вокругъ Финно Скандинавскаго массива (по В. Рамзаю, фигура взята изъ Revue générale des Sciences).

навскаго массива. Такимъ образомъ трансгрессіи и регрессіи моря на сѣверѣ Европы въ теченіе четвертичной эры произошли вслѣдствіе отрицательныхъ и положительныхъ движеній этой области воздыманія. Гипотеза медленныхъ поднятій и опусканій земной коры появляется теперь вновь, хотя и совсѣмъ не въ той формѣ, въ какой она была высказана прежними учеными; теперь оказывается, что правъ былъ Браве, примѣнившій ее къ Скандинавіи еще 1842 г. (16).

Что же касается механической стороны вопроса о вертикальныхъ движеніяхъ Финно-Скандинавскаго массива, то они истолковывались различнымъ способомъ. Особенно остроумнымъ является объясненіе Е. фонъ-Дригальскаго (14), который исходилъ изъ вполнѣ точнаго принципа, что ледниковый покровъ долженъ былъ охлаждать находящуюся подъ нимъ площадь суши, а стаиваніе ледника давало возможность солнечнымъ лучамъ вновь нагрѣвать землю, освобожденную отъ льда; Дригальскій предполагаетъ, что такое нагрѣваніе было достаточно интенсивно для того, чтобы вызвать расширеніе всей континентальной массы, которое въ свою очередь обусловило ея поднятіе. Но даже если мы допустимъ, что расширеніе континентальной массы было достаточно, чтобы вызвать поднятія, подобныя тѣмъ какія нѣсколько разъ испыталъ Финно-Скандинавскій массивъ, все-таки нельзя согласиться съ выводами Дригальскаго, такъ какъ они противорѣчатъ фактамъ дѣйствительности; на самомъ дѣлѣ таяніе льда совпадало не съ поднятіемъ массива, но съ его осѣданіемъ, которое сопровождалось наступаніемъ моря, а суша, затопленная моремъ настолько низкой температуры какъ Іольдіевое море, не могла расширяться благодаря нагрѣванію солнечными лучами.

Другіе ученые думаютъ, что осѣданіе массива было обусловлено тяжестью льда, его покрывающаго; но и это объясненіе не соотвѣтствуетъ фактамъ; слѣдуя этой теоріи, осѣданіе должно бы было прогрессировать по мѣрѣ наступленія періода оледенѣнія, а оно совпадало съ таяніемъ льда. *Осѣданіе не является слѣдствіемъ таянія, а его причиной.*

Повидимому, дѣйствительная причина поднятій и осѣданій Финно-Скандинавскаго массива лежитъ въ тѣхъ движеніяхъ земной коры, которыя стоятъ въ связи съ явленіями діастрофизма. Намъ уже извѣстно, что Финно-Скандинавскій массивъ является областью воздыманія, т. е. такой областью, въ которой оси цѣлой зоны складокъ приподняты выше, чѣмъ въ другихъ частяхъ той же зоны, находящихся въ областяхъ погруженія. Здѣсь областью погруженія является Сѣверное море, а областями воздыманія оказываются — древній Великобританскій массивъ и Финно-Скандинавскій (гл. XIV, стр. 232).

Мы должны допустить, что области воздыманія подвергаются движеніямъ то положительнымъ, еще увеличивающимъ ихъ приподнятость и увеличивающимъ ихъ высоту надъ уровнемъ моря, то отрицательнымъ, ведущимъ къ морской трансгрессіи. Геоло-

гическая исторія Арморикскаго массива, Центральнаго плато Франціи, Арденнъ и другихъ мѣстностей тоже являющихся областями воздыманія то поднимавшимися, то опускавшимися показываетъ намъ, что гипотеза, высказанная на основаніи изученія исторіи Финно-Скандинавскаго массива, можетъ быть обобщена.

Въ такомъ случаѣ возникаетъ вопросъ, синхроничны-ли движенія областей воздыманія, относящихся къ одному и тому же поясу складокъ, или въ данномъ отношеніи между ними не наблюдается никакой связи.

Отвѣтъ на этотъ вопросъ даютъ намъ послѣледниковыя движенія Канадскаго щита, который во всѣхъ отношеніяхъ является сходнымъ съ Скандинавскимъ щитомъ.

Послѣ третьяго большого ледниковаго періода море захватило здѣсь окраины области, до того времени занятыя ледникомъ. Оно оставило здѣсь глинистыя отложенія съ *Yoldia arctica*, называемыя американскими геологами „*Чемпленской формаціей*“— отложенія тождественныя и несомнѣнно одновременныя со скандинавскими глинами съ *Yoldia*. Какъ и въ Европѣ, эти слои встрѣчаются здѣсь на самой разнообразной высотѣ, что указываетъ на то, что они были приподняты уже послѣ своего отложенія. Де Геeру (21) удалось дать хотя и неполную карту ихъ изобазъ; эта карта показываетъ намъ, что изобазы максимальнаго поднятія находятся между Гудзоновымъ заливомъ и эстуаріемъ рѣки Св. Лаврентія, а изобаза 0 м. проходитъ черезъ Ньюфаундлендъ, Новую Шотландію, Массачузетсъ и затѣмъ идетъ южнѣе области Большихъ Канадскихъ озеръ, т. е. слѣдуетъ вдоль края Канадскаго щита точно такъ же, какъ и соотвѣтствующая изобаза въ Европѣ намѣчаетъ очертанія Финно-Скандинавскаго массива. Такимъ образомъ нѣтъ сомнѣнія, что обѣ эти области воздыманія подвергались одновременно движеніямъ, одинаковымъ по своему направленію, и что въ обоихъ случаяхъ природа движеній была одна и та же. Несомнѣнно, они были подчинены одному и тому же закону.

Изученіе перемѣщеній береговыхъ линій лишь въ четвертичную или современную эпоху не даетъ намъ основанія дѣлать дальнѣйшіе выводы. Напротивъ, изученіе трансгрессій и регрессій, совершавшихся въ геологическіе періоды, предшествующіе послѣтретичному, доставляетъ намъ документы изъ которыхъ можно вывести законы, управляющіе этими движеніями.

Законы трансгрессій и регрессій.—Мы уже видѣли, что трансгрессіи являются не повсемѣстными, не пріуро-

чены къ какому нибудь одному полушарію, и не ограничиваются однѣми полярными или экваторіальными областями. Уже давно Эберъ (22) отмѣтилъ разницу между осадочными серіями сѣверной и южной Европы, которая выражается въ томъ, что въ одной изъ серій имѣется перерывъ тамъ, гдѣ въ другой серіи находятся морскія отложенія. Такъ, въ то время, когда въ Парижскомъ бассейнѣ въ эпоху парижскаго гипса морской режимъ смѣнился лагуннымъ, море подвинулось на югъ и проникло въ Альпы, а потомъ, когда въ эпоху отложенія песковъ Фонтенбло море распространялось на сѣверъ Германіи, оно отступило изъ Альпъ, но удержалось въ Виченцскомъ заливѣ.

Впослѣдствіи А. де-Гроссувръ обобщилъ это наблюденіе и формулировалъ слѣдующее правило: „Положительной фазѣ въ одной области соотвѣтствуетъ по времени отрицательная фаза въ другой области, и можно даже опредѣленно сказать, что существуетъ постоянное различіе въ этомъ отношеніи между нѣкоторыми областями земного шара“ (23). Болѣе же точнаго и подробнаго развитія этого положенія де Гроссувръ не далъ. Подобное взаимоотношеніе Фр. Фрехъ установилъ въ 1897 году для палеозойныхъ отложеній, но и онъ не пришелъ въ этомъ отношеніи къ какому-либо обобщенію.

Нами же послѣ продолжительнаго изслѣдованія морскихъ трансгрессій и регрессій былъ въ 1900 г. установленъ слѣдующій законъ (XII, 12):

Всякій разъ когда нѣкоторый опредѣленный членъ осадочной серіи является на континентальныхъ площадяхъ трансгрессивнымъ, этотъ же членъ въ геосинклиналяхъ является регрессивнымъ.

И, наоборотъ.

Всякій разъ когда нѣкоторый опредѣленный членъ является въ геосинклиналяхъ трансгрессивнымъ, на континентальныхъ площадяхъ онъ регрессивенъ.

Другими словами—движенія въ извѣстномъ направленіи являются синхроничными на всѣхъ континентальныхъ площадяхъ, и эти движенія компенсируются въ геосинклиналяхъ движеніями въ обратномъ направленіи.

Конечно, сейчасъ мы не можемъ демонстрировать этотъ законъ рядомъ примѣровъ, доказывающихъ, что онъ приложимъ ко всѣмъ слоямъ осадочной серіи, тѣмъ болѣе, что во второй части, чуть не на каждой страницѣ можно найти ему подтвержденія. Въ настоящее же время мы ограничимся лишь двумя при-

мѣрами, одинъ изъ которыхъ ясно покажетъ компенсацію трансгрессіи въ предѣлахъ континентальныхъ площадей регрессіей въ геосинклинальной области, а другой демонстрируетъ обратное соотношеніе.

Среднемѣловая трансгрессія, о которой мы уже говорили, захватила почти всѣ континентальныя области. Она распространилась и на большую часть Сѣверо-Атлантическаго континента, хотя здѣсь границъ ея распространенія невозможно опредѣлить, такъ какъ громадная площадь, нѣкогда покрытая сеноманомъ, подверглась затѣмъ денудаціи.

Въ Европѣ трансгрессія покрыла Русскую равнину, Богемію, Арденны, Арморикскій массивъ, западную часть Британскихъ острововъ и Испанскую Мезетту.

Къ югу отъ Атласа среднемѣловыя отложенія непосредственно покрываютъ девонскія и каменноугольныя породы Сахары, Египта и Аравіи. Въ Камерунѣ и Конго также имѣются отложенія среднемѣлового періода, за исключеніемъ нижнихъ слоевъ. То же самое наблюдается въ Бразиліи, на Индійскомъ полуостровѣ, въ Борнео, въ Австраліи и, вѣроятно, въ части Мадагаскара.

Одновременно съ морской трансгрессіей на континентальныхъ площадяхъ, въ областяхъ, которыя въ третичный періодъ будутъ мѣстомъ образованія альпійскихъ складокъ, т. е. въ геосинклиналяхъ вторичной эры происходятъ колебанія въ обратномъ направленіи, несомнѣнно обусловленныя орогеническими движеніями; такимъ образомъ въ нихъ на большомъ пространствѣ могутъ отсутствовать среднемѣловые слои, тогда какъ въ областяхъ непосредственно къ нимъ примыкающихъ, которыя сохраняютъ характеръ геосинклиналей, послѣдовательная серія мѣловыхъ отложеній можетъ оказаться непрерывной сверху донизу и вся серія будетъ представлена батіальной фаціей. Чаще всего въ складчатыхъ областяхъ отсутствуютъ отложенія турона, отмѣчающія на континентальныхъ площадяхъ максимумъ трансгрессій. Сеноманъ тоже иногда отсутствуетъ то въ одномъ какомъ-либо мѣстѣ, то въ цѣлой горной цѣпи. Гораздо рѣже отсутствуетъ гольтъ.

Въ Альпахъ было неоднократно констатировано отсутствіе гольта, сеномана и турона, такъ что сенонскіе слои лежатъ непосредственно на гольтѣ или даже на нижнемѣловыхъ породахъ. Въ Алжирѣ и Тунисѣ также многими учеными былъ отмѣченъ пробѣлъ на мѣстѣ туронскихъ слоевъ. На Кавказѣ

сеноманъ и туронъ едва представлены, а въ нѣкоторыхъ мѣстахъ и совсѣмъ отсутствуютъ. Въ Калифорніи сенонскія отложенія, повидимому, непосредственно покрываютъ сеноманъ. Въ Андахъ рѣшительно указывается на отсутствіе сеномана и турона въ тѣхъ областяхъ, гдѣ имѣются отложенія гольта и сенона.

Верхнеюрская регрессія уже давно установлена въ тѣхъ областяхъ западной Европы, которыя соотвѣтствуютъ мѣстонахожденію древней Варисско-Арморикской цѣпи. Она выражается тѣмъ, что морской режимъ смѣняется лагуннымъ или полнымъ отступаніемъ моря. На полуостровѣ Индостанѣ, въ Австраліи и по окраинамъ Канадскаго щита слои конца юрскаго періода отсутствуютъ, хотя имѣются болѣе древніе слои той же системы.

Наоборотъ, въ геосинклиналяхъ и въ частности въ геосинклинали Дофинэ часто наблюдается незамѣтный переходъ отъ юрскихъ породъ къ мѣловымъ, такъ что ученые долгое время затруднялись установить границу между обѣими системами въ согласной серіи глинистыхъ слоевъ съ Cephalopoda. Въ другихъ мѣстахъ отсутствуютъ средніе члены юрскаго періода, такъ что верхнеюрскія отложенія покоятся непосредственно на лейасѣ или даже тріасѣ и покрыты нижнемѣловыми породами. Эта верхнеюрская трансгрессія была отмѣчена во многихъ мѣстахъ Альпъ, въ Греціи, въ Тунисѣ, въ Калифорніи, въ Андахъ, въ Новой Зеландіи и другихъ странахъ, но всегда въ геосинклиналяхъ, а не на континентальныхъ площадяхъ.

Орогеническія и эпейрогеническія движенія. На движенія, происходящія на днѣ геосинклиналей и завершающіяся или образованіемъ средней геантиклинали или суженіемъ впадины, можно смотрѣть какъ на предвѣстники процесса образованія складокъ, которыя возникнутъ на мѣстѣ геосинклиналей.

Большею частью эти движенія происходятъ параллельно оси геосинклинали и въ направленіи будущихъ складокъ.

Ихъ можно отождествить съ *орогеническими движеніями*.

Совершенно иной характеръ носятъ вертикальныя движенія континентальныхъ площадей, и они не могутъ быть непосредственно отнесены къ орогеническимъ движеніямъ. Г. К. Гильбертъ называетъ ихъ *эпейрогеническими* [1]) или лучше *эпирогеническими движеніями*, а Ж. Леконтъ считаетъ, что опредѣленіе ихъ причины составляетъ самую

[1]) ἤπειρος по-гречески континентъ.

загадочную проблему геологіи, „на которую до сихъ поръ не было еще пролито ни одного луча свѣта“ (24).

Но если сравнить Скандинавскій щитъ съ Канадскимъ щитомъ, придется признать, какъ тотъ, такъ и другой областями воздыманія. Канадскій щитъ представляетъ собой какъ бы ядро нынѣшняго Сѣверо-Американскаго континента и онъ нѣкогда былъ также существенной составной частью Сѣверо-Атлантическаго континента. Такимъ образомъ эпирогеническія движенія можно разсматривать, какъ вертикальныя движенія областей воздыманія, которымъ въ сосѣднихъ областяхъ погруженія соотвѣтствуютъ движенія въ противоположномъ направленіи.

Во время трансгрессій въ предѣлахъ континентальныхъ площадей море сначала проникаетъ въ области погруженія, и такое наступательное движеніе моря Пенкъ называетъ *ингрессіей*; затѣмъ, когда трансгрессія достигаетъ своего максимума, она распространяется и на окраины областей воздыманія, а иногда даже и покрываетъ ихъ совершенно, при чемъ глубина моря въ области погруженія въ это время уменьшается. Если смотрѣть на континентъ какъ на группу областей воздыманія, раздѣленныхъ областями погруженія, то станетъ понятно, почему онъ можетъ подвергнуться морской трансгрессіи то частично, то цѣликомъ.

Сами континенты являются ничѣмъ инымъ, какъ воздымающимися областями древнихъ складчатыхъ зонъ, но это воздыманіе не непрерывно, такъ какъ оси пучковъ складокъ тоже обнаруживаютъ максимумы и минимумы поднятія. Марсель Бартранъ показалъ (XV,16), что воздыманія происходили подъ прямымъ угломъ къ главному направленію складокъ, но онъ совершенно ошибочно считалъ это послѣднее направленіе кругополярнымъ, а поперечныя къ нему направленія меридіанальными; на самомъ же дѣлѣ зоны складчатости являются въ сущности извилистыми, а поперечныя къ нимъ воздыманія могутъ принимать по отношенію къ меридіанамъ разнообразное положеніе. Кромѣ того, Марсель Бертранъ считаетъ „поперечную складчатость“ синхроничною съ главной, тогда какъ образованіе первой является всегда болѣе позднимъ, какъ это доказываютъ имѣющіяся у насъ данныя по исторіи горныхъ цѣпей.

Складчатыя зоны, примыкающія къ древнему континентальному ядру въ видѣ горныхъ цѣпей, могутъ быть одновременно и послѣдующими „запоздалыми“ орогеническими движеніями, параллельными къ направленію древнихъ складокъ, и эпирогеническими

движеніями въ видѣ воздыманій въ поперечномъ направленіи къ этимъ складкамъ. Наоборотъ, геосинклинали, окружающія континентальныя площади, не являются пересѣкающими, и ихъ движенія — предвѣстники орогеническихъ движеній, ведущихъ къ возникновенію горной цѣпи—имѣютъ исключительно продольное направленіе. Такимъ образомъ движенія областей воздыманія обыкновенно идутъ подъ прямымъ угломъ къ движеніямъ геосинклиналей и, какъ намъ уже извѣстно, представляютъ явленія сопутствующія; а потому теперь законъ трансгрессій и регрессій можетъ быть формулированъ нами слѣдующимъ образомъ:

Орогеническія движенія сопровождаются одновременными съ ними эпирогеническими, идущими обыкновенно въ поперечномъ къ нимъ направленіи, но въ обратную сторону.

Этотъ законъ [1]) вытекаетъ изъ сопоставленія наблюденій, относительно географическаго распредѣленія и времени наступленія послѣдовательныхъ морскихъ трансгрессій и регрессій, о чемъ мы будемъ говорить во II-й части этого труда, посвященной обзору геологическихъ періодовъ.

Что же касается *причинъ* этихъ сопутствующихъ явленій, то обсужденіе этого вопроса послужитъ предметомъ слѣдующей главы.

Только что изложенная нами теорія, не является еще общепринятой, хотя имѣетъ уже многочисленныхъ сторонниковъ; большая часть геологовъ вмѣстѣ съ французской стратиграфической школой, съ Левинсонъ-Лессингомъ (25), Карпинскимъ (26), Э. Кайзеромъ (0,4) и Арчибальдомъ Гейки (27) приписываетъ перемѣщеніе береговыхъ линій движеніямъ суши, а не измѣненіямъ уровня моря.

---

[1]) Левинсонъ-Лессингъ (25) и главнымъ образомъ Карпинскій (26) доказали, что въ Россіи древнія моря занимали впадины, имѣющія поочередно направленіе, то меридіанальное, то широтное. Этотъ фактъ опровергаетъ мнѣніе М. Бертрана, что главная складчатость и та которую онъ называетъ „поперечною“ являются синхроничными. Попытки обобщенія, сдѣланныя Левинсонъ-Лессингомъ, заключали уже въ себѣ большую долю истины, но въ то время когда русскій ученый предпринялъ эту работу еще не были выяснены различія между геосинклиналями и континентальными площадями, между орогеническими и эпирогеническими движеніями.

1. — Robert Chambers. Ancient Sea-Margins. as Memorials of Change in the relative Level of Sea and Land. Edinburgh, 1848.

2. — L. Quenault. Les mouvements de la mer, ses invasions et ses relais sur les côtes de l'océan Atlantique, etc. 1 бр. in-8⁰, 67 стр., 1 табл. Coutances, 1869.

3. — Al. Chévremont. Les mouvements du sol sur les côtes occidentales de la France, 1 т. in-8⁰, 479 стр., 16 табл., Paris, 1882.

4. — Arturo Issel. Le oscillazioni lente del suolo o bradisismi. Saggio di geologia storica. *Atti della R Università di Genova*, V, 422 стр., 26 фиг., 1 карт., 1883.

5. — J. Adhémar. Révolutions de la mer. Formation géologique des couches supérieures du globe. 1 т. in-8⁰, 184 стр., 4 табл. Paris, 1846.

6. — James Croll. On the physical cause of the submergence and emergence of the land during the Glacial Epoch. *Geol. Mag.*, N. S., dec. 2, 1, стр. 306—314, 346—353. 1874.

7. — Eduard Suess. Ueber die vermeintlichen säcularen Schwankungen einzelner Theile der Erdoberfläche. *Verh. d. k. k. geol. Reichsanst*, 1880, стр. 171—180.

8. — Albrecht Penck. Schwankungen des Meeresspiegels. *Jahrb. d. geogr. Ges. zu München*, VII, стр. 1—70, 1882.

9. — A. Blytt. The probable cause of the displacement of beach-lines. An attempt to compute geological epochs. *Christiania Videnskabs Selskabs Forhandl.*, 1889, n⁰ 1, 75 стр., 1 табл.

10. — Karl Pettersen. The slow secular rise or fall of continental masses. *Geol. Mag.*, N. S., dec. 2, VI, стр. 298—304, 1879.

11. — H. Hergesell. Ueber die Aenderung der Gleichgewichtsflächen der Erde durch die Bildung polarer Eismassen und die dadurch verursachten Schwankungen des Meeresniveaux. *Beitr. zur Geophysik*, I, стр., 59—132, табл. II, III, 1887.

12. — Erich von Drygalski. DieGeoiddeformationen der Eiszeit. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin*, XXII, стр. 168—280, 16 фиг. 1887.

13. — Robert Simpson Woodward. On the form and position of the sea level. *Bull. of the U. S. Geol. Surv.*, n⁰ 48, 88 стр. 1888.

14. — Erich von Drygalski. Ueber Bewegungen der Kontinente zur Eiszeit und ihren Zusammenhang mit den Wärmeschwankungen der Erdrinde. *Verh. d. VIII-ten Deutsch. Geographentages zu Berlin*, стр. 162—180, 1889.

15. — Thomas F. Jamieson. On the cause of the depression and re-elevation of the land during the glacial period. *Geolog. Mag.*, N. S., dec. 2, IX, стр. 400—407, 457—466, 1882.

16. — Élie de Beaumont. Rapport sur un mémoire de M. A. Bravais relatif aux lignes d'ancien niveau de la mer dans le Finnark. *C. R. Ac. Sc.*, XV, стр. 817—849, 1842.

17. — Robert Sieger. Seenschwankungen und Strandverschiebungen in Skandinavien. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin*, XXVIII, стр. 1—106, 393—488, 28 черт., табл. VII, 1892

18. — G. de Geer. Om Skandinaviens geografiska utveckling eft istiden. *Sveriges Geol. Undersökning*, ser. C., n⁰ 161, 160 стр., 6 табл., 1896.

19. — Wilhelm Ramsay. Ueber die geologische Entwicklung der Halbinsel Kola in der Quartärzeit. *Fennia*, XVI, n⁰ 1, 151 стр., 9 фиг., 5 табл., 1 карта 1898.

20. — W. Brögger. Om de semglaciale og postglaciale nivåforandringer i

Kristianiafeltet (Molluskfaunan). *Norges geologiske indersögelse*, n⁰ 31, 731 стр., 19 табл., 69 фиг., 1900, 1901.

21. — G. de Geer. On Pleistocene Changes of Level in Eastern North America. *Proc. of the Boston Soc. of Nat. Hist*, XXV стр. 454—477, табл. XXIII, 1892.

22. — Ed. Hébert. Note sur le terrain nummulitique de l'Italie septentrionale et des Alpes, et sur l'oligocène de l'Allemagne. *Bull. Soc. Géol. Fr*, 2-e sér. XXIII, стр. 144, 1866.

23. — A. de Grossouvre. Sur les relations entre les transgressions marines et les mouvements du sol. *C. R Ac. Sc.*, CXVIII, стр. 301—303, 1894.

24. — Joseph Le Conte. Earth-crust movements and their causes. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, VIII, стр. 113—126, 1897.

25. — F. Loewinson-Lessing. Ueber die säcularen Verschiebungen der Meere und Festländer. *Zapisky Dorpat. Univers.*, стр. 81—116, 1893.

26. — A. Karpinsky. Sur les mouvements de l'écorce terrestre dans la Russie d'Europe. *Annales de Géogr.*, V, стр. 179—192, 18 фиг., 1896.

27. — Arch. Geikie. Continental elevation and subsidence *Proc. of the Geol, Soc.* LX, стр. LXXX—CIV, 1904.

См. также: 0, 18: 0, 22; XII. 8; XII, 12; XXV, 5; XXIX, 7.

А. Карпинскій. Очеркъ физико-географическихъ условій Европейской Россіи въ минувшіе геологическіе періоды. *Зап. Имп. Акад. Наукъ*. LV, прилож. № 8.

А. Карпинскій. Общій характеръ колебаній земной коры въ предѣлахъ Европейской Россіи. *Изв. Имп. Акад. Наукъ*. 1894, № 1.

А. А. Иностранцевъ. Геологическія изслѣдованія на сѣверѣ Россіи въ 1869—70 г.г. Труды Спб. Общ. Естеств. т. III, 1872.

В. А. Фаусекъ. Матеріалы къ вопросу объ отрицательномъ движеніи берега въ Бѣломъ морѣ и на Мурманскомъ берегу. Зап. Имп. Рус. Геогр. Общ. т. XXV, № 1, 1891.

Н. Андрусовъ. Террасы Судака. *Зап. Кіевск. Общ. Естеств.* т. XXII, 88 стр., 8 фиг. 10 табл. 1912.

ГЛАВА XXIX.

Орогеническія теоріи.

Направленіе орогеническихъ движеній.—Дѣйствіе тангенціальнаго напора.—Локализація явленій складкообразованія. — Достигнутые результаты.—Двѣ гипотезы.

Направленіе орогеническихъ движеній. — До сихъ поръ мы все время говорили объ образованіи складокъ на земной корѣ вслѣдствіе бокового давленія, какъ о положеніи почти не требующемъ доказательствъ. Но между тѣмъ этотъ взглядъ, впервые высказанный де-Соссюромъ еще въ 1796 г., былъ принятъ большинствомъ геологовъ почти цѣлый вѣкъ спустя, такъ какъ долгое время господствовала теорія, объяснявшая образованіе горныхъ цѣпей вертикальными поднятіями земной коры.

Со временъ Гёттона и особенно со времени обнародованія Леопольдомъ фонъ-Бухомъ своихъ идей о *кратерахъ поднятія* большинство ученыхъ стали считать орогеническія движенія слѣдствіемъ вулканическихъ явленій и приписывали поднятія осадочныхъ напластованій поднимающимся изъ нѣдръ земли расплавленнымъ массамъ или напору газовъ подъ давленіемъ. Даже на сводообразныя горы Юры смотрѣли какъ на кратеры поднятія, образовавшіеся вслѣдствіе вертикальнаго поднятія подстилающихъ вулканическихъ породъ. Лишь Констанъ Прево, послѣ ряда изслѣдованій на островѣ Юліи и въ Центральномъ массивѣ Франціи, выступилъ въ 1833 г. противъ этой теоріи, главными защитниками которой во Франціи были Эли де-Бомонъ [1]) и Араго. Прево разсматривалъ вулканическіе конусы

---

[1]) Эли де-Бомонъ, который по крайней мѣрѣ въ своихъ объясненіяхъ дѣйствія тангенціальныхъ силъ не могъ отдѣлаться отъ идеи о кратерахъ поднятія, писалъ еще въ 1852 г. (3):

„Вещества, которыя подъ дѣйствіемъ бокового давленія должны были искать выхода наружу, проходили сквозь поверхность земли первоначально ровную (подобно пальцу просовываемому черезъ петлицу), но прорывая *снизу вверхъ* поверхностные слои и образуя удлиненныя вздутія. Насколько я себѣ представляю именно такъ обыкновенно понимаютъ слово поднятіе“.

какъ скопленія продуктовъ изверженія, которыя при образованіи эруптивнаго конуса имѣютъ чисто пассивное значеніе. „Въ вулканахъ, говоритъ онъ, ничто не обнаруживаетъ той силы, которая разрывала бы значительныя площади земной коры и приподнимала бы ихъ на большую высоту“ (XVII, 14).

Благодаря трудамъ Пулетъ Скропа, Ляйелля и Фуке теоріи, построенныя на значеніи активнаго участія вулканическихъ изверженій при орогеническихъ движеніяхъ, уже давно не имѣютъ болѣе послѣдователей. Однако, открытіе Гильберомъ лакколитовъ, казалось бы, могло дать новую опору этимъ теоріямъ, такъ какъ при этихъ вулканическихъ вторженіяхъ, какъ уже извѣстно, лава проникаетъ въ серію осадочныхъ отложеній, приподнимая лежащіе сверху слои. Но этотъ видъ дислокацій имѣетъ очень ограниченное мѣстное распространеніе и встрѣчается въ областяхъ, не подвергшихся орогеническимъ процессамъ; если же лакколиты находятся въ складчатыхъ областяхъ, то въ такомъ случаѣ всегда имѣются указанія на то, что слои были смяты въ складки уже послѣ проникновенія въ нихъ лавы, такъ что вулканическая порода подверглась процессу складкообразованія точно такъ же какъ и другіе слои осадочной серіи.

Нѣкоторые ученые приписывали еще существенное значеніе въ орогеническихъ движеніяхъ кристаллическимъ породамъ и кристаллическимъ сланцамъ, образующимъ „центральные массивы“ Альпъ и другихъ подобныхъ имъ горныхъ цѣпей. Слѣдуя этой теоріи, эти массивы поднялись на поверхность земной коры подъ дѣйствіемъ силы, выпиравшей ихъ снизу вверхъ; они разорвали при этомъ свой покровъ изъ осадочныхъ породъ, которыя отодвинулись въ стороны, и теперь образуютъ по ту и другую сторону „центральныхъ массивовъ“ симметричныя зоны складокъ.

Альбертъ Геймъ (XIV, 4) энергично протестовалъ противъ этой точки зрѣнія, и ему удалось одновременно съ Бальцеромъ доказать, что кристаллическія породы были смяты въ складки тогда же, когда и ихъ покровъ изъ осадочныхъ породъ, и что гранитныя породы ихъ сопровождающія играли въ процессѣ складкообразованія столь же пассивную роль, какъ и вулканическія.

Исходя изъ этихъ выводовъ Эд. Зюссъ совершенно отрицаетъ возможность вертикальнаго *поднятія* участковъ земной коры, допуская *осѣданія* какъ единственный видъ вертикаль-

ныхъ движеній. Лаппаранъ (1) еще 20 лѣтъ тому назадъ указалъ, что это заключеніе слишкомъ категорично, и теперь уже никто не отрицаетъ эпирогеническихъ, т.-е. вертикальныхъ какъ положительныхъ, такъ и отрицательныхъ движеній континентальныхъ областей. Здѣсь мы имѣемъ дѣло съ настоящими поднятіями, но они не имѣютъ ничего общаго по своей природѣ съ орогеническими движеніями, а, какъ намъ уже извѣстно изъ предшествующей главы, лишь слѣдуютъ за ними.

Дѣйствіе тангенціальнаго напора.—Изученіе складокъ и ихъ воспроизведеніе экспериментальнымъ способомъ не оставляетъ мѣста сомнѣнію въ важномъ значеніи тангенціальныхъ движеній въ орогеническихъ процессахъ, но самый способъ ихъ дѣйствія вызываетъ большія разногласія.

Представимъ себѣ для большей наглядности узкую вырѣзку земной поверхности ограниченную двумя большими кругами. Если эти послѣдніе подъ дѣйствіемъ силы, природы которой мы не будемъ касаться, приближаются къ плоскости, которая дѣлитъ пополамъ образуемый ими двугранный уголъ, вырѣзка земной поверхности будетъ *сокращаться* вслѣдствіе сдавливанія *съ двухъ сторонъ*, и результатомъ такого сдавливанія будетъ образованіе складокъ, оси которыхъ примутъ положеніе, перпендикулярное къ направленію давленія.

Если же теперь мы представимъ себѣ, что одинъ изъ большихъ круговъ остается неподвижнымъ, а другой къ нему приближается, то и въ этомъ случаѣ вырѣзка поверхности подвергнется сжатію, и будетъ смята въ складки такого же направленія, какъ и въ первомъ случаѣ, но давленіе здѣсь будетъ *одностороннее*.

Представимъ себѣ, наконецъ, и такой случай, что оба большіе круга остаются неподвижными, такъ что заключенный между ними участокъ земной поверхности не подвергается сдавливанію, но минеральныя массы, составляющія его, увеличиваются въ объемѣ вслѣдствіе химическихъ и физическихъ измѣненій; *расширяясь*, но не имѣя возможности раздаться въ стороны, онѣ образуютъ рядъ складокъ, точно такъ же, какъ и въ случаѣ сдавливанія массы. Такимъ образомъ, причиной тангенціальныхъ движеній, результаты которыхъ можно наблюдать въ поверхностныхъ слояхъ литосферы, можетъ быть или сжатіе, или одностороннее давленіе, или расширеніе минеральной массы. Геологъ, смотря по тому къ какой школѣ онъ принад-

лежитъ, будетъ приписывать первостепенное и даже исключительное значеніе одному изъ этихъ факторовъ. Разсмотримъ теперь послѣдовательно различныя теоріи, основанныя на одномъ изъ этихъ трехъ возможныхъ способовъ образованія складокъ, и укажемъ для каждой изъ нихъ, каковы тѣ первоначальныя причины явленія, какія выдвигаются авторами этихъ теорій. Окончательную же оцѣнку имѣющихся теорій мы можемъ дать лишь послѣ изученія условій локализаціи процессовъ складкообразованія, и тогда же мы рѣшимъ, которая изъ теорій по нашему мнѣнію является наиболѣе правильной.

Теорія сжатія была предугадана Эли де-Бомономъ еще въ 1829 г. (2), но была имъ окончательно формулирована въ 1852 г. въ его „*Замѣткѣ о системахъ горъ*“ (3). Въ это же время подобные взгляды стали высказываться и американскими геологами (5, 6). Гипотеза сжатія основывалась не на наблюденіяхъ, но была теоретически выведена. какъ слѣдствіе гипотезы постепеннаго уменьшенія земного радіуса вслѣдствіе охлажденія земли; а эта гипотеза въ свою очередь, являясь слѣдствіемъ теоріи Лапласа, предполагаетъ, что земля представляетъ собою расплавленное тѣло, заключенное въ тонкую твердую оболочку. Вотъ нѣкоторыя наиболѣе характерныя выдержки, резюмирующія гипотезу Эли де-Бомона. Довольно трудно собрать ихъ, такъ какъ онѣ разсѣяны среди его математическихъ и географическихъ разсужденій, представляющихъ теперь лишь историческій интересъ.

„Явленіе *медленнаго* и *постояннаго* охлажденія земли, пишетъ онъ, вызываетъ постепенное уменьшеніе длины ея средняго радіуса, а это уменьшеніе обусловливаетъ центростемительное движеніе отдѣльныхъ участковъ земной поверхности, которое, приближая эти участки къ центру, незамѣтно *опускаетъ* ихъ ниже сравнительно съ ихъ первоначальнымъ положеніемъ“ (3, стр. 1330).

„Мнѣ кажется невозможнымъ, пишетъ онъ въ другомъ мѣстѣ, чтобы онъ (твердая наружная кора) могла когда нибудь держаться безъ опоры. Вслѣдствіе своей тяжести, она постоянно прилегаетъ къ внутренней жидкости. Если же эта внутренняя жидкость не будетъ имѣть достаточнаго объема, чтобы ее наполнить и всюду поддерживать съ сохраненіемъ правильной сферондальной фигуры, соотвѣтствующей *максимальной вмѣстимости*, она постепенно уклоняется отъ этой фигуры, образуя небольшія вздутія. Но эти вздутія не могли не вызвать въ однихъ мѣ-

стахъ земной коры—сжиманія породъ въ другихъ—растяженія", (3, стр. 1237).

„Горныя цѣпи пріурочены преимущественно къ тѣмъ участкамъ земной коры, горизонтальное протяженіе которыхъ уменьшилось вслѣдствіе бокового давленія... Участки же, расположенные съ той и другой стороны и сохранившіе свое первоначальное положеніе, уже не соединяются одинъ съ другимъ непрерывно; они стали похожими на двѣ половинки тисковъ, въ которые зажата промежуточная часть". (3, стр. 1317).

Къ сожалѣнію эти взгляды, столь близкіе къ современнымъ воззрѣніямъ многихъ геологовъ, не имѣли въ свое время большого вліянія по двумъ причинамъ: во-первыхъ, потому, что Э. де-Бомонъ связывалъ ихъ съ идеей о катастрофахъ, а во-вторыхъ, потому, что онъ не могъ отдѣлаться отъ представленія о кратерахъ поднятія, заимствованнаго имъ у Леопольда фонъ-Буха.

Особенно вѣскіе аргументы въ пользу гипотезы сокращенія были приведены Альб. Геймомъ (XIV, 4). Онъ вычислилъ то уменьшеніе ширины, какое претерпѣла Юрская цѣпь вслѣдствіе образованія складокъ, и на основаніи этихъ данныхъ высчиталъ и соотвѣтствующее уменьшеніе земного радіуса. Современная ширина Юрской цѣпи, отъ города Сенъ-Клодъ до Женевскаго озера, измѣряемая перпендикулярно къ оси складокъ, равняется 16,8 км. Если же представить себѣ складки расправленными, то ширина должна равняться 22 км. Разстояніе отъ Сенъ-Клодъ до Женевскаго озера до образованія складокъ было бы на 5,2 км. больше нынѣшняго разстоянія и, слѣдовательно, полоса земной поверхности сократилась на $^1/_4$. Подобныя же вычисленія для Бернской Юры дали сокращеніе площади на $^1/_3$.

Въ 1878 г. Геймъ считалъ, что ширина Альпійской цѣпи уменьшилась на 120 км. вслѣдствіе сокращенія земной коры. Само собой понятно, что открытіе шарріажей или наволочныхъ покрововъ заставило его, при новомъ подсчетѣ, удвоить и даже, можетъ быть, учетверить эту цифру. При современномъ состояніи нашихъ знаній очень трудно опредѣлить уменьшеніе земного радіуса, соотвѣтствующее уменьшенію окружности большого круга вслѣдствіе орогеническихъ движеній, такъ какъ даже приблизительно вычислить сокращеніе возможно лишь для очень немногихъ горныхъ цѣпей.

Несомнѣнно, что наибольшее число сторонниковъ съ давнихъ поръ имѣютъ тѣ орогеническія теоріи, которыя исходятъ изъ

гипотезы односторонняго давленія, при чемъ различныя школы предложили цѣлый рядъ объясненій первоначальныхъ причинъ этого давленія.

Мы остановимся на трехъ главныхъ причинахъ, которыя были указаны: *осѣданія, изостазія и перемѣщеніе (теченіе) поверхностныхъ массъ земной коры.*

Теорія осѣданій неразрывно связана съ именами Делюка, Констана Прево (4), Дена (5, 6) и Зюсса (7). Такъ же, какъ и теорія двусторонняго сдавливанія, она отправляется отъ гипотезы постепеннаго охлажденія земного шара; она предполагаетъ, что земная кора, не поддерживаемая болѣе жидкой массой, на которой она покоится, постепенно осѣдаетъ; опускающіяся части свода оказываютъ боковое давленіе, на сосѣдніе участки которое и обусловливаетъ образованіе складокъ. Делюкъ объяснялъ осѣданіе существованіемъ громадныхъ подземныхъ пустотъ; Констанъ Прево (4) видѣлъ его причину въ постепенномъ сокращеніи планеты и образованіе горъ считалъ лишь побочнымъ явленіемъ въ общемъ центростремительномъ движеніи земной коры. Позже Дена предполагалъ, что дно большихъ океановъ постепенно понижается, вслѣдствіе чего окраины континентовъ подвергаются боковому давленію, которое вызываетъ образованіе геосинклинали, какъ первой стадіи въ образованіи горной цѣпи (5,6; XII, 6). Наконецъ, Э. Зюссъ далъ изумительный синтезъ, показавшій важное значеніе осѣданій въ образованіи выступающихъ формъ рельефа земной поверхности (7; 0, 22). Онъ указалъ также на то вліяніе, какое передніе страны оказывали на направленіе складчатыхъ зонъ, отмѣтилъ, что горсты вызываютъ отклоненія въ направленіи главныхъ тектоническихъ линій, и что впадины являются тѣми мѣстами, куда надвигаются лежачія складки и наволочные покровы.

Одной изъ тѣхъ идей, которыя лежатъ въ основаніи трудовъ Зюсса, является ученіе о *диссимметріи горныхъ цѣпей.* Обыкновенно складки какой-нибудь горной цѣпи бываютъ опрокинуты въ одномъ направленіи, и если мѣстами встрѣчается *обратная опрокинутость* (*Rückfaltung*), то это объясняется стремленіемъ складокъ покрыть впадины. Такія складчатыя зоны, гдѣ, какъ въ восточныхъ Альпахъ, складки оказываются опрокинутыми на обѣ стороны, Зюссъ считаетъ результатомъ мѣстнаго соприкосновенія двухъ совершенно различныхъ горныхъ цѣпей.

Диссимметрія горныхъ цѣпей не всегда непремѣнно предполагаетъ одностороннее давленіе. Осѣданіе двухъ континен-

тальныхъ площадей, раздѣленныхъ геосинклиналью, можетъ вызвать двустороннее сдавливаніе этой геосинклинали, которое поведетъ къ образованію на каждомъ изъ ея краевъ складчатой зоны, однѣ складки которой будутъ опрокинуты къ одной континентальной площади, другія—къ другой (VII, 12).

Теорія изостазіи исходитъ изъ соображеній совершенно другого порядка. Ея авторъ Деттонъ (8) считаетъ теорію сжатія „количественно не достаточной, а качественно неприложимой“, такъ какъ тангенціальныя движенія, вызванныя осѣданіемъ земной коры, должны были бы дѣйствовать одинаково во всѣхъ направленіяхъ, а не въ одномъ только, давая начало узкимъ полосамъ, состоящимъ изъ параллельныхъ складокъ. Деттонъ поэтому задается вопросомъ, нельзя ли, совершенно не касаясь гипотезы охлажденія нашей планеты и природы ея центральнаго ядра, объяснить образованіе горныхъ цѣпей движеніями, стремящимися придать землѣ ея фигуру равновѣсія. Если бы земля была однородна по своему составу, то фигура ея равновѣсія представляла бы геометрически правильный эллипсоидъ вращенія, но такъ какъ она неоднородна и нѣкоторыя части ея поверхности имѣютъ бо́льшую плотность другія меньшую, то въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ вещества ея составляющія наименѣе плотны, образуется выпуклость, и наоборотъ, въ мѣстахъ *наибольшей плотности*—впадина. Деттонъ предлагаетъ назвать *изостазіей*, „такое условіе равновѣсія фигуры, которое законъ тяготѣнія стремится придать планетѣ, независимо отъ того однородна она или разнородна“. Если земля достаточно пластична, она будетъ стремиться къ изостазіи. Но условія равновѣсія поверхности безпрерывно нарушаются текучими водами, которыя разрушаютъ континентальныя массы, а смываемый матеріалъ переносятъ въ океаны, гдѣ онъ отлагается вдоль береговъ. Вслѣдствіе этого нагрузка континентовъ уменьшается, а грузъ побережій увеличивается, и изостатическое равновѣсіе можетъ быть возстановлено перемѣщеніемъ къ континентамъ излишка матеріи изъ области побережій. Долженъ возникнуть настоящій притокъ вещества изъ областей, перегруженныхъ осадками, къ областямъ, облегченнымъ эрозіей. Тангенціальный напоръ, соотвѣтствующій этому притоку и направленный отъ моря къ берегу, вызоветъ въ прибрежной области образованіе параллельныхъ складокъ, опрокинутыхъ въ одну сторону и имѣющихъ простираніе, перпендикулярное къ направленію напора; совокупность этихъ складокъ и составитъ горную цѣпь.

Наконецъ, *теорія скольженія поверхностныхъ массъ земной коры* также предполагаетъ силу, дѣйствующую въ видѣ односторонняго напора, но эту силу неправильно было бы называть тангенціальной, такъ какъ непремѣннымъ условіемъ ея дѣйствія является существованіе наклонной поверхности, по которой слои сползаютъ внизъ подъ дѣйствіемъ силы тяжести и образуютъ складки, опрокинутыя въ направленіи наклона плоскости. Рейеръ приписываетъ большое значеніе этому способу образованія складокъ, который ему удалось воспроизвести экспериментальнымъ путемъ (9). Гансъ Шардтъ допускаетъ даже, что на очень большихъ пространствахъ слои могутъ отдѣлиться отъ ихъ основанія, сползать внизъ по наклонной поверхности, и наволакиваться далеко отъ мѣста ихъ первоначальнаго образованія на слои болѣе поздняго происхожденія. Не вдаваясь въ крайности, допускаемыя Г. Шардтомъ, можно дѣйствительно себѣ представить, что въ первоначальной складкѣ, разорванной боковымъ напоромъ, нормальное крыло можетъ быть подвинуто очень далеко, при условіи, конечно, достаточнаго наклона поверхности.

Теорія расширенія является безъ сомнѣнія наиболѣе интересной изъ тѣхъ теорій, исходной точкой которыхъ не служитъ постепенное уменьшеніе земного радіуса; она предполагаетъ, что образованіе складчатой полосы вызывается не сокращеніемъ ширины ея, а увеличеніемъ объема породъ образующихъ эту полосу, которыя при этомъ, не будучи въ состояніи раздвинуться въ стороны, сбираются въ складки. Нѣкоторые геологи вмѣстѣ съ Мелларомъ Ридомъ (10, 11) приписываютъ расширеніе *повышенію температуры*. Въ одной изъ предыдущихъ главъ мы уже говорили, что подъ дѣйствіемъ внутренняго тепла температура глубоко лежащихъ слоевъ, образующихъ геосинклинали, сильно повышается, что имѣетъ большое значеніе въ явленіяхъ метаморфизма. Если при этомъ края геосинклиналп остаются неподвижными, то очевидно, что повышеніе температуры заставитъ глубокіе слои смяться въ складки, и эта складчатость распространяется и на поверхностные слои и можетъ даже имѣть результатомъ появленіе горнаго рельефа.

Слѣдуетъ еще упомянуть, конечно, лишь какъ о чисто мѣстномъ явленіи о складкахъ, образующихся отъ *расширенія слоевъ вслѣдствіе гидратаціи* нѣкоторыхъ породъ, каковъ, напр., ангидритъ.

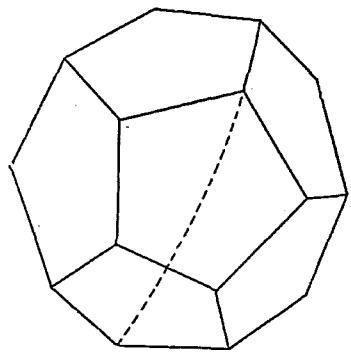
Локализація явленій складкообразованія. — Во всѣхъ отношеніяхъ удовлетворительная орогеническая теорія должна не только объяснить намъ происхожденіе и природу силъ, подъ дѣйствіемъ которыхъ земная кора изгибается въ складки, но также выяснить и причину почему въ однихъ областяхъ слои земной коры бываютъ смяты въ складки, а въ другихъ сохраняютъ свое горизонтальное положеніе; другими словами исчерпывающая орогеническая теорія должна дать удовлетворительное объясненіе *локализаціи явленій складкообразованія*, вопросъ о которой съ давнихъ поръ останавливаетъ на себѣ вниманіе геологовъ. Рядъ предложенныхъ истолкованій этого явленія можно распредѣлить по ихъ характеру на нѣсколько группъ.

Въ первую группу входятъ орогеническія теоріи, которыя считаютъ исходной точкой *локализацію дислокацій по геометрическимъ линіямъ*, такъ расположеннымъ на поверхности шара, что онѣ образуютъ нѣкоторую *сѣть*.

Пентагональная сѣть.—Самой извѣстной изъ этихъ теорій безъ сомнѣнія является теорія *пентагональной сѣти* Эли де Бомона (2, 3), съ восторгомъ встрѣченная въ 1829 г. когда она появилась, а въ настоящее время почти забытая.

Согласно теоріи сжатія горныя цѣпи представляютъ собою части земной коры, подвергшіяся поперечному сдавливанію; нѣсколько параллельныхъ цѣпей составляютъ *горную систему*, обязанную своимъ происхожденіемъ сжатію въ одномъ и томъ же направленіи. Эли де-Бомонъ предполагаетъ, что различныя системы соотвѣтствуютъ такому же числу большихъ круговъ, которые пересѣкаются на поверхности шара такъ что отмѣчаютъ своими пересѣченіями вершины вписаннаго пентагональнаго додекаэдра (фиг. 194). Къ 15-ти первоначальнымъ кругамъ онъ прибавляетъ еще нѣкоторое число добавочныхъ, также соотвѣтствующихъ горнымъ системамъ. Далѣе, онъ допускаетъ, что всѣ поднятія одного и того же направленія одновременны и принадлежатъ одной и той же системѣ и что съ другой стороны всѣ системы имѣютъ разный возрастъ и явились результатомъ „переворотовъ“, изъ которыхъ главные происходили въ промежутки между двумя геологическими періодами. Въ 1867 г. онъ уже насчитывалъ 85 различныхъ системъ. Что касается вопроса о томъ, какъ пентагональная система могла явиться слѣдствіемъ постепеннаго сокращенія внутренней массы земли, Эли де-Бомонъ отвѣчаетъ на него замѣчаніемъ, что изъ всѣхъ

подраздѣленій поверхности сферы на равныя и правильныя фигуры подраздѣленіе на 12 правильныхъ пятиугольниковъ, является такимъ, которое представляетъ наиболѣе счастливое совмѣщеніе наибольшаго числа подраздѣленій и малыхъ контуровъ, и которое явно превосходитъ въ этомъ отношеніи четырехстороннюю симметрію и всякую другую комбинацію. Онъ прибавляетъ, что можно бы и не искать для пентагональной симметріи, „другой причины бытія помимо самой этой правильности“. По мысли Эли де-Бомона, эта симметрія есть фактъ, установленный наблюденіемъ, независящій отъ какой бы то ни было теоріи и особенно независящій отъ теоріи сокращенія. По странной ироніи судьбы эта теорія, несмотря на нападки, которымъ она подверглась, остается еще не опровергнутой, а воображаемые факты наблюденія, для которыхъ она должна была служить объясненіемъ, напротивъ, давно исчезли, какъ обманчивый миражъ.



Фиг. 194. Пентагональный додекаэдръ (по А. де-Ляппарану). Пунктиръ соотвѣтствуетъ большому кругу, проходящему черезъ двѣ вершины.

Теперь уже никто не допускаетъ, что горная цѣпь состоитъ исключительно изъ складокъ, параллельныхъ и между собою, и „большому кругу сравненія“; наоборотъ, все болѣе выясняется, что горныя зоны по существу извилисты, какъ это установилъ Зюссъ въ 1875 г. (7). Слишкомъ поспѣшные выводы Эли де-Бомона были обусловлены неполнымъ его знакомствомъ со складчатыми областями и несовершенствомъ картъ того времени. Кромѣ того, невѣрно и то, что параллельныя складки одной и той же горной цѣпи всегда одновременны по своему образованію, и во многихъ случаяхъ было обнаружено, что по мѣрѣ приближенія къ краю цѣпи, мы встрѣчаемъ складки все болѣе новаго происхожденія. Пентагональная система не имѣетъ теперь сторонниковъ, но она буквально гипнотизировала многія поколѣнія геологовъ, благодаря большому научному авторитету Эли де-Бомона и тому высокому оффиціальному положенію какое онъ занималъ.

Были также высказаны и принципіальныя возраженія противъ пентагональной системы. По А. де-Ляппарану самое главное изъ нихъ заключается въ несоотвѣтствіи, какое *a priori* суще-

ствуетъ между фигурой земной коры и пентагональнымъ додекаэдромъ. Пентагональный додекаэдръ—хорошо извѣстное въ кристаллографіи твердое тѣло; онъ характеризуется существованіемъ паръ параллельныхъ плоскостей, которыя другъ другу попарно соотвѣтствуютъ такъ же, какъ и вершины гранныхъ угловъ при концахъ одного и того же діаметра. Слѣдовательно, это по существу фигура обладающая центромъ. И если бы форма земнаго шара въ этихъ общихъ чертахъ къ ней приближалась, то съ одной стороны континентальные выступы, съ другой—океаническія впадины должны бы были повторяться по ту и по другую сторону центра, на самомъ же дѣлѣ наблюдается совершенно обратное.

Прямоугольная сѣть.—Особенно интересная орогеническая теорія была высказана въ 1892 году Марселемъ Бертраномъ (12, 13)—это теорія *прямоугольной сѣти*. Исходной ея точкой являются факты, уже давно отмѣченные Эберомъ въ Парижскомъ бассейнѣ, гдѣ мѣловые слои смяты въ складки, которыя идутъ въ двухъ направленіяхъ и пересѣкаются подъ прямымъ угломъ. Главное направленіе складокъ служитъ продолженіемъ палеозойныхъ складокъ Арморикскаго массива, и Марсель Бертранъ показалъ, что это тѣ же самыя складки, которыя вновь пришли въ движеніе послѣ мѣлового періода. Складки поперечнаго къ нимъ направленія идутъ параллельно западнымъ и восточнымъ краямъ бассейна, т.-е. параллельно краямъ двухъ ограничивающихъ его областей воздыманія. Движеніе, поперечное по отношенію къ главной складчатости, давшей начало Арморикскому массиву и Вогезамъ, также оставило слѣды въ промежуточной области погруженія въ видѣ системы прямоугольно пересѣкающихся складокъ.

М. Бертранъ, какъ намъ уже извѣстно, обобщилъ истолкованіе этихъ фактовъ, относящихся къ Парижскому бассейну (XV, 16). Въ его представленіи система главныхъ складокъ располагается по параллелямъ, а система поперечныхъ складокъ по меридіанамъ. Но эта прямоугольная система, по его мнѣнію, „согласуется не съ географическими, а съ магнитными полюсами“.

Другими словами складчатыя зоны распредѣляются болѣе или менѣе параллельно берегу древняго Сѣверо-Атлантическаго континента, и области ихъ воздыманія и погруженія соотвѣтственно располагаются по линіямъ, пересѣкающимся подъ прямымъ угломъ. Весьма вѣроятно, что складчатыя зоны распредѣляются и вокругъ другихъ континентальныхъ областей,

слѣдуя этому закону, но въ настоящее время невозможно доказать это со всею точностью. Во всякомъ случаѣ, теперь не можетъ быть и рѣчи о томъ, что подобное распредѣленіе обнимаетъ все сѣверное полушаріе и еще менѣе можно сказать о его распространеніи на южное полушаріе. Положеніе магнитныхъ полюсовъ, повидимому, не имѣетъ никакого отношенія къ точкамъ, въ которыхъ сходятся линіи каждой прямоугольной системы.

Тетраэдрическая система. — Въ послѣдніе годы геологи и географы много говорили о *тетраэдрической системѣ* которая однако понималась различно разными авторами, ее защищавшими (16). Первые, какъ Ричардъ Оуэнъ и Лофтіанъ Гринъ, имѣли главнымъ образомъ въ виду истолкованіе нѣкоторыхъ географическихъ формъ земной поверхности и особенно остроконечную форму трехъ континентовъ южнаго полушарія. Они предполагали, что земля, охлаждаясь, стремится принять форму геометрической фигуры съ четырьмя гранями — тетраэдра, который изъ всѣхъ твердыхъ тѣлъ при равной поверхности имѣетъ наименьшій объемъ. Чтобы больше приблизиться къ сферической формѣ, предполагаютъ тетраэдръ съ изогнутыми ребрами, и на мѣстѣ каждой грани помѣщаютъ трехъ или шестигранную очень низкую пирамиду; тогда получается тритетраэдръ или гексатетраэдръ съ выпуклыми гранями, который можетъ быть названъ *тетраэдроидомъ* (фиг. 195).

Гипотеза тетраэдрической деформаціи имѣетъ въ своемъ основаніи и фактъ, дознанный опытомъ. По Ферберну, цилиндрическая трубка, деформируемая сжатіемъ, стремится принять форму съ разрѣзомъ въ видѣ равносторонняго треугольника. Отсюда заключили, что полый шаръ, деформируясь въ тѣхъ же условіяхъ, долженъ стремиться принять тетраэдрическую форму. Остроумный опытъ Ш. Ляллемана (15) подтвердилъ это предположеніе: каучуковый шаръ, изъ котораго мало-по-малу вытягивался воздухъ, принялъ форму, близкую къ тетраэдру. Тотъ же опытъ съ успѣхомъ былъ повторенъ надъ размягченными жаромъ стеклянными шарами, когда въ нихъ разрѣжали воздухъ.

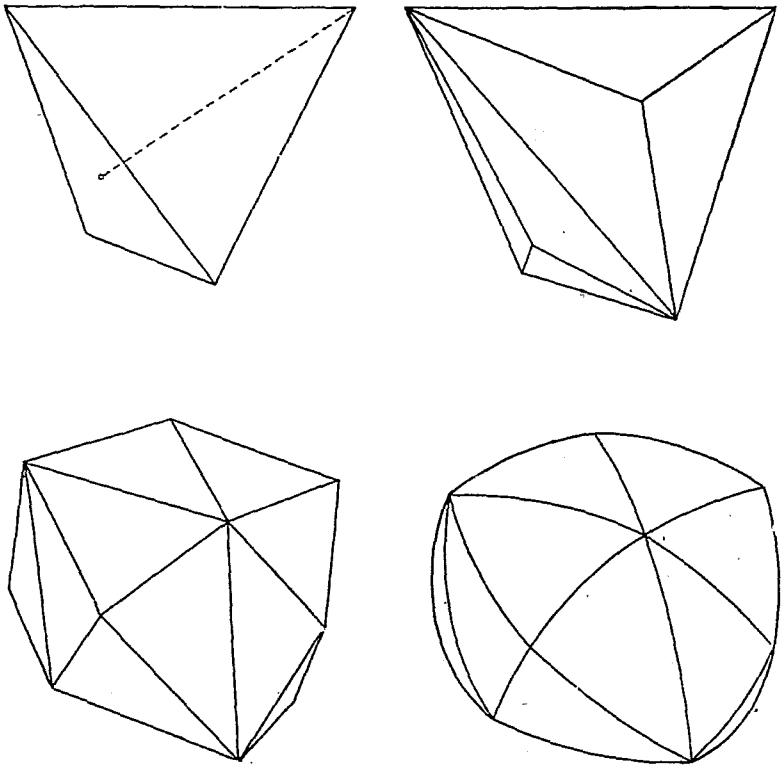
Защитники тетраэдрической системы [1]) вначалѣ особенно ста-

---

[1]) Прекрасное резюмэ работъ, относящихся къ тетраэдрической системѣ, можно найти въ недавнемъ сочиненіи Т. Арльдта (16). Собственные взгляды автора свидѣтельствуютъ о недостаточномъ знаніи и недостаточно ясномъ пониманіи геологическихъ данныхъ.

рались согласовать съ нею географическія особенности, значеніе которыхъ неизбѣжно должно было оставаться имъ непонятнымъ, вслѣдствіе малаго развитія въ то время познаній о дислокаціяхъ земной коры.

Мишелю Леви (XXI, 2) принадлежитъ заслуга перваго построенія тетраэдра на основаніи точныхъ геологическихъ дан-



Фиг. 195. Тетраэдръ, тритетраэдръ, гексатетраэдръ и тетраэдроидъ (по А. де-Ляпparану).

ныхъ. Въ первой работѣ онъ опредѣляетъ шесть главныхъ большихъ круговъ тетраэдрической системы, исходя изъ линій, намѣчаемыхъ на земной сферѣ центрами третичныхъ и послѣтретичныхъ вулкановъ. Тѣ изъ нихъ, которые идутъ по зонамъ складчатости, намѣчаютъ собою выступающія ребра.

Три слѣдующія ребра ограничиваютъ верхнюю грань, болѣе или менѣе перпендикулярную къ оси земли: 1-я зона герцинскихъ складокъ идетъ отъ Мексиканскаго залива до Малой Азіи, проходя черезъ Алеганы и Среднюю Европу; 2-я зона Альпійскихъ складокъ въ южной Азіи; 3-я линія, соединяющая Мекси-

канскій заливъ съ Соломоновыми островами, совершенно погружена въ Тихій океанъ.

Три меридіанальныя ребра, сходящіяся недалеко отъ южнаго полюса, намѣчены Андскими Кордильерами, Эфіопскимъ сбросовымъ рвомъ и восточной цѣпью Австраліи.

Каждое изъ этихъ реберъ расположено на большомъ кругѣ, который на каждой грани намѣчаетъ одно ребро пирамиды; совокупность этихъ реберъ тетраэдра и четырехъ трехгранныхъ пирамидъ образуетъ тритетраэдръ. Нѣкоторыя изъ реберъ пирамиды, являющіяся продолженіемъ реберъ тетраэдра, особенно замѣчательны: Скалистыя горы являются продолженіемъ Андъ; Уралъ лежитъ на продолженіи Эфіопскаго сбросоваго рва; дуга Бонинскихъ острововъ, Шишито и Японіи слѣдуетъ направленію австралійской цѣпи.

Тетраэдрической системѣ въ томъ ея видѣ, въ какомъ ее представляетъ Мишель Леви въ 1898 г., можно сдѣлать тотъ упрекъ, что для опредѣленія большихъ круговъ она пользуется и герцинскими складками, и альпійскими складками, и большими линіями разломовъ, которыя не соотвѣтствуютъ линіямъ складчатости, т.-е. элементами разнородными и не одного возраста. Также и МарсельБертранъ (19), исходя изъ идеи, очень притомъ сомнительной, что положеніе реберъ тетраэдра на земной сферѣ измѣнялось отъ одного геологическаго періода къ другому, построилъ тетраэдрическую систему, основанную только на современныхъ вулканическихъ явленіяхъ, соединивъ непрерывными линіями всѣ вулканы, проявлявшіе слѣды дѣятельности за историческое время. Такъ какъ получились извилистыя линіи, то Марсель Бертранъ смотритъ на нихъ какъ на деформированные большіе круги. Эти шесть большихъ круговъ намѣчаютъ своимъ пересѣченіемъ два тетраэдра съ противоположными основаніями, одинъ бореальный, другой австральный, притомъ оба неправильные и образующіе вмѣстѣ двойную трехгранную пирамиду.

А. де-Ляппаранъ (20) очень основательно возражаетъ противъ такого толкованія. „Совершенно невозможно вывести эту форму, исходя изъ представленія о правильномъ охлажденіи сферической оболочки; также и супротивное расположеніе двухъ вершинъ и существованіе общей плоскости симметріи оказываются въ форменномъ противорѣчіи съ антиподнымъ характеромъ особенностей земной поверхности. Въ то же время принципъ однородности нарушается тѣмъ, что совмѣстно существуютъ два ряда вершинъ, однѣ трехгранныя и другія четырехгранныя“.

А. де-Ляппаранъ и вслѣдъ за нимъ Т. Арльдтъ (16) совмѣщаютъ три гранные угла сѣвернаго полушарія съ центрами трехъ щитовъ: Канадкаго, Скандинавскаго и Сибирскаго, причемъ четвертый уголъ приходится на южномъ полюсѣ, а три меридіанальныя грани намѣчаются осевыми линіями трехъ континентовъ южнаго полушарія, соотвѣтственно представленіямъ Лофтіана Грина.

Мишель Леви, который, какъ мы уже видѣли, принимаетъ три щита не за трехгранные углы, но за три грани сѣверной пирамиды, замѣчаетъ (XXI, 4), что большіе круги тетраэдра должны служить шарнирами при движеніяхъ земной коры и, слѣдовательно, они должны совпадать съ геосинклиналями, на мѣстахъ которыхъ возникаютъ зоны складчатости. И, дѣйствительно, онъ указываетъ на замѣчательное совпаденіе зонъ складчатости съ положеніемъ геосинклиналей мезозойной эры, какъ оно было намѣчено авторомъ этого сочиненія (фиг. 37).

Если это совпаденіе не случайно, нужно замѣнить Эритрейскій разломъ, образующій въ тетраэдрѣ Мишеля Леви одно изъ меридіанальныхъ реберъ, мозамбикской геосинклиналью, которая съ нимъ приблизительно параллельна. Нужно также постараться найти на трехъ меридіанальныхъ граняхъ ребра, которыя намѣчали бы трехгранныя пирамиды, подобныя пирамидѣ на сѣверной грани [1]).

Если теперь принять въ соображеніе несомнѣнный фактъ, къ которому мы позже еще вернемся,—возрастающее съ ходомъ геологическаго времени осложненіе въ расположеніи горныхъ системъ—придется признать, что предпочтительнѣе строить тетраэдроидъ, основываясь на расположеніи системъ болѣе древнихъ, чѣмъ альпійскія складки или соотвѣтствующія имъ геосинклинали. Можно взять, напримѣръ, расположеніе складокъ конца палеозойныхъ временъ или еще болѣе древнее, которое будетъ имѣть еще бо̀льшіе шансы приблизиться къ первичному тетраэдру. Но здѣсь придется встрѣтиться съ непреодолимыми препятствіями, заключающимися въ недостаточности нашихъ познаній о каледонскихъ и гуронскихъ складкахъ внѣ предѣловъ

---

[1]) Вотъ что недавно сказалъ по этому поводу Мишель Леви: „Въ дѣйствительности тетраэдроидъ составляется изъ 12-ти пирамидальныхъ треугольниковъ; но съ одной стороны положеніе оси вращенія земли даетъ особенно важное значеніе сѣверной пирамидѣ, какъ это уже замѣтилъ Марсель Бертранъ; кромѣ того, вторженіе океановъ изглаживаетъ часть меридіанальныхъ треугольниковъ“ (XXI, 4, стр. 583).

Европы и Сѣверной Америки. Особенно не слѣдуетъ пользоваться линіями разломовъ, которыя сопровождаются вулканами, такъ какъ онѣ въ строеніи земной коры являются чертами совершенно второстепенными и почти всегда очень недавними и, какъ извѣстно, далеко не всѣ имѣютъ одинаковое тектоническое значеніе (гл. XXI).

Сосредоточіе складчатыхъ зонъ по геосинклиналямъ.— Американскіе геологи, въ частности Джемсъ Холлъ, Дена и Леконтъ, всегда настаивали на томъ, что складчатыя зоны пріурочены къ зонамъ наиболѣе интенсивнаго отложенія осадковъ или къ геосинклиналямъ. Въ одной изъ предшествовавшихъ главъ (гл. XII) нами были даны многочисленныя доказательства подобной локализаціи орогеническихъ движеній, при чемъ рядомъ примѣровъ намъ удалось также констатировать, что, вопреки распространенному мнѣнію, геосинклинали образуются не на границѣ между континентомъ и океаномъ, а заключены между двумя континентальными площадями. Мнимыя исключенія объясняются или позднѣйшимъ проваломъ континента, нѣкогда находившагося на мѣстѣ современнаго океана, какова, напр., исторія Индійскаго океана, или общимъ осѣданіемъ и погруженіемъ въ пучину цѣлой континентальной области, какова, напр., исторія Тихаго океана. Намъ сейчасъ, впрочемъ, совершенно излишне вновь возвращаться къ этому вопросу, а надо выяснить причины локализаціи складчатыхъ зонъ на мѣстѣ геосинклиналей.

Сосредоточеніе двухъ геологическихъ явленій въ особыхъ зонахъ земной коры несомнѣнно благопріятно для теоріи расширенія, которая была нами уже изложена. Внѣ всякаго сомнѣнія, расширеніе вслѣдствіе нагрѣванія слоевъ, лежащихъ на днѣ геосинклинали, должно неизбѣжно повести къ образованію складокъ въ этихъ глубоко лежащихъ слояхъ; но противъ этого часто возражали, что указываемая причина не въ состояніи вызвать послѣдствія такого масштаба. Правда, можно представить себѣ, что подъ вліяніемъ этого фактора образовались неправильныя и сжатыя складки, направленныя въ разныя стороны, въ родѣ тѣхъ, какія мы знаемъ въ кристаллическихъ сланцахъ; но внѣ всякаго сомнѣнія, возникновеніе лежачихъ, часто наложенныхъ одна на другую, складокъ и большихъ шарріажей не можетъ быть объяснено подобнымъ образомъ, а свидѣтельствуетъ о тангенціальномъ напорѣ необычайной интенсивности тѣмъ болѣе, что часто наименѣе глубокія части

геосинклиналей надвинуты на зоны наибольшаго отложенія осадковъ.

Увеличеніе интенсивности складкообразованія по мѣрѣ глубины, въ частности доказанное Люжономъ относительно массива Божъ въ савойскихъ известковыхъ Альпахъ, также не можетъ служить аргументомъ въ пользу теоріи расширенія, такъ какъ это явленіе можетъ быть объяснено тѣмъ, что на днѣ геосинклиналей слои бываютъ болѣе пластичны и легче могутъ изгибаться въ складки (гл. XV, стр. 243).

Если же мы будемъ видѣть причину образованія геосинклиналей не въ постепенномъ осѣданіи подъ тяжестью накопившихся осадковъ, а въ сдавливаніи съ двухъ сторонъ даннаго участка земной коры, то намъ станетъ вполнѣ понятно, что въ нѣкоторый моментъ сдавливаніе достигнетъ такой интенсивности, что произойдетъ образованіе складокъ, при чемъ на глубинѣ эти складки будутъ сильнѣе выражены чѣмъ на поверхности. Но подобная теорія опять таки не объясняетъ намъ ни опрокинутія складокъ въ одномъ и томъ же направленіи, ни происхожденія большихъ шарріажей, ни воздыманія горной цѣпи съ его максимумами и минимумами.

Достигнутые результаты. — Почти всѣ теоріи, только что нами изложенныя, содержатъ въ себѣ зерно истины, и, несомнѣнно, ни одна изъ нихъ не даетъ полнаго истолкованія всѣхъ извѣстныхъ намъ проявленій діастрофизма. Поэтому прежде чѣмъ подойти къ окончательному выводу, мы должны припомнить имѣющіяся у насъ болѣе или менѣе точныя свѣдѣнія объ орогеническихъ и эпирогеническихъ явленіяхъ, и особенно тѣ изъ нихъ, которыя касаются хронологической послѣдовательности разныхъ фазъ складчатости и географическаго распредѣленія древнихъ и новыхъ горныхъ цѣпей. Въ цѣляхъ облегченія изученія предмета, подобные обзоры были даны уже многими учеными неоднократно (0, 1, 3, 22, 23; XII, 12; XIV, 14, 17; 7, 21—23). Надо сказать, что на ближайшихъ страницахъ намъ часто придется, забѣгая нѣсколько впередъ, считать уже доказанными нѣкоторыя положенія, такъ какъ доказательства ихъ могутъ быть нами даны лишь во второй части настоящей книги.

Первыя извѣстныя намъ движенія земной коры относятся къ архейской эрѣ, отложенія которой почти всегда сильно метаморфизованныя, повсюду собраны въ складки и подстилаютъ въ нѣкоторыхъ мѣстахъ несогласно напластованныя на нихъ

альгонкскія отложенія, въ которыхъ встрѣчаются наиболѣе древніе изъ извѣстныхъ намъ организмовъ. Но и въ предѣлахъ архейской и альгонкской эры было нѣсколько фазъ образованія складокъ, для которыхъ трудно установить опредѣленный порядокъ, да и общее направленіе ихъ еще не достаточно хорошо изучено. Всѣ эти орогеническія движенія, вмѣстѣ взятыя, были причиной возникновенія *гуронской горной цѣпи*. Было бы правильнѣе говорить о *гуронскихъ массивахъ*, такъ какъ они образуютъ центры или какъ бы ядро древнихъ континентальныхъ площадей. Нѣкоторые ученые называли ихъ *архейскими ядрами* при чемъ на геологическихъ картахъ отводили имъ слишкомъ много мѣста, неправильно относя къ нимъ большія пространства кристаллическихъ сланцевъ болѣе поздняго происхожденія.

Можно предположить, что эти архейскія ядра соотвѣтствуютъ гранямъ пирамидъ первоначальнаго тетраэдра, но это чистая гипотеза. Менѣе гипотетично то предположеніе, что въ промежуткахъ между ними существовали очень обширныя геосинклинали, гдѣ согласно напластованы архейскія, альгонкскія и самыя древнія палеозойныя отложенія. На мѣстѣ этихъ геосинклиналей, которыя могутъ быть приравнены къ ребрамъ или къ первымъ линіямъ излома тетраэдра, возникли всѣ складчатыя зоны, образовавшіяся послѣ гуронскихъ складокъ.

Первая складчатая зона образуется вокругъ каждаго архейскаго ядра, и, весьма вѣроятно, что каждое такое ядро всегда бываетъ окружено поясомъ складокъ. Это такъ называемыя *каледонскія складки*, образованіе которыхъ началось въ серединѣ силурскаго періода и продолжалось вплоть до середины девонскаго (фиг. 68, стр. 228).

Мы еще не располагаемъ достаточными данными, чтобы для каждой континентальной площади доказать существованіе этихъ движеній, и только по аналогіи имѣемъ право предполагать ихъ общее распространеніе. Они намъ извѣстны въ Европѣ, на югъ отъ гуронскихъ складокъ и въ Сахарѣ (24), т.-е. на обоихъ окраинахъ обширной геосинклинали, раздѣляющей ядра Сѣверо-Атлантическаго и Африканско-Бразильскаго континента. Въ промежуткѣ между этими ядрами, т.-е. на днѣ этой геосинклинали, не образовалось каледонскихъ складокъ, такъ какъ силурскія и девонскія отложенія являются тамъ согласно напластованными. Двѣ симметрично расположенныя складчатыя зоны, находящіяся по обѣимъ сторонамъ современнаго Средиземнаго моря, скоро-

присоединились къ архейскимъ ядрамъ и тѣмъ сократили ширину геосинклинали. Трудно сдѣлать общее заключеніе о направленіи, въ которомъ опрокинуты ихъ складки и надвинуты ихъ шарріажи, такъ какъ въ Шотландіи они обращены на сѣверъ, въ Скандинавіи [1]) на юго-востокъ (25), а что касается каледонской складчатости въ Сахарѣ, то направленіе ея намъ совершенно неизвѣстно.

Въ концѣ каменноугольнаго періода начинается опять новая фаза діастрофизма и длится въ теченіе всего пермскаго періода; складки, образовавшіяся въ теченіе этого періода, мы будемъ для удобства называть *герцинскими*, хотя этотъ терминъ не вполнѣ подходитъ къ нимъ. Это арморикскія и варисскія складки центральной Европы. Соотвѣтствующія имъ складки находятся въ южной Европѣ и въ сѣверной Африкѣ (Испанская и Марокская Мезета, южный Оранъ). Въ промежуточномъ пространствѣ между двумя складчатыми зонами обыкновенно наблюдается согласное залеганіе каменноугольныхъ и пермскихъ, и часто пермскихъ и тріасовыхъ отложеній. Геосинклиналь продолжаетъ существовать, но она сократилась, и на ея счетъ увеличились обѣ ограничивающія ее континентальныя площади. Герцинскія складки въ центральной Европѣ бываютъ обыкновенно опрокинуты къ сѣверу, т.-е. по направленію отъ геосинклинали къ континенту. По отношенію же къ Африкѣ нельзя еще категорически утверждать, что эти складки опрокинуты къ югу, но такое предположеніе кажется вѣроятнымъ.

Въ Азіи *Алтаиды* Зюсса являются гомологами европейскихъ герцинскихъ складокъ; онѣ окружаютъ архейское ядро Сибири. Въ Сѣверной и Южной Америкѣ и въ Австраліи древнія ядра также увеличились къ концу палеозойной эры на всю ширину складчатыхъ полосъ.

Въ Европѣ герцинскія складки не всегда параллельны каледонскимъ. Послѣднія, уже претерпѣли поперечныя воздыманія, такъ что первые приспособились въ своемъ распредѣленіи къ разпородной передней странѣ; такъ, напр., въ Южномъ Уэльсѣ каледонскія складки погружаются подъ арморикскія, пересѣкаясь съ ними подъ довольно острымъ угломъ.

---

[1]) Скандинавскій щитъ, какъ мы увидимъ въ дальнѣйшемъ, первоначально состоялъ изъ двухъ архейскихъ ядеръ, горной цѣпи Лофотенъ и массива, образующаго оба берега Ботническаго залива. Въ промежуткѣ между этими ядрами возникла Скандинавская горная цѣпь, складки которой надвинуты къ юго-востоку, такъ что образуютъ громадный надвинутый покровъ на краю архейскаго ядра Ботническаго залива.

Въ теченіе вторичной эры орогеническія силы проявили весьма слабую дѣятельность. За все это время не появилось ни одной новой складчатой зоны, хотя довольно часто наблюдаются несогласныя залеганія отложеній какъ въ геосинклиналяхъ, такъ и въ континентальныхъ областяхъ, несомнѣнно, вслѣдствіе значительныхъ эпирогеническихъ движеній. Къ серединѣ третичнаго періода начинается новое усиленіе орогенической дѣятельности, которая продолжается вплоть до конца періода; въ это время образуются *альпійскія складки*, планъ расположенія которыхъ былъ уже нами указанъ (гл. XII); онѣ образуются на мѣстѣ геосинклиналей мезозойной эры (фиг. 37), уже подраздѣленныхъ на рядъ вторичныхъ геосинклиналей герцинскими ядрами и геантиклинальными гребнями (напр., Бріансонскимъ), которые станутъ осью новой горной цѣпи, и опрокинутся большими лежачими складками на тотъ или на другой склонъ. Отъ первоначальной геосинклинали сохранились лишь отдѣльные участки, которые впрочемъ представляютъ лишь разрозненныя впадины, каковы современныя депрессіи Средиземнаго моря, Малайскаго архипелага, Антильскаго моря и впадина, окаймляющая Тихій океанъ.

Въ Европѣ складки *Альпійской горной цѣпи* образуются на сѣверномъ краю геосинклинали, а складки *Динаридъ* на южномъ (0, 22, т. III). Складки Альпъ опрокинуты къ сѣверу, т.-е. такъ же, какъ и герцинскія складки отъ оси геосинклинали къ Сѣверо-Атлантическому континенту; Динариды опрокинуты къ югу, т.-е. отъ оси геосинклинали къ Африканскому континенту. Обѣ горныя цѣпи непосредственно соприкасаются между меридіанами Турина и Вѣны и сдавливаютъ одна другую, такъ что въ этомъ мѣстѣ происходили самые грандіозные шарріажи, какіе только извѣстны на земной поверхности.

Обѣ горныя цѣпи имѣютъ крайне извилистое направленіе, болѣе извилистое, чѣмъ у герцинскихъ цѣпей, но обусловленное тою же причиной. Геосинклинали вторичной эры и, слѣдовательно, горныя цѣпи третичной образовались на чрезвычайно разнородномъ основаніи, т.-е. и на мѣстѣ первичныхъ геосинклиналей и на областяхъ погруженія герцинскихъ складокъ. Онѣ извиваются между областями воздыманія древней цѣпи постоянно переходя изъ направленія параллельнаго главнымъ складкамъ къ поперечному имъ направленію, какъ это было отмѣчено М. Бертраномъ (12). Такимъ образомъ, складки Судетъ уходятъ подъ Карпаты, складки Испанской Мезеты исче-

заютъ подъ долиной Гвадалквивира противъ лежачихъ складокъ Бетійскихъ горъ.

За предѣлами областей, окружающихъ Средиземное море, не легко, при современномъ состояніи нашихъ знаній, достовѣрно установить существованіе *двойныхъ горныхъ цѣпей*, какъ ихъ называетъ Мишель Леви (XXI, 2), опрокинутыхъ въ противоположныхъ направленіяхъ отъ оси геосинклинали, какъ напр., Альпы и Динариды. Правда, можно вмѣстѣ съ Мишелемъ Леви отнести сюда Береговые хребты Калифорніи и Скалистыя горы, а, быть можетъ, также Гималаи и горныя цѣпи Тибета.

Пиренеи же по послѣднимъ изслѣдованіямъ Леона Бертранъ представляютъ собой простую вѣерообразную горную цѣпь, сжатую между Центральнымъ Массивомъ Франціи и Испанской Мезетой.

Въ Азіи же вообще, какъ это было установлено Зюссомъ (21; 0, 22, т. III), складки опрокинуты не къ континентальному ядру, не къ Китайско-Сибирскому континенту, а къ глубокимъ впадинамъ Индійскаго и Тихаго океановъ. Поэтому самъ собою напрашивается вопросъ, не было ли континентальныхъ площадей, на мѣстѣ этихъ двухъ океановъ въ самомъ началѣ тѣхъ орогеническихъ движеній, которыя дали начало складкамъ, окаймляющимъ Азію?

Во всякомъ случаѣ чрезвычайно извилистое направленіе является характерной чертой третичныхъ складокъ всего земного шара, и повсюду направленіе ихъ имѣетъ гораздо болѣе сложный рисунокъ, чѣмъ очертаніе палеозойныхъ складокъ. Пересѣченіе докаменноугольныхъ складокъ восточнаго берега Австраліи съ третичными складками Новой Гвинеи напоминаетъ погруженіе каменноугольныхъ складокъ Судетъ подъ третичныя складки Карпатъ. Повсюду мезозойныя геосинклинали и третичныя складки приспособились въ своемъ направленіи къ разнородному основанію, и, вмѣсто того чтобы точно слѣдовать оси древнихъ геосинклиналей, часто оставляютъ ее и описываютъ на мѣстѣ областей погруженія палеозойныхъ складокъ изгибы, подобные изгибамъ Карпатъ, западной части Средиземнаго моря, Антильскихъ острововъ и къ нимъ нужно еще прибавить кривую, соединяющую Анды съ Антарктическими землями. Въ то же время отдѣльныя части герцинской цѣпи какъ бы перестраиваются и включаются въ Альпійскія складки.

Вновь образующіяся складки всегда пользовались существованіемъ областей погруженія и впадинами предшествующей по времени складчатой зоны и проникали въ эти впадины

Такъ, напр., Уралъ, представляющій уклонившуюся вѣтвь палеозойныхъ складокъ центральной Азіи, образовался благодаря поперечной впадинѣ послѣ-архейскихъ складокъ, которыя, какъ это отмѣтилъ Зюссъ (0, 22), до этого соединяли сѣверную Европу съ центральнымъ ядромъ Сибири. Точно также третичныя складки Португаліи, недавно изслѣдованныя Полемъ Шоффа, были обусловлены пониженіемъ осей въ складкахъ Мезеты. И въ томъ и въ другомъ примѣрѣ новыя складки пересѣкаютъ болѣе древнія почти подъ прямымъ угломъ.

Третичныя складки такъ же, какъ и складки предшествовавшихъ періодовъ, подвергались послѣ своего образованія поперечнымъ движеніямъ и подраздѣлились на области воздыманія и области погруженія (гл. XIV). Вѣроятно, этими волнообразными движеніями въ продольномъ направленіи и было обусловлено возвышеніе горныхъ цѣпей и образованіе глубокихъ впадинъ въ предѣлахъ самой зоны складчатости. Вполнѣ понятно, исходя изъ этого представленія, почему Кавказъ возвышается между Каспійскимъ моремъ и Керченскимъ проливомъ; почему прежнее соединеніе складокъ южнаго Крыма съ Балканами оказалось покрытымъ водами Чернаго моря; какимъ образомъ возникло Эгейское море, вслѣдствіе поперечнаго пониженія осей Динарскихъ складокъ, сопровождавшагося поднятіемъ цѣпей Греціи и Малой Азіи; почему соединеніе южныхъ Альпъ съ Апеннинскими горами теперь скрыто подъ равниною По. Можно было бы привести еще много подобныхъ примѣровъ, и они только подтвердили бы громадное значеніе продольныхъ волнообразныхъ изгибовъ въ зонахъ складчатости.

Исторія морскихъ трансгрессій показываетъ намъ, что часто непосредственно за фазой орогеническихъ движеній въ какой-либо области слѣдовала морская трансгрессія. Въ виду этого трудно согласиться съ предположеніемъ, что процессъ образованія складокъ совпадалъ съ поднятіемъ складчатой области, а скорѣе можно принять мнѣніе Джемса Холла (XII, 4), что этотъ процессъ совершался на глубинѣ. Къ этому же выводу приводитъ насъ кромѣ того и тотъ фактъ, что чѣмъ глубже лежатъ слои, тѣмъ сильнѣе они смяты въ складки.

Исторія долинъ (гл. XXV) заставляетъ насъ приписывать послѣдовательныя обновленія профиля паденія рѣкъ и образованіе террасъ, расположенныхъ ярусами на все убывающихъ высотахъ, не постепенному, а идущему скачками поднятію горныхъ массивовъ.

Процессъ поднятія горныхъ цѣпей, слѣдующій за образованіемъ складокъ, можетъ такимъ образомъ быть отождествленъ съ образованіемъ областей воздыманія континентальныхъ площадей и, какъ это ни парадоксально на первый взглядъ, относится къ категоріи эпирогеническихъ, а не орогеническихъ движеній.

Намъ уже извѣстно, что расчлененіе складчатыхъ зонъ на сегменты представляетъ собой явленіе, слѣдовавшее за орогеническими движеніями, давшими начало этимъ зонамъ. Намъ извѣстно также, что движенія различныхъ приподнятыхъ сегментовъ одной и той же зоны являются синхроничными, и совершаются въ одномъ направленіи. Изученіе движеній Скандинавскаго щита показало намъ связь, существующую между эпирогеническими движеніями и ледниковыми явленіями; поднятіе мѣстности ведетъ къ образованію ледниковаго покрова, охватывающаго всю область воздыманія, а опусканіе мѣстности вызываетъ таяніе ледниковъ и ихъ постепенное отступаніе. Обобщая этотъ выводъ, мы можемъ указать теперь на общую причину распространенія и отступанія ледниковъ и приписать одновременное распространеніе ледниковъ на всемъ земномъ шарѣ одновременности положительныхъ эпирогеническихъ движеній.

Эту причинную зависимость подмѣтилъ еще Леконтъ, но ему не удалось уловить взаимоотношенія орогеническихъ и эпирогеническихъ движеній. Вотъ что онъ писалъ по этому поводу въ 1897 году (XXVIII, 24): „Почти всѣ перемѣны, совершавшіяся на протяженіи геологическихъ періодовъ въ области физической географіи, какъ то: измѣненія климата и связанныя съ ними измѣненія признаковъ и распространенія формъ органической жизни, почти всѣ эти черты исторіи земли были обусловлены колебательными движеніями земной коры“.

Но механизмъ подраздѣленія складчатыхъ зонъ на области воздыманія позволяетъ намъ понять еще одну изъ существенныхъ чертъ лика земли. Если континентальныя площади могутъ быть приравнены къ областямъ воздыманія, то нѣкоторыя океаническія впадины можно сравнить съ областями погруженія. Таковъ, по крайней мѣрѣ, характеръ Атлантическаго океана. Дѣйствительно, здѣсь зона архейскихъ складокъ погружается между Лабродоромъ и сѣверной Шотландіей; зоны каледонскихъ складокъ погружаются между Новой Землей и Ирландіей; также и альпійскія складки опускаются между Венецуэлой и

Большимъ Марокскимъ Атласомъ; въ болѣе южной части архейское Бразильское ядро и ядро центральной Африки, нѣкогда соединенныя вмѣстѣ, несомнѣнно раздѣлились вслѣдствіе опусканія складокъ; возможно также, что палеозойныя складки Аргентинской Республики продолжаются до Капской земли.

Громадная впадина съ направленіемъ поперечнымъ къ складкамъ раздѣляетъ теперь Старый и Новый Свѣтъ и является общей областью погруженія для всѣхъ пересѣкающихъ ее складчатыхъ зонъ. Эта впадина превратилась теперь въ геосинклиналь, и ея ось симметріи уже намѣтилась въ видѣ срединной складки настоящей геантиклинали, съ существованіемъ которой мы встрѣчаемся въ исторіи многихъ горныхъ цѣпей.

Другіе океаны имѣютъ совершенно иной характеръ. Такъ, Индійскій океанъ является впадиной, образовавшейся вслѣдствіе провала на мѣстѣ Австрало-Индо-Малгашскаго континента. И здѣсь намъ нужно вспомнить то, что было уже сказано о раскалываніи континентовъ. Повторять это здѣсь нѣтъ надобности.

Что же касается Арктическаго океана, то онъ, вѣроятно, представляетъ собой глубокую впадину, существующую съ самыхъ древнихъ временъ, при чемъ онъ увеличился въ сторону Атлантическаго океана путемъ ряда осѣданій, между которыми остались въ видѣ выступовъ остатки Сѣверо-Атлантическаго континента—Гренландія, Шпицбергенъ и Земля Франца Іосифа.

Наконецъ, Тихій океанъ, судя по батиметрическимъ даннымъ, является въ дѣйствительности ничѣмъ инымъ, какъ громадной выпуклой областью литосферы, затопленной моремъ. Многіе факты даютъ намъ основаніе предполагать, что нѣкогда и здѣсь находился континентъ, вокругъ котораго образовался громадный поясъ третичныхъ складокъ. Но намъ почти ничего неизвѣстно, ни о его исторіи, ни о его строеніи, кромѣ того, что параллельные ряды острововъ, возвышающихся на подводныхъ гребняхъ, производятъ впечатлѣніе складчатыхъ зонъ.

Ученіе о постоянствѣ большихъ океаническихъ впадинъ, насчитывающее еще много сторонниковъ, несмотря на рѣшительные удары, нанесенные ему Зюссомъ, не можетъ опровергнуть данныхъ ботанической и зоологической географіи (XII, 12). Однако, противъ только что изложенныхъ заключеній было высказано возраженіе, что трудно представить себѣ, гдѣ прежде находилась вода, заполняющая глубокія морскія впадины, которымъ мы приписываемъ недавнее происхожденіе. Но возражающіе забываютъ, что континенты были значительно

менѣе обширны, чѣмъ теперь и что громадныя впадины находились тамъ, гдѣ теперь возвышаются цѣпи высокихъ горъ. Арктическій океанъ существовалъ всегда и могъ имѣть бо́льшую глубину, чѣмъ въ настоящее время. Къ тому же намъ неизвѣстно, не было ли глубокой впадины между Мадагаскаромъ, Австраліей и Антарктическимъ континентомъ.

Вертикальныя движенія областей воздыманія не повторяются безгранично, и наступитъ моментъ, когда ослабленіе тангенціальныхъ силъ будетъ благопріятствовать ихъ осѣданію и раздробленію вдоль главныхъ линій разлома. Такова судьба континентальныхъ площадей. Объ этихъ явленіяхъ и ихъ связи съ вулканизмомъ мы уже достаточно говорили въ одной изъ предыдущихъ главъ (гл. XXI), и теперь совершенно излишне возвращаться къ этому вопросу.

Двѣ гипотезы. — Этотъ краткій обзоръ исторіи орогеническихъ и эпирогеническихъ движеній на поверхности земли показываетъ намъ, *какъ* и при какихъ условіяхъ происходили эти явленія и каковы *законы*, ими управляющіе. Теперь же передъ нами стоитъ еще болѣе трудная задача—объяснить *причину* этихъ законовъ, и во всякомъ случаѣ мы должны попытаться выяснить природу *физическихъ агентовъ*, участвующихъ въ діастрофизмѣ.

Изъ цѣлаго ряда объясненій орогеническихъ движеній лишь двѣ теоріи заслуживаютъ нашего вниманія—*теорія сжатія* и *теорія изостазіи*, такъ какъ лишь въ нихъ нѣтъ прямыхъ противорѣчій съ данными современной науки.

И дѣйствительно, напоромъ въ пустое пространство, за которымъ слѣдуетъ скольженіе массъ во впадины, можно объяснить лишь небольшое количество мѣстныхъ явленій, но, въ качествѣ общей причины это объясненіе стояло бы въ постоянномъ противорѣчіи съ тѣмъ фактомъ, что складки бываютъ всегда опрокинуты въ направленіи ранѣе затвердѣвшихъ массивовъ, т.-е. въ направленіи континентальныхъ площадей, а не къ оси геосинклиналей.

Теорія расширенія, защищаемая съ такой энергіей Мелларомъ Ридомъ предполагаетъ, что процессъ образованія складокъ былъ интенсивнѣе въ серединѣ геосинклиналей, чѣмъ по краямъ этихъ впадинъ. На самомъ же дѣлѣ наблюдается какъ разъ обратное, такъ какъ складчатыя зоны располагаются симметрично по обоимъ краямъ геосинклиналей, тогда какъ середина остается нетронутой или даже отмѣчается срединной геантиклиналью.

Наоборотъ, теорія сжатія земли такъ же, какъ и теорія изостазіи прекрасно согласуется и съ образованіемъ складчатыхъ зонъ вокругъ континентовъ, и съ направленіемъ складокъ въ сторону континентовъ, и съ постепеннымъ сжатіемъ геосинклиналей. Выше нами уже было дано логическое обоснованіе этихъ теорій. Объ онѣ прежде имѣли рядъ убѣжденныхъ сторонниковъ, но большинство современныхъ ученыхъ не считаетъ возможнымъ безусловно признавать ихъ.

Теорія сжатія впервые была намѣчена Эли де-Бомономъ, но право гражданства получила въ Америкѣ, благодаря блестящимъ ея защитникамъ въ лицѣ Леконта и Дена, такъ что ее даже иногда называли „американской теоріей“. Теорія же изостазіи принадлежитъ американцу Деттону, во Франціи же ея представителемъ сталъ Марсель Бертранъ, посвятившій ей, къ сожалѣнію, слишкомъ краткую статью (18).

Сторонники той и другой теоріи упрекаютъ другъ друга въ томъ, что указанная ими причина не соотвѣтствуетъ размѣрамъ явленій, которыя она должна была бы объяснить. Такъ Бели Уиллисъ (XIV, 8) признаетъ, что и двухъ силъ различной природы, но дѣйствующихъ въ одинаковомъ направленіи, было бы не слишкомъ много, чтобы вызвать подобныя дислокаціи. Быть можетъ, дѣйствительно, лишь въ комбинаціи обѣихъ теорій— теоріи сжатія и теоріи изостазіи—заключается истина (XII, 12). По мысли самого Бели Уиллиса сжатіе порождаетъ силу, а изостазія опредѣляетъ направленіе напора, идущаго отъ средней части геосинклинали къ континентальной площади. Такимъ образомъ прекрасно объяснилось бы повсюду наблюдающееся направленіе опрокинутыхъ складокъ къ краямъ геосинклиналей. Однимъ сжатіемъ трудно было бы объяснить образованіе среднихъ геантиклиналей и пучковъ складокъ, опрокинутыхъ въ неопредѣленномъ направленіи. Сжатіе должно было намѣтить первый абрисъ геосинклиналей, а изостазія могла способствовать ихъ дальнѣйшему постепенному углубленію вслѣдствіе накопленія осадковъ, которое ведетъ къ перегруженію этихъ участковъ земной коры. Въ то же время грузъ континентальныхъ площадей уменьшается благодаря денудаціи, и изостатическое равновѣсіе возстановляется путемъ медленнаго поднятія области. Но Леконту удалось доказать (XXVIII, 24), на основаніи изученія поднятій и опусканій Канадскаго щита въ теченіе ледниковаго періода, что изостазія играетъ при этихъ движеніяхъ лишь второстепенную роль.

Главное затрудненіе при опредѣленіи физическихъ причинъ діастрофизма не заключается въ истолкованіи орогеническихъ движеній; мы видѣли, что сжатіе и изостазія несомнѣнно могли работать совмѣстно, стремясь къ одному результату. Но эпирогеническимъ движеніямъ до сихъ поръ не было дано ни одного удовлетворительнаго объясненія; нельзя видѣть ихъ причину въ стремленіи къ возстановленію изостатическаго равновѣсія, для чего нужно бы было предположить такую эластичность земной коры, какою она несомнѣнно не обладаетъ въ достаточной для этого степени. Сжатіе, правда, можно было бы безъ затрудненій признать причиной этихъ движеній, если бы поперечныя воздыманія складчатыхъ зонъ, къ которымъ сводятся эпирогеническія движенія, могли считаться одновременными съ движеніями орогеническими, и если бы складчатыя зоны и области поперечнаго воздыманія можно было соотвѣтственно приравнять къ параллелямъ и меридіанамъ. Несомнѣнно эти воздыманія нужно считать тѣми „медленными вздутіями, причина которыхъ лежитъ въ излишней обширности коры", о которыхъ говоритъ Эли де-Бомонъ. Но подобное объясненіе не охватываетъ въ достаточной степени эти явленія и не объясняетъ синхронизма эпирогеническихъ движеній, обнаруженнаго изученіемъ морскихъ трансгрессій и регрессій. Быть можетъ, впослѣдствіи удовлетворительное истолкованіе дастъ теорія тетраэдрической деформаціи, но въ настоящее время она сама еще настолько непрочно обоснована, что не можетъ удовлетворительно координировать факты.

Самый механизмъ орогеническихъ и эпирогеническихъ движеній теперь уже болѣе или менѣе выясняется. Степень участія въ этихъ движеніяхъ различныхъ физическихъ агентовъ въ настоящее время еще невозможно опредѣлить, но изученіе ряда предположенныхъ болѣе или менѣе близкихъ объясненій несомнѣнно служитъ правильной дорогой къ раскрытію истиннаго смысла явленій.

И только путемъ постепенно создаваемыхъ приблизительныхъ истолкованій, мы получимъ возможность подойти къ истинѣ.

---

1. — A. de Lapparent. Conférence sur le sens des mouvements de l'écorce terrestre. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3e sér., XV, стр. 215-241, 1887.

2. — Élie de Beaumont. Recherches sur quelques-unes des Révolutions de la surface du globe, présentant différents exemples de coïncidence entre le redressement des couches de certains systèmes de montagnes, et les changements

soudains qui ont produit les lignes de démarcation qu'on observe entre certains étages consécutifs des terrains de sédiment. *Ann. des. Sc. nat.*, XVIII, стр. 5—25, 284—416, XIX, стр. 5—99, 174—240, 1829—1830.

3. — Id. Notice sur les systèmes de montagnes. 3 vol. in-36, 1143 стр., 5 табл, Paris, 1852.

4. — Constant Prévost. Sur la théorie des soulèvements. Observations. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 1re sér., X, стр. 430, XI, стр. 183—203, табл. I, фиг. 9—14 1839, 1840.

5. — James Dana. Geological Results of the Earth's Contraction in consequence of Cooling. *Amer. Journ. of Sc.*, 2d sér., III, стр. 176—188, 7 фиг., 1847,

6. — Id. A General Review of the Geological Effects of the Earth's Cooling from a state of Igneous Fusion. *Ibid.*, 2d sér., IV, стр. 88—92, 1847.

7. — Eduard Suess. Die Entstehung der Alpen. 1 vol. in-8°, 168 стр. Vienne, 1875.

8. — Cl. Edw. Dutton. On some of the greater problems of physical geology. *Bull. of the Philos. Soc. of Washington*, XI (1888—91), стр. 51—64, 1892 (séance du 27 avril 1889).

9. — W. Kilian. Les essais de géologie expérimentale du professeur Ed. Reyer. *Revue gén. des Sciences*, IV, стр. 425—428, 2 фиг., 1893.

10. — T. Mellard Reade. The origin of mountain ranges. 1 vol. in-8°, 359 стр., 42 табл., London, 1886.

11. — Id. The evolution of earth structure, with a theory of geomorphic changes. 1 vol. in-8°, 342 стр., 40 табл. London, 1903.

12. — Marcel Bertrand. Sur la déformation de l'écorce terrestre. *C. R Ac., Sc.*, CXIV, стр. 402—406, 1892.

13. — Id. Les lignes directrices de la géologie de la France. *Revue générale des sciences*, 5e ann., стр. 665—682, 1 фиг., 1894.

14. — J. Golfier. Esquisse d'un système orthogonal. *Bull. Soc. Géol. Fr.* 4e sér., III, стр. 449—459, табл. XIV, 1903.

15. — Ch. Lallemand. Volcans et tremblements de terre, leurs relations avec la figure du globe. *Bull. Soc. Astron. de France*, 1903, стр. 213—222, фиг 1—3.

16. — Th. Arldt. Die Gestalt der Erde. *Beitr. zur Geophysik*, VII, стр. 285—326, 5 фиг., табл. VII, 1905.

17. — Marcel Bertrand. Le bassin houiller du Gard et les phénomènes de charriage. *C. R. Ac. Sc.*, CXIII, стр. 213—220, 1 фиг., 1900.

18. — Id. Essai d'une théorie mécanique de la formation des montagnes. Déplacement progressif de l'axe terrestre. *Ibid.*, CXIII, стр. 291—298, 1 фиг., 1900.

19. — Id. Déformation tétraédrique de la Terre et déplacement du pôle. *Ibid.*, CXIII, стр. 449—464, 6 фиг., 1900.

20. — De Lapparent. Sur la symétrie tétraédrique du globe terrestre. *Ibid.*, CXIII, стр. 614—619, 1900.

21. — E. Suess. Ueber die Asymmetrie der nördlichen Halbkugel. *Sitzb. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Math. Naturw. Cl.*, CVII, Abth. I, стр. 89—102, 1898.

22. — Federico Sacco. Essai sur l'orogénie de la Terre. 1 broch. in-8°, 51 стр., 1 табл. Turin, 1895.

23. — Id. Les lois fondamentales de l'orogénie de la Terre. 1 broch. in-8°, 26 стр., 1 табл. Turin, 1906.

24. — Émile Haug. Sur la structure géologique du Sahara central. *C. R. Ac. Sc.*, CXLI, стр. 374—376, 1905.

25. — A. E. Törnebohm. Grunddragen of det Centrala Skandinaviens Bergbyggnad. *K. Svenska Vetensk. Akad. Handl.*, XXVIII, n⁰ 5, 212 стр., 106 фиг. 4 табл., 1896.

26. — Joseph Le Conte. On the Structure and Origin of Mountains, with special reference to recent objections to the „Contractional Theory". *Amer. Journ. of Science*, 3d sér., XVI, стр. 95—112, 12 фиг., 1878.

27. — Id. Theories of the origin of mountain ranges. *Journ. of Geol.*, I, стр. 543—573, 3 фиг., 1893.

28. — A. Rothpletz. Ueber die Möglichkeit den Gegensatz zwischen der Contractions- und Expansionstheorie aufzuheben. *Sitzungsber. d. math.-phys. Cl. d. k. bayer. Akad. d. Wiss.*, XXXII, стр. 311—325, 1902.

29. — Otto Ampferer. Ueber das Bewegungsbild von Faltengebirgen. *Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanst.*, LVI, стр. 539—622, 42 фиг., 1906.

30. — Lukas Waagen. Wie entstehen Meeresbecken und Gebirge. *Verh. d. k. k. geol. Reichsanst.*, 1907, стр. 99—121.

См. также: 0,22; XII, 4—6, 8, 12; XIV, 4, 8, 13—17; XXI, 2, 4; XXVIII, 24.

О. Лукашевичъ. Неорганическая жизнь земли. Часть 1, 1908 г. 233 стр. и ч. III. 1911 г. 629 стр. С.-Петербургъ. Въ той и другой части много рисунковъ въ текстѣ.

УКАЗАТЕЛЬ

геологическихъ и техническихъ терминовъ.

А:

Абиссальная область, 97,99.
Абиссальныя формаціи, 167.
Абразія морская, 527.
Аброльужъ, 530.
Абсолютныя измѣненія уровня моря, 542.
Авгититы, 323.
Авгитъ, 311, 321.
Автохтонный каменный уголь, 150.
Аллотріоморфные элементы, 324.
Аллохтонная теорія происхожденія каменнаго угля, 152.
Аллохтонный каменный уголь, 150.
Аллювій, 472.
Альбитъ, 312, 321.
Амплитуда или размахъ сброса, 258, 260.
Амфиболиты, 206.
Амфиболъ, 254, 320, 321.
Анаморфизмъ, 386.
Ангидритъ, 108, 398.
Андалузитъ, 198, 320.
Андезинъ, 321.
Андезиты, 322.
Анортитъ, 311.
Антецедентныя рѣки, 468.
Антиклинальныя складки, 17, 211.
Антрацитъ, 146, 149.
Апофизы, 197.
Арагонитъ, 313.
Арктическая провинція, 102, 103.
Арктогея, 62.
Артезіанскіе колодцы, 389.
Архейскія породы, 188.
Архейскія ядра, 573.
Архитектоника, 1.
Астатическій маятникъ, 369.
Асфальтъ, 137.
Атмосферные агенты, 405.
Атоллы, 529.
Аутоморфные элементы, 324.

Б.

Базальтиты, 322.
Базальтовыя плато, 288.
Базальты, 322, 336.
Базисъ эрозіи, 445.
Барисфера, 4, 358.
Баритъ, 313.
Барранкосы, 283.
Барханы, 425.
Барьеровъ (теорія), 110.
„Бассейнъ магмы“, 335.
Батіальная область, 97, 98.
Батіальныя формаціи, 165.
Бентальные организмы, 72.
Бентогенные осадки, 116.
Бентосъ, 72.
Берега, 517.
Берега погруженія, 518.
Береговой валъ, 519.
Битовнитъ, 321.
Біономическіе факторы, 95.
Біотитъ, 311, 321.
Блуждающіе организмы, 80.
Богхеды, 144.
Бокситъ, 434.
Болотная желѣзная руда, 136.
Бо́льшее ложе рѣки, 451.
Бомбы (вулканическія) 274.
Боранитъ 109.
Бореальная провинція 102.
Борнокислыя соли 109.
Бостониты 336.
Ботаническія области 51,102.
Брадисейсмы 542.
Брахиантиклиналь 222.
Брахисинклиналь 222.
Брекчіи 118.
Брекчія дислокаціонная 268.
„ ложная 126.
„ тренія 253,268.
Бруссъ 57.
Бьющій водоносный слой 389.

В.

Вадозные источники 391.
Валунная глина 503.
Варисская цѣпь 241.
Вертикальныя движенія 256, 376.
Вздутія 582.
Взрывы 286.
Виды ископаемыхъ углей 140
Виргація 226.
Висячіе ледники 479.
Висячія долины 516.
Вкладываніе террасъ 469.
Вкрапленныя рудныя залежи 317.
Внутренныя морены 506.
Внѣшнія морены 506.
Вода 206.
Водныя теченія 76.
Водоносные горизонты 387.
Водорослевые угли 145.
Возгонка 315.
Возрастъ изверженій 300.
„ складчатости 238.
Возрожденный ледникъ 479.
Воклюзскіе источники 392.
Волноприбойные знаки 76, 165, 425.
„Волосы Пеле“ 279.
Воскъ минеральный 137.
Восточная область 61.
Восточно-Американская область 104.
Восходящіе источники 391.
Вторженіе моря 541.
Вторженія 286, 298.
Вулканическая фація 161.
Вулканическій конусъ 271, 288.
Вулканическіе продукты 272.
Вулканическія горловины 295.

Вулканическія изверженія 271.
Вулканическія пробки 294.
„ явленія 271.
Вулканы 18, 271, 341.
Выдѣленія газовъ 272.
Выступы 272, 277.
Выщелачиваніе 394.
Вѣерообразныя складки 214, 219.
Вѣнчающія глыбы 420.
„Вѣчное возвращеніе“ 21.

Г.

Габбро 206, 322, 331, 332.
Гавайскія изверженія 278.
Газаа 465.
Газовыя струи.
Галечники 119, 472.
Галечный валъ 119.
Галофиты 42.
Галька 518.
Гальки съ вдавленіями 396.
Гармоническая складчатость 235.
Гафы 519.
Геантиклиналь 173.
Гейзеры 308.
Географическое распространеніе морскихъ животныхъ 94.
Геодинамика 1, 5.
Геократическія перемѣщенія 541.
Геоморфогенія 5.
Геосинклинали 171, 172, 195.
Геотермическій градіентъ 193.
Геотермія 193.
Гетеропическія фаціи 158.
Гидрократическія перемѣщенія 541.
Гидростатическій уровень 385.
Гидросфера 4.
Гидротермическія жилы 316.
Гидротермическія рудныя залежи 312.
Гидротиметрическій градусъ 394.
Гидрофильныя растенія 43.
Гипабиссальныя породы 319.
Гипогенные источники 391.
Гипоцентръ 367.
Гипсъ 108, 398.
Глауконитъ 120, 129.
Глетчеры предгорій 479.
Глины 121.
Глинтогенезисъ 18.
Глобигериновый илъ 117, 158, 167.
Глубинныя породы 319.
Гнейсы 254.
Голарктическая область 60.
Гомеогонныя включенія 203.
Гомосейсты 367.
Гомотаксныя формаціи 160.
Горизонтальный сдвигъ 225, 380.
Горнблендиты 323.
Горные ледники 477.
Горныя масла 306.
„ породы глубиннаго происхожденія 319.
Горныя породы зеленыя 206.
„ изверженныя 319, 322.
Горныя породы огневыя 319.
Горстъ 264.
Горящіе фонтаны 307.
Гравій 119.
Гранатовые сланцы 188.
Граненые камни 430.
Гранитъ 196, 322, 332.
Гранулиты 332.
Гриффонъ 309.
Гроудиты 336.
Грязевые потоки 418.

Д.

Давленіе 558.
Дациты 322.
Двойныя горныя цѣпи 576.
Дейки 284, 293, 421.
Дейки песчаныя 366.
Дейтогенныя породы 107, 118.
Дельта 152, 520.
Дендриты 398.
Денудація вулкановъ 282.
Денудирующая работа текучихъ водъ 454.
Десквамація 407.
Дефляція 421.
Джунгли 57.
„Дикія“ воды 419.
Дилювій 472.
Дилювій красный 399.
Динамометаморфизмъ 192, 253.
Дисгармоническая складчатость 235.
Диссимметрія горныхъ цѣпей 561.
Дислокаціи 210.
Дифференціація магмъ 335.
Діагенезисъ 122, 403.
Діагональный сбросъ 261.
Діаклаза 257.
Діастазы 148.
Діастрофизмъ 210.
Діасхистовыя дейки 336.
Діатомовый илъ 118, 167.
Діатремы 295.
Діориты 322, 332.
Долериты 322.
Долины 395.
Долина мертвая 460.
„ сухая 460.
Доломитъ 313, 397.
Дополнительныя дейки 336.
Дрейкантеры 430.
„Дѣвы“ 420.
Дѣйствіе тангенціальнаго напора 558.
Дюны 422.

Ж.

Жеоды 126, 400.
Жесткая вода 394.
Жизненный циклъ рѣки 453.
Жизнь на континентахъ 35.
Жилы 268, 313.
Жилы пластовыя 300.
Жильныя породы 320, 328.
Жирный каменный уголь 146.

З.

Заатлантическая провинція 103.
Заводь 452.
Загибъ 226.
Законы трансгрессій и регрессій 548.
Зальбандъ 293.
Замки складокъ 211.
Западно-Американская область 104.
Западно-Африканская область 104.
Запертый водный горизонтъ 389.
Затопленныя долины 535.
Захватные загибы 459.
Захватъ рѣками сосѣднихъ бассейновъ 456.
Зачаточные потоки 445.
„Защитная корка“ 408.
Землетрясенія 18, 360.
Земная динамика 1.
„Зеркало сброса“ 268.
Зернистая структура 327.
Зоны отложеній 178.
„ палеонтологическія 159
„ тектоническія 178, 226.
Зоологическія области 51, 58, 102.
Зубчатыя лавы 276.

И.

Идіоморфные элементы 324.
Изверженныя породы 319, 322.
Известелюбныя растенія 42.
Известефобы (растенія) 42.
Известковые солиты 107.
Известковые туфы 162.
Измѣненія безъ разрыва 249.
„ съ разрывомъ 249.
„ (формы слоевъ) 210, 243.
Изобазы 545.
Изогеотермы 195.
Изоклинальныя складки 214.
Изосейсты 367.
Изостазія 562, 580.
Извращеніе рельефа 465.
Илоядныя животныя 92.
Илъ терригенный 121.
Иммерзія 541.
Индо-Малайская область 61.
Индо-Тихоокеанская провинція 103.
Инкрустаціи Тиволи 435.
Инландсейсы 477.
Интеркотидальная зона 95.
Ископаемыя 3.
Истеченіе 253.
Истираніе 253.
Источники 390, 434.
Источники гипогенные 308.
„ горячіе 303, 309.
„ огненные 307
Исштрихованные валуны 497, 503.

І.

Іёлиты 323, 332.

К.

Калааты 465.
Кальдера 287.
Каменный уголь 146.
„ уголь морского происхожденія 153.
Камптониты 337.
Каолинизація 399.
Карманы 397.
Карналитъ 109.
Карніоль 397.
Карраскосъ 57.
Катавотры 395.
Катакластическая структура 253.
Катаморфизмъ 386.
Качающіеся камни 413.
„Кающіеся грѣшники“ 433.
Кварциты 402.
Кельтская провинція 103.
Кеннельскіе угли 144.
Керсантиты 330.
Кизеритъ 109.
Кислыя породы 329.
„ фумаролы 304.
Классификація эруптивныхъ породъ 322, 327.
Кластическія отложенія 107.
Климатическіе пояса 51.
„ факторы 43.
Клинъ 270.
Ключи обнаженій 391.
Колодцы естественные 394.
Колоніи 527.
Комбы 465.
Конгломераты 118, 472.
Конкреціи 126.
Конкреціонныя жилы 316.
Контактный метаморфизмъ 191.
Континентальная масса 26.
Континентальныя моря 26.
Континентальная платформа 31, 523.
Континентальныя площади, массы 171, 180. 181.
Конусъ выноса 446.
Конусы осыпей 415.
Конхіолинъ 112.
Копролиты 146.
Коралловые острова 529.
„ рифы.
Корразія 422, 427.
Коррозія 427, 430, 496, 538.
Коса 519.
Косая складка 213.
Косвенная слоистость 119, 436.
Косейсты 367.
Космополитическіе виды 46.
Косое напластованіе 472.
Кошачьи головы 397.
Красная глина 127, 167.
Кратеръ 271. 287.
Кратеры поднятія 556
Кремнелюбныя растенія 42.
Кристаллиты 324.
Кристаллическіе сланцы 187.
Кріоконитъ 436.
Кровное родство породъ 334.
Кругополярная область 60.
Крылья сброса 258.
Ксеноморфные элементы 324.
Ксерофилы 43.
Кулисное распредѣленіе складокъ 227.
Куполы 222, 277.
Курчавыя скалы 497.
Кучевые вулканы 290.

Л.

Лавы 272, 275, 351.
Лавовые потоки 275, 291.
Лавины 415.
Лавины сухія 276.
Лагони 308.
Лагуна 529.
Лагунно-озерныя формаціи 162.
Лакколиты 298.
Лампрофиры 330.
Латеритъ 434.
Лаурвикиты 332.
Ледники 475.
Ледниковая серія 496.
„ фація 161.
Ледниково-рѣчной аппаратъ 496.
Ледниковый комплексъ 496.
Ледниковыя мельницы 488.
Ледниковый періодъ 504.
Ледниковые покровы 477.
Лежачая складка 213.
Лейкократовыя породы 321.
Лейкотефриты 323.
Лейцититы 323, 332.
Лёссъ 397, 436.
Лёссовыя куклы 397.
Лигнитъ 142.
Лиманы 521.
Лимбургиты 323.
Линія анормальнаго соприкосновенія 223.
Литогенезисъ 14.
Литосфера 4.
Ложе выноса 446.
Ложная брекчія 126.
Ложный кливажъ 251.
Лузитанская провинція 103.
Люмахеллы раковинные мраморы 116.
Ляпилли 274.

М.

Маары 287.
Магелланская провинція 103.
Магматическіе параметры 332.
Магнезіальная магма 333.
Мадагаскарская область 63.
Максимальный размахъ 363.
Мангровыя заросли 39.
Материковыя животныя 35.
Меандры 451.
Медленныя колебанія почвы 542.
Межледниковыя формаціи 505.

Мезократовая порода 321.
Меланократовыя породы 321.
Мелилититы 323.
Мелкозернистая структура 326.
Мёньшее ложе рѣки 451.
Мергель 121.
Метаморфизмъ 15, 106, 187, 310, 403.
Метаморфическія породы 319.
Метасоматозъ 106, 192, 403.
Микрогаббро 322.
Микрограниты 322.
Микродіориты 322.
Микрокерсантиты 330.
Микролиты 324.
Микролитовая структура 325.
Микроминетты 330.
Микронориты 322.
Микросіениты 322.
Миндалевидная складчатость 226.
Минерализаторы 201.
Минерогенныя породы 118.
Минетты 330, 336.
Миссуриты 323, 332.
Монцониты 332.
Моноклинальная долина 464.
Моноклинальная складка 256.
Морены 493, 506.
Моренный амфитеатръ.
Морская вода 107.
„ соль 108.
Морскія регрессіи 537.
„ трансгрессіи 537.
Морское побережье 514.
Мостовая гигантовъ 292.
Мофетты 304.
Мульда 211.
Мѣлъ 122, 167.
Мѣстные ледниковые покровы 478.
Мэзы 463.

Н.

Нáволокъ 216.
Нагельфлю 248.
Надвиги 234.
Наложенныя рѣки 468.
„ складки 218.
Напорные отрывы 224.
Направленіе орогеническихъ движеній 556.
Направленіе сброса 260.
Неве 480.
Нектонъ 80.
Нектонные организмы 82.
Неоарктическая область 60.
Неовулканическая серія 328.
Неогея 63.
Неполнокристаллическія породы 324.
Неритовая область 95.
Неритовыя образованія 162, 171.
Несогласно падающій сбросъ 259.
Несогласное напластованіе 537.
Несогласное направленіе рѣки 464.
Несогласное отложеніе 21.
Нефелиниты 323.
Нефти 137, 306.
Нисходящіе источники 391.
Нитрификація 410.
Нордмаркиты 332.
Нориты 322, 332.
Нормальный сбросъ 258.
Нормальныя складки 213.
Нунатаки 478.

О.

Обвалы 11, 416.
Обелискъ 277.
Области воздыманія 229.
„ погруженія 229.
Обломочные конусы 288.
Обломочныя породы 107.
Образованіе доломита 126.
Обратная опрокинутость 561.
Обращенный сбросъ 258.
Огневыя породы 319.
Одностороннее давленіе 558.
Одряхленіе рѣки 471.
Озера 107.
Озерныя отложенія 161.
Озокеритъ 137.
Озы 503.
Окна 224.
Опока 121, 125.
Опрокинутая складка 213.
Органогенныя породы 118.
Орогенезисъ 16.
Орогеническія движенія 551.
„ теоріи 556.
Осадочныя горныя породы 105.
Основной конгломератъ 120, 539.
Основныя породы 329.
Осыпи 11, 415.
Осѣданія 557.
Осѣданія по средиземноморскимъ овалламъ 346.
Отложеніе 12, 14.
Отложеніе осадковъ 13, 105,
Отрицательныя движенія 541.
Офитовая структура 326.

П.

Паденіе слоя 17.
Палеарктическая область 60.
Палеовулканическая серія 328
Панамская провинція 103.
Паразитные конусы. 194.
Параклаза 257.
Парки 55,57.
Пегматиты 327.
Пегматитовая текстура 327.
Педологія 42,412.
Пелагическіе организмы 80, 167.
Пелагіальная область 100.
Пелейскій типъ изверженій 280.
Пелитовыя породы 118,121.
Пемза 274.
Пенеплена 20,454.
Пентагональная сѣть 564.
Пентагональный додекаэдръ 565.
Пепелъ (вулканическій) 275.
Пепловые конусы 290.
Первичныя породы 21.
Перекрываніе 216.
Перемѣщеніе береговыхъ линій 534.
Переносъ 12, 414, 421, 447, 493, 518.
Переходный конусъ 496.
Перидотиты 323.
Перидотитовая магма 331.
Периклинальное окончаніе 221.
Периферическіе сбросы 265.
Перлитовая текстура 325.
Пески 120, 275, 472.
Песокъ доломитовый 397.
Песчаники 120.
Петрографическія провинціи 334.
Пещеры 40,395.
Пики 414.
Пикриты 323.
Пероксенолиты 323.
Плагіоклазиты 322.
Планктонъ 80, 82, 117.
Планктогенные осадки 116.
Плейстосейстовая зона 368.
Пневматолитическія образованія 316.
Побочные конусы 294.
Поверхностныя породы 319.
Поглощающіе каналы 394.
Подводныя вулканическія изверженія 280.
Подземныя воды 384.
„ отложенія 400.
„ рѣки 389.

Подледниковые карманы 488.
Подледниковыя рѣки 488.
Поднятіе 355.
Поднятіе горныхъ цѣпей 578.
Поднятія и опусканія почвы 544.
Подстава или замѣщеніе 226.
Покровный лоскутъ 223.
Покровы наволоковъ 218.
Поле разломовъ 244.
Полевошпатовая зона 201.
Полевые шпаты 321.
Полисинтетическіе ледники 478.
Полнокристаллическія породы 324.
Положительныя движенія 541.
Полуглубинныя породы 319.
Полужирный каменный уголь 146.
Полярный поясъ 54.
Потемочная фауна 40.
Потоки 443.
Предвареніе равноденствій 508.
Предупредительные удары 364.
Предѣльный склонъ 447.
Прибрежная платформа 515, 525.
Прибрежныя формаціи 162.
Приливные валы 362.
Продольный сбросъ 261, 267,
Пропасти 394.
Простираніе 17,313.
Простыя горныя породы 106.
Протогенные осадки 107.
Протогинъ 254.
Профиль равновѣсія 445, 450.
Пруды (étangs) 519.
Прѣсныя воды 36, 107.
Прямая складка 213.
Прямоугольная сѣть 566.
Псаммиты 120.
Псаммитовыя породы 118.
Псевдоморфозы 400.
Псефитовыя породы 118.
Птероподовый илъ 117, 167.
Пуласкиты 332.
Пустыня 56.
„Пустынный загаръ“ 408.
Пьезометрическая поверхность 385.

Р.

Работа текущихъ водъ 442.
Равнины морской денудаціи 527.
Радіоляріевый илъ 117, 167.
Разрывы 210.
Разрыхленіе 385, 406.
Разрѣзы массивовъ 197.
Ракушечники 116.
Раскаленныя тучи 273.
Раскалываніе континентовъ 378.
Распадъ 406.
„Расплывчатыя соли“ 108.
Расплющиваніе 249.
Распространеніе ледниковъ 501.
Раствореніе 123, 392.
Растительная ассоціація 53.
Реликтовыя фауны 85.
Рельефъ земной поверхности 412.
Рифы барьерные 529.
„ береговые 529.
„ коралловые 527.
Ріасы 517.
Ріолиты 322, 336.
Роговикъ 198.
Рои землетрясеній 364.
Рудничный газъ 149.
Рудныя залежи 312.
Руководящія ископаемыя 158.
Рухляки 407.
Рытвины 415.

С.

Саванны 55, 57.
Сапропель 138.
Сборный бассейнъ 445.
Сбросы 18, 244, 257.
Сбросы зіяющіе 268.
Сбросовый ровъ 262.
Свидѣтели 20, 456.
Свѣтлые элементы 321.
Свѣтопрозрачная область 89.
Сейсмологія 362.
Сейсмическія явленія 362.
Сейсмическая географія 376.
Сейсмографы 366, 368.
Сейсмограммы 368.
Селенитовые источники 393.
Семейственное сходство породъ 334.
Серпентинъ 321.
Сентаріевыя глины 167.
Серебряный блескъ 313.
Серицитовые сланцы 188.
Силикаты 127, 311, 320.
Синій грунтъ 297.
Синіе порфиры 300.
Синклинальныя складки 17, 211.
Сіениты 322, 332.
Скандинавскій типъ ледниковъ 478.
Складки 213.
Складка—сдвигъ 215.
Складчатость 210.
Скрытая пластичность 251.
Сланцевато-кристаллическія породы 187.
Сланцевое масло 138.
Сложные ледники 479.
Сложные силикаты 321.
Сложныя горныя породы 106.
Слюдистые сланцы 198, 206, 254.
Смолистыя породы 138.
Смывъ 442.
Смываніе складокъ 226.
Согласное направленіе рѣки 464.
Согласно падающій сбросъ 259.
Согласованіе устьевъ 451.
Солоноватоводныя животныя 84.
Сольфатары 305.
Сонорская область 61.
Сопряженные сбросы 264.
Составъ породъ 319.
Соффіони 308.
Спутники руды 313.
Среднія горныя породы 329.
Сталагмиты 401.
Сталактиты 401.
Старица 452.
Старость рѣки 454.
Стекловатыя породы 324.
Стенотермы 86.
Стилолиты 248.
Страто-вулканы 290.
Структура породъ 319.
Структурная поверхность 219.
Стрѣлка 519.
Ступенчатыя сбросы 259.
Субаэральныя отложенія 161, 433.
Субсеквентная рѣка 464.
Суглинокъ 161, 397, 423, 472.
Сферолиты 324.
Сѣрномышьяковистыя соединенія 313.
Сѣрносурьянистыя соединенія 313.
Сѣрыя вакки 396.

Т.

Тальвеговые ключи 390.
Тангенціальныя движенія 211, 377.

Тектоническія зоны 178.
Телесейсмы 370.
Темнотная область 89.
Темные элементы 321.
Теорія бокового выдѣленія рудъ 314.
Теорія расширенія 558, 580.
„ сжатія 559, 580.
„ скольженія 563.
Теоріи вулканизма 341.
Теплые источники 391.
Тералитовая магма 331.
Террасы 469.
Терригенные илы 167.
Терригенныя отложенія 129.
Тетраэдрическая система 567.
Тефриты 323, 332.
Тингвапты 336.
Тоналиты 332.
Торфяники 141.
Тощій каменный уголь 146.
Травертины 162, 435.
Трансгрессія 20.
Трапъ 292.
Трахиты 322, 332.
Трепелъ 169.
Трещины 366, 485.
Трихиты 324.
Тропическій поясъ 57.
Тропофильныя растенія 43.
Тсунамисъ 362.
Туфы вулканическіе 275.
„ известковые 162, 435.

У.

Убѣнчанныя пирамиды 420.
Углеводороды 146, 149, 305.
Углекислота 273, 305, 310, 409.
Углеродистые водороды 136.
Угли ископаемые 140.
Угольная фація 162.
Удаленіе 414, 421.
Узловатые сланцы 199.
Умѣренные пояса 54.
Уносъ 447, 486, 514.
Усыханіе земли 386.
Утесы (Klippen) 224.
Ущелья 501.

Ф.

Факторы распредѣленія 45.
Фаціи 157.
Фація осыпей 161.
„ элювіальная 161.
Фельдшпатиды 321.
Фенокристы 324.
Фестонъ 240
Фестонныя складки 237.
Филлиты 254.
Фіорды 499.
Флексура 256.
Флювіогляціальные галечники 496.
Флюидальная текстура 325.
Фойаититовая магма 331.
Фонолиты 322, 332.
Формація 158.
Формація растительная 51.
Формаціи эстуаріевъ 162.
Фреатическій горизонтъ 385.
Фульгуриты 406.
Фумаролы 272, 303, 334, 339.

Х.

Халцедонъ 320.
Хлористыя соединенія 311, 410.
Хлоритовые сланцы 188.

Ц.

Цементація 386, 401.
Центральная впадина 496.
Циклъ геологическихъ явленій 11.
Циклы эрозіи 467.
Цинковая обманка.
Цирковые ледники 480, 500.

Ч.

Чаши 222.
„Черныя земли“ 419.
Чешуйчатое строеніе 217.

Ш.

Шальштейны 293.
Шонкиниты 332.
Шапка ангидрита 110.
„ желѣзная 399.
Шаровидный распадъ 414.
Шкала Росси и Фореля 366.
Шлаки 274.
Шлаковые конусы 294.

Щ.

Щелочно-гранитовая группа 332.
Щелочно-сіенитовая группа 332.
Щелочныя фумароллы 304.

Э.

Эвритермы 86.
Эвстатическія движенія 543.
Эгириновыя породы 333.
Эдафическіе факторы 41.
Эквивалентныя формаціи 160.
Экзогенныя породы 105.
Экзоморфный метаморфизмъ 202.
Экспериментальный методъ 210.
Элеолитъ 321.
Элеолитовая группа 332.
Элеолитовые сіениты 332.
Элювій 433.
Элювіальныя образованія 433
„Эмбріоны вулкановъ“ 297.
Эмерзія 541.
Эналлогенныя включенія 203.
Эндогенныя породы 105.
Эндоморфный метаморфизмъ 202.
Эоловыя отложенія 13, 161, 436.
Эпейрогеническія движенія 551.
Эпигенныя 468.
Эпирогеническія движенія 551.
Эпицентръ 367.
Эрозія 442.
Эрратическіе валуны 502.
Эстуаріи 520.
Эфіопская область 60.

Ю.

Южно-Американская область 62.

Я.

Ядро вулкана 284.
Японская провинція 103.
Ярданги 428.
Ячеистая структура 413.

A.

Andalusithornfels 198.
Avens 394.

B.

Barrisal guns 365.
Base-level 445.
Bergschrund 485.
Blatt 225.
Bosjes 56.
Boulder clay 503.

C.

Casses 415.
Chouruns 394.
Cloups 395.

D.

Dovns 421.

E.

Emposieux 395.
Euryhalina 84.

F.

Foibe 395.

H.

Hog-backs 421.

I.

Igues 394.

K.

Kames 503.
Kar 500.
Knotenglimmerschiefer 198.
Knotenthonschiefer 199.

L.

Lapiaz 431.

M.

Meroplankton 82.
Mistpoeffers 365.
Mörtelstructur 253.

N.

Necks 286.
Nehrung 519.

O.

Olettes 393.
„Oucane“ 431.
Oules 393.
Oulettes 393.
Ox-bove 453.

R.

Rascles 431.
Retumbos 365.
Rimage 485.
Rochage 339.
Rombos 365.
Rückfaltung 561.
Ruz 464.

S.

Schaarung 226.
Scrub 56.
Seter 536.
Sills 300.
Stenohalipa 84.
Surimposition glaciaire 501.

T.

Terra rossa 395.
Tiefengesteine 319.
Tindouls 394.
Tombolo 519.

U.

Under-clay 151.

Y.

Valleuses 516.
Vêlage 489.

Z.

Zungenbecken 496.

ОГЛАВЛЕНІЕ

Стр.

Предисловіе проф. Е. Ога I
Предисловіе редактора II

Введеніе, 1.—Литература, 6.

ПЕРВАЯ ЧАСТЬ

Геологическія явленія.

Глава I.—**Циклъ геологическихъ явленій** 11
Примѣры геологическихъ явленій,11.—Литогенезисъ, 14.—Орогенезисъ, 16.—Глиптогенезисъ, 18. — Послѣдовательность цикловъ, 20.—Литература, 24.

Глава II.—**Общая морфологія земли** 25
Современное распредѣленіе морей и суши, 25.—Распредѣленіе большихъ глубинъ и большихъ возвышенностей, 28.—Литература, 34.

Глава III.—**Жизнь на континентахъ** 35
Среда и жизнь, 35.—Жизнь въ прѣсной водѣ, 36.—Жизнь на морскомъ побережьѣ, 39.—Жизнь на материкѣ, 40.—Факторы географическаго распредѣленія живыхъ существъ на континентахъ, 41. — Литература, 50.

Глава IV.—**Ботаническія и зоологическія области** 51
Климатическіе пояса, 51.—Зоологическія области, 58.—Литература, 68.

Глава V.—**Физическій характеръ морской среды** 70
Соленость морской воды, 70.—Растворенный газъ, 72.—Температура, 73.—Движеніе на поверхности, 75 —Литература, 78.

Глава VI.—**Условія существованія морскихъ животныхъ** . . . . . .
Присутствіе или отсутствіе твердаго субстрата (морского дна) въ жизни морскихъ растеній и животныхъ, 80.—Механическія вліянія, 83.— Соленость, 84.— Давленіе, 85.— Температура, 86.— Свѣтъ, 89.— Пища, 91.—Природа дна, 92.—Литература, 93.

Глава VII.—**Географическое распространеніе морскихъ животныхъ** . . 94
Біономическія подраздѣленія морской среды, 94.—Второстепенные факторы, опредѣляющіе распространеніе морскихъ животныхъ, 100.—Морскія зоологическія провинціи, 102.—Литература, 104.

Глава VIII.—**Образованіе отложеній** 105
Общія замѣчанія, 105.—Протогенныя горныя породы химическаго происхожденія, 107—Протогенныя горныя породы органическаго происхожденія, 112.—Дейтогенныя горныя породы, 118.—Литература, 122.

Глава IX.—**Діагенезисъ** 123
Растореніе, 123. — Перекристаллизація растворенныхъ элементовъ, 124.—Образованіе доломита, 126.—Разложеніе силикатовъ, 127.—Разложеніе органическаго вещества, 130.—Литература, 139.

Глава X.—**Ископаемые угли** 140
Общія замѣчанія, 140.—Торфъ, 141.—Бурый уголь, 142.—Богхедъ и лосковый уголь, 144.—Каменный уголь, 146.—Образованіе каменнаго угля, 147.—Литература, 155.

Глава XI.—**Фаціи** 157
Опредѣленіе, 157.—Континентальная среда, 161.—Среда лагунъ, 162.—Морская среда, 162.—Заключеніе, 169.—Литература, 170.

Глава XII.—**Геосинклинали и континентальныя площади**. 171
Неритовыя и батіальныя серіи, 171.—Понятіе о геосинклиналяхъ, 172.—Расположеніе горныхъ цѣпей на мѣстахъ геосинклиналей, 174.—Отношеніе геосинклинальной оси къ направленію позднѣйшихъ складокъ, 178.—Расположеніе геосинклиналей по отношенію къ континентальнымъ массамъ, 180.—Древнія континентальныя площади, 181.—Литература, 185.

Глава XIII.—**Метаморфизмъ** 187
Общіе признаки метаморфическихъ горныхъ породъ и ихъ главнѣйшіе типы, 187.—Общія условія метаморфизма, 191.—Геотермія, 193.—Отношеніе гранита къ соприкасающимся съ нимъ породамъ, 196.—Литература, 208.

Глава XIV.—**Складчатость** 210
Діастрофизмъ, 210.—Изученіе складокъ на поперечныхъ разрѣзахъ, 210.—Изученіе складокъ въ продольномъ направленіи, 219.—Группировка складокъ, 225.—Области воздыманія и области погруженія, 229.—Складки въ разнородныхъ массахъ, 232.—Послѣдовательное образованіе складокъ въ одной и той же области, 236.—Литература, 242.

Глава XV.—**Внутреннія измѣненія горныхъ породъ при орогеническихъ движеніяхъ**. 243
Скручиваніе, 243.—Давленіе, 246.—Сплющиваніе, 249.—Истираніе, 253.—Динамометаморфизмъ, 253.—Литература, 255.

Глава XVI.—**Вертикальныя движенія земной коры**. 256
Сбросы и флексуры, 256.—Изученіе сбросовъ въ поперечномъ разрѣзѣ, 257.—Изученіе сбросовъ въ планѣ, 260.—Связь сбросовъ со складчатостью, 265.—Явленія, сопровождающія образованіе сбросовъ, 268.—Абсолютное значеніе вертикальныхъ движеній земной коры, 268.—Литература, 270.

Глава XVII.—**Вулканическія изверженія** 271
Опредѣленіе, 271.—Физическій характеръ вулканическихъ продуктовъ, 272.—Типы изверженій, 278.—Литература, 281.

Глава XIII.—**Строеніе эруптивныхъ аппаратовъ** 283
Денудація вулканическихъ аппаратовъ, 283.—Значеніе взрывовъ въ разрушеніи вулканическихъ аппаратовъ, 286.—Типы строенія вулканическихъ конусовъ, 288.—Лавовые потоки, 291.—Дейки, 293.—Побочные конусы, 294.—Вулканическія пробки, 294.—Вулканическія горловины, 295.—Лакколиты. 298.—Возрастъ изверженій, 300.—Литература, 301.

Глава XIX.—**Фумароллы и горячіе источники** 303
Фумароллы, 303.—Выдѣленіе углеводородныхъ соединеній, 306.—Гипогенные источники, 307.—Метаморфизмъ, обусловленный фумароллами и горячими источниками, 310.—Рудныя жилы гидротермическаго происхожденія, 312.—Литература, 317.

Глава XX.—**Структура и составъ породъ глубиннаго происхожденія** . 319
Общія замѣчанія, 319.—Элементы породъ глубиннаго происхожденія, 320.—Структура породъ глубиннаго происхожденія, 325.—Классифика-

ція изверженныхъ породъ, 327.—Химическій составъ породъ, 330.—Петрографическія провинціи, 334.—Дифференціація магмъ, 335.—Литература, 339.

Глава XXI.—**Географическое распредѣленіе вулкановъ. Теоріи вулканизма** 341

Географическое распредѣленіе вулкановъ, 341.—Раскалываніе континентовъ, 348.—Происхожденіе лавъ, 351.—Происхожденіе газовыхъ изверженій, 352.—Поднятіе вулканическихъ продуктовъ, 355.—Пиросфера и барисфера, 357.—Литература, 359.

Глава XXII.—**Землетрясенія** 361

Общія замѣчанія, 361.—Видимые результаты землетрясеній, 362—Методическое изученіе землетрясеній, 366.—Сейсмографы и сейсмограммы, 368.—Причины землетрясеній, 372.—Географическое распредѣленіе землетрясеній и связь ихъ съ дислокаціями земной коры, 376.—Происхожденіе подводныхъ землетрясеній, 380.—Литература, 382.

Глава XXIII.—**Подземныя воды**. 384

Подземныя воды, 384.—Водоносные горизонты, 387.—Источники, 390.—Явленія растворенія, 392.—Явленія гидратаціи, 397.—Явленія окисленія, 398.—Разложеніе силикатовъ, 399.—Подземныя отложенія, 400.—Цементація, 401.—Литература, 403.

Глава XXIV.—**Работа атмосферныхъ агентовъ** 405

1. Разрыхленіе и распадъ породъ, 406.—Физическое вывѣтриваніе, 406.—Химическое вывѣтриваніе, 407.—Вывѣтриваніе при участіи организмовъ, 410.—Рельефъ земной поверхности, обусловленный вывѣтриваніемъ, 412.

2. Удаленіе и переносъ продуктовъ вывѣтриванія, 414.—Значеніе тяжести, осыпи, 415.—Обвалы, 416.—Грязевые потоки, 418.—Сносъ обломковъ дождевыми струями, 419.—Вѣтеръ, какъ агентъ удаленія и переноса обломковъ, 421.

3. Корразія и коррозія, 427.—Корразія, 427.—Коррозія, 430.

4. Отложеніе осадковъ, 433.—Элювіальныя образованія, 433.—Отложенія ключей, 434.—Отложенія дождевой водой, 435.—Эоловыя отложенія, 436.—Литература, 438.

Глава XXV.—**Работа текучихъ водъ** 442

Эрозія и смывъ, 442.—Потоки, 443.—Отдѣлы теченія рѣки, 449.—Денудирующая работа текучихъ водъ, 454.—Перемѣщеніе водораздѣловъ и захватъ сосѣднихъ бассейновъ, 456.—Дѣйствіе текучей воды на горныя породы различнаго состава, 460.—Дѣйствіе текучихъ водъ въ складчатыхъ областяхъ, 463—Послѣдовательные циклы эрозіи и образованіе террасъ, 467.—Отложеніе осадковъ, 471.—Литература, 472.

Глава XXVI.—**Ледники** 547

Географическое распредѣленіе ледниковъ и ихъ главные типы, 475.—Происхожденіе льда глетчеровъ и его физическія особенности, 480.—Движеніе ледника и причины этого движенія, 482.—Уносъ льда, 486.—Измѣненія режима ледниковъ, 489.—Явленія переноса и отложенія, 493.—Коррозія, 496.—Прежнее распространеніе ледниковъ, 501.—Доказательства неоднократнаго вторженія ледниковъ, 504.—Гипотезы о причинахъ ледниковыхъ періодовъ, 507.—Литература, 510.

Глава XXVII.—**Морское побережье** 514

Общія замѣчанія, 514.—Уносъ матеріала, 514.—Переносъ и отложеніе осадковъ. 518.—Эстуаріи и дельты, 520.—Образованіе континентальной платформы, 523.—Коралловые рифы, 527.—Литература, 532.

Глава XXVIII.—**Перемѣщеніе береговыхъ линій** 534

Доказательства недавнихъ перемѣщеній береговыхъ линій, 534.—Морскія трансгрессіи и регрессіи, 537.—Причины перемѣщенія бере-

говыхъ линій, 541.—Поднятія и опусканія почвы, 544.—Законы трансгрессій и регрессій, 548.—Орогеническія и эпейрогеническія движенія, 551.—Литература, 554.

Глава XXIX.—**Орогеническія теоріи** 556

Направленіе орогеническихъ движеній, 556.—Дѣйствіе тангенціальнаго напора, 558.—Локализація явленій складкообразованія, 564.—Достигнутые результаты, 572.—Двѣ гипотезы, 580.—Литература, 582.

Указатель геологическихъ и техническихъ терминовъ 585

ОПЕЧАТКИ.

Стран.	*Строка.*	*Напечатано.*	*Слѣдуетъ.*
11	12 сверху	станавливаютъ	останавливаютъ.
12	15 снизу	напесенныя	нанесенные
15	2 сверху	познакомила	познакомили
16	5 снизу	извѣтный	извѣстный
17	10 „	антикликальныя и синкликальныя	антиклинальныя и синклинальныя
18	12 „	глиптогенеза	глиптогенезиса
21	16 сверху	совренный	современный
25	4 снизу	доходитъ до 40%	занимаетъ 40%
32	7 сверху	высокіе	высокія
32	17 „	который	которой
32	22 „	раздѣляетъ	отдѣляетъ
32	22 „	на востокъ	на востокѣ
32	1 снизу	хребетъ	кряжъ
37	5 сверху	вся именно морского	вся морского
38	5 „	нѣсколько тропическихъ	нѣсколькими тропическими
39	17 „	вынесть	выносить
40	10 „	отдаленныхъ областяхъ	отдаленныхъ отъ моря областяхъ
58	13 „	очартить	очертить
60	13 „	между собою; вслѣдствіе этого	между собою, то
61	1 снизу	изъ насѣкомыхъ	изъ насѣкомоядныхъ
62	2 сверху	многочисленныя	многочисленные
62	3 „	*роды*	роды
62	16 снизу	американами	Американами
64	20 сверху	къ Эфіопскихъ типамъ	къ Эфіопскимъ типамъ
64	13 снизу	различными	отличными
64	5 „	въ африканскимъ	къ африканскимъ
68	16 сверху	целебесъ	Целебесъ
79	3 снизу	или ведетъ	или вслѣдствіе того что ведетъ
81	15 фиг.	рокообразнаго	ракообразнаго
85	4 сверху	въ очень значительныхъ измѣненіяхъ	къ очень значительнымъ измѣненіямъ
86	9 снизу	уклоненія объ	уклоненія отъ
89	20 сверху	аммониты	аммонитовъ
90	13 „	періодовъ (*Conocoryphe* фиг. 18), *Ellypsocephalus Trinucleus* фиг. 19	періодовъ (*Conocoryphe*, фиг. 18, *Ellypsocephalus*, *Trinucleus*, фиг. 19),
92	17 „	(карт. 22)	(фиг. 22)
97	12 снизу	его	ее
98	4 сверху	изнѣненій	измѣненій
103	17 „	расположенныя	расположенные
104	11 „	распространеніемъ ведущихъ пелагическій образъ жизни, личинокъ десятиногихъ раковъ	распространеніемъ личинокъ десятиногихъ раковъ, ведущихъ пелагическій образъ жизни
106	14 „	они	онѣ
107	3 „	протогенныя	протогенные
107	12 снизу	инструкціи	инкрустаціи
108	14 сверху	должны были	должны бы были
109	14 „	Страссфуртѣ	Стассфуртѣ

109	19 сверху	Каинитъ	каинитъ
111	19 снизу	образующихся	обнажающихся
111	1 „	Алжирскаго плоскогорія. О. Б.	Алжирскаго плоскогорія.
112	9 „	(Целлюлоза)	Целлюлоза
113	9 сверху	такое незначительное количество	такого незначительнаго количества
113	12 „	употреблять сѣрнокислыя соединенія, для переработки ихъ въ своемъ организмѣ въ углекислую соль	перерабатывать въ своемъ организмѣ сѣрнокислыя соединенія въ углекислую соль
114	7 „	(jsopoda)	(Isopoda)
117	16 „	Послѣ своей смерти скелеты	Послѣ смерти животныхъ ихъ скелеты
117	7 снизу	Анлатическомъ	Атлантическомъ
118	5 сверху	испаряемости большого	испаряемости и большого
118	3 снизу	цементированныхъ	сцементированныхъ
120	9 сверху	тронсгрессивной	трансгрессивной
121	21 „	окраску; или	окраску, и
123	6 снизу	послѣдніе	послѣднія
134	2 сверху	богатыя	богатые
134	10 „	богатыя	богатые
137	13 снизу	однои зъ	одно изъ
141	5 „	ксерофильные	ксерофильныя
145	19 сверху	charbons d'Algues	charbons d'algues
146	19 „	содержащихъ	содержащимъ
147	18 „	антроколитической	антраколитической
148	7 снизу	студинистую	студенистую
149	2 „	появляются	образуются
161	14 „	образуются тогда дѣйствіемъ	образуются дѣйствіемъ
161	13 „	и, ихъ принято	и тогда ихъ принято
163	3 „	соотвѣтствующее	соотвѣтствующіе
166	6 сверху	такъ какъ	какъ
179	12 „	оси геосинклинали, причемъ оси ихъ сохраняютъ	оси геосинклиналей, причемъ онѣ сохраняютъ
183	4 снизу	на югѣ-востокѣ	на юго-востокѣ
193	6 сверху	происходившую много ниже	происходившую при температурѣ много ниже
206	16 снизу	(Schistes Lustris)	(Schistes Lustrés)
226	5 сверху	(Schaarung)	Schaarung
232	16 снизу	Бріансонской зоны	Бріансонскойзоны(фиг.74)
251	Фиг. 89	Фретдъ-де-Сайлъ	Фреттъ-де-Сайль
261	3 сверху	(фиг. 97, F′S′)	(фиг. 97, F′F′)
261	7 „	(рис. 97,FF, S″S″)	(фиг. 97, FF, F″F″)
272	12 снизу	Лысой горы	горы Пеле