

Проф. Д. И. Мушкетов

**КРАТКИЙ КУРС
ОБЩЕЙ ГЕОЛОГИИ**

Проф. Д. И. МУШКЕТОВ

КРАТКИЙ КУРС ОБЩЕЙ ГЕОЛОГИИ

Допущено Научно-Технической Секцией
ГУС'а в качестве пособия для ВУЗ'ов

НАУЧНОЕ ХИМИКО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВСНХ
ЛЕНИНГРАД
1929

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Год тому назад в предисловии к третьему изданию „Физической Геологии“, оправдывая его вынужденную громоздкость и энциклопедичность, я выражал сожаление по поводу того, что мы в СССР не можем еще позволить себе удовольствие и роскошь иметь по одному и тому же предмету курсы разных масштабов или же ограничиваться чисто догматическими учебниками, умышленно не содержащими ни одной цитаты, ни одного имени, в предположении, что всякий, начавший специализироваться, имеет в своем распоряжении и полные руководства, и библиографии отдельных вопросов, и богатую специальную периодическую литературу. Потребность, однако, в сжатом курсе Общей Геологии, удовлетворяющем в достаточной мере требованиям высшей школы, стоящем на уровне современного положения науки, но доступном для студента как по цене, так особенно по объему, посильному при нормальном прохождении учебного плана, вполне назрела. При составлении подобного курса руководясь вышеизложенными принципами, я стремился отнюдь не к популяризации книги, но лишь к устранению из нее всего материала не первостепенной важности, всего излишнего исторического, фактического, географического, статистического балласта, повторений, изложения различных гипотез и взглядов, а также всякого упоминания имен (на подобие того, как это имеет место в новейших американских учебниках). Все же основные определения и понятия, в особенности касающиеся условий и форм залегания пород, оставлены почти в полном объеме основного руководства „Физической Геологии“ И. Мушкетова. Из иностранных руководств предлагаемый краткий курс по типу более всего близок к известному „Abriss der allgemeinen und stratigraphischen Geologie“ Эммануила Кайзера, вышедшему за десять лет уже пятым изданием, и, подобно ему, является, так сказать, экстрактом основного руководства, с соблюдением почти того же масштаба изложения. Главная разница заключается в том, что наш курс посвящен лишь Общей Геологии, т.е. Физикогеографии и Динамике, часть же стратиграфическая сведена лишь до изложения принципов геологического лето-

исчисления и элементарных таблиц. Данный курс сравнительно с двумя томами 3-го издания „Физической Геологии“ И. Мушкетова, мною переработанной и дополненной, сокращен до $\frac{1}{6}$ (20 листов вместо 120). Основные петрографические понятия изложены в трех различных местах после изложения соответственных геологических процессов, создающих те или иные горные породы, т.-е. после вулканизма, денудации и метаморфизма. Вопросы внутренней динамики предпосылаются внешней динамике в силу большей логичности и удобства такого плана изложения перед обратным, весьма часто теперь применяемым, например, американскими авторами; последние вместе с тем и количественно отводят внешней динамике в 3—4 раза больше места, чем внутренней, что с нашей точки зрения неправильно, и в данном курсе это отношение равно $1\frac{1}{2} : 1$, хотя, конечно, в русских условиях поле наблюдений по циклу денудации больше, чем по вопросам вулканизма и тектоники. Основная задача курса — помочь учащемуся при первом, чисто учебном прохождении предмета, своей разносторонностью и широтой вопросов часто приводящего начинающих в замешательство и беспомощное блуждание среди подавляющего своим обилием материала. Средний студент сможет им удовлетвориться, специализирующийся или интересующийся перейдут от него к полным руководствам, сразу же легко в них ориентируясь.

Д. Мушкетов.

В В Е Д Е Н И Е.

Предмет и разделение Геологии.

Совокупность всех наших знаний о земле должна бы составлять единую основную науку, которую можно было бы назвать Землеведением в широком значении этого слова; но земля так разнообразна по своим свойствам, что в целом не может быть предметом исследования какой-либо одной науки; сложность явлений ее вызывает для всестороннего изучения слишком различные точки зрения и методы, а потому Землеведение, зародившись в самой глубокой древности, с течением времени, при постепенном расширении наблюдений, по необходимости, дробилось на отдельные специальные отрасли знания, обособлявшиеся в самостоятельные науки. Все эти науки, хотя и резко отличаются друг от друга по своим методам и предметам изучения, тем не менее так тесно связаны между собою общностью конечной цели, что успехи одних из них всецело отражаются на развитии других. Разделение наук обуславливается не только разнообразием предметов и явлений природы, но и различием точек зрения на землю. Прежде всего землю можно рассматривать, как тело мировое, находящееся под влиянием мировых сил, т.-е. изучать положение ее в пространстве, отношение ее к другим мировым телам вообще и к элементам нашей солнечной системы, в особенности, определять характер движения ее и изменение его под влиянием соседних планет и т. д.; такое направление исследований привело к выделению особой науки, называемой *Астрономической* или *Математической Географией*. Кроме того, землю можно рассматривать, как тело физическое, находящееся под влиянием физических сил, что послужило основанием к обособлению другой науки, называемой *Физической Географией*, которая изучает все физические свойства земли, как-то: фигуру, величину, плотность и пр., а также современный характер и распределение главных элементов ее как неорганических, так органических и взаимные отношения их. Ближайшее изучение физических свойств земли точными методами составляет предмет *Геофизики*.

Наконец, землю можно рассматривать с точки зрения истории развития от начала появления ее до настоящего времени, т.е. происхождение и преобразование тех веществ, которые входят в состав земли, что привело к возрождению важной отрасли Землеведения — Геологии. Геология хотя в буквальном смысле слова означает вообще науку о земле, но ближайшая задача ее заключается в изучении строения земли и истории тех изменений, которые претерпевала она в различные эпохи своего существования. Геология должна определить состав, общий характер, условия образования и взаимные отношения разнообразных минеральных масс, доступных нашему исследованию только в небольшой части коры земной; кроме того, Геология имеет целью выяснить физико-географические условия и распределение органической жизни на земле в минувшие эпохи.

Рассмотрим ближе разделение Геологии. Минеральные массы, принимающие существенное участие в строении коры земной и состоящие из одного или нескольких минеральных видов, называются **горными породами**. Всестороннее изучение горных пород составляет предмет особой отрасли Геологии, называемой **Петрографией**, или **Петрологией**. Петрология, исследуя породы в минералогическом, химическом и физическом отношениях, находится в близкой связи с Минералогией, Химией и Физикой, от успехов которых во многом зависит развитие ее. Хотя в настоящее время петрологические методы почти одинаковы с минералогическими, но основная задача Петрологии иная: она занимается изучением ассоциаций минеральных видов, а не вида самого по себе, что составляет предмет **Минералогии**.

Среди минеральных масс коры земной находится множество остатков растительных и животных организмов, так называемых, **окаменелостей**, изучением которых занимается специальная наука — **Палеонтология**, составляющая вторую отрасль Геологии. Палеонтология имеет ближайшее отношение к Ботанике и Зоологии, как Петрология к Минералогии.

Кроме изучения горных пород и окаменелостей, Геология должна определить, но уже не в тиши кабинета, а непосредственными наблюдениями в природе, формы залегания различных пород, их взаимные отношения и чередование в горизонтальном и вертикальном направлении, а также последовательное изменение ископаемых фаун и флор во времени и пространстве, что дает возможность выяснить относительную древность различных минеральных масс. Совокупность этих наблюдений резюмируется наглядно на геологических картах и профилях. Весь этот отдел Геологии называют или одним общим именем **Стратиграфия** или **Историческою Геологиею**.

Перечисленные до сих пор отделы, т.е. Петрология, Палеонтология и Стратиграфия, вместе взятые, составляют в сущности только описательную часть Геологии, которая занимается почти исключительно собиранием и систематизированием фактического материала. Но этим не может исчерпываться задача Геологии, имеющая целью выяснить историю развития земли; необходимо еще изучить те факторы или геологические агенты, под влиянием которых земная кора претерпевала многочисленные изменения как во внутреннем строении или тектонике, так и в наружном виде или в пластике. Полное значение этих факторов возможно оценить только при исследовании геологических процессов современной эпохи, когда характер и результаты деятельности этих факторов могут наблюдаться воочию, непосредственно. Зная же свойства и результаты деятельности современных геологических агентов, мы получаем твердое основание для познания аналогичных явлений, происходивших в минувшие периоды развития земли, тем более, что основные агенты, как увидим ниже, оставались постоянными во все геологические эпохи: изменялась их напряженность и место действия, но сущность и характер их деятельности всегда были одни и те же. Сознание необходимости изучения современных геологических процессов в связи с историей земли породило особый, более объяснительный, чем описательный, отдел Геологии, который называется Динамической или Физической Геологиею.

Динамическая Геология представляет собой в сущности главное ядро, так называемой, Общей Геологии, в которую, кроме нее, включают еще рассмотрение происхождения земли, ее фигуры, плотности, магнетизма, внутренней теплоты, состава и строения земной коры.

Динамическая Геология исследует современные геологические процессы, которые, в зависимости от двоякого рода геологических агентов, разделяются на две группы; одни из них обуславливаются внутреннею теплотою земли, а другие внешнею теплотою, посылаемою солнцем. Внутренняя теплота земли вызывает сложные и грандиозные вулканические, сейсмические и дислокационные явления, которые, с одной стороны, образуют массивно-кристаллические породы и производят основные формы рельефа земной поверхности, а с другой — изменяют внутреннее строение или тектонику земной коры, а потому совокупность всех процессов, зависящих от внутренней теплоты земли, можно назвать процессами внутренней Динамики, разделяющимися на две группы вопросов — Вулканизма и Тектоники или движений коры земной — литосферы.

Внешняя солнечная теплота вызывает деятельность организмов, а также разнообразные движения в атмосфере и гидросфере, которые,

воздействуя на каменные массы химически и механически, разрушают их, измельченные частицы переносят и отлагают, образуя осадочные горные породы. Все эти процессы размыва или денудации видоизменяют основной тектонический рельеф, придают ему бесконечное разнообразие в вертикальном и горизонтальном расчленении и, так сказать, обуславливают окончательную моделировку земной поверхности; их называют процессами внешней Динамики. Соответственно главным действующим агентам, процессы внешней Динамики группируются обычно на: 1) деятельность атмосферы, 2) деятельность воды — подземной и поверхностной: проточной, морской, твердой, т.е. льда и 3) деятельность организмов. Роль воды является наиболее многообразной и важной.

Силы внутренние и силы внешние находятся всегда в антагонизме, работая в противоположных направлениях: первые создают рельеф земли, вторые его уничтожают, стремясь привести все к одному уровню; этот процесс нивелировки, однако, постоянно нарушается проявлениями сил внутренних. Каждый момент жизни земли можно рассматривать, как состояние более или менее устойчивого равновесия, нарушить которое беспрерывно стремятся обе категории явлений, при чем происходит лишь чередование преобладания каждой из них в данной части земной поверхности. Вернее же, силы внешние работают непрерывно, но медленно — эволюционно, тогда как силы внутренние изредка и внезапно, но энергично, революционно, уничтожают достигнутые первыми результаты, вполне или частично создавая новые формы. К деятельности сил внешних применимы понятия возраста — молодости, зрелости, старости, понятия цикла развития. Циклы эти могут завершаться или прерываться проявлениями сил внутренних, но лишь для того, чтобы начаться снова. Вся геологическая история земли есть история таких циклов разного порядка, осуществляющих принцип постоянного возобновления, вечного возврата к старому.

Для объяснения естественных геологических явлений, весьма хорошим пособием служат опыты, которые в последнее время все более и более совершенствуются и составляют предмет небольшой, так сказать, вспомогательной отрасли, называемой Экспериментальной Геологиею; осторожное и целесообразное применение этих опытов ведет к более полному выяснению геологических процессов.

Геология, как самостоятельная наука, возникла сравнительно недавно, не более столетия тому назад, хотя отдельные геологические идеи существовали уже в глубокой древности; следы их находятся в древнейших космогониях: индийской, египетской, ассирийской.

История Геологии показывает, по крайней мере, четыре периода в развитии ее. Первый — от древнейших времен до XVI века, когда

существовали только отдельные геологические идеи. Второй период от XVI ст. до XVIII ст. характеризуется обилием фантастических гипотез, заглушавших правильное развитие науки. Несмотря на самые неблагоприятные условия, Геология в этот период все-таки формировалась, хотя еще не составляла самостоятельной науки с определенными задачами. Самостоятельность она получила только в третий период, т.-е. от XVIII ст. до Ляйэля (1833 г.), характеризующийся развитием непосредственных наблюдений и практическим применением Геологии, по преимуществу к горному делу. Наконец, четвертый период, от Ляйэля до настоящего времени, отличается не только широким развитием наблюдений, но, главным образом, разработкою рациональных методов исследования. Практическое же приложение Геологии сделалось так обширно и разнообразно, что большинство цивилизованных государств основало у себя специальные геологические учреждения с целью не только подробных и систематических исследований своих стран, но также и для удовлетворения практических потребностей, предъявляемых к Геологии различными отраслями промышленности. Геология, обязанная своим возникновением горному делу, и в настоящее время наибольшее приложение имеет к горной промышленности, а потому естественно, что геологические учреждения в некоторых государствах приурочены к горным управлениям; так сделано и у нас, где Геологический Комитет, основанный в 1882 г., расширен в 1897 г., а с 1912 г. преобразован в большое научное учреждение, обладающее ныне лучшим в Европе специальным зданием, отличными кабинетами, лабораториями, библиотекой, различными вспомогательными учреждениями, большим издательством и, главное, значительным подготовленным кадром геологов. Количество таковых, однако, во много раз меньше, чем того требуют колоссальные площади СССР; средства, которые СССР тратит на познание своего геологического строения и связанных с ним горных богатств, в настоящее время весьма велики, но относительно неизмеримо ниже, чем у большинства государств, и не удивительно поэтому, что даже основная задача Геологического Комитета — составление геологической съемки десятиверстного масштаба государства — далеко еще не закончена. Тем не менее русский Геологический Комитет за сорок пять лет своего существования произвел уже грандиозную работу накопления геологических фактов из всех частей России, и многочисленные издания его являются сейчас основным источником сведений для всякого русского геолога, а текущая его работа — лучшей школой для всех подрастающих поколений русских геологов.

А. Литература на русском языке.

1. Борисьяк, А. — Историческая Геология. 1922 г.
2. Броунов, П. — Курс Физической Географии. 1917 г.
3. Вебер, В. — Полевая Геология. 1923 г.
4. Воейков, А. — Метеорология. 1903.
5. Глинка, К. Д. — Почвоведение. 1915 г.
6. Дакке. — Геология. 1923 г.
7. Зупан. — Основы Физической Географии.
8. Карпинский, А. — Очерки Геологического прошлого Европейской России. 1919. (Работа, с которой должен ознакомиться каждый во время своего геологического образования).
9. Кейльгак. — Практическая Геология. 1904.
10. Кейльгак. — Подземные воды и источники. 1914.
11. Левинсон-Лессинг, Ф. — Введение в Геологию. 1923.
12. Линдеман. — Земля, ее жизнь и история. Общедоступная Геология. 1914.
13. Михайловский, Г. — Историческая Геология. 1913. В I. (Основные понятия и до Девона).
14. Мушкетов. — Физическая Геология. Два тома. 1925 г.
15. Ог. — Геология, т. I. 1924.
16. Шокальский, Ю. — Океанография. 1917.
17. Штини-Мушкетов. — Техническая Геология. 1925 г.
18. Яковлев, Н. — Учебник Палеонтологии. 1922.

Б. Литература на иностранных языках.

1. Cleland, H. — Textbook of Geologie. 1916.
2. H. Credner. — Elemente der Geologie. Leipzig. 1906. (Сжатое изложение общей геологии и более детальное исторической).
3. Daubrée. — Geologie experimentale. Классическая работа в этой области.
4. A. Grabau. — Principles of Stratigraphy. N-York. 1913.
5. A. Grabau. — Textbook of Geology. 1921.
6. E. Kayser. — Lehrbuch der Geologie. 1921. (Наиболее полное объективное, прекрасно иллюстрированное руководство. Том III и IV включает Историческую Геологию).
7. Kober, L. — Lehrbuch der Geologie. 1923.
8. J. De-Launay. — Le Science Geologique. 1903. (Общий обзор истории, методики, результатов и задач Геологии, весьма полезный для общего образования).
9. Ch. Lyell. — Principles of Geology. London. 1872. (Основная классическая работа по динамической геологии и поныне).
10. Neumayer-Suess. — Erdgeschichte. 1920. (Том первый (543 стр.) посвящен Общей Геологии, представляя сейчас наилучшее общедоступное (не популярное) ее изложение, недостаточное, однако, для специального геологического изучения и преподавания).
11. T. C. Chamberlin and R. G. Salisbury. Geologie. N-York. 1906.
12. Schaffer. — Allgemeine Geologie. Leipzig. 1922.
13. A. Tornquist. — Geologie. I Teil: Allgemeine Geologie. Leipzig. 1916.
14. W. Salomon. — Grundzüge der Geologie. 1924. (Весьма интересная совместная работа нескольких авторов, в которой каждая глава написана соотв. специалистом).
15. S. Pirsson and Ch. Schuchert. — Textbook of Geology. N-York. 1924.

ЧАСТЬ I.

ГЛАВА I.

Происхождение и физические свойства земли.

История астрономии показывает нам, что в древности все видимые движения небесных светил объясняли при посредстве геоцентрической гипотезы, и только когда Коперник доказал движение земли вокруг самой себя и солнца, когда Кеплер открыл законы планетных движений, а Ньютон, опираясь на эти законы, дошел до начала всемирного тяготения, и, наконец, геометры, приложив анализ к этому началу, вывели из него все астрономические явления и множество неравенств в движениях планет, спутников и комет, — тогда только приблизились к решению великой задачи, т.-е. пониманию строения вселенной.

„Трудами нескольких веков, по словам Лапласа, сорвана завеса, скрывавшая от наших глаз устройство мира. Тогда человек увидел себя обитателем планеты, едва заметной в солнечной системе, обширное протяжение которой, в свою очередь, только незаметная точка в неизмеримости пространства“.

Действительно, в ясную ночь даже невооруженный глаз различает только на северной половине неба до 5.000 самостоятельных, самосветящихся звезд, подобных нашему солнцу и называемых обыкновенно неподвижными звездами; при помощи же телескопа число их возрастает до многих миллионов; в настоящее время астрономы насчитывают до 1.200 миллионов, но, вероятно, их еще больше.

Солнечная система, к которой принадлежит земля, находится в ветви постоянных звезд, отходящей от кольца (или спирали или эллиптической поверхности), называемого Млечным путем; по теории относительно мир представляет собой замкнутую систему млечных путей.

Элементы вселенной поражают нас не только количеством и громадностью расстояний, но также разнообразием и жизненностью, выражающихся в постоянном перемещении и в изменении физического характера.

Наблюдения над движением небесных светил и в особенности планет нашей солнечной системы давно уже вызвали вопрос о происхождении их вообще, и в частности о происхождении земли. После открытия истинной системы мира Бюффон впервые попытался вознестись до исходного начала планет и их спутников: в 1745 г. он высказал предположение, что планеты и их спутники образовались из огненно-жидкой материи, отделившейся от солнца вследствие удара кометы о поверхность этого светила. Но гипотеза эта не могла



Фиг. 1.—Спиральная туманность (в созвездии борзых собак).

объяснить всех особенностей движения планет и оказалась несогласною с законами механики, а потому вскоре была заменена гипотезою туманных масс или гипотезою образования миров из космического тумана, изложенною Кантом, но собственно научно разработанною Лапласом. И Кант, и Лаплас в своей небулярной теории принимали самостоятельное зарождение планет из материи, разложившейся на основные элементы, при чем более плотные частицы ее притягивали менее плотные. Весьма близки к этим идеям и различные теории накопления как более старые метеоритные, так и позднейшая, планетезимальная,

обратившая на себя внимание астрономов, геофизиков и геологов последнего времени, хотя и не обусловившая за собой действительного признания. Эта гипотеза выводит солнечную систему из спиральной туманности (фиг. 1), состоящей из бесчисленных мелких космических тел, вращающихся вокруг центрального газообразного ядра, подобно планетам, и сталкивающихся между собой. Из этого ядра и произошло солнце, из узлов — сгустков вещества в ветвях спирали — зародыши планет, а остальная газообразная масса была постепенно поглощена частью солнцем, частью же пошла на окончательное формирование планет. Из сравнений небулярной (н. г.) и планетезимальной (п. г.) гипотез вытекает целый ряд важных их расхождений, имеющих большое значение для геологии, так как каждая из гипотез может служить отправной точкой крупнейших

теоретических построений в области внутренней динамики земли (вулканизма, сейсмики, орогении), что будет ясно из дальнейших глав.

1) По н. г. земля унаследовала свою теплоту из первоначального состояния, тогда как по п. г. уже первичные маленькие космические тела утратили свое тепло: земля с поверхности всегда была холодной, а ее внутренняя теплота есть следствие уплотнения, соединения (сбивания) космических масс, энергия движения которых преобразовалась в тепловую.

2) По н. г. земля постоянно уменьшалась в объеме вследствие охлаждения, а по п. г. она сначала увеличивалась накоплением космических телец (planetesimals) и затем уже уменьшалась их уплотнением.

3) По н. г. летучие вещества земли (воздух и вода) выделялись постепенно, а по п. г. воздух и вода уже были на первоначальных телах (planetesimals), и современная атмо- и гидросферы действием жара и давления были выдавлены изнутри земли. Все основные законы природы приводят нас к небулярной гипотезе; недоказано ее несоответствие каким-либо важным фактам и явлениям.

Создавая новые космогонические теории, авторы их в значительной мере оставались все-таки на основе небулярной теории Канта-Лапласа, хотя и разрабатывали ее в ином направлении. Большинство возражавших небулярной теории задавались вопросом, как произошли туманности, и откуда у них взялось вращательное движение, играющее столь важную роль в дальнейшей истории небесных тел. Еще в 1868 г. Кроль впервые высказал мысль, что наше солнце образовалось из горячей газообразной туманности, происшедшей от столкновения двух темных звездных масс, и назвал свою гипотезу „теорией столкновения“, исходя из которой видимые туманности являются продуктом самых недавних столкновений. В особенности подробно и обстоятельно разработал теорию столкновений Аррениус. При столкновении двух светил обычно должны иметь место боковые удары, вследствие которых оба светила приходят во вращательное движение. При этом от сильного удара они раскалываются, и газы двумя мощными потоками вырываются из погибших тел, унося и разбрасывая осколки твердой коры, которой они были покрыты. Так возникла спиральная туманность, состоящая из смеси газов, пыли и более крупных обломков метеоритов. Главная масса сконцентрирована в центральной части; из нее впоследствии развивается центральное светило — звезда. От центрального ядра отходят две ветви — спирали. Вследствие неравномерного разбрасывания вещества возникают местные утолщения на ветвях спирали: это зародыши спутников звезды. На фотографиях спиральных туманностей отчетливо иногда видны обе ветви спирали и утолщения (фиг. 1).

Присутствие твердого вещества в спиральных туманностях доказывается у некоторых из них непрерывным спектром с темными линиями. При увеличении, по мере сокращения звезды ее плотности до 3 наступает уже планетарная стадия, жизнь небесных светил рисуется следующей схемой - циклом, из которых складывается бесконечная жизнь космоса:

А. Столкновение и возникновение туманности:

I. Стадия туманности.

II. Стадия звезды (белой — желтой — красной — темной).

III. Стадия планеты — с твердой корой — геологическая фаза.

В. Столкновение и образование новой туманности.

Теория столкновения согласуется с наблюдаемыми фактами, выясняет происхождение туманностей и их вращение, а также отношение их к кометам и метеоритам.

Как старые гипотезы, так и новые, различаясь в объяснении механизма дифференцировки мировых элементов, вместе с тем все предполагают не только общность причины, но и однородность состава первичного хаоса, из которого развились все миры вселенной, а в том числе и наша солнечная система; следовательно, физические и химические свойства мировых элементов должны быть аналогичны, что и подтверждается изучением состава их при посредстве спектрального анализа.

Многочисленные наблюдения показали, что солнце окружено раскаленной атмосферой, в которой открыто более половины элементов, свойственных земле, между ними много металлов, как-то: калий, натрий, железо, медь, свинец и пр.

Кроме спектрального анализа для знакомства с составом мировых тел мы имеем еще другой способ, основанный на изучении небесных камней, т.-е. метеоритов, которые ежегодно в большом количестве падают на землю, и природу которых мы можем исследовать с такою точностью, как и земные породы.

Метеориты ниспадают обыкновенно в виде огненных шаров (болидов), иногда с огненным хвостом; нередко, вступая в низшие слои атмосферы, они раздробляются на мелкие куски или даже в облака пыли, при чем явление это сопровождается иногда звуком наподобие выстрела. Быстрота полета метеоритов иногда превосходит скорость движения планет, например, метеорит Пултуска двигался со скоростью 7,25 миль в секунду, тогда как Меркурий — только 6,41 миль в 1", но на месте самого падения на поверхность земли обыкновенно не происходит ни света, ни звука, а потому отыскать эти камни даже очевидцам весьма затруднительно; находки их большею частью случайны.

При накаливании метеоритов, помещенных в гейслеровых трубках, в зависимости от температуры накаливания можно получить последовательно целую серию спектров, совпадающих со спектрами водорода комет и некоторых звезд. До сих пор в метеоритах найдено около 43 земных элементов, а именно: H, O, N, S, Cl, Fl, As, C, Si, Ka, Na, Ca, Al, Mg, Mn, Fe, Cr, Co, Ni, Cu, Sn, Ti и др.; без сомнения, число это впоследствии значительно увеличится. На земле, как и в метеоритах, Fe, Mg, Si принимают существенное участие в строении; другие же, как то: Ca, K, Na, Al в метеоритах развиты гораздо менее, чем в земле; благородных металлов в них совсем нет, но зато Ni в них имеет преобладающее распространение сравнительно с породами земли. Не только элементы, но и сочетания их те же самые, что и на земле. Исследования различных ученых показали, что многие минералы метеоритов имеют ту же кристаллографическую форму и химический состав, как и на земле, другие же неизвестны для нашей планеты. Наконец, минералы в метеоритах группируются также в породы, как и на земле, даже сложнее метеоритов подобно сложению земных пород.

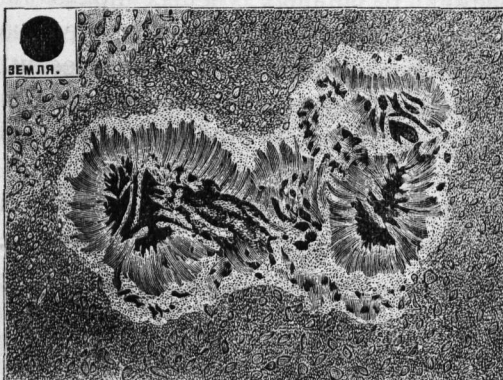
Если метеориты действительно представляют нечто подобное земной материи, то небезынтересен средний состав каменных метеоритов.

	Среднее из 443 анализов, в числе которых 318 „же- лезных“ мете- оритов	Среднее из 125 анализов „камен- ных“ метеоритов
Fe	68,43	11,46
SiO	11,07	39,12
MgO	6,33	22,42
FeO	4,55	16,13
Al ₂ O ₃	0,74	2,62
CuO	0,65	2,31
S	0,49	1,98
Ni	0,44	1,15
Co	0,44	0,05
Na ₂ O	0,23	0,81
P	0,14	0,04
Cr ₂ O ₃	0,12	0,41
Fe ₂ O ₃	0,11	0,38
NiO	0,06	0,21
K ₂ O	0,05	0,20
MnO	0,04	0,18
C	0,04	0,06
Cu, Cr, P ₂ O ₅ , TiO ₂ , SnO ₂ , H ₂ O вместе	0,05	0,27

В строении земной коры главное участие принимают следующие вещества в указанных ниже отношениях:

Si — Кремний	28 ⁰ / ₀
Al — Алюминий	7,90 ⁰ / ₀
Fe — Железо	4,43 ⁰ / ₀
Ca — Кальций	3,44 ⁰ / ₀
Mg — Магний	2,40 ⁰ / ₀
Na — Натрий	2,43 ⁰ / ₀
K — Калий	2,49 ⁰ / ₀
O — Кислород	47,17 ⁰ / ₀

Таким образом изучение метеоритов, свидетельствуя, подобно спектральному анализу, о сходстве состава мировых тел, еще более подтверждает единообразие происхождения их из одной и той же космической материи, как предполагают космогонические гипотезы, в особенности Лапласа.



Фиг. 2. — Одно из солнечных пятен по сравнению с землей.

Рассмотрение строения вселенной и свойств отдельных элементов ее показывает, что общность причины происхождения мировых тел, составляющей основу Канта - Лапласовской гипотезы, отражается не только на однородности движения и состава, но, очевидно, также обуславливает

одни и те же фазы развития в каждом элементе вселенной; бесформенная, неразлагающаяся туманная масса переходит в спиральную, а затем — в планетную туманность, которая при дальнейшем развитии переходит в самосветящиеся звезды, сначала белого, а затем желтого и красного цветов, когда она уже представляет жидкую, расплавленную массу; постепенно затвердевая и покрываясь корой, жидкий сфероид переходит в твердый. Если это верно, то в таком случае наша земля точно также переживала все эти фазы развития, а следовательно, возможно с некоторою вероятностью определить прошедшее и будущее земли на основании аналогии с другими мировыми телами.

Прошедшее ее заключается в том, что она из газообразного сделалась жидким расплавленным сфероидом, который, постепенно затвердевая, покрывался корой, часто прорывавшейся и может быть даже уничтожавшейся громадными извержениями расплавленных внутренних масс: это — период образования пятен (фиг. 2), потухание

и возгорание звезды; наконец, земля остыла настолько, что водяные пары перешли из атмосферы в капельно-жидкое состояние и образовали моря, после чего уже началась органическая жизнь. Процесс охлаждения земли еще далеко не окончился, так как непосредственные наблюдения указывают на громадный запас теплоты во внутренности ее, которая до сих пор отражается на целом ряде процессов.

Несравненно труднее определить, хотя бы в таких же общих чертах, будущее земли. В этом отношении исходным пунктом для нас может служить Марс; так как он значительно дальше от солнца, чем земля, раньше сформировался, меньше по величине, то можно допустить, что он уже пережил многие процессы, которые еще придется переживать земле.

Физические свойства земли.

Фигура земли на первый взгляд представляется плоским кругом, у краев которого заходит и восходит солнце, луна и звезды. Таково и было представление о фигуре земли у всех древних ученых.

Аристотель первый привел доказательства в пользу шарообразной фигуры земли, указывая на то обстоятельство, что тень земли, бросаема на лунный диск, всегда круглая. Он уже тогда учил, что притяжение к центру земли всюду одинаково, из чего Архимед вывел заключение, что и поверхность моря должна быть тоже шарообразною. Несмотря на такие успехи, позднее продолжали считать землю плоским кругом; только после первого кругосветного путешествия Магеллана (1519—1522 г.г.) мнение о шарообразности земли было окончательно и твердо установлено.

До второй половины XVII столетия земля считалась правильным шаром. Но впоследствии, на основании теоретических соображений и результатов наблюдения, стали заключать об отклонении от шарообразного вида. Если земля была некогда в состоянии жидкой или пластической массы, то, по законам центробежной силы, она не могла сделаться совершенно круглою, но на концах оси вращения, т.е. на полюсах, должна быть сплюснутою. Если допустить сплюснутость одной лишь водяной оболочки земли, то все страны на экваторе были бы затоплены; следовательно, в сплюснутости земли должна была принять участие и твердая масса земли. На этом основании предположили, что фигура земли должна представлять сфероид, сжатый у полюсов. Обозначая половину большой его оси, т.е. экваториальный радиус,—через a , а малую полуось, т.е. полярный радиус,—через b , получим отношение $\frac{a-b}{a}$, выражающее сжатие сфероид.

Различными государствами были произведены многочисленные градусные измерения не только по меридиану, но и по широте. После французских измерений в 1792 — 1798 г.г. по предложению Французской Республики был установлен метр, как международная, неизменная единица длины, которая равняется одной десятимиллионной четверти окружности земли. Однако, последующие измерения показали, что практикуемый метр меньше действительного почти на 0,2 мм. Между всеми градусными измерениями особенно замечательны как по обширности, так и по точности англо-индийские и русские. Первые обнимают дугу в $23^{\circ}50'$ от Калианпура у подошвы Гималая до Куданкулама на мысе Комарин. Русские же измерения обнимают еще большую дугу в $25^{\circ}20'$ от устья Торнео-Фугленас ($70^{\circ}40'11,3''$ с. ш.) до Старонекрасовки на Дунае ($45^{\circ}20'2,8''$ с. ш.). Результаты этого величайшего по протяжению градусного измерения по меридиану вошли во все последующие определения вида и размеров земли. Но, кроме того, русские ученые произвели еще более замечательные измерения по широте, которые до сих пор составляют главную часть международного геодезического предприятия по измерению 52 параллели.

Оно начинается от Хаверфордвеста в Англии, проходит через Англию, Бельгию, Германию, Польшу, Россию и тянется до Орска на Урале. Общая длина этой огромной дуги составляет $63^{\circ}41'$, при чем на долю СССР приходится почти $\frac{2}{3}$, именно $39^{\circ}24'$.

На основании градусных измерений давно уже пытаются определить величины главнейших элементов земного сфероид. Сжатие его определимо в $\frac{1}{299}$, т.-е. полярный радиус короче экваториального на 2,8 мили. По окончании больших градусных измерений обнаружилось, что отклонения отдельных определений от общего вывода зачастую превосходят возможные ошибки наблюдений, из чего необходимо было заключить, что общий вид земли не есть правильный сфероид, а представляет тело, лишь в общих чертах похожее на сфероид. Повторилось то же, что случилось в начале XVIII ст., когда убедились, что земля не шар, а сфероид. Как шар был достаточно первым приближением для представления вида всей земли (и теперь еще принимается во многих приближенных вычислениях), так сфероид оказался вторым, хотя уже гораздо более точным, приближением. Истинный же вид всей земли остается пока неизвестным и во всяком случае гораздо более сложным, чем предполагали до сих пор. Форма эта названа геоидом и определяется поверхностью, которую принимает уровень воды в океанах и в мысленно проведенных каналах, сообщенных с морем и прорезывающих материки по всем направлениям. Поверхность эта весьма неправильная; на материках она значительно повышается, а на океанах опускается. Поверх-

ность геоида во всех точках земли перпендикулярна направлению силы тяжести. Превышение геоида над сфероидом достигает на материках до 50 метров, а понижение его на океанах до 150 метров. Таким образом, вся амплитуда отклонений геоида от сфероида не превосходит 200 метров, величины, по сравнению с размерами земли, ничтожной.

Из наблюдений над силой тяжести вытекает, что величина ее на возвышенностях ниже нормальной, а на низменностях и над океанами выше нормальной, или, как принято говорить, в первых дефект, а во вторых избыток массы. Обобщая отдельные элементы рельефа, говорят о дефекте масс материковых частей земной поверхности и избытке масс океанических ее частей. Из этого явления вытекает весьма важное наблюдение о равновесии между возвышенностями и впадинами земли, приведшее к развитию теории равновесия, или изостазиса. Признавая зависимость дефектов и избытков массы от различной плотности соответственных участков земли, считают возможным приурочить эти различия плотности лишь к верхним ее частям, и никак не глубже 200 км; исходя из представлений о складчатом горообразовании (см. главу III), полагают, что в результате его сминаемые части литосферы (верхней легкой части коры земной), перегружаясь, опускаются, выдавливая в стороны подстилающие их части барисферы (тяжелой подстилки земной коры; см. ниже); таким путем происходит замещение более легким веществом тяжелого под горными странами, и эти части земной поверхности обнаруживают поэтому „дефект массы“.

Степень притяжения океанов материками ничтожна благодаря меньшей плотности материковых частей земной коры сравнительно с океаническими.

Изучение распределения силы тяжести на земле или Гравиметрия ныне является помимо изучения фигуры земли весьма важным орудием для разрешения основных вопросов строения и состава земной коры.

Плотность земли.

Помимо определения общего вида и объема нашей планеты важен вопрос о ее массе, которая выражается произведением плотности земли на объем. Астрономия научает, как определить относительные массы солнца, планет и их спутников, а зная это, по известной абсолютной массе одного из небесных тел, напр., нашей земли, найдем плотность и других тел солнечной системы, ибо объемы их получаются измерением видимого диаметра и определением их расстояний. Поэтому знать среднюю плотность земли важно не

только для геолога, который старается составить себе представление о внутреннем состоянии земли, но также и для астронома, которого это сведение приводит к заключениям о физическом строении отдельных небесных тел.

Спрашивается теперь, как разрешить задачу об определении средней плотности земли, так как, очевидно, речь может касаться только средней плотности, ибо земля состоит из веществ весьма различных по весу. Нельзя, разумеется, предположить, что средняя плотность земли приблизительно равняется средней плотности составных частей земной поверхности, ибо заключение, что ядро земли представляет один и тот же состав и одну и ту же плотность, как и его поверхность, как увидим ниже, ошибочно.

Закон тяготения дает нам средство определить отношение всей массы земли к массам определенной величины и отсюда уже вывести абсолютную массу самой земли. Закон тяготения выражается так: взаимное действие двух масс прямо пропорционально их величине и обратно пропорционально квадрату расстояния их центров притяжения (центров тяжести). Поэтому, подвергнувши какую-нибудь определенную массу сначала действию одной массы земли, а затем действию другой по возможности большей массы, найдем при целесообразном произведении этих опытов отношение массы земли к другой массе известной величины и плотности.

Так как масса земли значительно превосходит все другие массы, которые могут служить для подобных опытов, то очевидно, что в данном случае приходится прибегнуть к весьма точным измерениям и к весьма чувствительным приемам, и что при производстве подобных опытов трудно избежать влияния незначительных погрешностей.

Уже Ньютон советовал определять плотность земли измерением отклоняющего действия большой горной массы на отвес. Поместив отвес близ горы, замечают, что, вследствие притягательного действия ее массы, он отклоняется от вертикального положения к центру тяжести горы, а по величине этого отношения можно вывести соотношение между массами горы и всей земли. Умея же определить объем и плотность горы, не трудно найти и плотность самой земли.

Кроме определения плотности земли при помощи сравнения с притяжением горы методом наблюдения над маятником, существуют еще более точные два способа: при посредстве крутильных весов и протых весов.

Из всех новейших определений различными способами получаются довольно близкие между собою числа и потому в среднем принимают плотность земли равною 5,5 (точнее $5,52 \pm 0,01$).

Такая плотность превышает удельный вес даже магнитного железняка (4,9—5,2), и так как средняя плотность известных нам пород, слагающих кору земную, не превышает 3,3 и даже 2, если принимать огромное количество воды, то естественно допустить, что внутренность земли состоит из весьма плотных или тяжелых веществ. Поэтому внутренняя часть земли называется барисферой (от греческого слова βαρύς — тяжелый; см. ниже). До сих пор, однако, закон возрастания плотности с глубиной не определен.

Величину давления в центре земли определяют в 1,7—3 милл. атмосфер, а в нижних частях коры земной в 30—60.000 атм., при чем уже на глубине 50 км оно равно во всех направлениях, т.е. гидростатическое.

Принимая плотность коры земной 3,4, получают плотность ядра в 9,2, а промежуточной зоны в 6,0, или если для коры 3,0, то для ядра — 8,4, а промежуточной зоны — 7,2 (см. ниже о строении тела земли). Интересно сопоставить вместе среднюю плотность всех членов нашей солнечной системы:

Солнце	1,38 — 1,4
Меркурий	6,4 — 6,7
Венера	5,0 — 5,9
Земля	5,52 —
Марс	5,3 —
Юпитер	1,25 — 1,4
Сатурн	0,72 — 0,8
Уран	1,1 — 1,92
Нептун	1,3
Луна	3 — 3,4
Метеориты	2 — 7

Магнетизм земли.

Магнитные свойства земли известны были еще древним китайцам, которые ввели в употребление компас, получивший распространение в Европе только с XII века, но научное исследование магнетизма и в особенности связь его с другими явлениями природы, например, с землетрясениями, строением земной коры и проч., стали познавать только недавно. Изучение магнетизма производится при помощи магнитной стрелки, при чем различают склонение и наклонение магнитной стрелки и напряженность магнетизма.

Склонением называется угол отклонения магнитной стрелки от меридиана данного места; оно может быть восточное или западное и величина его разнообразна для различных мест. Линии, соединяющие на карте места одинакового склонения, называются *изогонами*. Изогона, склонение которой равно 0, называется магнитным меридиа-

ном. Изогоны хотя не совпадают с меридианами, но все сходятся в точках, лежащих вблизи полюсов: в северном полушарии под $70^{\circ}5'3''$ сев. шир. и $96^{\circ}45'3''$ зап. долг., в южном — под $75^{\circ}6'$ южн. шир. и $154^{\circ}8'$ вост. долг.; точки эти называются магнитными полюсами.

В величине склонения наблюдаются вековые, годовые и суточные колебания; первые достигают значительной величины (до 30°), остальные же мелкие (до минут или даже до десятых долей минут).

Наклонением магнитной стрелки называется угол наклона ее к горизонту: в северном полушарии северного конца, в южном — южного. Линии равного наклонения называются изоклиналами. Величина наклонения увеличивается от экватора к полюсам и достигает *maximum'a* у магнитных полюсов, где стрелка стоит почти вертикально; изоклины также не совпадают с широтами, как изогоны с меридианами. Изоклинал, где наклонение равно 0, т.е. стрелка стоит горизонтально, называется магнитным экватором, который в восточной Африке и южной Азии поднимается до 10° сев. шир., и в южной Америке опускается до 15° южн. шир. Величина наклонения также подвержена вековым, годовым и суточным колебаниям, как и склонение и также в зависимости отчасти от положения земли в отношении солнца.

Местами те и другие линии, т.е. изоклины и изогоны обнаруживают значительные и неправильные отклонения в своем направлении или, как говорят, аномалии. Появление их объясняют или скоплением особого рода пород, например, близостью магнитных железняков или дислокацией коры земной. Прекрасный пример в этом отношении представляет Япония, где изогона $5^{\circ}W$ претерпевает крутое дугообразное изогнутие, соответствующее как раз большому излому (сбросу — грабен) коры земной, называемому *Fossa magna*, так что изогона $5^{\circ}W$ совпадает с тектонической линией. Такое же влияние отчасти отражается на изогонах $4^{\circ}30'W$ и $4^{\circ}W$, но в меньшей степени; с другой стороны, те же изогоны довольно близко совпадают с общим простираем складчатости Японии, как видно на фиг. 3.

Повидимому, именно резкой смене пород, которая вызывается сбросами, можно приписывать иногда причину магнитных аномалий; наоборот, по аномалиям возможно до некоторой степени определить нарушения в коре земной или линии дислокации в местностях, где они недоступны непосредственному наблюдению.

Кроме склонения и наклонения, не менее важно определить напряжение магнетизма, которое также для различных мест различно и также варьирует в зависимости от положения солнца.

Линии равного напряжения называются *изодинами*. Напряжение магнетизма определяется числом качания стрелки наклонения, подобно тому, как качание маятника определяет силу тяжести; напряжение магнетизма двух мест относится, как квадраты чисел качания.

На ряду с правильными суточными изменениями магнитных элементов (наклонения, склонения и напряжения) случаются иногда внезапные, быстрые, заходящие далеко за границы суточных, колебания



Фиг. 3.

магнитной стрелки. Стрелка в таких случаях обнаруживает беспокойство; эти неправильные и большие колебания стрелки названы *магнитными бурями*; не нужно думать, что они совпадают с атмосферными бурями.

В последнее время обращено большое внимание на возможную связь между магнитными бурями и землетрясениями. Японскими геологами было подмечено, что приблизительно за сутки до сильных землетрясений в их эпицентральных областях наступают магнитные возмущения. Еще ранее связывали эти явления с перемещениями больших глубинных вулканических масс, а затем более определенно указано на это для германского землетрясения 1911 года. (Подробнее об этих вопросах в главе III).

С магнетизмом земли не следует смешивать магнитных свойств отдельных горных пород. Давно известны свойства некоторых магнит-

ных выходов Гарца, и особенно базальтовых массивов Эйфеля, Фогельсберга и Везувия. Наибольшей магнитностью обладают базальты, затем диабазы, диориты и сиениты, и меньшей — порфиры и граниты; свойство это зависит от процентного содержания железа (магнитного железняка) в породе, и приурочено преимущественно к верхним поверхностям пород, быстро убывая в глубину.

Точное изучение различных физических свойств земли представляет чрезвычайный интерес не только в теоретическом, но и практическом отношении. В последние годы широко развивается разработка и применение геофизических методов горных разведок, основанных преимущественно на наблюдениях гравиметрических, магнитных и сейсмических.

Теплота земли.

Теплота земли двоякого происхождения: внешнего солнечного и внутреннего; для нагревания поверхности земли имеет значение лишь первый источник тепла — солнце, тогда как второй дает не более 0,5% солнечного тепла. Зато при самом незначительном лишь углублении в землю от поверхности роли сразу меняются на обратные, и во всех вопросах внутренней динамики и литогенезиса условия распространения тепла внутри земли играют весьма важное значение.

1. Внешняя теплота земли.

Температура каждой точки земной поверхности, в зависимости от изменения ее положения по отношению к солнцу, подвержена колебаниям, среди которых, прежде всего, выделяются суточные и годовые периоды. Количество тепла, получаемое теоретически каждой точкой, непосредственно зависит от силы и длительности нагревания, но в этот простой процесс различные причины вносят много нарушений в обе стороны. Причинами этими являются: а) неравномерное распределение суши и воды и различные свойства их поглощения и отдачи тепла, что влечет за собой известную разницу между континентальным и морским климатом, а в общем более низкую среднюю температуру южного водного полушария, б) различия в рельефе земной поверхности и факт уменьшения температуры воздуха на $1,2^{\circ}\text{C}$ при подъеме на каждые 100 м над уровнем океана, в) различные характер и величина растительного покрова поверхности, г) большие воздушные и морские течения, вносящие резкие местные климатические аномалии. Принимая во внимание всю совокупность указанных факторов, мы имеем, однако, для каждого места почти постоянное количество тепла, получаемое им от солнца в течение года, которое называется средней годовой температурой места, выводимой

мой из средних температур всех дней в году, и имеющей весьма в общем небольшие отклонения, не превышающие 1° . Линии, соединяющие точки с одинаковой средней годовой температурой, называются изотермами; они представляются весьма неправильными кривыми, далеко не совпадающими с линиями широт. Средняя годовая температура северного полушария определяется в $15,5^{\circ}\text{Ц}$, а южного всего лишь $13,6^{\circ}$; причиной этого, помимо большого количества воды в южном полушарии, является то, что, по астрономическим условиям данного периода, северное полушарие имеет лето на 8 дней длиннее южного. Это положение, однако, со временем изменится на обратное.

II. Внутренняя теплота земли.

Солнечная теплота, благодаря известной теплопроводности пород, проникает внутрь земли и изменяется так же, как температура поверхности. Но это проникание доходит только до известной, сравнительно небольшой глубины, где уже суточные колебания температуры воздуха не отражаются. Пояс, где колебания годовой температуры не чувствительны и где она всегда остается одна и та же, называется поясом постоянной температуры, которая обыкновенно немного выше средней годовой температуры на поверхности. По мере углубления от этого пояса температура земли постоянно и довольно правильно возвышается. Пояс постоянной температуры для различных мест лежит на различной глубине. Глубина его зависит от степени разницы крайних температур данного места на поверхности и от свойства и теплопроводности пород; она колеблется от 1 м до 30 м не более. Где крайние температуры воздуха близки, как под экватором, там глубина слоя постоянной температуры $= 1 - 2$ м; если годовая температура ниже нуля, то на известной глубине почва вечно мерзлая, как, например, в Сибири.

Южная граница мерзлой почвы до сих пор еще не определена с надлежащею точностью. В пределах Европейской части СССР она начинается у Мезени и переходит Печору приблизительно под $65\frac{1}{2}^{\circ}$ с. ш., на Урале спускается ниже, но затем поднимается к Березову и снова постепенно спускается к Байкалу; за самый южный пункт мерзлой почвы считают г. Ургу. Восточнее Урги мерзлая почва может быть спускается еще южнее в Хинганском хребте, но далее к востоку поворачивает круто на север, пересекает Амур, вероятно выше Благовещенска, и переходит в северную часть Камчатки. Толщина мерзлой почвы варьирует в широких пределах, зависящих от местных частных условий; так, в Пустоозерске определили толщину ее около 17 м, в Олекминске около 20 м, в Забайкалье в 16 м.

Так как пояс постоянной температуры лежит в разных местах на разной глубине, то очевидно, соединяя плоскостью или линией места равных постоянных температур, получим поверхность, не совпадающую со сфероидом земли и называемую геотермою или геотермою.

Степень возрастания температуры с глубиною на один градус называется геотермическим градиентом или градусом, а степень уменьшения температуры с поднятием в атмосферу называется аэротермическим градиентом; последний равняется около 200 м, т.е. через каждые 200 м температура уменьшается с поднятием в атмосферу или, считая сверху, увеличивается с опусканием в нижние слои атмосферы, и эта величина в 5—6 раз больше геотермического возрастания. Средняя температура места на поверхности зависит от высоты его, следовательно, геотермы на горах должны подниматься, а в низменностях опускаться; но так как аэротермический градус в 5—6 раз больше геотермического, то, очевидно, поверхность геотерм не будет соответствовать изгибам, рельефам, на горах выпуклости ее будут положе, а вогнутости менее круты. На возрастание температуры с глубиною влияет еще различная теплопроводность пород, их характер залегания, давление горных масс, соприкосновение с теплыми или холодными подземными потоками, высота места, удаленность от моря и пр.

Сопоставляя все наблюдения над возрастанием температуры с глубиною, мы приходим к следующим заключениям:

1) Ниже пояса постоянной температуры, равной средней годовой температуре воздуха данного места, залегающего на различной глубине, происходит непрерывное возрастание температуры с глубиною.

2) Закон возрастания температуры с глубиною еще не определен с точностью, хотя средним числом принимают возвышения на 1°C через каждые 33 м (от 30 до 35). Определение это затрудняется целым рядом факторов, которые нарушают правильность возрастания температуры и обуславливают разнообразие результатов наблюдений и выводов относительно величины геотермического градиента.

3) На значительной глубине влияние всех этих факторов заметно уменьшается, и потому возрастание температуры делается более постоянным.

4) Геотермический градиент на большой глубине заметно увеличивается, т.е. возрастание температуры происходит медленнее, чем у поверхности. Это явление, однако, не дает права считать внутренность земли совершенно охлажденною, как полагали некоторые ученые, основываясь на ошибочных вычислениях. Напротив, все наблюдения единогласно свидетельствуют за непрерывное возрастание температуры с глубиною, определенной уже до 2.300 м.

Распределение внутренней температуры и степень возрастания, ее с глубиной имеет не только теоретическое, но весьма важное практическое значение, особенно при разработке все более и более углубляющихся рудников и при проведении железнодорожных туннелей через большие горные хребты; внутренняя температура земли определяет, так сказать, крайнюю границу глубины, до которой возможна работа человека. Вообще принимают, что при температуре крови человека в 37°C , в сухой атмосфере работать возможно до температуры 50°C , но во влажной даже при 40°C работа невозможна.

Особенно важно определение внутренней температуры при проектировании больших туннелей; так, напр., проекты туннелей через Симплон, Монблан должны были существенно измениться; точно также при проектировании у нас большого туннеля через Кавказский хребет, необходимо иметь в виду возрастание внутренней температуры, которая, при глубине туннеля около 1.000 м и длине его 23 км под Архотским перевалом, может возрасти до 36°C .

Что касается причины или источника высокой внутренней температуры, то из всех объяснений этого явления наиболее вероятно то, которое основывается на гипотезе Лапласа, т.-е. возрастание температуры с глубиной зависит от внутренней теплоты земли, представляющей остаток первоначальной теплоты, когда земля была еще в расплавленном состоянии; горячие источники и вулканические лавы, выделяющиеся изнутри земли в разных местах ее поверхности, доказывают то же самое. Лавы Везувия, заливая окружающие его селения, расплавляли медные сосуды, даже не приходя с ними в соприкосновение, что указывает температуру, не меньшую, чем 1000° .

Принимая геотермический градиент в 33 м в верхних частях литосферы (10—20 км) и дальнейшее уменьшение его далее, мы должны допустить, что на глубине 120 км температура = 1200° , а 300 км = 2000° , где, следовательно, все известные нам породы находятся в расплавленном состоянии.

Вопрос о внутреннем состоянии земли является, по понятным причинам, наиболее сложным и спорным, но вместе с тем важным и основным в геологии.

Из современных воззрений можно считать заслуживающими особого внимания взгляды на внутреннее состояние земли, высказанные в конце XIX и начале XX века на основании изучения современными точными приборами характера и скорости прохождения сейсмических волн (вызванных землетрясением) в теле земли, приводящих к следующим выводам:

1. Верхняя (первая) оболочка земли, состоящая из пород сверху с плотностью в 2,7, а ниже в 3,4, внешнюю часть которой можно

называть земной корой или литосферой (в 120 км), обладает мощностью в 1200 км; нижняя часть ее теперь называется барисферой.

2. Следующая или средняя зона—от 1200 до 2900 км глубины—имеет мощность в 1700 км с плотностью от 4 до 6.

3. Ядро земли, состоящее из наиболее тяжелых металлических веществ, железа и никкеля, с плотностью 6 — 12 (9, 16), с радиусом в 3500 км, температурой до 3000 С и давлением в несколько миллионов атмосфер. В процентах от общей массы земли мы получаем соответственно для

1) верхней оболочки	45%
2) средней „	39%
3) ядра „	16%

Соответственно с этими же взглядами и данными, всем трем главным частям, составляющим землю, были даны геологические характеристики и обозначения, а именно:

1) Внешняя часть верхней оболочки, т.-е. коры, состоящая преимущественно из воды, осадочных толщ, гнейсов и изверженных пород, как граниты, порфиры и др. преимущественно, т.-е. из кремния (Si) и алюминия (Al), получила название „Sal“ (лучше Sial) (со средн. уд. весом — 2,7), а подстилающая Sial нижняя часть верхней оболочки, сложенная преимущественно магнезиальными породами, как габбро, диориты, диабазы — Sima с уд. весом 2,8 до 4.

2) Переходная зона с уд. весом 4 и 5 — 6.

3) Ядро „Nife“, состоящее из тяжелых чистых металлов: Ni, Fe, и др. (с уд. весом около 10).

Такое строение земли вполне соответствует аналогии с метеоритами (см. стр. 15). Исходя из изучения последних, необходимо допустить в составе земли 77,58% металлов. Мы видели уже выше, что гравиметрия указывает на большую плотность частей земной коры под океанами, нежели под материками. Это наводит некоторых ученых последнего времени на предположения и о различном составе самой коры (Sial) и подстилающих ее частей (Sima), при чем уже указывается даже, что материковые массы, полностью состоя из легкого Sial, мощностью до 100 км, плавают на тяжелом, пластическом Sima, погружаясь в него на подобие плавающих ледяных гор. Взгляды большинства современных геологов и геофизиков на внутреннее состояние земли сводятся к представлению о металлическом тяжелом ядре, менее тяжелой пластическо-промежуточной зоне и верхней оболочке, легкой и лишь в нижней части (Sima) пластичной; верхняя часть последней — твердая, хрупкая и легкая — представляет собой литосферу — кору земную (Sial).

Толщину твердой коры земной (Sial), при настоящих далеко неполных знаниях о внутренности земли, определить точно невозможно; приблизительно она равна 120 км.

Поверхность на глубине 120 км представляет собой границу изостатического равновесия, ниже которой все массы находятся как бы под гидростатическим давлением. Эта граница имеет большое значение во всех современных гипотезах проявления внутренней динамики земли (см. гл. III).

Литосферу можно рассматривать, как состоящую из мертвых уже элементов, в противоположность глубинным, сохраняющим еще жизненную активность.

Состав земной коры.

Кора земная, доступная нашему исследованию, состоит из однородных неорганических тел, называемых минералами. В огромном большинстве случаев минералы представляют анизотропные кристаллические однородные твердые тела, т.-е. такие, в которых атомы вещества расположены в виде систем правильных решеток. Если минералы проявляются в определенных геометрических формах, ограниченных ровными плоскостями с постоянными углами, то называются кристаллами, в противном случае — кристаллическими зернами. Сравнительно редко минералы бывают аморфными телами твердыми или жидкими (например, ртуть), в которых частицы расположены без правильной ориентировки. Минералы распределены в земной коре чрезвычайно неравномерно. Одни из них находятся только небольшими кристаллами или мелкими зернами, редко рассеянными, напр., алмаз, золото, изумруд, платина и пр.; другие же образуют разнообразные сочетания или агрегаты многочисленных неделимых, образующих те каменные массы, которые принимают существенное участие в строении земной коры, напр., известковый шпат, гипс, кварц, слюда, полевые шпаты и пр. Эти-то каменные массы, представляющие агрегат одного или нескольких минеральных видов, занимающие более или менее значительные пространства и составляющие существенные части земной коры, называются горными породами.

Горные породы можно классифицировать и разделять на группы с различных точек зрения. Так, например, они разделяются на простые и сложные в зависимости оттого, состоят ли они из одного или нескольких минеральных видов, например, мрамор — простая порода, потому что представляет агрегат одного известкового шпата, а гранит — сложная порода, так как состоит из трех минералов: кварца, полевого шпата и слюды. Затем породы называются кристалли-

ческими, если они представляют агрегат кристаллических минералов, напр., мрамор, гранит; минералы, слагающие их, образовались одновременно с происхождением самой породы. Породы, состоящие из обломков других, прежде существовавших пород, называются обломочными или к л а с т и ч е с к и м и, например, песчаники, конгломераты; минералы, слагающие их, образовались раньше происхождения самих пород.

Само собой разумеется, что состав, строение, форма залегания и другие свойства пород обуславливаются разнообразными способами происхождения их, с которыми мы познакомимся ниже, при изложении вулканических, тектонических и денудационных процессов. Самые процессы образования горных пород носят название процессов литогенезиса (литос по-гречески—камень). Теперь же укажем только, что, несмотря на разнообразие условий образования пород, в этом отношении различают две главных группы их: одни породы образовались на поверхности земли путем отложения в каких-либо бассейнах, под влиянием тех или других денудационных агентов, и известны под именем осадочных пород; другие породы произошли из расплавленных масс, поднимающихся из недр земли, а потому называются изверженными или вулканическими. Наконец, новые горные породы могут возникать при преобразовании других пород, или изверженных, или осадочных, уже существовавших ранее; таким путем возникают породы метаморфические. Каждая из этих групп разделяется на несколько подгрупп также в зависимости от ближайших условий образования. Так, осадочные породы, происшедшие химическим путем, т.-е. отложением из водных растворов, называются химическими; сюда принадлежат, большею частью, простые, зернисто-кристаллические породы, напр., каменная соль, гипс, некоторые известняки, различные железняки и пр. Но, кроме химических отложений, вода производит механические осадки; она разрушает, переносит и отлагает обломочный материал; все породы такого происхождения называются механическими, сюда принадлежат многие породы к л а с т и ч е с к о г о с л о ж е н и я, напр., глины, песчаники, конгломераты и пр. Если не вода, а потоки льда отлагают такие же механические осадки, то их в отличие от предыдущих называют л е д н и к о в ы м и; напр., моренные накопления, озы, валунные глины и пр. Породы, отложившиеся при помощи химической или механической деятельности атмосферы, называются э о л о в ы м и, напр., снег, лесс, летучий песок и пр. Наконец, осадочные породы, образовавшиеся при участии организмов, называются о р г а н о г е н о в ы м и, причем, в зависимости от характера организмов, они разделяются на з о о г е н о в ы е, напр., известняки, костеносные брекчии и пр., и ф и т о г е н о в ы е, напр., торф, каменный уголь и пр.

Состав горных пород хотя довольно разнообразен, но количество основных элементов и минералов, слагающих породы, весьма небольшое: почти из двух тысяч минеральных видов, известных в настоящее время, только около 50, т.-е. $2\frac{1}{2}\%$ имеют важное петрографическое значение и называются породообразующими минералами. Между ними в сложных изверженных породах главную роль играют кварцы и различные силикаты: полевые шпаты, фельдшпатыды, авгиты, амфиболы, слюда, хлорит, тальк, оливин и др.; а в простых осадочных породах — некоторые сульфаты (ангидрит и гипс), карбонаты (известковый и доломитовый шпаты), хлориды (каменная соль), окислы железа (бурый железняк и др.), и, наконец, из самородных элементов только два: сера и углерод образуют мощные залежи.

Таблица важнейших минералов, расположенных по основным химическим группировкам.

I. Самородные.

Золото	Au
Платина	Pt
Серебро	Ag
Сера	S
Графит	}C
Алмаз	

II. Окислы.

Снег, лед	H ₂ O
Кварц	SiO ₂

III. Силикаты.

(Соли кремневой кислоты).

Группа полевых шпатов	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , щелочи или CaO
Группа слюд	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , MgO, щелочи, HO
Группа авгита и роговой обманки.	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , (Ca, Mg, Fe) O
Хлорит	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ (Fe ₂ O ₃), Mg (Fe)O, aq
Оливин	SiO ₂ , Mg (Fe) O

IV. Карбонаты, сульфаты, галоиды, фосфаты.

Кальцит (известковый шпат)	CaCO ₃
Доломит	Ca, Mg, C ₂ O ₃
Магнезит	MgCO ₃
Ангидрит	CaSO ₄
Гипс	CaSO ₄ , 2aq
Барит (тяжелый шпат)	BaSO ₄
Флуорит (плавиковый шпат)	CaF ₂
Апатит	3 Ca ₃ , P ₂ O ₈ , Ca (Cl, F) ₂
Каменная соль	NaCl

V. Железные руды.

Магнетит (магнитный железняк) .	Fe_3O_4
Гематит (красный железняк) . .	Fe_2O_3
Лимонит (бурый железняк) . . .	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{aq}$
Сидерит (шпатовый железняк) .	FeCO_3
Пирит (серный колчедан) . . .	FeS_2

Главнейшими химическими соединениями, которые представляют породообразующие минералы изверженных пород, являются следующие:

1. Свободная кремнекислота SiO_2 кристаллизуется в виде кварца и тридимита, образующегося при температуре выше 870° .

2. Силикаты, которые представляют соли кремневой кислоты и распадаются на две небольшие группы: 1) алюмосиликатов, в состав которых входит глинозем и преимущественно щелочные металлы и известь и 2) простых силикатов, главным образом, магнезии и закиси железа, частью извести (R). В состав минералов, представляющих простые силикаты, глинозем может входить лишь в небольшой примеси в виде твердых растворов, наоборот, кремневые соли натрия и трехвалентного железа подобны по свойствам простым силикатам. Существуют также соединения, представляющие продукты присоединения к алюмосиликатовому ядру простого ортосиликата.

I. Алюмосиликаты:

а) щелочных металлов: K и Na

Полевые шпаты: альбит	$\text{Na}_2\text{O}, \text{Al}_2\text{O}_3, 6\text{SiO}_2$
ортоклаз	} $\text{K}_2\text{O}, \text{Al}_2\text{O}_3, 6\text{SiO}_2$
санидин	
микроклин	
Фельдшпатыды: лейцит	$\text{K}_2\text{O}, \text{Al}_2\text{O}_3, 4\text{SiO}_2$
нефелин	$\text{Na}_2\text{O}, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{SiO}_2$

б) извести:

Полевой шпат анортит	$\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{SiO}_2$
--------------------------------	--

Полевые шпаты образуют между собою твердые растворы. Особенно натриевый и кальциевый полевые шпаты, дающие непрерывный ряд (Al_nA_{nm}) плагиоклаза; в меньшей степени способны смешиваться альбит и калиевый полевой шпат, дающие тогда анортоклазы. В калиевом полево шпате иногда небольшое количество калия замещается барием. Полевые шпаты (и фельдшпатыды) в общей массе изверженных пород (белые, реже стекляннопозрачные, также розоватые, зеленоватые или голубовато-сероватые) обладают значительной твердостью 5.5—6, минералы этой группы обладают довольно совершенной спайностью. Удельный вес алюмосиликатов 2,5—2,75.

I. Продукты присоединения к алюмосиликатам.

а) К группе фельдшпатидов относятся редкие минералы, представляющие продукты присоединения к нефелиновому ядру:

содалит $2(\text{Na}_2\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2) + \text{NaCl}$

нозеан $2(\text{Na}_2\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) + \text{Na}_2\text{SO}_4$

гаюин = нозеану, где часть Na замещена Ca.

б) Более распространены продукты присоединения железисто-магнезиального ортосиликата к кислому алюмосиликату калия, встречающемуся и самостоятельно в виде белой слюды или мусковита. Такие продукты присоединения представляют слюды:

мусковит $(\text{SiO}_4)_3 \text{Al}_3 \text{KH}_2$

биотит $(\text{SiO}_4)_3 (\text{AlFe}_3) (\text{MgFe})_2 (\text{KH})_2$, где часть глинозема замещается окисью железа.

Для всех слюд крайне характерна весьма совершенная спайность, по которой минерал расщепляется на тончайшие упругие блестящие листочки.

Твердость слюд около 2, удельный вес: 2,8—3,2.

II. Простые силикаты изверженных горных пород представляют или метасиликаты R SiO_3 (пироксены — авгиты и амфиболы — роговые обманки) или ортосиликаты R_2SiO_4 ; оливин. Это темные составные части изверженных пород, часто черного, иногда более или менее темного зелено-серого цвета, редко бурого.

III. Не силикатовые второстепенные примеси в изверженных породах.

Сюда относятся окислы: магнетит Fe_3O_4 , гематит, также хромистый железняк FeCr_2O_4 , шпинели, титанистый железняк и редко корунд (Al_2O_3) . Далее в таком же виде мы встречаем фосфат извести, апатит. В некоторых породах встречается самородное железо.

Породообразующие минералы проявляются различно: то в виде более или менее совершенно образованных кристаллов и в таком случае называются а у т о м о р ф н ы м и или и д и о м о р ф н ы м и, то в виде неправильных кристаллических зерен и тогда называются к с е н о м о р ф н ы м и или а л л о т р и о м о р ф н ы м и. Ксеноморфные минералы ограничены не собственными кристаллическими гранями, а выполняют своим веществом те промежутки, которые остаются между кристаллами идиоморфных минералов. Один и тот же минерал может быть идиоморфен по отношению к какому-либо иному минералу в породе и ксеноморфен по отношению к другому. Величина неделимых весьма разнообразна: от мельчайших, распознаваемых только под микроскопом, до кристаллов в несколько дециметров длиною, при чем или все зерна более или менее одинаковы по своим размерам, или некоторые выделяются из ряда других своей более крупной величиной.

По классификации А. Болдырева все минералы, слагающие земную кору, произошли тройким путем:

I. Приносом веществ изнутри земли — эндотогеновыми¹⁾ процессами.

II. Без приноса веществ, в самой земной коре — аутигеновыми процессами.

В каждой из данных групп в зависимости от агентов — условий образования — можно различить несколько видов. Так, в первой постуление веществ может происходить тройким способом в виде: 1) расплавленных магм; 2) паров и газов; 3) восходящих водных растворов. Далее классификация может быть произведена по признакам температуры и давления. Процессы же второй группы делятся преимущественно по этим двум последним факторам на 1) термогеновые и 2) онотогеновые или пизогеновые; сюда относятся явления регионального и дислокационного метаморфизма горных пород (гл. V).

III. Приносами веществ с поверхности земли — экзотегеновыми процессами.

Третья группа разбивается соответственно главным агентам внешней динамики на:

1. Экзогидатогеновые, обязанные действию поверхностных вод и растворов.

2. Пегнитогеновые, происходящие осадждением, кристаллизацией растворов морей и озер.

3. Биогеновые — органического происхождения.

4. Аэрогеновые — созданные ветром.

5. Космогеновые — космического происхождения.

Минералы могут быть и смешанного происхождения, обязанного совокупному действию нескольких процессов.

Каждый, приступающий к изучению геологии, должен уметь распознавать по внешним признакам наиболее обычные минералы и знать приблизительный их химический состав. Для этого приходится преимущественно основываться на физических свойствах минералов, из которых главнейшими являются: цвет, черта, твердость, удельный вес и кристаллическая форма. Цвет одного и того же минерала нередко весьма изменчив, преимущественно благодаря посторонним примесям, но тем не менее служит важным признаком. Согласно шкале Мооса, твердость минерала весьма характерная величина и может легко определяться самыми простыми способами, а именно, минералы с твердостью от 1 до 2 чертятся ногтем, около 3 — царапают медную монету; минералы, не царапающие стекло, не тверже 5, а царапающие его, но не кварц, должны быть между 5 и 7.

¹⁾ Вся эта терминология основана на древне-греческом языке.

Для определения твердости также необходимо научиться пользоваться острием обыкновенного перочинного ножа, наблюдая степень легкости проникновения его в минерал; этим способом легко, например, отличить минералы однородного вида, например: кальцит и ангидрит (т. 3), доломит (4), магнезит (5), полевой шпат (6) и топаз (8). При твердости в 6 или $6\frac{1}{2}$ лезвие ножа вместо царапания минерала само тупится и оставляет темный цвет стали на нем. При испытании твердости, конечно, необходимо применять лишь свежие поверхности минералов, не разрушенные, а также не на плоскостях спайности. Помимо определения твердости отдельных минералов, теми же методами можно пользоваться для распознавания и различных пород, сходных по внешнему виду, как, например, светлых фельзитов от известняков и доломитов, темных базальтов от некоторых железных руд, известняков и песчаников.

Черта или след, оставляемый минералами на твердой белой поверхности (необожженном фарфоре), также нередко может помочь распознаванию двух хотя бы и одноцветных минералов, так как цвета их в твердой массе и в порошке часто различны.

Очень важным признаком минералов служит их спайность или способность колоться по одному или нескольким направлениям, образуя правильные плоскости. Здесь можно различить следующие ее градации: 1) чрезвычайно совершенная, как у слюд, талька, хлорита, графита, разделяющихся на тонкие листочки; 2) весьма совершенная: полевой шпат, плавиковый шпат, карбонаты, ангидрит; плоскости при внимательном наблюдении явно иризируют; 3) совершенная, роговая обманка, эпидот — плоскости ровные и блестящие; 4) отчетливая: авгит — плоскости негладкие; 5) неотчетливая — оливин, гранат — спайность видна лишь в особо благоприятных условиях, в прочих же случаях излом раковистый, как и в следующей ступени; 6) без всякой спайности — кварц, лейцит, нефелин, турмалин, магнетит, пирит.

Важный физический признак минералов — удельный вес — может отчасти определяться и взвешиванием на руке, для чего, однако, надо приобрести известную опытность.

Такие свойства, как магнетизм, запах и вкус имеют второстепенное значение; магнитность устанавливается влиянием на стрелку компаса; глинистые соединения при дыхании на них издают характерный горьковатый запах, а некоторые известняки (органического происхождения) при ударе воняют довольно сильно. На вкус, наконец, реагируют лишь соль (поваренная соль и некоторая другая).

Определение кристаллической формы, наиболее точный и научный из физических признаков минералов, не может быть здесь рассмотрено и составляет уже область кристаллографии.

ГЛАВА II.

Вулканизм.

Под вулканизмом, в широком современном значении этого термина, мы понимаем совокупность всех весьма разнообразных явлений, связанных с основным процессом поднятия огненно-жидких масс (магмы) из внутренних частей сокращающейся в своем объеме планеты к ее поверхности. В таком определении вулканизм явление не только земное, но мировое, космическое. Его начальную форму мы видим в вихрях раскаленных газов — протуберанцах солнца, к которым при дальнейшем охлаждении небесного тела начинают присоединяться и огненно-жидкие вещества. В этих обеих стадиях, однако, извержения не приурочены ни к каким определенным местам поверхности и должны происходить беспорядочно, повсеместно и в грандиозном масштабе. Лишь по мере образования и постепенного утолщения внешней твердой оболочки планеты — коры — застывания ее, извержения начинают приурочиваться к отдельным областям, полосам или точкам ее, очевидно слабейшим, и следы прорывов этих запечатлеваются. Отражение этой третьей стадии вулканизма многие склонны видеть на поверхности луны, если объяснить происхождение ее кратеров взрывами. Переход от третьей к четвертой — современной — стадии вулканизма нам представляется в смысле все возрастающей трудности проникновения магмы на поверхность через утолщающуюся кору, отмирания ряда вулканических областей, локализации процесса в меньшем численно количестве мест, уменьшении общего количества поступающих на поверхность изверженных масс с увеличением, однако, силы и катастрофичности отдельных извержений. В конечном итоге рисуется полное остывание светила или настолько сильное, сопряженное с такой потерей газов, что мощная твердая оболочка становится неуязвимой для слабеющих напоров магмы, и вулканизм умирает.

В данной схеме есть ряд темных и спорных вопросов, частью уже затронутых в главе I-й, и могущих получать разное освещение

в зависимости от успеха наших знаний о внутреннем состоянии земли, ее теплового режима и космогонии, но все же, рассматривая отдельные стороны вулканизма, мы можем ее придерживаться в основе, и одно для нас несомненно: наличие в теле земли магмы — огненно-жидкого, расплавленного силикатового вещества, насыщенного газами и под большим давлением устремляющегося на поверхность. По мере приближения к последней, давление и температура уменьшаются, газы улетучиваются, а магма застывает в виде различных многообразных пород, называемых в общем вулканическими или изверженными, крайними членами которых являются глубинные массивные, полнокристаллические и поверхностные — пористые, стекловатые породы (см. ниже). Пути, проходимые поднимающейся магмой, и условия ее затвердения порождают разновидности горных пород, но, с другой стороны, состав самой магмы и различные физико-химические процессы, в ней происходящие, влияют на характер извержений и форму извергающих отверстий — вулканов. Все эти вопросы находятся в теснейшей связи.

Как при изучении всех геологических явлений мы идем по пути наблюдения и последовательного обобщения целой массы отдельных явлений, невольно начиная с наиболее простых, близких, доступных или поражающих нас и затем лишь доходя до более скрытых, сложных, хотя бы и важнейших, так в особенности это касается всех процессов динамики внутренней — вулканизма и тектоники.

Процессы динамики внешней все почти происходят на наших глазах, переплетаясь со всей нашей повседневной жизнью, тогда как о жизни внутренности земли мы должны судить, проникая в нее лишь на $1/3000$ радиуса, наблюдая те отголоски ее, которые доходят до поверхности, и в общем — лишь результаты процессов, а не их самих. Естественно поэтому, что мы склонны вначале придавать слишком большое значение этим результатам и приписывать им самодовлеющее значение, особенно, если воздействие их на жизнь нашу велико, и если мы измеряем их нашим ничтожным человеческим масштабом.

Огнедышащие горы и землетрясения всегда являлись причинами самых ужасных катастроф для человечества, которых оно не могло ни предвидеть, ни предотвратить, и неудивительно, что эти явления привлекали к себе его внимание задолго до того, как были найдены основные причины обоих, и постепенно стала нащупываться их общая сущность. Приверженцы школы непунистов XVIII столетия считали вулканические явления за последствия подземных пожаров каменного угля или каких-либо других горючих веществ и не придавали им сколько-нибудь важного значения в истории развития земли, тогда как

плутонисты начала XIX столетия стали придавать им почти универсальное значение; многие усматривали в них основную причину не только извержений, но также землетрясений, медленных колебаний суши и образования гор. Однако, исследования новейшего времени доказали, во-первых, что многие явления, приписывавшиеся вулканизму, не имеют с ним ничего общего; во-вторых, самые вулканические извержения и их производные представляют не причину, а скорее следствие более общих тектонических процессов, вытекающих из основного процесса уменьшения объема земли.

Зная, что вулканические процессы проявляются как на поверхности земли, так и на разных глубинах в коре земной, не достигая ее внешней части, мы можем соответственно этому основному признаку их и рассматривать. Таким образом различают процессы плутонические — и н т р у з и в н ы е, происходящие на глубине, и процессы вулканические в собственном смысле — э ф ф у з и в н ы е, проявляющиеся на поверхности. Последние в зависимости от характера процесса можно еще подразделить: 1) на э к с п л о з и о н н ы е — происходящие со взрывами, 2) т е к т и ч е с к и е — в виде проплавления неглубоким магматическим бассейном своей кровли и 3) д и с л о к а ц и о н н ы е — вызываемые тектоническими давлениями, выжимающими магму в соседних областях наименьшего сопротивления.

Вместе с тем поверхностные извержения могут различаться и по условиям или путям своего проникновения также на три группы

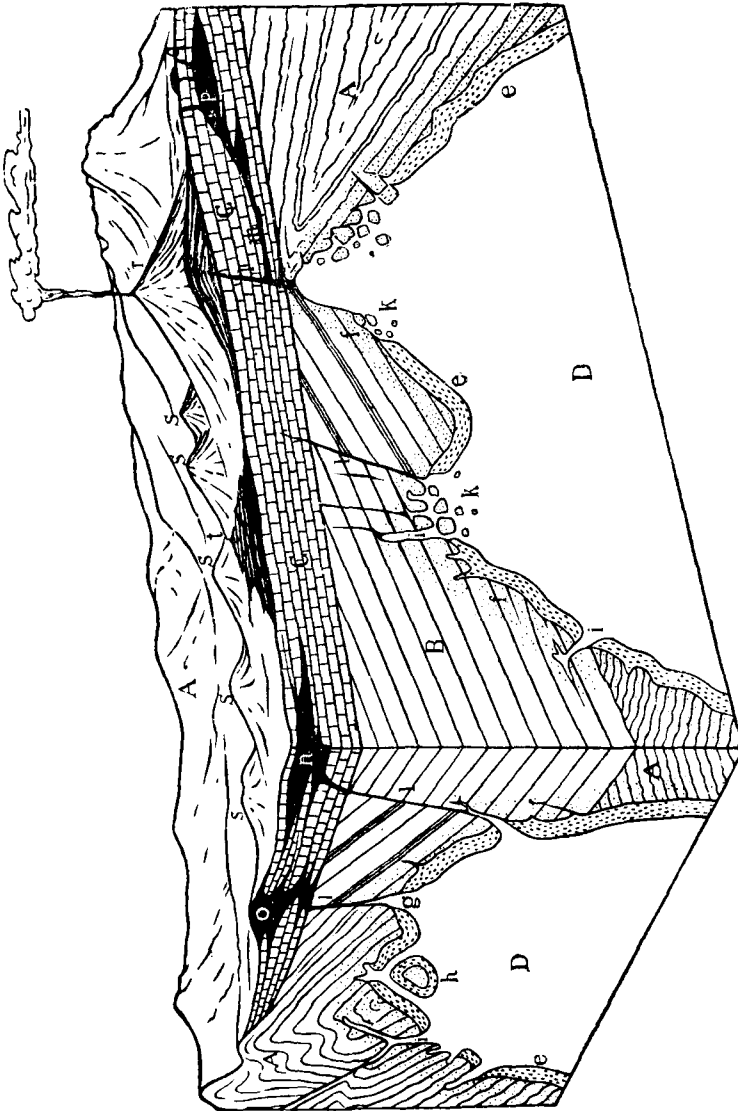
- 1) М а с с о в ы е излияния, в результате проплавления больших площадей еще тонкой земной коры поднимающейся магмой доставлявшие громадные количества изверженных масс на поверхность в ранние периоды жизни земли, а ныне не имеющие места.
- 2) Т р е щ и н н ы е — линейные излияния, также довольно обильные, происходившие с палеозоя, но встречающиеся и ныне (Исландия).
- 3) Ц е н т р а л ь н ы е излияния по отдельным, узким каналам, создающим на поверхности конусообразные горы — „вулканы“, с углублением на вершине — „кратером“; эта форма по результатам слабейшая, но наиболее распространенная в настоящую эпоху. Конечно, все названные типы связаны между собою переходными. Наиболее близки интрузии с поверхностными массовыми излияниями, тем более, что первые становятся доступными нашему наблюдению лишь после вскрытия их денудацией (фиг. 4).

Процессы интрузивные.

Под общим названием и н т р у з и й (внедрений; intrudo с латинского — вталкиваю) мы понимаем различной формы массивные тела, иногда громадных размеров, залегающие внутри земной коры

и образованные застывшей там магмой. Сюда относятся батолиты, лакколиты и штоки.

Батолиты — наибольшей величины, характеризуются отсутствием нижней поверхности ограничения — бездонностью и состоят

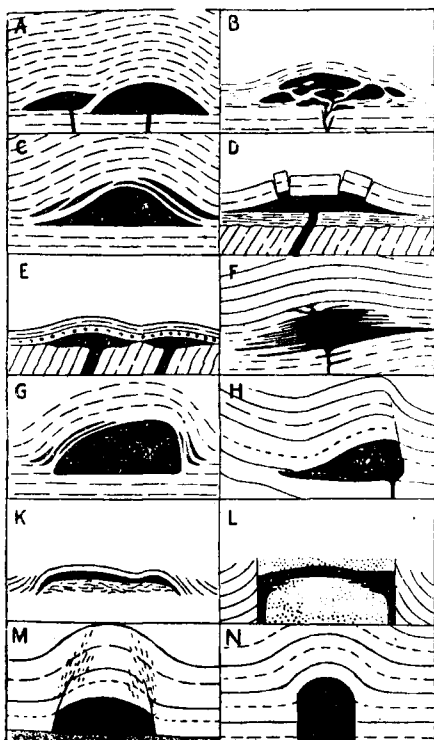


Фиг. 4.—Схема вулканических явлений: А—древняя, сильно смятая свита; В—менее нарушенная свита; С—новейшая осадочная свита; D—батолит прорывающий свиты А и В; g—ответвления батолита — штоки; k—проплавление батолитом кровли и увлечение ее обломков; l—жилы; m—пластовая жила; n, o, p—различные типы лакколитов; i—действующие и s s s—потухшие вулканы; t—поток лавы.

почти всегда из гранитных пород полнокристаллического сложения, при полном отсутствии пород стекловатых, пузыристых, шлаков, туфов и брекчий; на окружающие их породы они оказывают сильное контакт-метаморфизирующее воздействие. Батолиты преимущественно

залегают в складчатых областях, протягиваясь в ядрах больших антиклиналей, согласно их простираению.

Лакколиты, тесно связанные с батолитами, обладают меньшим значением и воздействием на окружающую среду, меньшими размерами, ближе к поверхности и легче на ней появляются вследствие денудации, а потому и лучше изучены. На многих из них легко наблюдается непосредственный подпор и поднятие магмой земной коры.



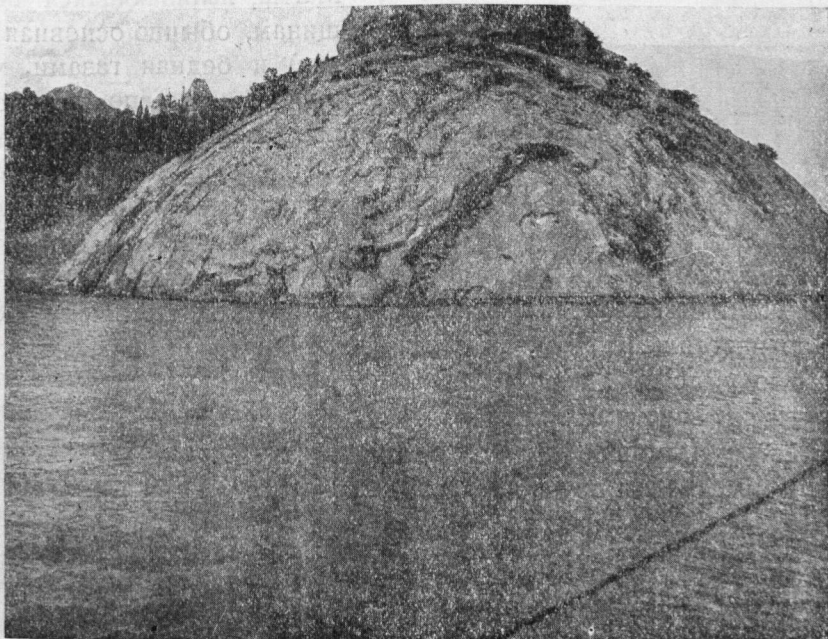
Фиг. 5.—Различные формы лакколитов.

Лакколиты, или (фиг. 5) подземные купола, извержения расположены обычно или поодиночке, или группами, при чем большей частью в породах слабых, оказывавших наименьшее сопротивление. Над лакколитами пласты пород обыкновенно приподняты или вздуты куполообразно. Иногда купол из приподнятых осадочных пород разбит системою радиальных трещин, вместо которых при размывии выступает система радиальных жил.

На фиг. 5 представлены схематические разрезы различных лакколитов с приподнятыми сводами или куполообразно пластами, а также связь с действующим вулканом (фиг. 4).

Основным отличием лакколитов от батолитов является ограниченность первых с нижней стороны и наличие там же узкого стержня канала, соединяющего полость, занятую лакколитом, с глубинными магматическими очагами. При сильной денудации иногда сохраняется лишь выход этого стержня, а самое тело лакколита уничтожается в противоположность батолитам, масса которых вниз лишь увеличивается и смыта до конца быть не может. Различают очень много различных по форме лакколитов. Не вскрытые еще денудацией лакколиты иногда узнаются по куполообразному, периклинальному залеганию покрывающих свит, однако, последнее может быть и результатом складчатости или даже первоначальных условий отложения осадков на неровной поверхности, и, следовательно, признак этот следует применять весьма осмотрительно. Как уже сказано, проникновение больших масс магмы, повидимому, стоит в связи с горообра-

зовательными движениями, а именно, складчатостью, так как всякое нарушение слоев земной коры ослабляет оказываемое ими сопротивление. При этом следует различать явления собственно интрузии, не следующие обязательно уже готовым трещинам, от инъекции, которые преимущественно используют такие трещины или плоскости слоистости, при чем большое значение играют жидкости и газы, выделяемые проникающей расплавленной массой, вызывая особую оригинальную метаморфизацию окружающих пород. Сланцевые разновид-



Фиг. 6. — Типичный лакколит концентрически-скорлуповатого строения, выделенный денудацией из покрывающих его отложений. Мыс Плака; Ю. Берег Крыма, восточнее Аю-дага. (Фот. П. Двойченко).

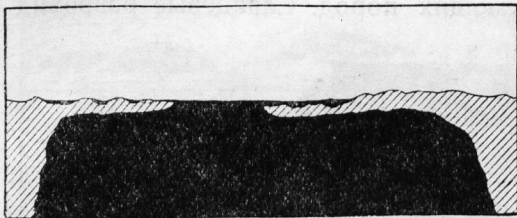
ности их при этом часто совершенно разлистываются, приобретая бесчисленную перемежаемость тончайших слоев сланца и гранита (вернее его жильной разновидности — аплита), придающую породе характер гнейса.

Процессы эффузивные.

1. Первая из трех вышеназванных форма поверхностных излияний, доставляющая массы расплавленного вещества сразу на большой площади, не встречаясь ныне, преобладала в древний, допалеозойский, „плутонический“ период жизни земли, когда кора была тонкой и слабой; она легко проплавлялась тогда верхними ча-

стями поднимающихся мощных батолитов, дававших таким образом непосредственно с ними связанные громадные покровы и потоки лавы. Такого типа явления наблюдаются в Канаде, в области Верхнего Озера Сев. Америки, Шотландии, Швеции и других местах (фиг. 7).

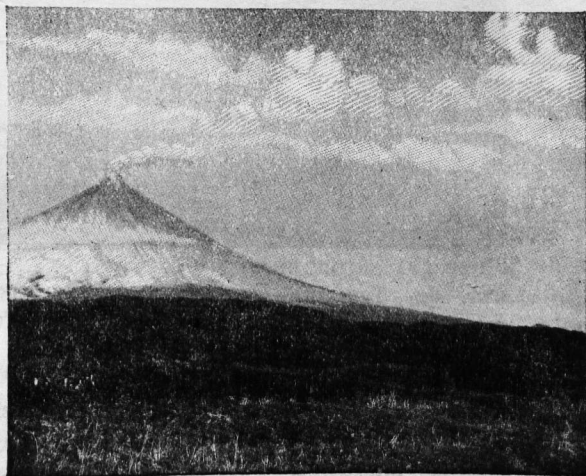
2. Трещинные излияния происходили одно-или многократно из трещин различной длины, нередко тектонического происхождения, давая покровы иногда значительной мощности. Магма, изливающаяся по трещинам, обычно основная (жидкая) и бедная газами, чем и определяется спокойная форма извержения, не сопровождаемая взрывами, образованием туфов и конусов накопления; последние лишь изредка на-



Фиг. 7.

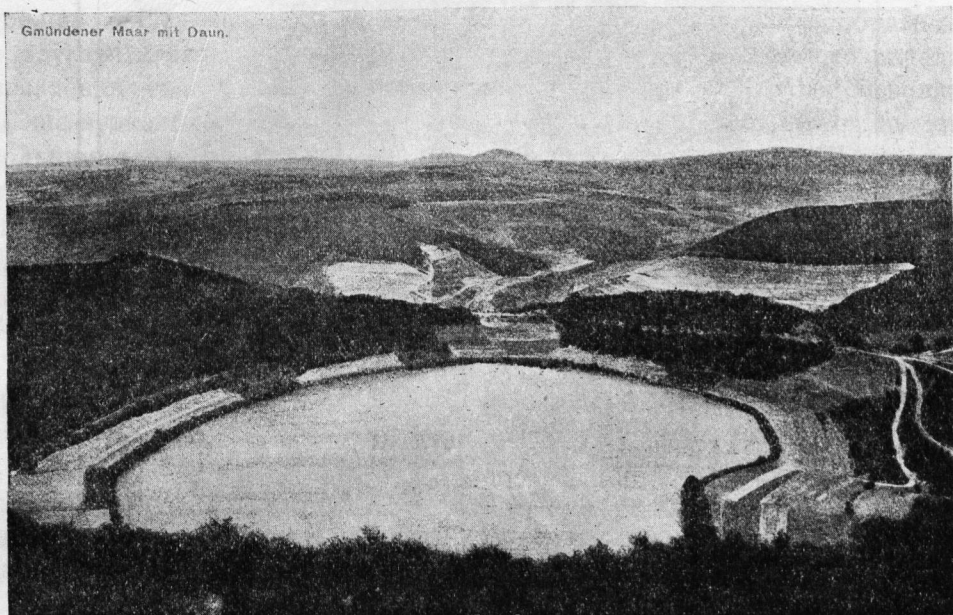
сажены цепочкой на трещинах извержения, не превосходя 100—150 м высоты. Единственной областью, где этот тип извержений сохранился по настоящее время, является Исландия, где он в последнюю эпоху преобладал над другими, также имеющими место. Излившиеся при этом массы лавы превосходят все известные потоки других вулканических областей; например, подобная трещина Ляки, в 24 км длиной, в 1783 г. доставила на поверхность $12\frac{1}{2}$ биллионов куб. м лавы, тогда как средние потоки действующего вулкана Этны не превосходят 250 миллионов куб. м.

3. Центральные извержения представляют, как уже сказано, ныне наиболее обычный тип вулканических явлений, изучены поэтому наиболее полно и разносторонне (фиг. 8). Главным элементом их является выводящий магму узкий круглый канал—жерло вулкана, верхнее отверстие которого и называется кратером. Процесс образования этих каналов был зна-



Фиг. 8. — Правильный конусообразный вулкан. Ключевская сопка на Камчатке.

чительно выяснен в конце XIX века опытами, показавшими, что газы, находящиеся под давлением лишь нескольких сот атмосфер, преобразуют узкие трещины в твердых телах (сталь, гранит, стекло, известняк), через которые их пропускают, в цилиндрические каналы с воронкообразными выходами. Этим воронкам взрыва мы склонны теперь уподоблять жерла вулканов, особенно „маары“, нередко заполненные теперь озерами (фиг. 9). Помимо давления важную роль в процессе играет вероятно и высокая тем-



Фиг. 9. — Кратер древнего угасшего вулкана, занятый ныне озером „Маара“. Эйфель.

пература вырывающихся газов, расплавляющая прорываемые породы. Строение воронок и каналов взрывов хорошо изучено на ряде размытых древних вулканических областей, в особенности около Кимберлея в Ю. Африке.

Мы видели, что восхождение пород на поверхность связано с предварительным образованием трещин в коре земной, которые намечают пути для извергающихся масс. Образование же трещин часто вызывает большее или меньшее сотрясение коры и то или другое изменение в циркуляции подземных вод и газов; эти явления в вулканических областях до некоторой степени служат предвестниками наступающего извержения, хотя и ненадежными.

Продукты извержения.

Вулканические извержения доставляют на земную поверхность различные продукты: газообразные, жидкие и твердые, от количества и распределения которых зависит форма, строение, а также



Фиг. 10. — Размытый древний вулкан о-ва Пальма.

быстрота возрастания вулкана; в порядке выделения их существует как бы некоторая последовательность: прежде всего появляются газообразные продукты, за ними измельченные рыхлые, образующие слоистые вулканические туфы и обуславливающие обычную коническую форму вулканов (фиг. 4, 8, 10, 13), после того уже—жидкие потоки лавы,

дающие по затвердении различные вулканические породы (фиг. 4, 12 и 13). Все роды продуктов появляются в огромном количестве только при сильных извержениях, тогда как при спокойной деятельности вулкана преобладают только газообразные и жидкие, а при потухании вулкана — почти исключительно газообразные.

Газообразные продукты.

Выделение газообразных продуктов происходит не только из центра извержения, но также из массы изливающейся лавы и из всех трещин как вулкана, так и ближайших окрестностей его. Газообразные продукты играют главную роль в жизни вулкана с самого начала появления его до последних следов потухания; они же производят ложно-вулканические явления, которые по форме проявления имеют большое сходство с настоящими вулканическими явлениями. Сложность и разнообразие газообразных продуктов находятся в прямой и тесной связи с напряженностью и температурой извержения. В настоящее время хотя известно уже много газообразных веществ, выделяющихся при вулканических извержениях, но число их увеличивается с каждым новым исследованием.

Чрезвычайная затруднительность улавливания выделяющихся во время извержения из кратера вулкана газов обуславливает неполноту наших сведений о них и наличие противоречащих взглядов и гипотез.

Наблюдения такого рода в сущности производятся поэтому лишь над фумаролами — выходами газов в боках вулканов, и над самими кратерами лишь по завершении самого извержения и не отражают, следовательно, всей совокупности процесса.

Главными газами при извержении являются: H_2S , SO_2 , CO_2 , CO , HCl , H , O , N , Ag и H_2O (вода).

Состав газов зависит от стадии активности вулкана: хлористые выделения присущи энергичным фазам, тогда как сернистые и углекислые связаны с угасанием деятельности вулкана.

Наиболее спорным вопросом является количество водяных паров, выделяемых вулканами; в настоящее время можно считать установленным, что водяные пары составляют часть вулканических выделений, однако, гораздо меньшую, чем это предполагалось раньше.

В отношении происхождения газов большинство геологов приписывают его самой магме.

Особенно сильными выделениями газов известен старый кратер Сольфатара около Поццуоли (у Неаполя), деятельность которого в течение 2000 лет только и ограничивается выходом сернистых паров, подверженных, однако, сильным колебаниям. По имени этого кратера принято называть вулканы, выделяющие лишь газы, находя-

щимися в сольфатарной стадии, слабейшей из всех, и характеризующей угасание вулканической деятельности, временное или полное.

Последние проявления деятельности потухающих вулканических областей обнаруживаются горячими минеральными источниками, из которых многие, производящие периодические извержения, называются гейзерами. Наконец, окончательная фаза потухания обнаруживается мофеттами, выделяющими только углекислоту и углеводороды. Вместе с углеводородами и углекислотой иногда выделяются холодные потоки грязи; в таком случае, образования эти называются сальзами или грязевыми вуканами. Сальзы хотя представляют последнюю фазу развития вулканов, но часто образуются самостоятельно, без всякой связи с настоящими вуканами, и составляют так называемые ложно-вулканические явления.

Рыхлые продукты и вулканические туфы.

Твердые, но измельченные продукты, происходящие в больших массах при сильных вулканических извержениях, появляются вслед за газообразными и своим образованием исключительно обязаны газам. Когда спертые пары и газы вырываются из кратера, они увлекают за собой различной величины куски лавы и основных пород, которые, описав в пространстве параболлу, попадают обратно на склоны вулкана в более или менее значительном расстоянии от жерла, смотря по силе извержения и величине кусков. Куски лавы больших размеров вылетают в виде исполинских огненных снопов, особенно резко обрисовывающихся ночью, и называются вулканическими бомбами. Упав на землю, эти бомбы, уже охладившиеся во время полета, скоро затвердевают снаружи, оставаясь внутри еще в жидком или пластическом состоянии. Вследствие вращения во время полета, они обыкновенно получают круглую или овальную форму, состоящую из ряда концентрических оболочек, которые очевидно располагаются по удельному весу во время движения бомбы в пространстве. Поверхность этих бомб мало растрескивается в отличие от бомб второго рода, имеющих неправильную угловатую форму и вид сильно растрескавшейся сухой корки. Поверхность их стекловатая, а внутренность — пузыристая. Разница между двумя типами бомб объясняется различной вязкостью лавы: капли лавы жидкой (основной), застывая во время полета, скручиваются и округляются, тогда как куски застывающей уже в кратере вязкой (кислой) лавы мало изменяются в воздухе. Наиболее жидкие лавы долго не застывают и дают (см. фиг. 12) на поверхности кипящие озера, потоки, водопады и фонтаны, как, например, на о-ве Килауэа.

Многообразие вулканических бомб вообще весьма велико и связано с местными особенностями различных вулканических областей. Изредка наблюдались грязевые бомбы, как на о-ве Люцоне. Куски тугоплавкой лавы, благодаря расширению газов, в ней находящихся, приобретают иногда столь пузыристое сложение, что объем пустот в 8 и 9 раз превышает объем заключающего их стекла, так что такие куски („пемза“) легко плавают на воде. Вместе с лавовыми бомбами вылетают иногда обломки пород, служащих основанием вулкана, которые были пробиты при образовании его. Что касается размеров вулканических бомб, то они весьма разнообразны: диаметром от 1 дм до 3 м попадают часто и отбрасываются на 1000 и 1500 м от центра извержения; при исключительных условиях образуются бомбы величиною с железнодорожный вагон и отбрасываются на несколько сот метров.

Но гораздо большее количество при извержениях получается мелких частиц, из которых одни, величиною не более обыкновенного ореха, называются лапилли, что по-русски значит камешки; они, как и бомбы, представляют оторванные и застывшие кусочки лавы. Другие же, самые мелкие, называются вулканическим песком и пеплом.

Песок представляет мельчайшие кристаллы различных минералов, полевого шпата, лейцита, авгита, но преимущественно магнитного железняка с примесью мелких кусочков лавы и стекла; он обыкновенно — черного цвета, похож на мелкий порошок.

Вулканический пепел представляет тонкую белую или серую пыль, состоящую из минералов, слагающих лаву. Лапилли и частью песок происходят вероятно при взрывах газовых пузырей, а пепел — из отвердевших частиц, образующихся уже в расплавленной лаве до ее извержения.

Все эти рыхлые продукты поднимаются на значительную высоту в дымовом столбе и оттуда они снова падают на склоны вулкана, где отлагаются послойно, или же увлекаются воздушными течениями и переносятся на громадные расстояния от центра извержения. При больших извержениях пепел Везувия достигает, с одной стороны, Константинополя, а с другой — Сицилии. Пепел Везувия в 1906 г. доносился ветрами до Киля, Парижа, Испании и Черногории. Пепел Этны падает на северные берега Африки. Пепел исландских вулканов, например, Геклы, в 1875 г. падал в Стокгольме, отстоящем на 1900 км от Исландии, а в 1783 г. — в Шотландии.

Облака, клубящиеся над вулканами во время извержения, состоят из различных газов и паров, насыщенных измельченным твердым материалом, и поэтому кажущихся густыми и очень темными. Извержение

в 1902 г. горы Пеле на о-ве Мартинике познакомило нас с совершенно особым типом выделений в виде раскаленных туч газов и паров, увлекавших громадное количество пепла и камней при спуске по склону вулкана. Эти тучи не выбрасывались из кратера вертикально, как обычно, а, благодаря перегруженности пеплом, катились вниз лавиной с возрастающей скоростью сильного урагана, имея высоту до 4000 м; температура их даже около берега моря, т.-е. в 8 километрах от кратера, достигала 200°. Город С. Пьер был сожжен и снесен; люди и животные сжигались горячими парами и задыхались, хотя платье не воспламенялось; почти мгновенно погибло этим путем до 20.000 человек. Возможно, что также были уничтожены Помпея и Геркуланум в 79 году нашей эры с гибелью 25.000 человек. Давление тучи Пеле было столь велико, что была отброшена на несколько метров в сторону статуя в несколько тонн весом.

Таким образом, громадные массы рыхлых продуктов отлагаются не только вокруг центра извержения, увеличивая размеры вулкана, но и на значительных расстояниях от него; это обстоятельство объясняет нахождение древних вулканических образований далеко за пределами собственно вулканических областей. Где бы ни отлагались эти продукты, они всегда образуют правильные пласты, тем более однородные, чем дальше от вулкана, тогда как вблизи, где осаждающиеся продукты различной величины, — перемежающиеся пласты, состоящие то из крупных, то из мелких частиц; при этом крупные куски вдавливаются в рыхлые слои, а в последних замечается соответственная изогнутость вниз. Слоистые выбросы, уплотняясь вследствие давления или цементируясь каким-либо веществом, принесенным водою или происшедшим от выветривания их самих, образуют сплошную, иногда весьма плотную массу, называемую вулканическим туфом.

Очевидно, что, при отложении слоев туфа, в них могут попадать и различные посторонние тела, а в том числе органические, растительные и животные остатки, особенно при подводных извержениях морских вулканов, где туфы, под влиянием воды, уплотняются быстрее и нередко содержат морские раковины.

Что касается разновидностей вулканического туфа, то само собою понятно, что они весьма разнообразны и не представляют породы какого-либо определенного химического или минералогического состава, а изменяются в зависимости от качества лавы и относительного количества различных выбросов.

Древние туфы называются в зависимости от породы, из которой они произошли, — базальтовыми, трахитовыми, порфириновыми и т. п. К туфам же относится известная с древних времен и употребляемая

в качестве лучшего гидравлического цемента пуццолана. Сильно измененные, слоистые и неслоистые, с вторичной сланцеватостью диабазовые туфы называются шалштейнами; последние содержат иногда беспорядочно заключенные угловатые обломки разных пород и называются тогда туфовыми брекчиями. Собственно же вулканическими брекчиями или аггломератами, занимающими промежуточное положение между рыхлыми продуктами и лавами, являются массы, состоящие из угловатых кусков лавы, раздробленной взрывами, промежутки между которыми заполнены иногда впоследствии известковым цементом.

Некоторые слоистые туфы, как пеперин, трасс и др., повидимому, образовались из грязевых потоков и отличаются обильным содержанием частиц невулканических пород, каковы: известняки, глинистые сланцы и пр.

Кроме больших вулканов извержения грязи преимущественно, и даже исключительно, происходят из небольших конусообразных холмов (400 — 500 м высотой), называемых сальзами или грязевыми вулканами (фиг. 11). С одной стороны, сальзы имеют много общих черт с вулканами, а с другой — отличаются от них, приближаясь к гейзерам, так что они представляют как бы переходный член от вулканов к гейзерам. Число грязевых вулканов весьма значительно, и они большею частью находятся или в связи с настоящими вулканами или в связи с большими залежами нефти.

Грязевые вулканы встречаются во множестве в Сицилии, в Крыму близ Керчи, на полуострове Тамани (Азовское море) и на Апшеронском полуострове, где они особенно многочисленны.

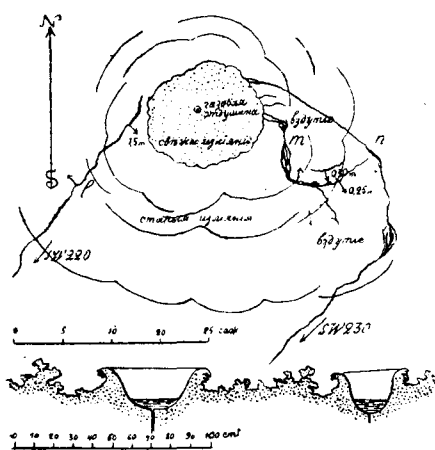
По происхождению и продуктам грязевые вулканы разделяются на две группы. Отличительные черты первой группы состоят в постоянно высокой температуре, в образовании большого количества водяных паров и в отсутствии углеводородов. Газы эти иногда присутствуют в небольшом количестве, но они не имеют влияния на деятельность вулкана. Вообще газы, между которыми преобладает сероводород, совершенно подчинены водяным парам. Эта форма грязевых вулканов существует только в вулканических странах; они находятся обыкновенно у подошвы или, по крайней мере, по соседству с действующим вулканом.

Вторая группа грязевых вулканов характеризуется выходом большого количества углеводородов и их низкой температурой. В сравнении с углеводородами количество других газов ничтожно; сероводорода совсем нет или только в очень малых дозах. Только в виде исключения, и то весьма короткое время,

повышается температура и появляется водяной пар при начале сильных извержений. Эта группа представляет грязевые вулканы в собственном значении слова. Они не имеют никакого отношения к истинным вулканам (фиг. 11).

Везде, где только есть в глубине земной коры органические вещества, они подвержены медленному, но постоянному разложению. Главные продукты разложения составляют углеводороды, вместе с которыми образуется немного углекислоты и окиси углерода. Эти газы могут собираться в большом количестве и выделяться целыми струями, например, из каменноугольных пластов и источников нефти. Скопления

нефти составляют существенное условие для образования грязевых вулканов второй группы, потому что, разлагаясь, они снабжают вулканы необходимыми газами. Каждое разложение органических веществ состоит в медленном сгорании, а потому, при благоприятных обстоятельствах, температура может значительно возвыситься. Если в некоторых странах, например, близ Каспийского моря, грязевые вулканы расположены в ряды, то это происходит очевидно от направления трещин в нефтеносных слоях; где эти трещины открыты, там газы выходят свободно, извержений не производят и в случае возгорания их образуют, так называемые, „вечные огни“ или



Фиг. 11.—План грязевой сопки около Шемахи и разрез через газовые отдушины.

„огненные колодцы“; если же трещины закрыты с поверхности какою-либо непроницаемою породою, например, глиною, то она, стесняя выход газов, заставляет их концентрироваться до тех пор, пока они не получат достаточного напряжения, чтобы прорвать непроницаемую покрывку и тогда, выделяясь с большею силою, производят настоящее извержение и накапливают грязевой вулкан; следовательно, механизм процесса тот же, что и у настоящих вулканов, но причина другая. Так как трещины на дне моря должны быть более покрыты, чем на суше, вследствие постоянно отлагающихся влажных осадков, то, при одинаковых других условиях, подводные извержения должны происходить чаще, чем на суше, что действительно наблюдается, например, в сальзах Апшеронского полуострова и вообще западного побережья Каспия, где подводные извержения часто производят новые

острова, впрочем, не долговечные, быстро размываемые волнами моря. Последние из таких островов появились в 1915 и 1923 г.г. против сел. Бузивни. Такие же явления известны у северного побережья Борнео и у западного — Бирмы.

Расплавленно-жидкие продукты или лавы.

Расплавленные массы составляют главный продукт вулканических извержений как по количеству и разнообразию пород, происходящих из них, так и по зависимости от них вулканических туфов; все они известны под общим названием — л а в а, которая, следовательно, как и ту ф, означает только известное физическое состояние вещества, а не какую-либо породу с определенными химическими и петрографическими свойствами; напротив, смотря по условиям излияния и особенно затвердевания лавы, она образует весьма разнообразные породы, отличающиеся сложением, плотностью,



Фиг. 12. — Жидкая лава на Гавайских островах.

внешним видом и составом, хотя, с другой стороны, все эти породы имеют некоторые общие признаки, свидетельствующие о происхождении их из расплавленного состояния.

Все лавы без исключения по затвердении образуют породы силикатовые, в составе которых постоянное участие принимает аморфное кремнеземистое вещество или, так называемое, вулканическое стекло; оно не только находится во всех лавах, но иногда является преобладающею и даже исключительною составною частью их. Кроме стекловатого вещества в составе, порфировое сложение, залегание в форме потоков, покровов, куполов и жил, (фиг. 25 — 31), а также столбчатая (фиг. 14) или пластинчатая отдельность, вызываемая условиями охлаждения, так же составляют характерные особенности эффузивных вулканических пород.

Состояние жидкой лавы и момент извержения зависит от весьма многих условий; поэтому то и происходит большое разнообразие

в составе и строении ее; так, иногда в жидкой лаве содержится весьма незначительное количество кристаллов, иногда же, напротив, они являются в преобладающем количестве, или же, наконец, совершенно отсутствуют; в этом последнем случае лавы вытекают из вулкана вполне жидкими и при быстром остывании не дифференцируются на составные части, а образуют однородную стекловатую массу, называемую обсидианом, пемзой и пр. С момента извержения до полного отвердевания лавы в ней происходят также многочисленные

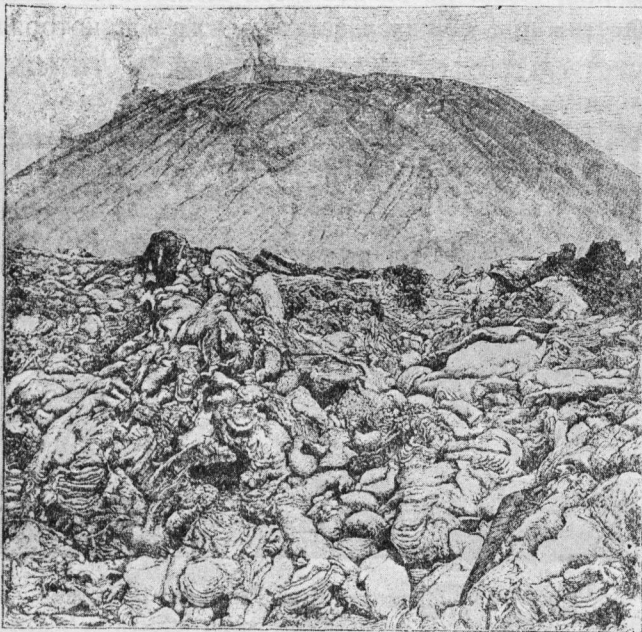


Рис. 13. — Волнистая лав Везувия. На заднем плане свежий конус вулканического пепла, выброшенного Везувием.

изменения и потому в разные периоды остывания лавы из нее могут выделяться различные элементы. Таким образом свойства твердой лавы обуславливаются не только степенью плавления ее в жерле вулкана и первоначальным составом ее, но также целым рядом сложных химических процессов, происходящих в жидкой лаве после ее излияния.

Однако, несмотря на разнообразие этих продуктов, все они, как по-

роды силикатовые, в которых кремнезем играет роль кислоты, разделяются на несколько групп в зависимости от количества кремнезема; из них две главные: лавы кислые, легкие, с содержанием кремнезема до 76%, и основные, тяжелые, с содержанием кремнезема до 50%. Первые содержат ортокластический полевой шпат и богаты силикатами калия и натрия, но бедны силикатами кальция, магния и окислами железа; они большею частью светлых цветов, особенно светло-серого, тугоплавки и образуют густые, вязкие потоки, не разливающиеся на большие площади. Вторые содержат преимущественно основные силикаты, больше силикатов магния, кальция, чем калия, натрия и окислов железа; они темного и даже черного цвета, с плотностью от 2,95 до 3,10, более легко-

плавки и образуют жидкие потоки, могущие при благоприятных условиях разливаться на значительные площади (фиг. 12); вследствие обилия окислов железа они обладают магнитными свойствами.

Так как процесс затвердевания связан с весьма сложным расщеплением магмы, то в остывающей массе образуются преимущественно пятна темноцветные из основных элементов, представляющие подобие конкреций; они располагаются согласно с течением лавы и иногда бывают окружены светлым кольцом позже выделяющихся элементов, например, полевого шпата. Такое разнородное сложение можно назвать пятнистым или шлировым.

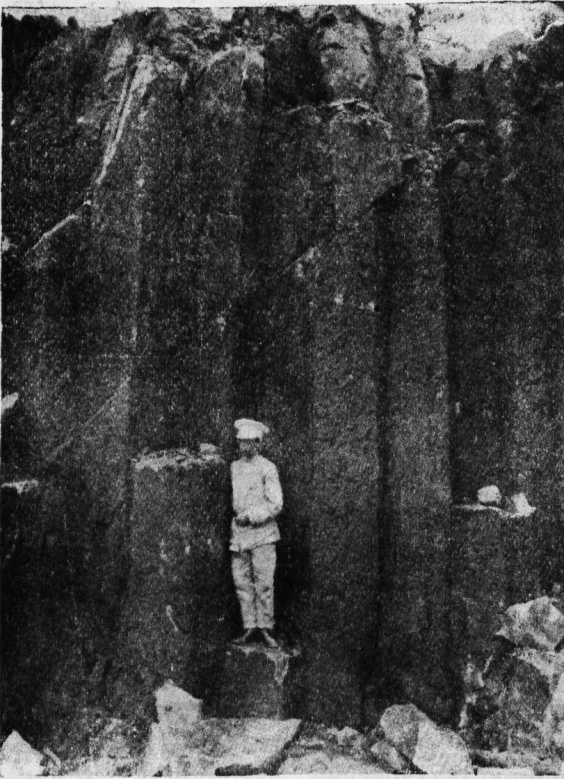
Помимо шлиров одна и та же магма, при затвердении, одновременно расщепляется на различные породы и другим образом — например, в виде жил гранитов и гранитпорфиров, в которых материал становится все более основным от середины жилы к ее заלבандам (краям). Равным образом и в вертикальном направлении застывающая магма расщепляется таким образом, что различным глубинным породам соответствуют поднявшиеся выше и застывшие в меньших объемах жильные породы, генетически тесно друг с другом связанные (фиг. 16). При поверхностных массовых излияниях расщепление магмы происходит в гораздо меньшем размере и реже, чем при застывании ее интрузивном и жильном. Причины расщепления магмы — сложны и разнообразны. Они приписываются то внешним влияниям — изменению температуры, то изменению состава расплавленного силикатового раствора, вследствие опускания уже выкристаллизовавшихся составных частей, то переплавлению в магме попавших в нее посторонних пород, оторванных магмой на ее пути как по бокам, так и сверху („крыши“ батолитов) (фиг. 4, к).

Внутреннее сложение изверженных пород всецело зависит от условий их застывания, причем они существенно разделяются на полнокристаллические, глубинные — плутониты и порфирово-стекловатые, эффузивные — вулканииты. Лавы, принадлежа к последним, в свою очередь могут иметь ряд структурных разновидностей в зависимости от частных условий их затвердевания, т. е. от его скорости; этот фактор в данном случае становится на место фактора глубины, играющего значение при образовании пород глубинных и жильных.

Чем медленнее остывает лава, тем она должна быть крупнокристаллическая и, наоборот, чем быстрее, тем стекловатее. Следовательно, более мощные потоки или жилы лавы должны быть отчетливее кристаллизованы, чем мелкие жилы и потоки, так как первые очевидно остывают медленнее вторых; ветви главного потока должны

быть менее кристаллизованы; лава, остывающая быстрее под водою, чем на воздухе, должна быть стекловатее и т. д. (фиг. 18).

В одном и том же центре извержения разделение лавы по удельному весу видоизменяется в зависимости от количества паров и силы извержения их, так как взрывы паров могут смешать разделившиеся слои и образовать или равномерную кристаллическую массу со вклю-



Фиг. 14. — Столбчатая отдельность.

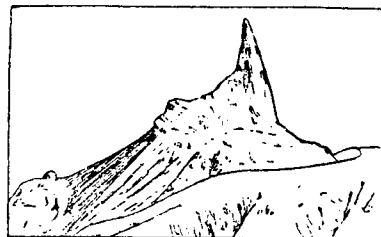
чением стекла, даже при быстром охлаждении, или же способствовать пятнистым выделениям. Следовательно, кроме температуры, степень проникания паров и характер их выделения также влияют на кристаллизацию лавы; то или другое количество паров, заключающихся в расплавленной массе, кроме того, обуславливает пористое сложение лавы и характер поверхности потоков ее.

Если пары, выделяющиеся из лавы, изменяют характер потоков и обуславливают пористое сложение лавы, то неравномерное охлаждение лавы придает ей особую правильную и характерную для вулканических пород трещиноватость, от которой зависит, так называемая, столбчатая, или призматическая

отдельность их (фиг. 14). Так как кора потока образуется быстро, а охлаждение внутренней части его идет медленно и притом после затвердения коры, то, очевидно, остывая и уменьшаясь в объеме, она производит разрывы или трещины в коре, которые с ходом охлаждения все более и более проникают и разделяют всю массу лавы на многогранные столбы, располагающиеся перпендикулярно к поверхности охлаждения. Как при высыхании глины образуются пяти- или шестигранные столбы, так и при остывании лавы. Если расплавленная масса однородна, поверхность ровная и стяжение равномерно, то получаются правильные параллельные пяти- и шестиуголь-

ные столбы; если масса лавы выступает в виде купола, то столбы располагаются лучеобразно и перпендикулярно к поверхности, сходясь к центру и изгибаясь в сторону наибольшего охлаждения; резкая граница между столбами разной величины не указывает обязательно на наличие двух потоков, но может возникать и в одном при малой мощности его, следовательно, направление столбов или трещин отдельностей в древних потоках дает возможность восстановить первоначальный вид массы, даже если она значительно размыта.

Кроме вертикальных трещин и столбчатой отдельности, при остывании лав, особенно неоднородных по сложению и составу, происходят еще горизонтальные трещины. Нередко трещины эти развиваются в значительном количестве и с большою правильностью, вследствие чего происходит пластинчатая или плитняковая отдельность (фиг. 32), которая всегда направляется параллельно поверхности потока, а в жилах — параллельно бокам жил, т. е. согласно с направлением пятнистости или шлирового сложения лав; следовательно, в потоках преобладает горизонтальная пластинчатость, а в жилах — вертикальная. С глубиною пластинчатость уничтожается, как и столбчатость. В куполообразных выходах пластинчатость располагается, как листья артишока или лука.



Фиг. 15. — „Игла“, поднявшаяся после извержения г. Пеле.

Что касается до количеств извергаемых вулканами масс, то первое место с 1500 года принадлежит вулкану Тамбора (о-в Сумбава в Индонезии), извергнувшему материал, превышающий совокупность всех рыхлых продуктов, извергнутых за эти 400 лет где-либо.

Область преобладания рыхлых продуктов извержения — Индонезия (Тамбора, Кракатоа, Бандайсан и др.), а лавовых — Исландия и острова Гавайские, Канарские, Самоа.

Общая масса извергнутых с 1500 года рыхлых масс до 300 куб. км, тогда как лавы — 50 куб. км.

Все вышесказанное относительно потоков и покровов лав относится только к тем из них, которым в большей или меньшей степени присущи свойства жидкого, хотя бы и очень густого тела. Совершенно иной, довольно редкий, правда, характер имеет появление на поверхности земли лав в уже застывшем и вместе с тем сплошном, не раздробленном (на бомбы, туфы и пр.) состоянии — выступы кислых лав. Явление это впервые наблюдалось весьма отчетливо при упомянутом уже извержении г. Пеле (фиг. 15). После того как

в древнем кратере вулкана, имевшем большую выемку на южном крае, имели место взрывы, и когда окончилось выбрасывание из него раскаленных туч, на месте этого кратера образовалось скопление андезитовой лавы, которая почти совершенно заполнила прежнее углубление, в виде купола до 8.000 м диаметром и 400 м высотой. На нем в начале октября 1902 г. (т. е. через 5 месяцев после начала извержения) начал медленно возвышаться остроконечный обелиск, который к 31 мая следующего года достиг своих максимальных размеров (476 м вышины от основания и 1.608 м высоты над уровнем моря). По мере надвигания обелиска на его боках образовывались выступы, а также отрывались глыбы, которые скатывались вниз. По ночам видны были раскаленные полосы, указывавшие на образование трещин. Возвышение обелиска шло неравномерно, часто его высота уменьшалась вследствие обрушивания вершины.

Лишь кислые, очень вязкие лавы могут образовать подобные купола и выступы. Но такая вязкость может иногда быть присуща и более основным лавам, если они выступают очень медленно, быстро и достаточно охлаждаясь. Таким образом, образование куполов зависит не только от химического состава магмы, но и от условий, при которых она выходит на поверхность. Образование куполов наблюдалось в последнее время также на острове Яве и других.

Сравнительное описание и изучение современных вулканов приводит к возможности разбить их на несколько, хотя и не очень строго ограниченных групп по разному типу их извержений. Мы видели уже, что различное протекание последних зависит, главным образом, от физического состояния магмы — степени ее вязкости во время извержения. Одна из простейших группировок следующая:

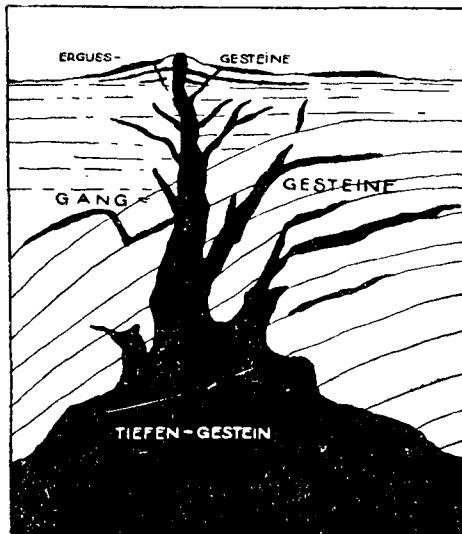
- 1) Воронки взрыва — тип Маар.
- 2) Лавовые вулканы — тип Исландско-Гавайский: плоские, массивные, щитовидные лавовые купола и покровы, трещины, излияния, лавовые озера.
- 3) Смешанные слоистые вулканы — тип Везувийский: простые и сложные вулканические конусы, состоящие из потоков лавы, слоев шлаков, туфов и пепла.
- 4) Экструзивные лакколиты: подъем лавы без всякого взрыва, конусы набухания, вытягивания.
- 5) Интрузивные лакколиты.

Первый и третий тип — кратерные образования, четвертый и пятый — лишены кратеров, а второй может быть кратерным и бескратерным. Между образованиями аффузивными и интру-

живными мы имеем ряд переходных звеньев через формы экструзивные (фиг. 4).

Изверженные породы в зависимости от условий выхода на поверхность также разделяются на различные категории. Одни, извергаясь из недр земли, не достигают до поверхности и затвердевают медленно, под значительным давлением, на некоторой глубине в коре земной. Они совершенно не принимают участия в строении новых или древних вулканических конусов и не сопровождаются рыхлыми вулканическими продуктами или туфами; они отличаются равномерным, зернисто-кристаллическим сложением и образуют подземные залежи (штоки, батолиты, лакколиты), с формою которых мы познакомились выше; они выступают на поверхность только после размытия или вообще разрушения их покровы, следовательно, формирование их происходит раньше обнажения их на поверхности. Породы эти называются плутоническими, а также глубинными или интрузивными (фиг. 16).

Другие породы, напротив, изливаются прямо на поверхность земли и затвердевают при обыкновенном давлении атмосферы или под водою; они называются вулканическими, и также излившимися, или эффузивными. Извержение их происходит с значительным напряжением, вследствие чего образуются рыхлые вулканические продукты, или туфы, которые всегда сопровождают эти породы. Сложение их большею частью порфировое, шлаковое или стекловатое, а формы залегания: жилы, покровы, потоки, купола. Породы глубинные и эффузивные различаются таким образом по залеганию и по разнообразным признакам минералогического состава и структуры, которые зависят от разницы и физикохимических условий застывания той расплавленной массы или магмы, из которой они произошли. Промежуточное положение между типичными глубинными породами, застывшими на более или менее значительной глубине, и эффузивными, застывшими на поверхности, занимают породы жильные (фиг. 16). Они залегают в виде жил, выполняя трещины, или небольших

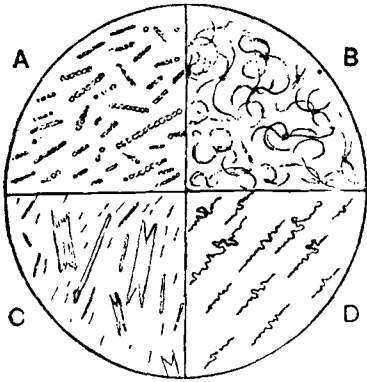


Фиг. 16. — Взаимоотношения глубинных жильных и излившихся на поверхность изверженных пород.

интрузивных масс, но, вследствие быстрого охлаждения и застывания магмы, обладают иногда структурами более свойственными эффузивным породам, как, например, порфировой структурой, или присутствием в их составе стекла.

Массивное сложение, отсутствие слоистости и окаменелостей, особые формы залегания, туфы и пр. представляют характерные признаки вообще изверженных пород, по которым их отличают от осадочных.

Строение, или структура, горных пород обуславливается характером выделения, формой, величиною и способом сращения неделимых, образующих породу, следовательно, зависит от геологических условий образования пород или от способа происхождения их, поэтому массивно-кристаллические и обломочные породы так резко отличаются по своей структуре.



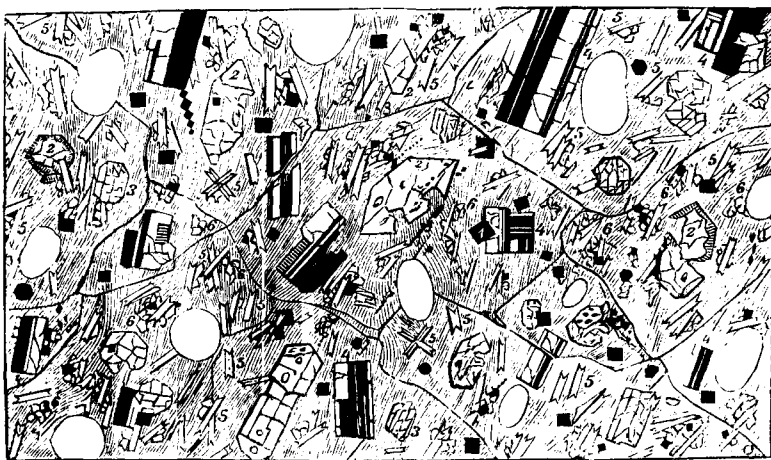
Фиг. 17.

Кроме структуры различают еще текстуру или сложение. Под этим названием объединяются те признаки внутреннего сложения породы из минералов, которое зависит от расположения составных частей и от распределения их в породе. При совершенно одинаковой структуре породы в одних случаях составные части могут быть распределены равномерно, в

других, наоборот, неравномерно. Удлиненные микролиты (фиг. 17) в одном случае рассеяны в стекловатой массе, будучи ориентированы в самых различных направлениях, в другом — они все вытягиваются в параллельном положении. Эти признаки не зависят от формы составных частей и их взаимных отношений, которыми определяется структура, и потому обозначаются особым названием признаков текстурных.

В зернистых изверженных породах, массивно-кристаллических, отличающихся отсутствием слоистости, структура определяется взаимными отношениями и формой различных неделимых. Так как изверженные породы, как мы видели, представляют продукт затвердения расплавленных масс, то, очевидно, в зависимости от условий охлаждения они могут быть или ясно зернистыми, если охлаждение происходило медленно, и все неделимые успели вполне дифференцироваться, или же совершенно стекловатыми при быстром охлаждении. Между зернистыми и стекловатыми породами, разумеется, существуют промежуточные, в которых при дифференцировке главных минералов остается то или другое количество стекла. Такие породы называют полукристаллическими. Микроскопическое исследование этих пород, равно

как и искусственное приготовление их, показывают, что при затвердении, как выше упомянуто, можно различать две фазы: первая фаза состоит в выделении крупных кристаллов, так сказать, плавающих в магме, при движении которой они иногда претерпевают разнообразные деформации: изгибаются, разрываются, оплавляются (см. фиг. 18) и пр.; вторая фаза заключается в выделении и кристаллизации остающихся элементов и в образовании основной массы, нередко стекловатой. Хорошо образованные кристаллы первой фазы выделения называют фенокристаллами. Во вторую фазу выделяются мелкие кристаллы различных минералов, называемые микролитами, которые вместе с кристаллами первой фазы иногда располагаются согласно движению магмы, как лес, сплавляемый по реке. Порода, затвердевая в таком виде, получает особую текстуру, называемую флю-



Фиг. 18. — Лава флюидального сложения в основной массе; 1 — 4 — элементы первой генерации, 5, 6 — второй.

идальной (фиг. 18, также фиг. 22), свойственную, очевидно, только изверженным породам. Если же стекловатая масса обнаруживает некоторые признаки несовершенной дифференцировки, т. е. представляет не стекло с вышеупомянутыми включениями, а массу, уже начавшую раскристаллизовываться и потому действующую на поляризованный свет, то такое сложение называется микрофельзитовым. Стекловатая, полустекловатая и микрофельзитовая структуры основной массы свидетельствуют о несовершенной или недоразвившейся дифференцировке и кристаллизации вулканической магмы (трахитовая структура). При полной же дифференцировке происходят зернисто-кристаллическая или гранитовая структура — типичная для гранитов и состоящая в том, что все неделимые развиты более или менее одинаково по всем направлениям в породе или, все равно, проявляются в виде кристал-

лических зерен приблизительно одинаковой величины, среди которых нет ни малейших остатков стекловатой или аморфной магмы (фиг. 19 и 20); следовательно, это вполне кристаллическое образование без разделения на фазы выделения. О последовательности образования различных минералов гранитовидных пород можно судить по степени идиоморфизма кристаллов этих минералов: раньше выделившиеся минералы будут идиоморфны, т. е. обладать свойственными им гранями, тогда как позднее выделяющиеся должны будут выполнять промежутки, оставшиеся между кристаллами и зернами первых, т. е. будут ксеноморфными по отношению к идиоморфным зернам первых. В большинстве случаев в глубинных кристаллических зернистых



Фиг. 19. — Габбро оливковое.

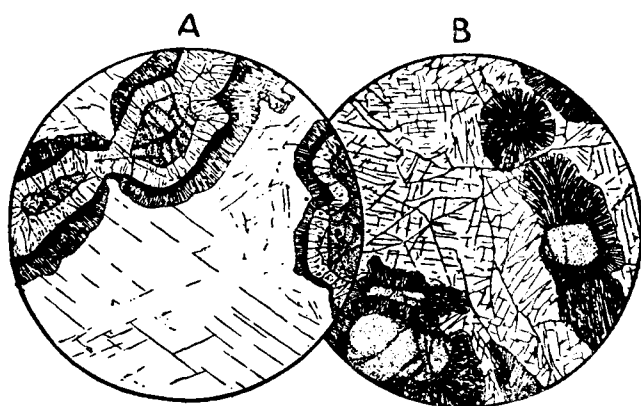


Фиг. 20. — Амфиболовый гранит;
А — амфибол, а — кварц.

породах железисто-магнезиальные минералы выделяются раньше полевых шпатов (т. е. алюмосиликатов), а кварц, если он присутствует, выделяется последним. Этот порядок выделения особенно характерен для гранитов, и такую разновидность структуры называют часто собственно гранитовой (фиг. 20).

В более богатых щелочными землями породах, состоящих существенно из плагиоклаза и пироксенов и принадлежащих к группе габбро (см. ниже), последовательность кристаллизации большею частью не так ясна, как в гранитах (фиг. 19). Однако, в некоторых разновидностях этой группы пород последовательность выделения минералов резко выражена: каждое новое минеральное поколение отлагается правильным слоем вокруг минералов предыдущего; такая структура называется друзитовой или венцовой (фиг. 21). По крупности зерен зернистые структуры разделяют: на крупно-зернистую (зерна до 25 мм), грубо-зернистую (до 6 мм), мелко-зернистую

(до 2,5 мм) и скрыто-зернистую или афанитовую, в которой неделимые не различимы невооруженным глазом. При неравномерном развитии зерен гранитовидная или зернисто-кристаллическая структура переходит в другую, чрезвычайно распространенную и называемую порфировидною, которая состоит в том, что в зернистой основной массе породы вкраплены отдельные, резко выделяющиеся, более или менее крупные, неделимые (фиг. 22). Здесь уже различаются две фазы кристаллизации: первая характеризуется выделением крупных порфировидно-выступающих неделимых, а вторая — формированием основной массы, в которую вместе с другими входят те же неделимые, но в меньших размерах. Еще резче две фазы кристал-



Фиг. 21. — Венцовая структура.

лизации выражены в порфировых породах. В породах порфировой структуры вкрапленники или фенокристаллы отличаются от кристаллов того же минерала второй генерации не только величиной, но обычно и кристаллическим обликом. Обыкновенно они развиты в разных направлениях более неравномерно и имеют формы табличек или призмочек, даже иголочек, тогда как фенокристаллы того же минерала обладают более правильными очертаниями. Размеры кристаллов в основной массе большей частью микроскопические, и они представляют настоящие микролиты. Часто кроме микролитов в состав основной массы входит также стекло. Микроструктура основной массы порфировых пород очень разнообразна. Это разнообразие зависит, главным образом, от степени раскристаллизации магмы, что в свою очередь является следствием, во-первых, условий кристаллизации, а, во-вторых, состава магмы.

При достаточной раскристаллизации может получиться структура полно-кристаллическая, но микро-зернистая, ее называют микрогра-

нитовой, но чаще присутствует стекло, в котором заключены в большем или меньшем количестве микролиты — это микролитовая структура в широком значении этого термина.

Микролитовые структуры, т. е. такие, в которых, кроме аморфного базиса, существенную часть основной массы составляют микролиты, могут различаться по относительному количеству микролитов и базиса и их взаимным отношениям. Если основная масса целиком состоит из одних почти микролитов, которые обыкновенно группируются в флюидальные потоки наподобие бревен сплавляемого по реке леса (флюидальная текстура) (фиг. 23), то такая структура называется трахитовой.



Фиг. 22.—Порфириовидная структура; фенокристаллы плагиоклаза в микролитовой массе флюидального сложения.

Кроме структур, обуславливаемых большею или меньшею полнотою дифференцировки неделимых, в полно-кристаллических породах наблюдается еще особого рода структура, зависящая от способа срастания неделимых, именно, пегматитовая.

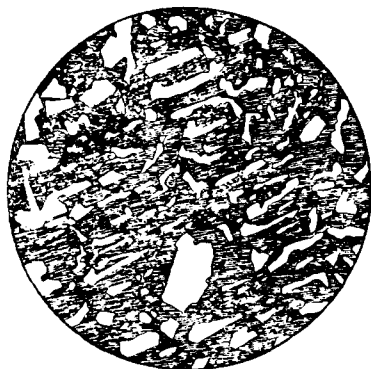
Пегматитовая структура обуславливается особым рода срастанием двух, одновременно выделившихся, составных частей: кварца и ортоклаза, в так называемом, письменном гравите (фиг. 24); вытянутые неделимые кварца срастаются совершенно кристаллографически правильно и однообразно с неделимыми ортоклаза. В поперечных разрезах кварц кажется изогнутым, коленчатым или зигзагообразным, словом, напоминающим еврейские письмена, почему сама порода и названа письменным или еврейским гранитом.

Наконец, некоторые формы текстуры обязаны присутствию газообразных и жидких веществ, которые всегда принимают участие при извержении вулканических пород. Участие этих пород обуславливает появление макро — или микропористой текстуры, характеризующейся пустотами разной величины. Текстуры эти называются: губчатой, пещеристой, пузыристой, пористой и шлаковид-



Фиг. 23. — Диабазовая текстура.

ной; причем все пустоты большей или меньшей величины, округлой и эллиптической формы, располагаются или без всякого порядка, или более или менее правильно, параллельно, вытягиваясь в каком-нибудь одном направлении. Эти текстуры особенно часто проявляются в современных лавах, пемзе и пр., но пористая и ячеистая текстуры иногда находятся и в осадочных породах, где они происходят от выщелачивания более легко растворимых частей. В древних вулканических породах все эти пустоты обыкновенно заполняются различными продуктами разложения пород и превращаются в миндалины, а потому такую текстуру называют миндалезидной. Самые же породы называют иногда миндалекаменными. Но кроме больших пустот в минералах, слагающих породы, находятся микроскопически малые в виде пузырьков или пор, заполненных газами, жидкостями или стеклом, как об этом сказано выше.



Фиг. 24.—Пегматитовая структура.

Изверженные породы, как самые многочисленные и разнообразные по составу, представляют наибольшее затруднение при разделении их. Конечною целью классификации является такая, которая была бы генетической, т. е. основанной на происхождении пород. Но об этом мы можем судить только по таким признакам, как состав химический и минералогический, структуры и геологические условия залегания. Из всех классификаций, существующих в настоящее время, ни одна не может считаться безупречною, но наибольшую определенностью и удобством отличаются классификации, основанные на минералогическом составе и структуре. По классификации минералогической прежде всего, в зависимости от полевого шпата, как самой распространенной составной части, породы можно разделить по характеру полевого шпата на: 1) Породы с одним только или решительно преобладающим щелочным полевым шпатом. 2) Породы с щелочными и известковощелочными полевыми шпатами. 3) Породы с известковощелочными полевыми шпатами: а) кислые, б) основные. 4) Породы без полевого шпата. Так как полевые шпаты ассоциируют преимущественно с кварцем, бисиликатами (авгит, роговая обманка и пр.) и фельдшпатами (нефелин, лейцит, гаюин, нозеан), то полевошпатовые породы можно разделить каждую еще на три группы: а) кварцевую, б) бескварцевую и в) фельдшпатовую. Бесполевошпатовую группу можно разделить, в зависимости от преобла-

дающих минералов той или другой группы, также на три части: а) фельдшпатовую, б) бисиликатовую и с) оливиновую; в виду же тесной связи и взаимных переходов бисиликатовой и оливиновой групп удобнее соединить их в одну под именем бисиликато-оливиновой группы.

Но кроме состава, в изверженных породах важную роль играет структура, поэтому породы одинакового минералогического химического состава разделяются еще в зависимости от структуры; это тем более имеет основание, что структура находится в зависимости от условия образования изверженных пород.

На основании структуры различают породы: 1) полно-кристаллически-зернистые, 2) порфиоровые и 3) стекловатые.

Кристаллически зернистая структура свойственна глубинным породам. Порфировой структурой обладают породы эффузивные или жильные, а также застывшие в виде небольших масс на небольшой глубине (гипабиссальные породы). Стекловатая основная масса свойственна почти исключительно эффузивным породам, редко жильным.

1) Ортоклазовые породы. Граниты образуют типичную глубинную фацию равномерно зернистого сложения (granum — зерно), но происхождение их до сих пор еще не выяснено удовлетворительно. Некоторые из них несомненно изверженные, но зато другие повидимому обязаны отчасти метаморфическим процессам. Они состоят из кварца и ортоклаза, хотя всегда с примесью плагиоклаза, микроклина, слюды и роговой обманки. Жильная разновидность их без слюды или только с ничтожным количеством мусковита называется аплитом, с биотитом — биотитовыми, с гранитом с двумя слюдами — собственно или двуслюдовым гранитом, с роговой обманкой — рогово-обманковым гранитом и проч. Уд. в. — 2,54 — 2,73.

Изверженные граниты, как породы глубинной фации, с приближением к поверхности изменяют зернистое сложение на порфировое и постепенно переходят сначала в порфировидный гранит, гранитовый порфир и, наконец, в кварцевый порфир.

Кварцевые порфиры того же состава, что и граниты, и переходы между ними нередки. Они отличаются только сложением; в тонко-зернистой или скрыто-кристаллической (фельзитовой) основной массе выделяются вполне образованные кристаллы кварца и ортоклаза; если же таких выделений нет, то порода получает название фельзита.

Липариты принадлежат поверхностной фации и представляют породы аналогичного состава с кварцевыми порфирами; они часто содержат кислое вулканическое стекло новейшего происхождения. При развитии стекла переходят в однородную стекловатую породу,

плотная и темная разность которой называется обсидианом, а светлая и пузыристая — пемзой.

Сиениты отличаются от гранитов отсутствием кварца в минералогическом отношении и в химическом — меньшим содержанием кремнезема. Смотря по тому, с какими бисиликатами сочетается ортоклаз, сиениты разделяются на амфиболовые, авгитовые и биотитовые. Подобно гранитам они богаты примесями и переходят в поверхностные фации: порфиоровую и трахитовую.

Ортофиры, или сиенитовые порфиры, как представители поверхностной фации, тесно связаны с глубинными сиенитами.

Трахиты представляют новые эффузивные породы того же сиенитового типа и химического состава. Ортоклаз в них является санидином. Они переходят при быстром охлаждения в стекловатые разности, называемые трахитовыми стеклами.

Нефелиновые сиениты отличаются от обыкновенных только содержанием фельдшпатидов, преимущественно нефелина или элеолита. Количество SiO_2 колеблется от 44 до 56%, следовательно, меньше, чем в сиенитах, так же как окисей кальция и магния, но зато больше щелочей и особенно натра. В новейшей эффузивной группе они образуют породу, называемую фонолитом.

2) Плагноклазовые породы. Кварцевые диориты или тоналиты представляют целую группу кварцево-плагноклазовых пород и состоят из кварца и плагноклаза, сочетающихся с биотитом, роговой обманкой и авгитом; в зависимости от этих эквивалентных минералов они разделяются на несколько разновидностей. Уд. в.—2,77. Порфиоровые разновидности плагноклазовых пород называются порфиритами. Кварцевый порфирит относится к тоналиту так же, как кварцевый порфир к граниту; здесь так же, как и там, наблюдаются между ними такие же переходы.

Даци́ты являются представителями тоналитов среди новейших эффузивных пород, т.е. поверхностной фации; они слагают, например, вершину Эльбруса.

Диориты, диабазы, габбро, нориты состоят из плагноклаза и различных бисиликатов, а именно: в диоритах с плагноклазом сочетается роговая обманка; в диабазах — авгит, в габбро — диаллаг или авгит, в норитах — бронзит или гиперстен; состав их аналогичен диориту. Диориты отличаются более кислым составом плагноклаза. Диабазы отличаются от габбро, главным образом, структурой (фиг. 23). Особую разновидность диабаза составляет оливинный диабаз, отличающийся только содержанием оливина. Порфиоровые разновидности аналогичного состава называются диоритовыми, диабазовыми и проч. порфиритами, при чем стекловатые разности их называ-

ются витрофиритами, а порфировая разность оливинового диабаз называется мел а ф и р о м.

Среди новейших эффузивных пород диоритам соответствуют андезиты, а габбровым породам базальты, долериты и анамезиты, отличающиеся между собою только крупностью зерна. Они имеют наибольшее распространение в продуктах современных вулканических извержений.

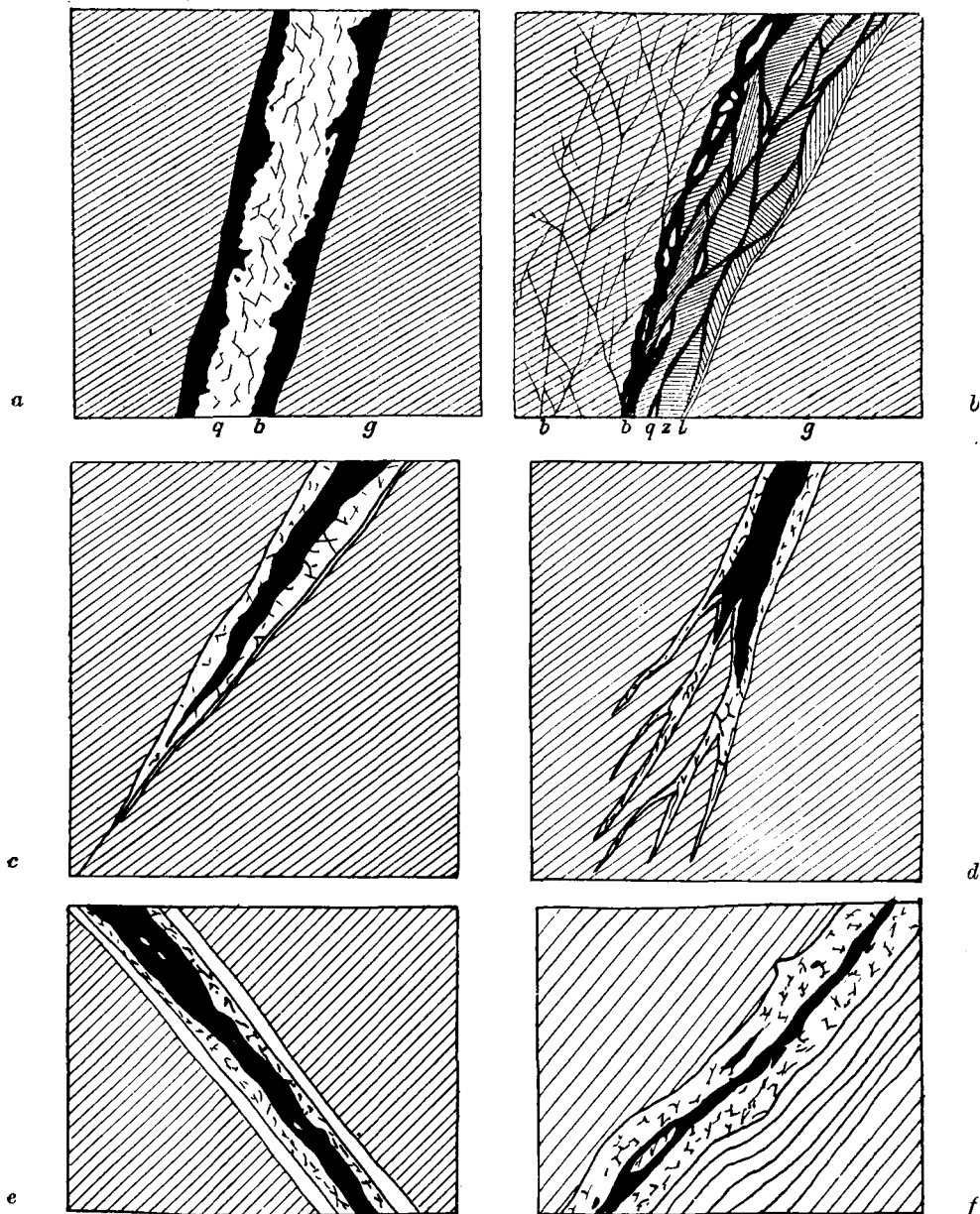
3) Бесполовошпатовые породы отличаются отсутствием полевых шпатов в составе и развитием фельдшпатинов, оливина и бисиликатов. Собственно фельдшпатиновые разности в глубинной фации встречаются редко, оливиново-бисиликатовые породы имеют большое развитие и называются перидотитами. Между ними известны породы, состоящие исключительно из оливина, например, дунит, или же из оливина в соединении с роговою обманкою, авгитом, энстатитом и др. Это самые основные породы. Порфировые разности их, пикриты, встречаются редко, но в новейших эффузивных породах находятся чаще.

Химические классификации горных пород исходят из их химических составов, не учитывая большею частью других особенностей; поэтому их правильнее рассматривать, как классификации химических составов пород, а не самих пород. Химические составы пород представлены содержанием 9 или более окислов: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , H_2O , CO_2 , P_2O_5 , FtO_2 и др. В целях классификации цифры содержания этих окислов или соответствующие им молекулярные количества тем или иным способом соединяются в группы, и разнообразные отношения величин этих групп образуют числовые характеристики химических составов, носящие различные названия: магматических формул, символов состава, параметров и т. д. Так, например, отношение числа частиц SiO_2 к числу оснований составляет коэффициент кислотности α в системе классификации Левинсон-Лессинга и т. д.

Формы залегания изверженных горных пород.

Основные формы залегания пород обуславливаются, также как структура, состав и отдельность их, способом происхождения. Одни породы залегают в виде слоев или пластов, другие же вовсе не обнаруживают слоистости и проявляются в виде более или менее правильных масс, различной формы и величины. Пластами залегают преимущественно осадочные породы и метаморфические, тогда как вулканические образуют несколько форм, которые условно можно разделить на две категории: 1) эндогенные, или внутренние; к ним принадлежат: жилы, штоки, интрузивные залежи — лакко-

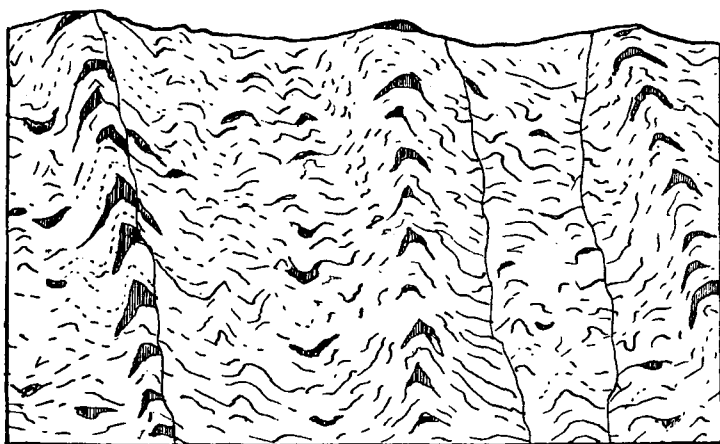
литы и батолиты; 2) экзогенные, или внешние: купола, покровы и потоки.



Фиг. 25. — Различные типы жил: *a* — простая жила; *b* — сложная жила; *c* — выклинивание жилы; *d* — разветвление жилы; *e* — поперечная жила; *f* — пластовая жила.

Жилою (фиг. 25) называется трещина, заполненная какою-либо породой; в зависимости от того или иного материала и способа запол-

нения различают жилы трех типов: жилы изверженных пород, жилы рудные и жилы минералов. Причины образования трещины и ее заполнения, равно и время обоих процессов, зависят друг от друга и могут быть вполне различны. Если минеральная масса заполняет несколько трещин, располагающихся близко друг к другу, то получается свита жил, которая может состоять из параллельных, сетчатых, лучистых и пересекающихся жил. Иногда от главной большой жилы отходят боковые ветви, которые называются апрофизами. Окраины жилы, отличающиеся по своему строению от средней части ее, называются зальбандами жилы (см. в на фиг. 25-а). Жилы, залегающие в слоистых породах, могут распола-



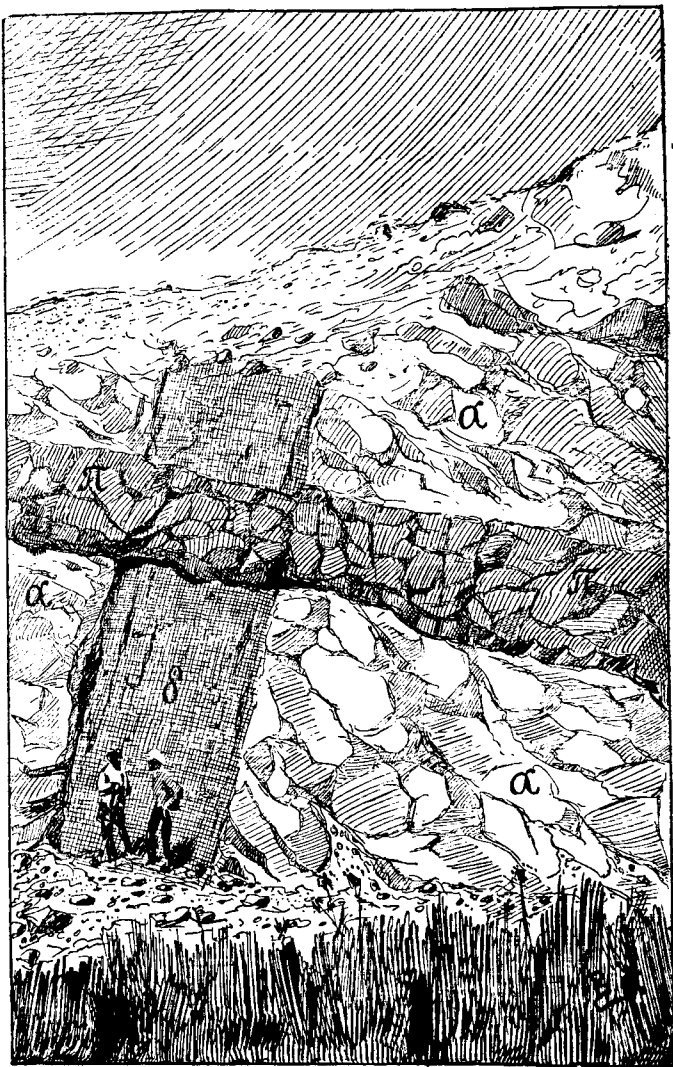
Фиг. 26. — Жилы пластовые седловидные; рудные выделения в перегибах складок.

гаться параллельно пласта и называются пластовыми жилами или жильною залежью (Sills) (фиг. 25-f и 26); в противном случае — перпендикулярными или наклонными, в зависимости от положения, и тогда называются настоящими жилами. Верхняя часть всякой наклонной жилы называется висячим боком, а нижняя — лежачим боком; кратчайшее расстояние между ними называется мощностью жилы, которая изменчива также, как ширина трещин, а потому в жилах часто наблюдаются: утолщения, утонения и пережимы до выклинивания (фиг. 25-с). При значительной мощности жилы и при небольших других размерах ее, она называется жильным штоком. Размеры жил весьма разнообразны — от нескольких сантиметров до нескольких километров, а по простирацию — до сотни километров. Взаимное пересечение жил дает возможность определять их относительную древность (фиг. 27).

Жилы, ограниченные правильными параллельными плоскостями, имеющие вид пластов, но секущие окружающие породы (массивные или пластовые), носят название даек (фиг. 28). Обычно этот термин применяется лишь к тем из таких жил, которые выделены выветриванием или размыванием из вмещающей их массы, благодаря большей твердости слагающего их материала (фиг. 29); возможны, однако, и обратные случаи — более быстрого разрушения самой дайки, которую можно тогда назвать отрицательной (фиг. 30), в отличие от первых — положительных. На фиг. 28 представлены разнообразные случаи залегания даек и объяснение различных выходов их на поверхности и вообще в обнажениях, имеющее большое значение при изучении рудных залежей.

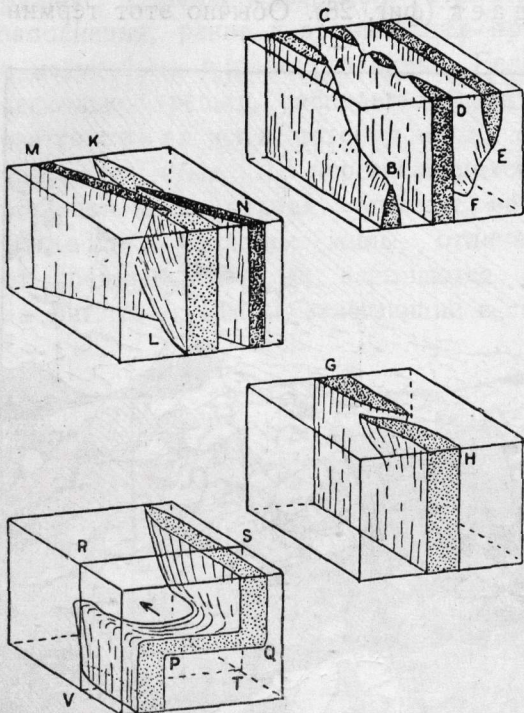
По материалу заполнения различают жилы минеральные — рудные и жилы горных изверженных пород. В особую, более редкую группу, можно выделить жилы, состоящие из обломочного материала (фиг. 31).

Размеры, достигаемые рудными жилами, чрезвычайно значительны: до 150 км длиной. Ширина — мощность жил достигает 100 м.



Фиг. 27. — Пересечение жил разного возраста. Г. Кандык-тас. Семиречье.

Штока́ми называют бесформенные массы (фиг. 4-г; стр. 39), значительных размеров по всем направлениям. Если шток залегает в сло-



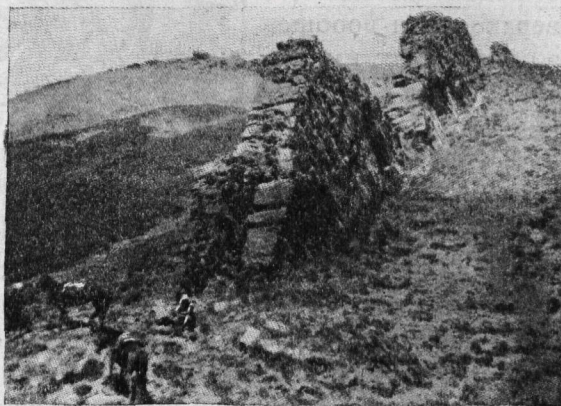
Фиг. 28. — Различные случаи залегания и обнажения даек.

Так как большинству возвышенностей, сложенных массивно-кристаллическими породами, свойственно приобретать на поверхности куполообразную форму, то для решения, действительно ли это в точном смысле купола, необходимо установление наличия этой жилы, корня купола и внутреннего строения куполов; весьма характерна возникающая при их застывании, перпендикулярно поверхностям охлаждения, столбчатая отдельность (см. выше фиг. 32), располагающаяся около оси купола веерообразно (в верхней части веер, открытый вверх, в нижней вниз). Плитообраз-

истых породах, то, подобно жилам, может быть параллелен или перпендикулярен пластам; в первом случае он называется пластовым штоком или интрузивной залежью, а во втором — тифоном.

В виде штоков преимущественно залегают массивно-кристаллические породы — вроде гранита и сиенита, а также некоторые породы химического происхождения — вроде гипса и каменной соли и рудные залежи, особенно колчедановые.

Купола представляют лакколиты на поверхности земли, т.-е. колоколообразные или конические массы изверженной породы, продолжающиеся в жилу, через которую некогда доставлялась порода на дневную поверхность.



Фиг. 29. — Дайка.

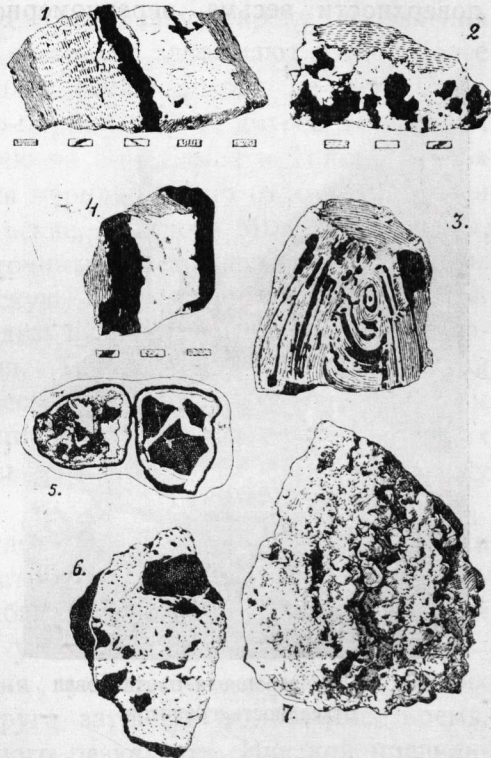
ные отдельности характерны, наоборот, для краев частей купола и окаймляют их, отслаиваясь концентрически. Купола преимущественно сложены, помимо современных лав, базальтами, фонолитами и трахитами третичного возраста.

Покровы. В случае, если изверженная порода, выступающая на поверхность, расплывается во все стороны и образует нечто в роде пласта, то такая форма называется покровом (фиг. 4-t).

Нередко несколько покровов залегают слоисто один над другим. В виде покровов залегают базальты, мелафиры, порфиры и диабазы.



Фиг. 30. — Отрицательная дайка.



Фиг. 31. — Различные случаи заполнения жил.

Если на покрове отлагаются впоследствии осадки, то возникают осадочные свиты, содержащие, иногда весьма правильные, пласты изверженных пород (диабазов и др.), которые естественно подчиняются вместе со всей свитой всем тектоническим нарушениям ее.

Потоками называют такие покровы, которые обнаруживают ясные следы течения в каком-либо одном направлении, так что в потоке всегда можно отличить длину от ширины, что в покрове неразлично.

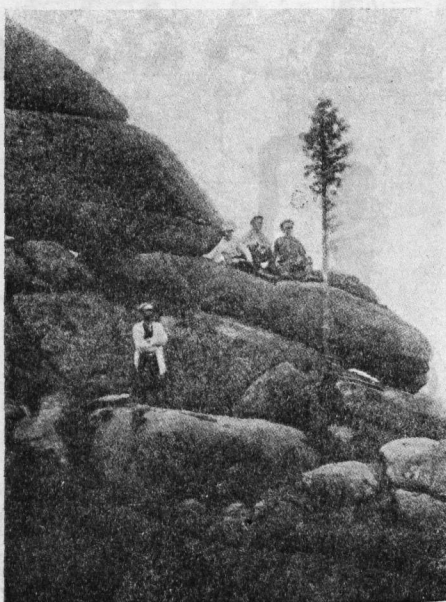
Число и географическое распределение вулканов.

Число действующих вулканов в:

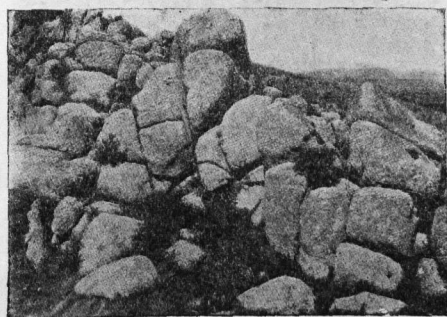
	Атлантическо- Индийская половина	Тихо- океанская	Всего
Южном полушарии	17	139	156
Северном	77	197	274
Всего:	94	336	430

При подсчете и всех потухших вулканов, общее число их возросло бы раз в десять.

Географическое распределение действующих вулканов на земной поверхности весьма неравномерно и обуславливается некоторыми факторами, которые, впрочем, не зависят от географического положения и высоты. Некоторые области весьма богаты вулканами, тогда как другие, как вся Европейская часть СССР, Сибирь, Скандинавия, Бразилия, Австралия и др., совершенно их лишены. Заметно преобладают



Фиг. 32. — Матрацевая-плитняковая
отдельность гранитов.



Фиг. 33. — Отдельность гранитов.

вулканы в северном полушарии, а в особенности они приурочены к экваториальной зоне.

Рассмотрение географического распределения вулканов приводит к следующим заключениям:

1) Дислокация земной коры представляет одну из существеннейших причин, вызывающих появление вулканических рядов, а не наоборот, т.е. не вулканы производят дислокацию.

2) Так как главнейшие и крупнейшие пояса разлома земной коры находятся на окраинах материков и морей, то понятно, почему наибольшее количество вулканов группируется вблизи океанов.

Только некоторые из американских вулканов, например, в Эквадоре, Перу, Боливии и Чили, удалены от моря от 20 до 40 миль. Наиболее удаленными же являются угасшие вулканы маньчжурские, хинганские и витимские и особенно африканские (Кирунга—в 1000 км от моря), ныне действующие. В центральных же частях материков решительно нет ни одного из действующих вулканов. Из 145 вулканов, производивших извержения с 1750 г., около 100 находятся на островах, а из остальных подавляющее большинство на берегах материков вблизи морей.

3) Почти все вулканы и вулканические области расположены рядами, в виде вытянутых зон, опоясывающих весь земной шар; две главных зоны обрамляют Тихий океан — „главную арену проявления земного вулканизма“, сходясь на севере, и заключают в себе более 250 действующих вулканов. Западная ветвь, доходя до о-ва Целебеса, разделяется на ряды зондско-бирманский и другой восточный, направляющийся через Новую Гвинею на о-ва Самоа и Тонга. Третья зона — атлантическая, протягивается меридионально от о-ва Ян-Майян на Исландию, о-ва Азорские, Канарские, Зеленого Мыса, Вознесения, Св. Елены, Тристан-д’Акунья; восточным ответвлением этой полосы можно принимать средне-европейскую и средиземноморскую зоны. Параллельно атлантической проходит вулканическая полоса Армяно-Арабско-Африканско-Мадагаскарская. Таким образом, мы видим три главных меридиональных вулканических пояса с одним еще боковым параллельным и один поперечный широтный, состоящий из восточных и западных ответвлений меридиональных и соответствующий и главному поясу разлома материков.

Ближайшее рассмотрение отдельных вулканических зон или частей их выясняет почти повсеместно расположение вулканов длинными рядами, прямыми или изгибающимися и стоящими в тесной связи с основными тектоническими условиями данных областей.

Вопрос о густоте расположения вулканов в одном ряду или их взаимных расстояниях друг от друга затронут в последнее время, однако, без какого-либо определенного результата. Никакой правильности и постоянности здесь нет и быть не может.

Древние вулканические области.

Зная строение современных вулканов, характер и все особенности извергаемых ими продуктов, сложение и формы залегания изверженных горных пород, а также условия географического распределения вулканов, мы можем определить древние вулканические области, происходившие в различные геологические эпохи. Перечисление всех таких областей на земле вывело бы нас из рамок настоящего изложения.

Изучение древних, потухших и размытых вулканических областей приводит к следующим заключениям о вулканической деятельности земли, а именно:

во 1-х, географическое распределение центров древних извержений зависит от тех же факторов, что и современных, т.е. от дислокации;

во 2-х, центры извержений отличаются большим постоянством в течение целого ряда геологических периодов; при благоприятных условиях, извержения возобновляются в одних и тех же центрах, доставляя в разное время часто одни и те же продукты, а иногда и различные;

в 3-х, древние и новые вулканические центры, хотя тесно связаны с дислокацией вообще, но группируются преимущественно в областях опускания, особенно на грабенах, например, восточно-африканские вулканы с Килиманджаро во главе, вулканы Италии, Греческого архипелага, палеозойские вулканы ср. Шотландии;

в 4-х, связь вулканов с общими колебаниями земной коры выражается не только в зависимости их распределения от дислокации, но также и в периодичности их напряженной деятельности. Напряженность вулканических извержений в Европе совпадает с периодами наибольших движений земной коры, которые отражаются также на перерывах в осадочных отложениях и на их петрографическом и палеонтологическом разнообразии;

в 5-х, формы проявления и продукты извержения вулканов, по-видимому, во все времена от древнейших до новейших были одинаковы, с тем, однако, что массовые трещинные излияния все более уступают место центральным, кратерным извержениям.

Заключение.

Оставляя в стороне все громадное число противоречивых гипотез и теорий о сущности вулканизма, попытаемся вывести основные средние положения по этому вопросу.

За последнее время основной причиной вулканизма выставляется гидростатическое давление опускающихся частей земной коры на пластическую или жидкую магматическую массу, заставляющее последнюю искать выхода на поверхность. При этом допустимо предполагать, что непосредственное извержение вызывается освобождением газов, насыщавших магму при ее застывании, а самые газы присущи ей с первых стадий формирования земли, т.е. ювенильны.

Или мы признаем, что:

1. литосфера неоднородна;
2. под литосферой имеется зона, реагирующая на резкие изменения давления, как твердое тело, а на медленные усилия, как пластичное;
3. заключающаяся в этой зоне масса магмы, при соответственных дислокациях литосферы, может менять свое положение и подниматься;
4. всякого рода движения литосферы являются главной причиной стремления магмы к поверхности, т.-е. вулканизма, наряду с которой стоит содержание газов в магме;
5. вулканизм проявляется на поверхности земли не беспорядочно, но подчиняясь известным линиям и областям;
6. наиболее богатые вулканами области обрамляют Тихий океан;
7. вулканическая деятельность и скопление вулканов приурочены к экваториальной зоне земли и убывают к полюсам;
8. несомненная связь большинства вулканов с морскими побережьями не прямая, а косвенная, обусловленная лишь частой связью побережий океанов (именно тихоокеанских) с главными поясами разломов и подвижности земной коры;
9. наиболее активные вулканические проявления приурочены к главным горообразовательным зонам и частью расположены непосредственно на трещинах, что иногда видно по линейному расположению вулканов;
10. наряду с этим несомненно имеются и независимые от трещин вулканы, пробившие, путем взрывов, собственные каналы в литосфере;
11. активность поднимающейся магмы зависит от давлений в литосфере, с одной стороны, и заключенных в ней газов, с другой;
12. газы и водяные пары в вулканических процессах двоякого происхождения: первичные, присущие самой магме — ювенильные, и фреатические, с поверхности проникшие в вулкан;
13. непосредственные движения земной поверхности, поднятия и опускания, а равно и внезапные сотрясения могут иметь причиной вулканические процессы, но являются лишь местными, не захватывающими больших пространств, и резко отличающимися от движений эпейрогенических, орогенических и сейсмических;

Лишь по рассмотрении всех этих трех категорий движений земной коры, чему посвящена глава III, возможно теснее связать их с вулканизмом.

ГЛАВА III.

Движения земной коры.

I. Землетрясения.

Всякое сотрясение большей или меньшей части земной коры, происходящее от причин внутренних, скрытых в недрах земли, называется землетрясением; совокупность же явлений, предшествующих, совпадающих и следующих за землетрясениями, называется сейсмическими явлениями.

Под термином „землетрясение“ в тесном смысле понимаются такие сотрясения, которые имеют своим источником движения на глубине и передаются, как упругие колебания, через вещество земли. Следовательно, к землетрясениям не относятся такие колебания, которые передаются земле извне, как, например, от взрывов, пальбы, работы машин и т. п., а также и сотрясения почвы, вызываемые такими внешними причинами, как колебания барометрического давления, согревание и охлаждение земной поверхности, влияние притяжения солнцем или луной. Если место движения, вызывающего сотрясение, находится под дном океана, то говорят о моретрясениях. Основной причиной землетрясений является нарушение равновесия в находящихся под постоянным давлением частях земной коры.

Изменения этого напряжения проявляются механически, толчком, разрывом, трением, вызывающими сейсмические явления в массе и на поверхности земли.

Сильные землетрясения принадлежат к самым разрушительным явлениям природы; в этом отношении они далеко превосходят даже вулканические извержения, так как обыкновенно распространяют свои губительные последствия на обширные, иногда густо заселенные площади земли. Как бич человечества, они всегда производили панический страх и оставляли глубокий след не только в природе, но и в народных преданиях.

Благодаря основанию систематических наблюдений с каждым годом все более и более приходится убеждаться, что количество земле-

трясений чрезвычайно громадно, и, следовательно, они далеко не принадлежат к редким или исключительным явлениям природы, а напротив, к обыкновенным и постоянным. Без преувеличения уже можно сказать, что земля никогда не находится в состоянии сейсмического покоя.

При такой распространенности сейсмических явлений и важном значении их как для истории развития земли, так и вообще для человечества, естественно, что изучение этих явлений выделилось в особую самостоятельную науку под названием сейсмологии.

Последние два десятилетия замечательны именно, как переходный период развития сейсмологии, происходящего по двум различным направлениям. С одной стороны, геологи все более овладевают методом действительно геологического исследования землетрясений в поле, оставляя область гадательных гипотез и чисто статистического накопления фактов. С другой стороны, новые точные инструментальные методы наблюдений требуют привлечения физиков и математиков, а выводы из этих наблюдений дают прочное основание для учений геофизических — познания природы земного шара на данных изучения дальних землетрясений.

Вопросы третьей части сейсмологии — практической — составляют уже предмет ведения механиков и инженеров-строителей.

Сущность и характер сотрясения, число ударов, продолжительность и направление их.

Независимо от некоторого различия во взглядах на внутреннее состояние земного шара, он должен быть рассматриваем, как твердое и упругое тело, в котором всякое движение распространяется в форме волн упругости, а не волн тяжести, типом которых является волна воды. В упругих волнах частица совершает движения по прямолинейному направлению, в форме волн двух родов. Если периодическое отклонение частицы от ее состояния равновесия происходит в направлении распространения самой волны, то ее называют продольной; она выражается в попеременном расширении и уплотнении вещества, т. е. изменении объема, и называется волной сжатия и разрежения. Другой род волн возникает, если отклонение частицы происходит в направлении поперечном к распространению движения; такие волны называют волнами поперечными, возникающими без изменения объема частиц. При всяком нарушении равновесия возникают обе категории волн, скорости которых различны и относятся между собой, как 3:1. Поперечные волны возникают лишь в твердых телах. Время, соответствующее полному пути частицы от ее состояния равновесия и обратно, называют периодом; наибольшее отклонение движущейся частицы от ее состояния покоя (в обе стороны) называют амплитудой. Длиной

волны называют расстояние между двумя положениями равновесия, иначе, произведение скорости распространения на период.

Законы упругих колебаний имеют весьма большое сходство с законами распространения света, и в вопросе перехода движения из одной среды в другую мы должны учитывать явления отражения и преломления. Таким образом, всякая сейсмическая волна, встретив границу двух средин с неодинаковыми физическими свойствами, дает начало четырем волнам, двум отраженным и двум преломленным, при чем одна из каждой пары будет продольная, а другая поперечная. Это обстоятельство весьма усложняет исследование сейсмических явлений. Кроме того, у той же границы могут возникнуть особые поверхностные волны, которые можно сравнить с волнами, порождаемыми падением камня на спокойную поверхность воды; они имеют в сейсмологии очень важное значение и называются длинными, так как отличаются большим периодом. Из наблюдений Пулковской станции при мессинском землетрясении 15/28 XII 1908 г. скорость этих волн была определена в 3,53 км/сек., и, следовательно, поверхностные волны требуют около 3 ч. 8 м. 51 с., чтобы обогнуть весь земной шар. То место внутри земной коры, где первоначально произошло нарушение равновесия, называется очагом или гипоцентром землетрясения, а ближайшая к нему точка земной поверхности эпицентром (см. фиг. 36, 43 и стр. 81). Гипоцентр, эпицентр и центр земли лежат на одной прямой линии. У поверхности самое сильное сотрясение наблюдается в эпицентре. Не подлежит теперь сомнению, что как гипоцентр, так и эпицентр не точки, но области, имеющие известное протяжение, обычно весьма растянутые, однако, вообще говоря они настолько малы в сравнении со всей землей, что для простоты мы можем принимать их за точки, подразумевая всегда под эпицентром середину действительной эпицентральной области. В этой области, кроме колебаний, вызываемых распространением упругих волн, замечаются и действительные смещения материальных частиц, т. е. обнаруживаются видимые поверхностные волны, вызывающие наибольшие разрушения и нередко запечатлевающиеся на земле. Это волны тяжести, скорость которых (всего 4 м в 1 сек.) несоизмеримо меньше упругих настоящих сейсмических волн, следствием которых, при крайней напряженности, они являются. Такие волны возникают только среди рыхлых отложений, в массах, приближающихся как бы к жидким; амплитуда их весьма велика, и им не могут сопротивляться ни почва, ни здания.

По форме проявления движений в земной коре можно различать колебания:

1. Брадисейсмические, т. е. медленные, вызываемые силами притяжения: солнцем, луной, суточными колебаниями температуры,

вековыми геологическими колебаниями больших площадей в связи с горообразованием (см. стр. 109). Ощутимы лишь точными наблюдениями. Исследованиями медленных деформаций земли, как целого, под влиянием лунно-солнечного притяжения выяснилось, что земля не является абсолютно твердым телом.

2. Тахисейсмические, т. е. быстрые, делят на: а) микросейсмические, ощутимые лишь при помощи инструментов, б) макросейсмические, т. е. непосредственно ощутимые нашими чувствами, и с) мегасейсмические, т. е. землетрясения разрушительного характера. Соответственно вышеприведенному делению задач сейсмологии, можно сказать, что микросейсмы изучаются путем геофизическим, макросейсмы — преимущественно геологически, а мегасейсмы требуют приложения инженерных познаний.

Под влиянием упругих волн движение каждой материальной частицы может быть очень сложным, но как всякое движение, оно может быть разложено на вертикальное, два горизонтальных и три вращения около каждой из осей. Задача сейсмологии состоит в установлении действительных элементов этого движения по данным приборов. В эпицентральной области преобладают сотрясения от вертикальной составляющей, как удара, действующего непосредственно снизу вверх. В таких случаях говорят о сотрясательном движении.

С удалением от эпицентра вертикальная составляющая проявляется все слабее, а горизонтальная все сильнее, и говорят о волнообразном движении, понимаемом, как волна упругая, за исключением случаев действительного проявления видимых волн тяжести. Наконец, говорят и о вращательном движении. Наличие всех трех категорий движений подтверждается как наблюдениями, так и теоретическими соображениями.

Переход одного движения в другое происходит постепенно, и потому при крутых углах, например, в $60—80^\circ$ выхода удара, наблюдаются оба движения совместно, т. е. сотрясательное, или нормальное и волнообразное; эта полоса сложного движения может быть названа переходною полосой сотрясения, или поясом смешанного сотрясательно-волнообразного колебания, внутри которого преобладает исключительно сотрясательное движение, а вне его — исключительно волнообразное движение.

Наблюдение над действительными родами колебаний приводит к следующим общим положениям:

1) Сотрясение поверхности земли происходит от прямых и косых ударов; первые направляются под прямым или близким к прямому углам и производят чисто сотрясательные или смешанные колебания;

вторые же, выходя под косыми или острыми углами на поверхность производят только волнообразные колебания.

2) Область сотрясательного движения на поверхности представляет вертикальную проекцию подземной площади места возбуждения удара.

3) Область волнообразного движения залегает вне проекции исходной площади удара, и тем оно правильнее и слабее, чем более удалено от центра сотрясательной области.

4) Величина угла выхода удара находится в обратном отношении к расстоянию от эпицентра и в прямом к глубине залегания исходного пункта удара или центра землетрясения.

Все эти положения подтверждаются непосредственными наблюдениями над различными землетрясениями, при которых почва испытывала сотрясательное и волнообразное движение в зависимости от места наблюдения.

Продолжительность и число сотрясений, а также промежутки между отдельными ударами чрезвычайно разнообразны при каждом землетрясении.

Непосредственные наблюдения указывают, что число отдельных ударов обыкновенно больше в начале периода землетрясения и гораздо меньше в конце; так, в начале периода происходит не менее 3 ударов секунд. Продолжительность ударов обыкновенно очень небольшая, по крайней мере разрушительные удары редко продолжаются даже минуту, а только несколько секунд. Разумеется только в этом смысле и возможно говорить о продолжительности землетрясений; что же касается дней, недель, месяцев и даже годов, в течение которых землетрясения не прекращаются, то такого рода продолжительные сотрясения, состоящие обыкновенно из множества отдельных ударов и даже в разных местах одной и той же области, называются периодами землетрясений; продолжительность их разнообразна, от нескольких минут до 3-х и даже 8 лет, как, например, в Китае, Кан-су; в этой провинции за последние 2700 лет зарегистрировано 240 землетрясений, из которых многие достигали большой длительности. Землетрясение на Камчатке с февраля по апрель 1923 года выразилось 195 толчками. При японском землетрясении 1-го сентября 1923 года в первый день зарегистрировано 216 толчков, а во второй 57, весь же период захватил почти неделю. Крымское землетрясение 1927 года длилось около 4 мес.

Повторяемость землетрясений, выражающаяся в частом проявлении их в какой-либо области, и наибольшая степень их напряженности определяют понятие сейсмичности страны. Чтоб судить о сейсмичности необходимы сведения за много лет, собираемые, в так назы-

ваемых, каталогах землетрясений. По таким данным можно выразить в цифрах среднюю повторяемость ударов на квадратный километр страны, но еще лучше изображать не только повторяемость, но и степень напряженности, и место эпицентра, пользуясь для этого кружками разной величины. На карте всего света мы можем выделить в результате области сейсмичные, т. е. потрясаемые часто и разрушительно, пенесейсмичные, т. е. потрясаемые часто и сильно, и асейсмичные, потрясаемые редко и слабо или вовсе не сотрясаемые.

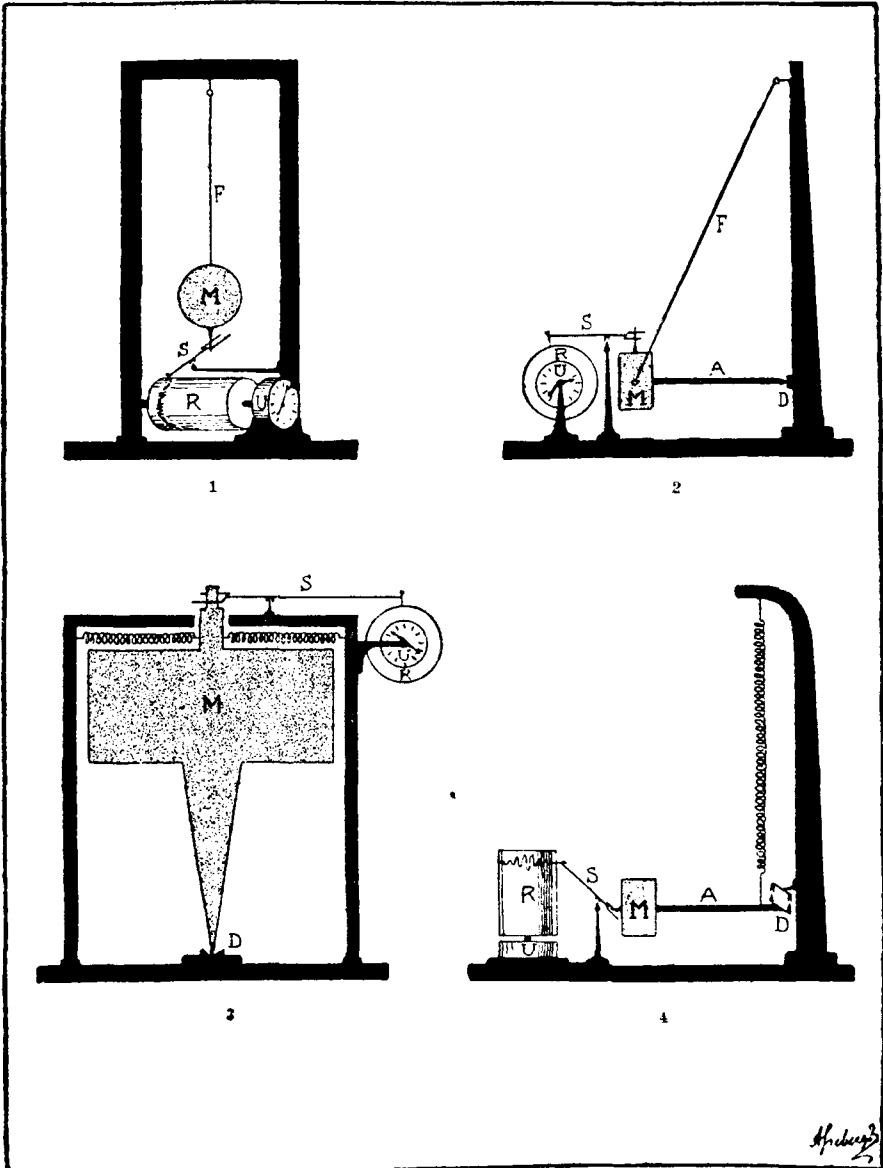
Если исходный пункт подземного удара считать центром землетрясения, то проекция его на поверхности, характеризующаяся сотрясательным колебанием, называется эпицентром землетрясения; форма площади эпицентра, разумеется, зависит от формы площади центра, хотя в разнородных породах также претерпевает большие отклонения. При неправильной форме площади эпицентра первые, ближайшие к нему, волны будут иметь также неправильный вид, но потом с увеличением расстояния от эпицентра постепенно приблизятся к круговой форме; поэтому с удалением от эпицентра сейсмическое движение будет наступать последовательно все позже и позже. Линии, соединяющие пункты одинакового разрушения, или, все равно, интенсивности землетрясения, называются изосейстами; площадь одинакового наибольшего разрушения называется плейстосейстовой областью; величина ее до некоторой степени обуславливается величиною угла выхода удара. Вся площадь, испытывающая движение при землетрясении, называется областью землетрясения (фиг. 43).

Изучение основных элементов землетрясений невозможно без особого рода инструментов, употребляемых при наблюдении над землетрясениями и известных под общим именем сейсмических приборов, или сейсмографов.

Число различных сейсмических приборов в XX веке увеличилось чрезвычайно и настолько, что подробному их рассмотрению или хотя бы даже перечислению теперь не место в геологическом руководстве.

Все современные сейсмографы, из коих лучшие русские типа академика Б. Голицына и П. Никифорова, а немецкие—Вихерта, основаны на принципе маятника, чувствительного к упругим колебаниям земной коры, движения которого записываются особыми приборами (фиг. 34 и 35).

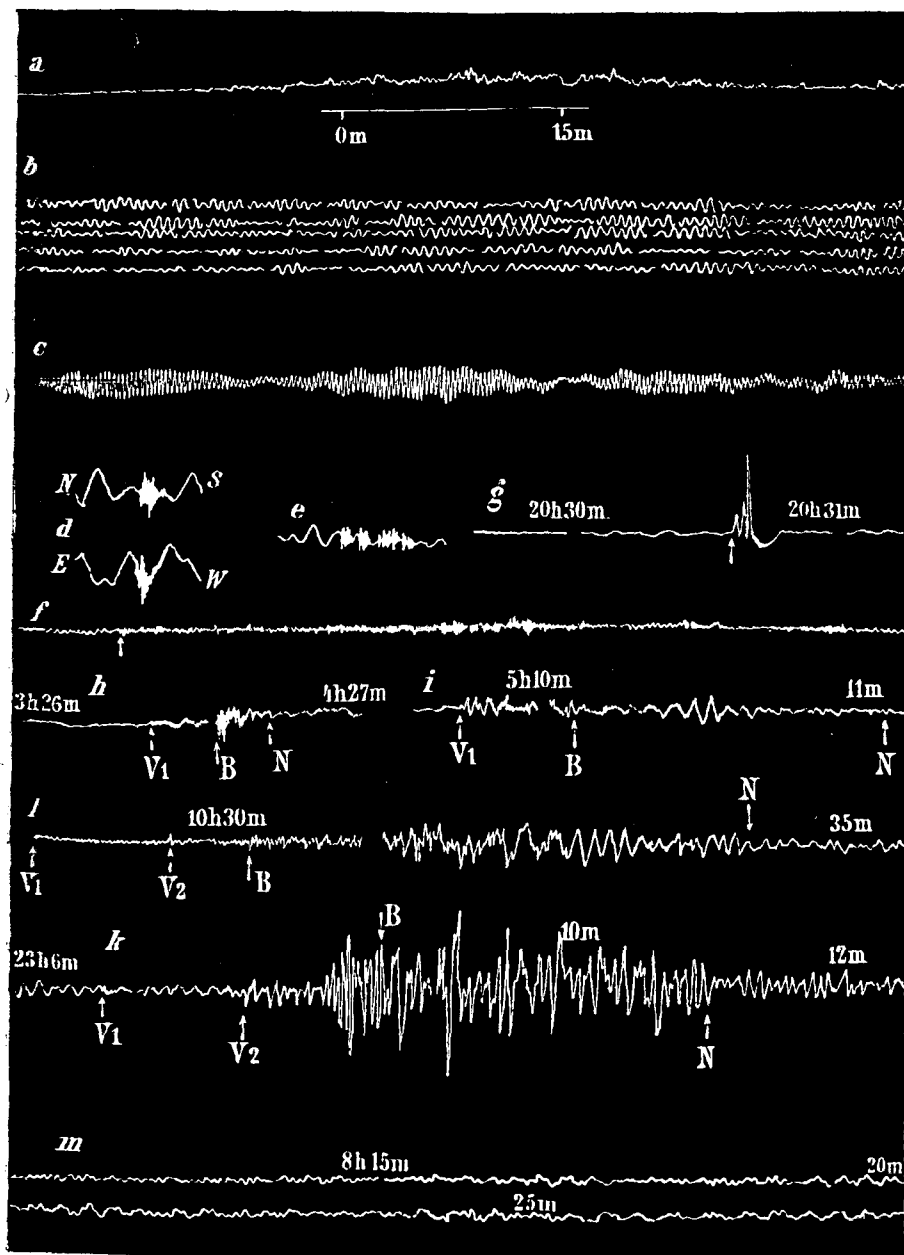
Ни одно землетрясение, где бы на земном шаре оно ни произошло, уже не может остаться незамеченным первоклассными сейсмическими станциями. Пулковская станция (под Ленинградом) с величайшей легкостью и отчетливостью отмечает землетрясения из Камчатки, Японии,



Фиг. 34. — Схема важнейших типов сейсмографов: 1 — вертикальный маятник; 2 — горизонтальный маятник; 3 — опрокинутый вертикальный маятник; 4 — вертикальный сейсмометр.

Обозначения: M — масса маятника; F — проволоочный подвес; S — записывающий рычаг; R — регистрационный барабан; U — часовой механизм.

Формозы, Новой Гвинеи, Калифорнии, Мексики, Ю. Америки и т. п. Пулковские приборы могут отмечать движение почвы порядка 0,1 микрона, т. е. 0,0001 мм (фиг. 36).



Фиг. 35. — Примеры различных сейсмографических записей: *a* — сотрясение башни ветром; *b* — микросейсмы; *c* — сотрясение здания паровой машины; *g, h, i* — местное землетрясение; *k, l* — далекое землетрясение.

вов в ряде мест исследуемой площади с одновременным наблюдением, помощью сейсмографов, условий прохождения упругих волн.

Даже простые наблюдения над землетрясениями, собранные добросовестно, в наших условиях весьма важны.

Для этого полезно пользоваться хотя бы следующим вопросником, помещающимся на почтовой карточке и широко рассылаемым среди населения:

1. место, число и время дня землетрясения;

1. число и характер (вертик., горизонт. точки, волнообразные) дрожание;

3. длительность удара;

4. направление " ;

5. результаты " ;

а) замечены отдельными, многими или всеми жителями;

б) треск, дребезжание, движение, падение предметов, каких;

в) повреждение или разрушение построек;

г) трещины в почве, обвалы, влияние на источники и потоки;

д) подземный гул (какой, до, после и во время удара, длительность его);

е) более слабые удары до или после главного (когда, сколько)

Подпись:

На левой половинке адресной стороны открытки можно предложить писать особые замечания, т. е. явления в рудниках или туннелях, изменения земной поверхности, обвалы пещер, состояние соседних вулканов, моря и пр.

Для обозначения силы землетрясений обычно руководствуются интенсивностью разрушительных последствий; в этом отношении почти во всеобщее употребление вошла шкала Росси-Форея, по которой землетрясения разделяют на следующие десять классов:

I. Микросейсмические колебания, незаметные непосредственному наблюдению и обнаруживаемые только чувствительными сейсмографами.

II. Чрезвычайно слабые сотрясения, записанные сейсмографами и ощутимые кое-кем из людей, в это время пребывавших в состоянии покоя или бездействия.

III. Весьма слабые сотрясения, ощутимые большинством людей, пребывавших в состоянии покоя или бездействия.

IV. Слабые колебания почвы, ощутимые людьми, пребывавшими в состоянии движения и физической деятельности. Дребезжание оконных стекол.

V. Посредственные колебания, ощутимые всеми. Колебание мебели и кроватей. Звон домашних колокольчиков.

VI. Чувствительные удары. Пробуждение всех спящих. Звон колокольчиков. Остановка часов с маятником. Шелест деревьев. Испуг.

VII. Сильные удары. Опрокидывание предметов. Звон больших колоколов. Ужас.

VIII. Весьма сильные удары. Образование трещин в стенах, разрушение дымовых труб. Незначительные опустошения. Всеобщая паника и бегство.

IX. Чрезвычайно сильные удары. Разрушение отдельных частей зданий или целых построек.

X. Необыкновенной силы удары. Всеобщее разрушение. Трещины и сбросы в земной коре; обвалы и оползни в горах.

Шкале Росси-Форея может быть придано абсолютное значение, выражая каждый класс степень ускорения, а именно. I—20 мм в 1 секунду, II—40 мм, III—60 мм, IV—80 мм, V—110 мм, VI—150 мм, VII—300 мм, VIII—500 мм, IX—1200 мм.

Шкала Росси-Форея, давая очень подробное подразделение для слабых ударов, недостаточна для более сильных, по мнению итальянских сейсмологов, принявших шкалу Меркалли; ее отличие заключается собственно в соединении в балле IV—четвертого и пятого Росси-Форея, за счет чего понижения на балл всех следующих и прибавления балла X, дающего высшую степень с отнесением сюда только нарушений поверхности. Кроме того, этой шкале прибавлены еще две степени.

XI. Катастрофа.

XII. Страшное бедствие.

В таком виде степеням этой шкалы стараются также дать абсолютное выражение в единицах наибольшего ускорения сейсмических волн, а именно:

I — $\approx 2,5 \text{ mm/sec.}^2$	III — 6 — 20 mm/sec.^2	V — 26 — 50 mm/sec.^2
II — 6 — 10 „	IV — 11 — 25 „	VI — 51 — 100 „
VII — 101 — 250 mm/sec.^2	IX — 501 — 1000 mm/sec.^2	XI — 2501 — 5000 mm/sec.^2
VIII — 251 — 500 „	X — 1000 — 2500 „	XII — > 5000 „

Что же касается скорости распространения сейсмической волны, то она весьма разнообразна и зависит не только от интенсивности удара, но также от петрографического и стратиграфического характера пород, по которым она проходит. В однородных плотных породах удар распространяется со скоростью от 1.500 до 3.000 м в секунду, тогда как в трещиноватых или рыхлых скорость уменьшается до

300—700 м в секунду. По простиранию пластов сейсмическая волна распространяется гораздо быстрее, нежели в направлении перпендикулярном к простиранию, когда волна, переходя из среды одной плотности в другую, задерживается, ослабляется и скорее прекращается.

Глубина центра землетрясений. Точное определение глубины залегания исходного пункта или центра землетрясений имеет существенное значение для выяснения причины сейсмических явлений, но, к сожалению, ни один из современных методов не дает вполне удовлетворительных результатов.

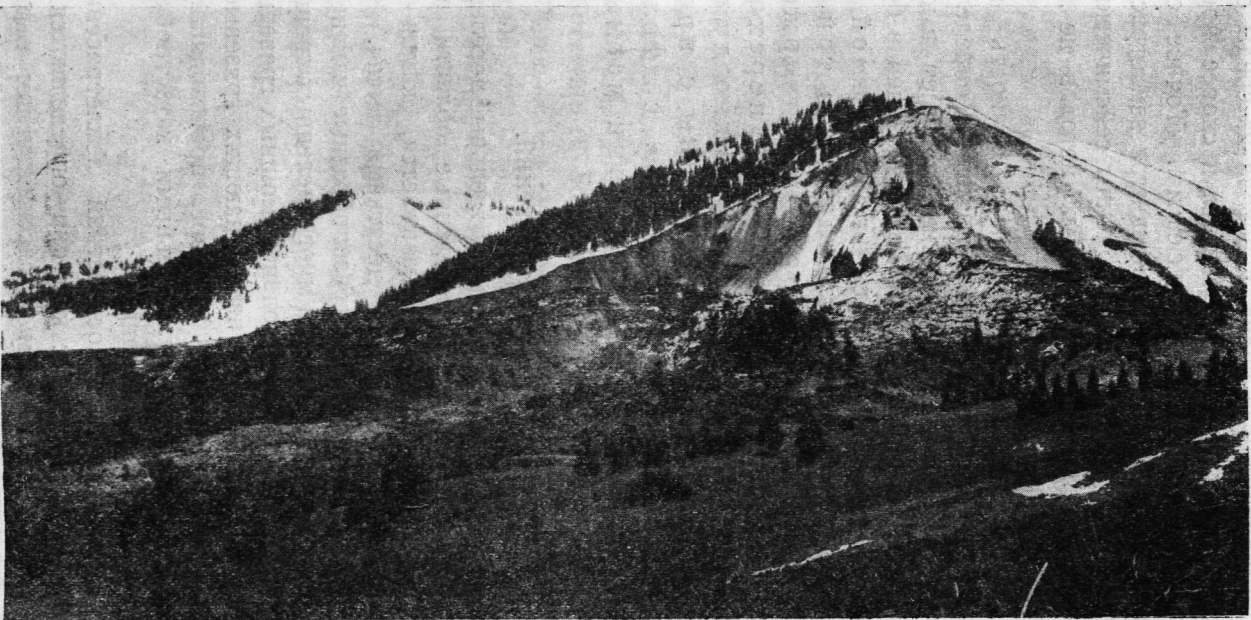
Несмотря однако на приблизительную точность нахождения глубины центра землетрясений все существующие определения доказывают, что фокус или центр землетрясений залегает в коре земной сравнительно на ничтожной глубине, не превышающей в большинстве случаев 20 км, и следовательно, находится в самой внешней или периферической части земли, т.е. в той области, которая состоит из твердых пород и подвержена сильному смятию и разломам литосферы, не переходя в пластическую зону. Отсюда скорее можно думать, что сейсмические явления ближе связаны с процессами периферии, нежели ядра земли, т.е. с дислокацией коры земной, а не с передвижениями магмы во внутренности земли.

Последствия землетрясений.

Землетрясения не только разрушают отдельные поселения, города, но даже иногда цветущие и густо заселенные области превращают в пустыни, не оставляя в них, что называется, „камня на камне“, при чем животные и люди погибают десятками тысяч. Кроме того, в самой коре земной они производят разнообразные изменения, заключающиеся в образовании обширных и многочисленных трещин, небольших озер, громадных обвалов и оползней, мощных грязевых потоков, в извержении газов, воды и грязи, напоминающих грязевые вулканы, в появлении особого рода волн на море, производящих быстрое, сопровождающееся иногда разрушительными катастрофами, отступление и наступание моря на материк.

Размеры разрушительных последствий землетрясений зависят от весьма сложных условий, так как они определяются не только силою удара, но также характером сотрясения, углом выхода удара, направлением сейсмической волны, свойствами почвы и качеством построек. Само собой разумеется, что чем сильнее удар, тем губительнее он для зданий, но при одной и той же силе степень разрушения неодинакова при разном характере сотрясений.

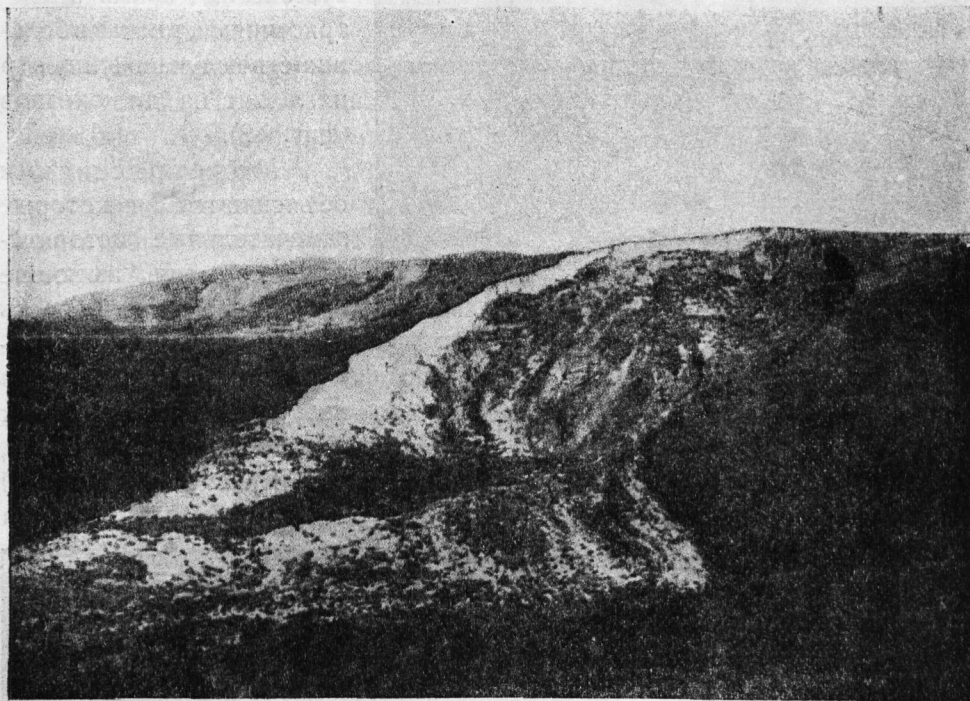
Выяснение зависимости разрушения зданий от угла выхода удара и направления сейсмической волны важно в том отношении, что оно



Фиг. 37. — Большой обвал коренных пород в долине р. Кебин, происшедший во время Семиреченского землетрясения 1911 г.

указывает способы уменьшения вреда, наносимого землетрясениями; зависимость эту необходимо принимать во внимание при основании новых поселений в сейсмических областях или при возведении каких-

либо капитальных сооружений, особенно имеющих общественное значение; их всегда следует располагать в расстоянии и направлении наибольшей безопасности по отношению к местным эпицентрам, которые, разумеется, заранее должны быть определены.



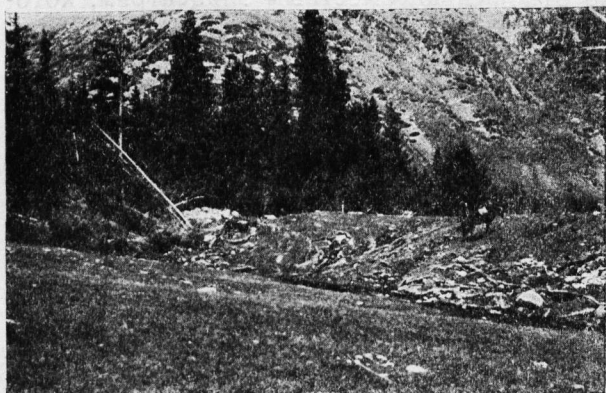
Фиг. 38. — Один из оползней долины р. Кebin, происшедший при землетрясении.

Опускания, провалы, сбросы, сдвиги, обвалы, оползни и оплывины составляют постоянные следствия землетрясений и нередко достигают громадных размеров (фиг. 37 — 41).

Выдающееся явление этого порядка произошло на Памире в 1911 г. на р. Бартанг, вызвав предположение, что обвал обусловил и самое землетрясение; объем этого Усойского обвала 2.200 мил. куб. м. является, повидимому, величайшим в историческую эпоху. Масса его около 6 миллиардов метр. тонн, и механическая работа должна была быть громадной.

Кроме перечисленных последствий, происходящих на поверхности суши, землетрясения оказывают существенное влияние также и на водную поверхность, т.-е. на океаны: они производят особого рода колебания воды в открытом море и, так-называемые, непериодические приливо-отливные волны у берегов. Изучение этих колебаний и особенно прибрежных приливо-отливных волн, вызываемых землетрясениями,

в последнее время привело к тому, что сейсмические явления в океанах выделяют в особую группу и, противопоставляя землетрясениям,



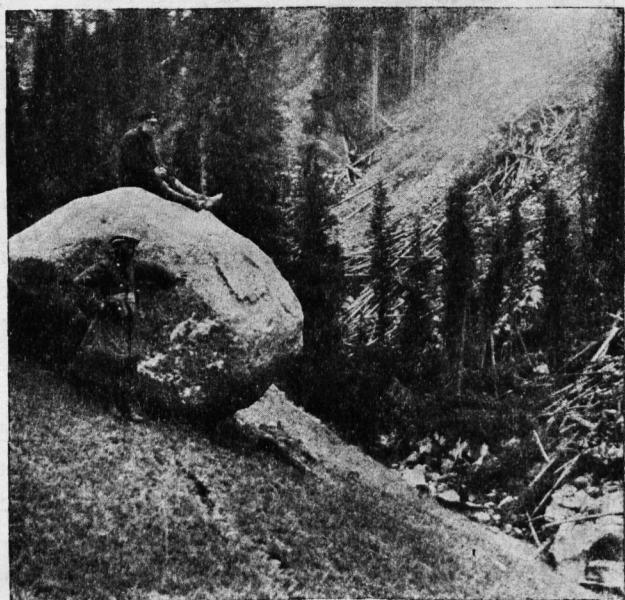
Фиг. 39. — Вал — „кратовина“ — разрушивший лес, возникший над сбросовой линией во время землетрясения в Тянь-шане в 1911 г.

называют моретрясениями или морскими, суб-океаническими землетрясениями, так как в большинстве случаев эпицентр их лежит на дне океанов (фиг. 42).

Моретрясениями объясняются некоторые замечательные исторические события, имеющие громадную популярность и, повидимому, обусловленные отступанием и наступанием на материк сейсмической волны моря,

например, переход евреев через NW-й конец Красного (Черного) моря во время бегства их из Египта и знаменитые „потопы“, сказания о которых существуют в той или другой форме у всех народов, за исключением разве только негров центральной Африки.

Можно констатировать существование каких-то связей между явлениями сейсмическими и другими, космическими и метеорологическими, но связей пока туманных и неопределенных, далеко не оправдывающих тех блестящих ожиданий, которые многократно возникали у авторов отдельных гипотез.



Фиг. 40. — Один из упавших во время землетрясения 1911 г. в Тянь-шане камней; склон покрыт сбитым камнями лесом.

Определенную, ясную и причинную связь и зависимость землетрясений можно искать лишь в самой среде, их порождающей — земной

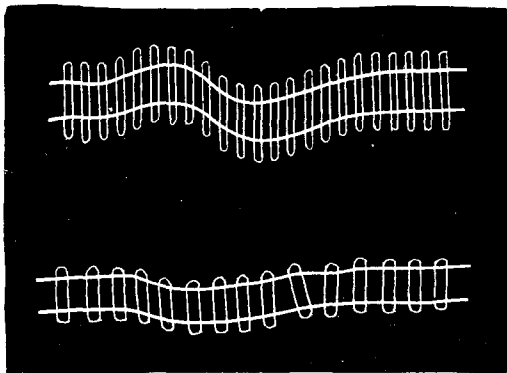
коре, но этой идее, несмотря на всю ее простоту и естественность, пришлось добиваться признания дольше всех других.

Тесная связь землетрясений с орографией и геологическим составом коры земной сначала была подмечена в том, что пояса сотрясений простираются большей частью вдоль горных кражей и преимущественно по обрывистым окраинам их, прилегающих обыкновенно к обширным низменностям или морям.

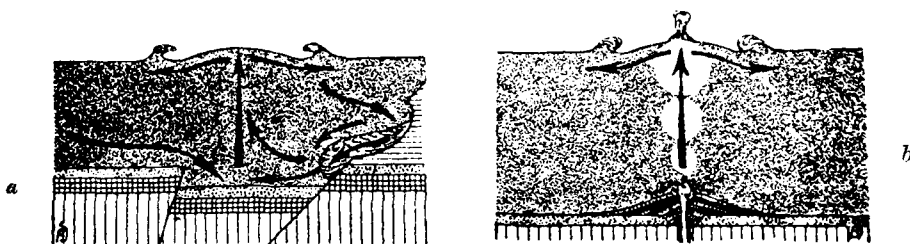
Сначала связь землетрясений с дислокацией была установлена в Австрии, Альпах, Италии.

На Кавказе землетрясения также приурочиваются к наиболее значительным центрам дислокации.

Исследования Шемахинских землетрясений подтвердили постоянство и линейность эпицентральной области, — линии, слегка смещаю-



Фиг. 41. — Нарушение ж. д. пути сейсмическим ударом.



Фиг. 42. — Происхождение морской волны при: а — дислокации дна — сейсмическое явление; б — подводном извержении.

щейся в одном направлении, параллельном Кавказскому хребту, и обнаружившейся в виде большого сброса выходами изверженных пород еще в меловую эпоху. Арагатские землетрясения также приурочиваются к большим сбросам, совпадающим частью с долиною Аракса.

Землетрясения в области Тянь-шаня обнаруживают теснейшую связь с дислокацией, как показали последние землетрясения. Эпицентры их в точности совпадали с крупными продольными сбросами на северном склоне хребтов Александровского, Заилийского и Кунгей Алатау. Копетдагские (1895 г.), ферганские (1903 г.), бухарские, индийские, сейсмические области также тесно связаны с дислокацией.

Так как в главе II было указано, что выходы вулканических пород и распределение современных вулканов точно так же зависят от разломов в коре земной, то, следовательно, землетрясения и вулканы

на земной поверхности как бы вызываются одними и теми же причинами, а потому, казалось бы, что географическое распределение тех и других должно быть одинаково; однако, ближайшее сравнение убеждает, что хотя, действительно, почти все вулканические области являются вместе с тем и сейсмическими, но не наоборот, т.-е. не все сейсмические области обладают вулканами, напротив, некоторые из них не обнаруживают никаких признаков вулканических извержений. Вместе с тем повсюду в областях нарушения земной коры проявляются землетрясения, направляются по линиям этих нарушений и достигают наибольшего развития на рубеже самых крупных и самых новых нарушений и прилегающих к ним низменностей или морей.

Страны, не подвергавшиеся дислокации, где все породы залегают спокойно, горизонтальными пластами и не обнаруживают никаких крупных перемещений, представляют области сейсмического покоя, например, обширные равнины северной Германии, Европейской России, северной Сибири, северной и южной Америки; высокие, но древние и ровные плоскогорья южной Африки, низменности средней Африки и Австралии, где наблюдаются только слабые, так-называемые, отраженные землетрясения.

У нас в СССР можно выделить пять сейсмических областей: Кавказ, Туркестан, Забайкалье, Алтай и Камчатку; но из них только первые три можно считать главными; все они исключительно материковые и приурочиваются к относительно новым и самым большим горным краям.

Причина сейсмичности Алтая кроется, повидимому, в неравномерном глыбовом перемещении разбитой на отдельные участки древней складчатой глыбы, — фундамента Алтая, сложенной древне-палеозойскими слоями. Одни участки этой глыбы в настоящее время представлены на поверхности, другие скрыты под покровом более поздних палеозойских слоев, но движение последних находится в прямой зависимости от движений подстилающего их фундамента. В сравнительно недавнее время эти перемещения были значительно интенсивнее, в настоящее время они затухают, в связи с чем и сейсмичность данного участка земной коры сейчас сравнительно невелика.

Помимо приуроченности землетрясений к экваториальному поясу земли (далее 60° широты как северной, так и южной они вообще почти не распространяются), мы можем наметить и меридиональный пояс их, при чем оба совпадают с активными зонами вулканизма и горообразования. Таким образом три главных категории проявления внутренних сил земли — горообразование, землетрясение и вулканизм привязаны к одним и тем же двум основным подвижным зонам литосферы — широтной средиземноморской и мери-

диональной, обрамляющей Тихий океан. Все главные сейсмические области расположены в зонах горообразования, чем уже в значительной мере предопределяется и причина землетрясений.

Причина землетрясений.

1. Денудационные землетрясения происходят главным образом вследствие удара, производимого обвалами, особенно в подземных пустотах или пещерах.

Отличительные признаки этих землетрясений заключаются в том, что центр их или фокус залегает неглубоко, вследствие чего даже при значительной силе область распространения их сравнительно ничтожная (несколько десятков км).

Весьма важное значение имеет точное изучение таких обвальных землетрясений в рудничных районах, где над выработанными пространствами происходит обрушение вышележащих масс с опусканием поверхности.

2. Вулканические землетрясения отличаются: во-первых, слабою силою, во-вторых, центральным характером, а в-третьих, ничтожною областью распространения. Все эти свойства, а в особенности последнее, указывают, что исходный пункт или гнездо этих землетрясений залегает на небольшой глубине под поверхностью, часто даже выше подошвы вулкана, и тогда сотрясение испытывает только вершина его, а основание и окрестности остаются в совершенном покое.

Все мелкие землетрясения, сопровождающие извержения, очевидно, зависят от напора паров и газов, которые в больших массах и с громадною скоростью выделяются из расплавленной лавы в кратере вулкана.

Помимо чисто вулканических землетрясений, т.е. связанных непосредственно с извержениями вулканов, к этой же категории относятся и, так называемые, крипто- или скрыто-вулканические или интрузивные, магматические, происходящие вследствие подземных перемещений, подпора и внедрений в литосферу магмы. Их можно рассматривать, как результат неудавшегося извержения.

3. Тектонические землетрясения. Выше указана теснейшая связь эпицентров и направлений ударов землетрясений с направлением тектонических линий.

В тех частях земной коры, где особенно сильно проявляются горообразовательные процессы, сильное напряжение достигает иногда столь критического состояния, что достаточно ничтожного повода для перехода энергии из состояния потенциального в кинетическое, т.е. возникновения какого-либо смещения и движения, главными элементами которого будут разрыв сплошности и трение передвигающихся масс, возбуждающие затем сотрясение, т.е. сейсмические явления. Такое

неуравновешенное состояние в верхних частях литосферы хорошо наблюдается в подземных выработках в виде „стреляния“ пород, отрывающего иногда куски в несколько куб. метров. Постоянное перемещение боков старых сбросов также наблюдалось непосредственно в шахтах.

Таким образом разломы и подвижность верхних частей литосферы для нас несомненны, как несомненно и то, что это может давать сейсмические удары, неясно лишь, являются ли эти явления первопричиной таковых, или таковая находится значительно глубже, в зоне пластической деформации, согласно с гипотезой о скрытовулканических землетрясениях.

Тектонические землетрясения отличаются от вулканических и денудационных следующими особенностями:

1) обыкновенно им свойственна громадная область распространения как на материках, так и на морях, с которою не могут сравниться области распространения вулканических и денудационных землетрясений;

2) плейстосейстовая область или область наибольшего разрушения их также достигает значительных размеров;

3) эпицентр их большею частью представляет узкую полосу, совпадающую с какою-либо линиею дислокации;

4) одновременность ударов и на значительном расстоянии особенно характерна для них, так же как

5) постоянство линии ударов, приурочивающихся к определенным линиям дислокации;

6) центр или фокус этих землетрясений обыкновенно залегает на разнообразной глубине (от 1 до 40 км).

Из трех родов землетрясений, тектонические имеют наибольшее значение, тем более, что они не только не противоречат сложным отношениям к другим явлениям природы, но, напротив, подтверждают необходимость их и даже намечают новые связи, до сих пор мало изученные, так, например, связь землетрясений с магнетизмом.

Придерживаясь чисто тектонического объяснения землетрясений, группируют их по географическому распределению следующим образом:

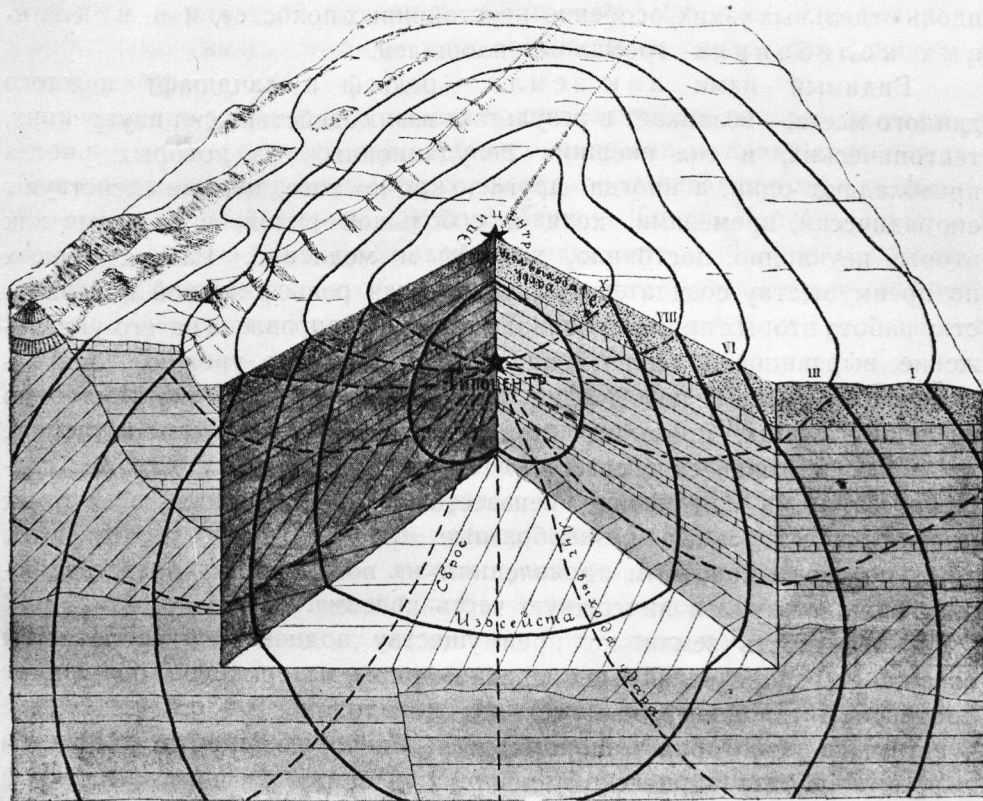
1) $\frac{1}{2}\%$ годового количества землетрясений приходится на палеозойские системы Урала, Аппалахских, Скалистых, Капских гор и Австралийских Альп.

2) $1\frac{1}{2}\%$ приходится на древние континентальные массивы Фенно-Скандии, В. Сибири, Австралии, Канады, Гвианы и Бразилии, а также площади Е. России, З. Сибири, Аравии, передней Индии, С.-Американских прерий, Юкатана и Ю.-Американских пампасов.

3) 3% на всю совокупность континентальных зон опускания.

4) $3\frac{1}{2}\%$ — на нормально-складчатые (третичные) цепи Пириней, Альп, Карпат и Гималаев, в которых сбросы не играют значительной роли, захватывая лишь поверхностные части.

Таким образом все эти 4 категории областей вместе дают лишь 8—9% мировых землетрясений и резко отличаются от других тектонических типов.



Фиг. 43. — Соотношения между сейсмическими явлениями, расположением изосейст и геологическим строением. (По Зибергу).

5) 22% относятся к зонам разломов — Исландия со Скандинавскими фиордовыми берегами, З. и Ср. Европа, Балканы, Внутренняя Африка, М. Азия, Армения, Ц. Азия, Ю. Китай, Мексика, Ср. Америка.

6) 26% — на все остальные, кроме уже упомянутых, третичные складчатые зоны, испытавшие в последней фазе сильные разломы.

7) Наконец, 43% падает на побережья Тихого океана, где узкие подводные впадины больших глубин окаймляют края громадного бассейна разломами опускания. В этих глубоководных впадинах (особенно Тонга-Кермадокской), вероятно, лежат главные очаги наибольших мировых землетрясений.

2. Тектонические процессы.

Мы ознакомились уже с быстрыми перемещениями земной коры — землетрясениями, — и нам остается теперь рассмотреть тесно связанные с ними, более медленные, но и гораздо более значительные движения земной коры, выражающиеся в горообразовании, вдоль отдельных узких, особенно неустойчивых полос ее, и в медленных колебаниях громадных площадей.

Видимый нами лик земли, — рельеф и ландшафт каждого данного места, — возникает в результате взаимодействия сил внутренних, тектонических, и сил внешних денудационных, из которых иногда преобладают одни, а иногда другие; кроме того, первые действуют спорадически, временами, хотя и с большой силой, в то время как вторые неуклонно, постоянно, хотя бы и медленно. Работа первых по преимуществу созидательная, усиливающая рельеф земной поверхности; работа вторых прямо противоположна и направлена на его уничтожение, выравнивание, приведение всего к одному уровню. Денудационные процессы, необычайно разнообразные, действуя постоянно на наших глазах, привычны, понятны и легко доступны изучению, тогда как тектонические совершаются на недостижимых для нас глубинах земли, в совершенно неизвестных нам условиях, о которых можно строить самые разнообразные предположения, и познаются лишь по своим конечным проявлениям на поверхности, представляющим лишь отзвуки и ничтожную часть явления.

Поверхность земли по преимуществу водная — $\frac{2}{3}$ ее покрыты океанами, распределенными неравномерно: материковое полушарие противостоит водному, является его антиподом. В этом устройстве чувствуется некоторая закономерность, которую иногда пытаются вывести из тетраэдрической деформации земли. Весьма интересной является заостренность всех материков к югу, треугольность их очертаний и ряд других общих особенностей, которые называются „географическими гомологиями“.

На поверхности земли, несмотря на все кажущееся многообразие ее рельефа, резко выделяются два преобладающих уровня — средняя глубина океанов — 3.700 метров и средняя высота суши в 825 метров. При взгляде из мирового пространства на земную поверхность, лишенную водной оболочки, мы увидели бы громадные плосковыпуклые площади дна океанов, из которых материковые массы поднимаются резкими обрывами около 4.000 метров высоты. На плоской же поверхности материков местами протягиваются, опоясывая всю землю, относительно узкие возвышенные полосы — цепи гор; местами, приближаясь вплотную к окраинам материков, они обрываются вместе с ними

к дну океанов, местами же продолжают и по нему, достигая 10 километров высоты. В пределах обоих доминирующих, плоских площадей — материковой и океанической, мы видим лишь небольшие площади и полосы, сильно выделяющиеся по своей высоте до 8.839 м или глубине до 9.788 м. Таким образом, средней разницей двух главных уровенных поверхностей земли является 4 километра, а наибольшей амплитудой глубин и высот — до 18,6 км. Эти величины необходимо иметь в виду при обсуждении процессов движения земной коры.

Далее мы видим, что подавляющее количество гор, резких морщин земного рельефа, заключено в двух определенных длинных полосах — широтного „средиземно-морского“ пояса, протягивающегося от Гибралтара через Альпы, Карпаты, Малую Азию и Кавказ, Персию, Среднюю Азию, Гималаи и Сиам до Зондского архипелага и Молукк, и меридионального, „тихоокеанского“, начинающегося от Молукк и проходящего через Филиппины, Японию, Камчатку, Алеуты, Аляску в западные побережья обеих Америк.

Горные цепи Новой Зеландии, Новой Гвинеи и Анtilьских островов относятся к тому же тихоокеанскому поясу. С этими же двумя поясами гор земли связаны и глубочайшие, узкие, вытянутые, океанические впадины, таким образом, что в непосредственной близости оказываются полосы земной поверхности с разницей уровня до 14 километров и с резкой диссиметрией рельефа. Оба пояса — средиземноморской и тихоокеанский — являются геологически наиболее молодыми, подвижными, активными частями земной поверхности, находящимися сейчас в состоянии дальнейшего формирования и неустойчивости, что доказывается приуроченными к ним вулканическими и сейсмическими явлениями, различными физическими аномалиями (силы тяжести, магнетизм) и быстрыми изменениями очертаний берегов. Именно в островных частях тихоокеанского пояса (Молукки) наблюдаются, происходящие на наших глазах, горообразовательные процессы, дающие нам ключ к пониманию горообразования в прошлом. Большинство современных горообразовательных гипотез ищет обоснований и наведений именно здесь, в этих зонах наиболее резкого рельефа земной поверхности, подвижных и активных берегов Тихого океана.

Происхождение материков и океанов. Материки и океаны представляют собой первозданные основные формы рельефа земли; при этом, однако, не следует понимать, что их очертания оставались совершенно неизменными на протяжении всей геологической истории. Наоборот, в различные геологические периоды моря значительно перемещались, но все эти перемещения всегда захватывали

в сущности лишь пониженные краевые части материков и „материковой ступени“ дна океанов; все морские осадочные отложения, известные нам на земле, являются осадками именно этих неглубоких зон, материковой ступени океанов и внутренних, средиземных морей; отложений же глубоководных мы не видим и осушившихся частей глубокого дна океанов не знаем. Из этого вытекает, что оно на протяжении всей известной нам истории земли было покрыто водой, т.-е. океаны в главной своей массе занимали те же пространства поверхности, что и теперь.

Из того, что материки сложены веществами со средней плотностью 2,6 — 2,8 (гл. I), морская же вода обладает плотностью лишь 1,024 — 1,023, представляется значительный избыток массы первых, между тем гравиметрические данные указывают на обратные отношения (гл. I). Согласно последним геофизическим данным, предполагается на глубине около 120 км уровень равновесия, т.-е., что лежащие выше него отдельные части земной коры (не менее 20.000 кв. км площадью) все уравновешены, обладают равными массами. В связи с этим учением о равновесии или изостазии ненормальности силы тяжести в пределах верхней зоны земной коры в 120 км объясняются разрыхленностью материи под материковыми массивами и уплотнением ее под океаническими, или даже различным ее составом — Sial под первыми и Sima под вторыми (см. стр. 28 и фиг. 57).

Вторая точка зрения, однако, весьма гадательна и разделяется далеко не всеми. Хотя величина в 120 километров глубины залегания изостатического уровня и ничтожна по сравнению с величиной земного радиуса (6.370 км), но в отношении наибольших амплитуд рельефа земной поверхности (18,6 км) это не так, и образование последнего может находиться в связи с изостатическими факторами. Можно предположить, что в начальных стадиях формирования земли не вполне равномерное распределение масс положило начало скоплению более легких, в виде материковых остовов; поясовое распределение масс в теле земли по плотности их ныне известно и дает повод предполагать подобные же процессы и в самой коре ее, под влиянием, вероятно, притяжения солнца и луны. В случае возникновения первоначальных неровностей на поверхности земли, в дальнейшем они должны были лишь все более усиливаться, т.-е. дно океанов все более погружаться под влиянием тепловых токов, возникавших благодаря неравномерному охлаждению земли под океанами и материками.

Принимая геотермический градиент в 30 метров (стр. 26), среднюю температуру поверхности суши в 10° и средний уровень дна океанов в 4.300 м, мы получим, что температуре дна океанов в 0° на том же уровне под материками будет соответствовать 140°. Исходя из этого

и вероятного выравнивания геоизотерм в глубь земли, можно предполагать более интенсивное охлаждение и сжатие коры под океанами. Процесс этот, вероятно, замедлялся по мере укрепления коры, но с наибольшей силой результаты его должны были сказываться именно по окраинам океанов, вызывая явления как давления, так и растяжения, взаимно несколько не противоречащие. Подобная точка зрения во многом облегчает понимание тектонических процессов.

Деление материковых массивов. Материки можно рассматривать с двух точек зрения — морфологической и тектонической.

Во всех материках мы усматриваем две главных морфологические категории форм — положительные и отрицательные — возвышенности и впадины, по своему происхождению разбивающиеся на следующие четыре группы тектонических образований:

1. Древние площади („щиты“, „темя“ и пр.) — антарктическая, русская, сибирская и канадская, — обширные, плоские пространства с незначительной средней высотой (кроме Антарктики); они являются, так сказать, ядрами, основными массами соответствующих материков; на смятых и сглаженных древнейших породах лежат горизонтально или с очень незначительными нарушениями позднейшие отложения. Состояние равновесия и устойчивости этих древних масс является их общей отличительной чертой, имеющей громадное значение в общем плане строения земли.

2. Складчатые горные цепи различного возраста, опоясывающие или пересекающие узкими полосами материки, создавая самые возвышенные их точки.

3. Глыбовые нагорья — разбитые части земной коры, перемещавшиеся преимущественно радиально. По большей части это куски древних складчатых цепей, выровненные и поднятые в последующие горообразовательные фазы; эта выровненность является их характерной чертой. Иногда им дают название „остаточных гор“. Если теми же процессами поднимаются части горизонтально-слоистого сложения, то возникают глыбовые плоскогорья — столовые нагорья, по внутреннему строению, следовательно, сильно отличающиеся от первых.

Главная роль в строении земной поверхности принадлежит древним щитам и складчатым цепям.

4. Вулканические горы играют в строении земли незначительную роль. Самостоятельный характер имеют лишь вулканические цепи внутренней (восточной) Африки, насаженные вдоль большого пояса разлома (см. стр. 95). Интрузивные вулканические образования лишь в редких случаях проявляются в рельефе (см. лакколиты, фиг. 5 и 6).

Главный геотектонический закон сводится к противопоставлению древних, прочных, спокойных частей земной коры подвижным, активным складчатым полосам — „орогеновым“, зонам; эти узкие пластичные полосы подобны шарнирам, вдоль которых сдвигаются твердые массы, и в них выявляются горообразовательные силы земли. Древние массы реагируют на них лишь в целом, совсем или почти не деформируясь, медленно перемещаясь в вертикальном и, быть может, в горизонтальном направлении.

Таков общий план, в зависимости же от разных теоретических точек зрения, признавая особую подвижность орогенических зон, им придают активное или пассивное значение, т.е. приписывают возникновение складчатости самой внешней оболочке земли или же принимают это сморщивание ее лишь за отражение процессов глубинных.

А. Молодые складчатые горы.

Основными чертами их являются значительная высота и ясно выраженное складчатое строение. К ним относятся высочайшие горы земли. В общей сложности они составляют длинный, сравнительно узкий, пояс, охватывающий Европу с юга, Азию с юга и востока, Австралию с севера и востока, С. и Ю. Америку с запада; таким образом, он разделяет всю земную поверхность на северную массу, заключающую С. Америку, Европу и Азию (или Евразию), и южную, заключающую Южную Америку, Африку, Индию, Австралию и Антарктику. Европейский пояс начинается около Гибралтара (в Марокко Атласом) и на Иберийском полуострове (Испания) Пиренеями и Сьеррой Невадой, простираясь по обе стороны Средиземного моря, через Крым, Кавказ, М. Азию до Сиам и Зондского архипелага (см. фиг. 44, 45, 46 и 48).

Из всего комплекса средиземноморской складчатости Альпы изучены наиболее полно и являются наилучшим примером молодого хребта сложного строения, и на нем основаны как наиболее старые, распространенные тектонические гипотезы, так и новейшие. Важна, однако, независимо от тех или иных гипотетических воззрений, фактическая сторона, накопленная здесь несколькими поколениями многочисленных геологов: швейцарских, немецких, французских, австрийских и итальянских.

В то время, как весьма недавно еще (до начала XX века) Альпы представлялись симметрично построенным складчатым хребтом, ныне утверждены две основных черты их строения: во-первых, все тектонические движения, испытанные Альпами, всегда шли с юга на север и, во-вторых, большая часть хребта состоит из чуждых

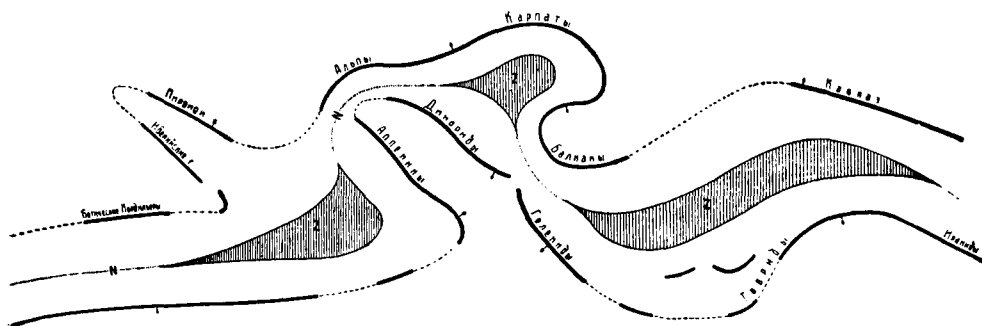
современному их местонахождению, происходящих весьма издавна, масс, доставленных с юга мощными горизонтальными смещениями (надвигами, перекрытиями, шарриажам, см. главу IV), согласно теории шаррижа.

Обращаясь к тихоокеанской орогенической полосе, мы можем лишь предположительно объединить складчатые зоны западного побережья с Камчаткой, Чукотским носом, Алеутскими островами и Аляской, далее мы же имеем сплошную полосу западного побережья С. Америки; она включает „Тихоокеанские“ цепи, Скалистые горы, Сьерру Неваду, Калифорнию, Сьерру Мадре, г. Уасатч, с значительным развитием вулканизма. Все западное побережье Ю. Америки сложено, так называемой, андийской складчатостью, надвинутой на восток; к ней приурочена мощная вулканическая зона и самая сильная сейсмичность земли. Андийская цепь представляет большой интерес тем, что только в ней движение складок и покровов шло со стороны океана, а не обратно. Возможным продолжением андийской цепи являются цепи Антарктики, мало еще, однако, исследованные.



Фиг. 44. — Тектоническая схема восточного полушария. Тонкие линии—складчатые системы; толстые—разломы. Пунктиром показаны южные материковые массивы.

схема альпийской складчатости, по L. Мюллеру.



Фиг. 45. — Схема средиземно-морской складчатости. (По Коберу).

Б. Древние складчатые области.

К ним относятся образования различных горообразовательных периодов до третичного времени, по большей части утратившие свой первоначальный вид, вследствие последующего смыва и разломов.

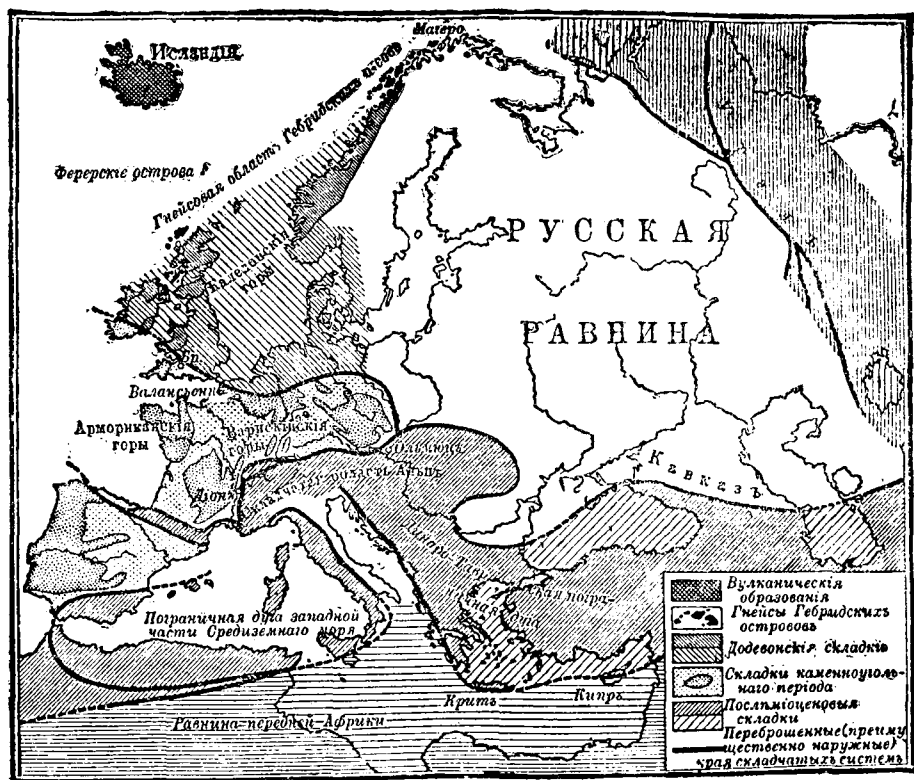
Рельеф и очертания в плане таких древних складчатых гор далеко не всегда поэтому зависят от простирания слагающихся их свит и складок. Как общее правило, можно считать, что область, собранная однажды в складки определенного направления, в дальнейшем или не реагирует на горообразовательные движения совершенно, или же сминается ими по тому же направлению, лишь все более и более интенсивно, так что возникают несогласия между древними и молодыми свитами лишь по углам падения, а не азимутам его. Как исключение, лишь указываются случаи изгибания складок одного направления последующими другого.

Надвиги и перекрытия, как максимальное проявление складкообразования, естественно присущи и древним складчатым системам. Такое же почти покровное строение, как в Альпах известно нам в палеозойских областях Бельгии как в каменноугольном ее бассейне, так, повидимому, и в Арденах, на восточной окраине Рейнских сланцевых гор, а еще более в крупном масштабе в северо-западной Шотландии и Норвегии. Большая часть Средней Европы и других частей Света сложена древними складчатыми системами. Мы можем разбить их в свою очередь на несколько групп по возрасту образования. К древнейшим относятся большие центральные древние массивы или щиты, слагающие ядра материков (см. фиг. 46 — 48), неподвижные в дальнейшие периоды, асейсмические:

1. Африканский с Аравией и Мадагаскаром,
2. Бразильский,
3. Канадский с Гренландией,
4. Скандинавский с Шпицбергом; к нему же, быть может, относятся гнейсовые массивы Бретани, Французского Центрального плато, испанской Мезеты, Богемии и Украины,
5. Северо-восточно-сибирский с Кореей и восточным Китаем (синийский),
6. Австралийский,
7. Антарктический.

Сопоставляя простирания этих древних областей (см. фиг. 47), мы получаем три главных массы: две в северном полушарии, выпуклые к югу дугообразно, — европейскую и американскую (и захватывающую, быть может, Гебриды и Богемию), и третью в южном полушарии, с однообразным меридиональным простираанием. Мы видим различие между северной и южной частями суши, разделенными широтным поясом разлома земли, поясом подвижным, гибким до настоящего времени, сейсмическим и вулканическим; это — „пояс разлома“ (Гохштеттера), „Тетис“ (Зюсса), „главная геосинклиналь“ (Ога), „ороген“ (Кобера), „пластическая зона“ (Коссмата) и т. п.

Впервые Зюссом, а затем многочисленными исследованиями последних десятилетий было установлено, что для целого ряда областей направление горообразовательных смещений оставалось постоянным на протяжении всех геологических эпох. Направление это для Европы и Африки было всегда с юга на север, и в четыре различных периода создало (см. фиг. 46 и 48) следующие главные складчатые системы:

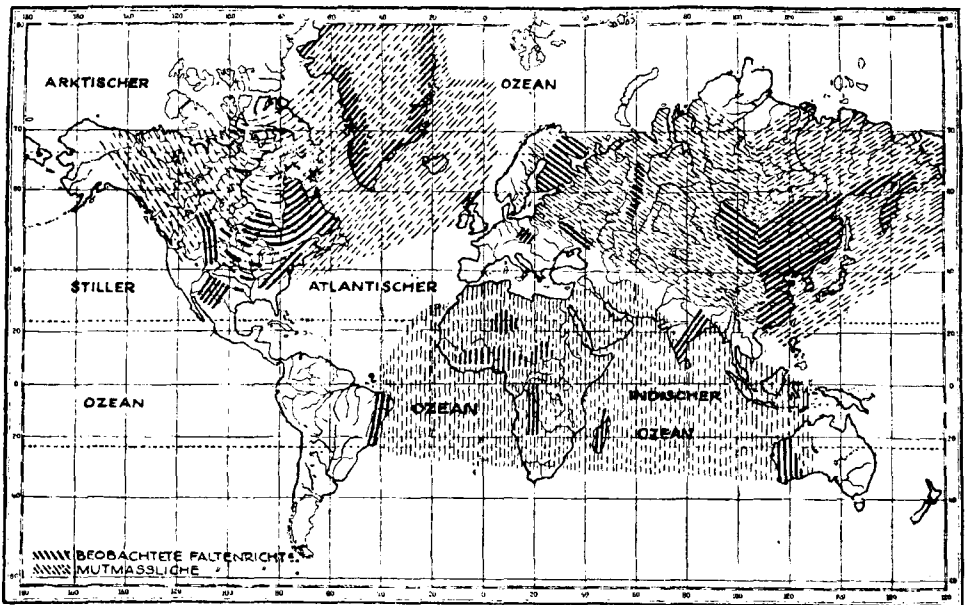


Фиг. 46.

1. Древнейшая, гуронская, крайнего северо-запада Европы — Гебрид, Лофотенских островов и прилежащего побережья Шотландии; часть вышеуказанной американской половины северной древней массы.

2. Каледонская, заключающая Шотландию, Уэльс, большую часть Ирландии и Норвегию; к ней же, повидимому, относится слабая складчатость кембрийских и силурийских отложений северо-западной России, а также Аппалахских гор С. Америки, С. Гренландии и Шпицбергена. Время ее образования лежит между В. Силуром и Девонном, а главная фаза относится к первому из них.

3. Герцинская или варисцийская, верхне-каменноугольного возраста, заключающая две большие складчатые дуги средней Европы — восточную варисцийскую (германскую) и западную армориканскую (французскую), сходящиеся в центральном французском плато. Первая выгнута к северо-востоку и захватывает Польшу, Богемию, Среднюю и Южную Германию, а вторая выгнута к северу и северо-западу, слагая Бретань, Девоншайр, Юго-западную Ирландию, и обрывается в Атлантический океан или, выгнувшись на 180° в океане, продолжается в цепях испанской и Марокканской Мезеты. К варисцийской системе



Фиг. 47. — Простиране древних отложений. Жирной штриховкой — наблюдаемое; пунктирной — предполагаемое.

относятся дислокации Келецко-Сандомирских гор и может быть отзвуки ее в Московском бассейне.

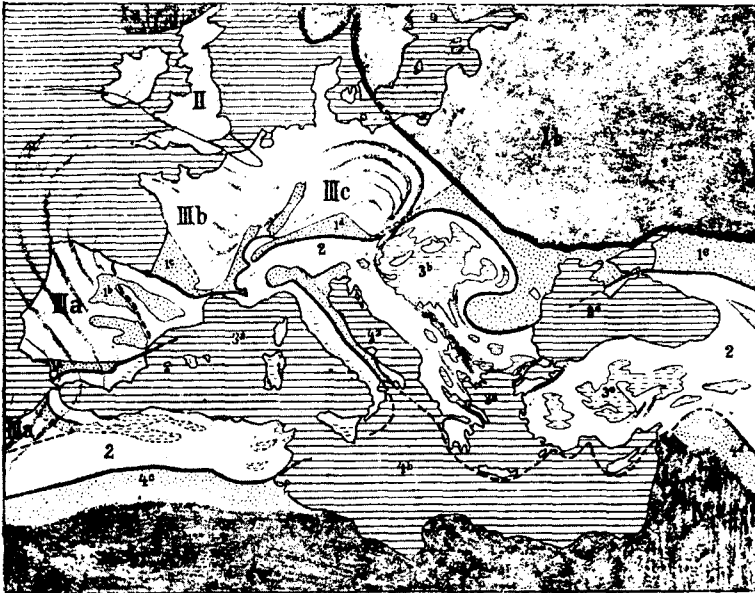
За пределами Европы, герцинской складчатостью образованы Аллепаны, Урал, Донецкий кряж, главные хребты Северной, Средней и Восточной Азии.

4. Альпийская, верхнетретичная; громадный пояс образований, молодых складчатых цепей, который мы выше уже проследили.

Таким образом, наблюдается постепенное передвижение зон складкообразования Европы, на протяжении всей геологической истории, с севера на юг, при сохранении действий силы горообразования в обратном направлении, с юга на север.

В Азии первое положение сохраняет свою силу, но направление силы обратно европейскому, т.е. с севера на юг и на юго-восток, по крайней мере, до Памиро-Алайской системы, которая, повидимому, надвинута опять таки с юга на север (фиг. 49 и 50). Эти вопросы еще ждут своего разрешения.

Общее расположение главных складчатых систем Евразии и взаимоотношение складчатостей Европы с окружающими их неподвижными древними массами лучше всего видно на прилагаемой карте 46.



Фиг. 48. — Схема европейской складчатости (по Коссмату). Системы: I — Гуронская; II — Каледонская; III — Герцинская; III a — Армориканская и III б — Варисийская; IV — Эфиопское нагорье. Арабскими цифрами показаны части Средиземно-морского пояса, альпийской складчатости.

Необходимо отметить факт постепенного ограничения областей складчатости на протяжении геологических эпох, ясный уже из всего вышесказанного. Почти повсеместное на земле в древнейшее архейское время складкообразование постепенно сосредоточивается на двух суживающихся зонах, что доказывает, очевидно, уменьшение общей пластичности земной коры, сохранение ее лишь за небольшими полосами и возрастание жестких масс, сдавливающих между собой эти податливые полосы. Однако, на ряду с этим основным процессом ослабления складчатости наблюдается и известная периодичность горообразования.

Эпизодичность, кратковременность горообразовательных процессов, разделенных долгими периодами покоя или медленного вертикального опускания больших участков земной коры, представляет весьма большое значение. К этим двум положениям присоединяется еще известная одновременность проявления по всему земному шару горообразовательных эпизодов или, иначе говоря, их универсальность, говорящая и за общность основных процессов и причин, их вызывающих. Наконец, следует еще раз повторить о наличии особо подвижных зон земли, в отличие от устойчивых.

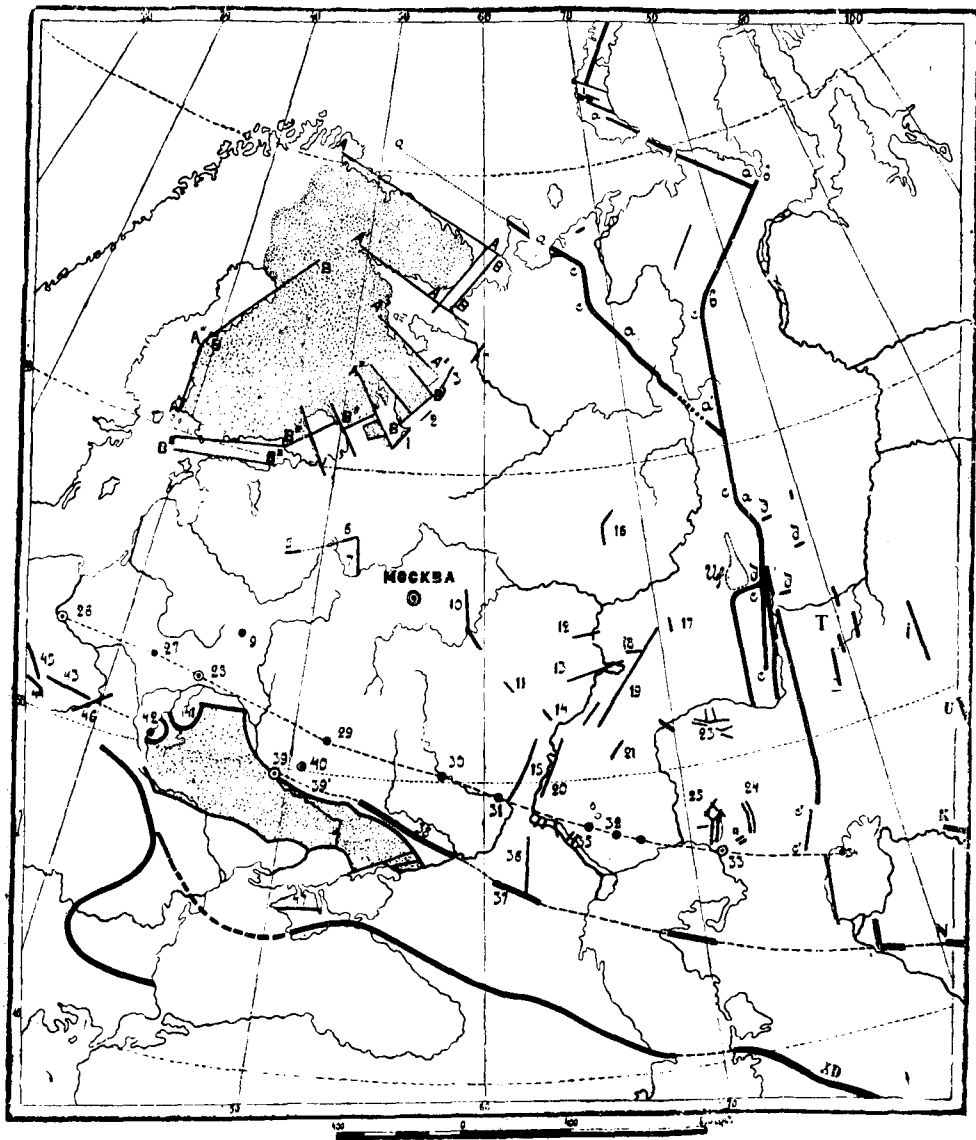
По представлению многих геологов, эти подвижные с древнейших эпох полосы земной коры, к которым по преимуществу приуро-



Фиг. 49. — Заалайский хребет — пример молодого складчатого образования с громадными складками, опрокинутыми на север, лишь верхние части которых смыты. Высоты до 6.000 метров. (По фот. Д. Мушкетова).

чено горообразование, находясь в течение долгих периодов в состоянии медленного опускания, являются вместе с тем и зонами сильнейшего накопления отложений неглубокого моря; они названы геосинклиналями. Учение о геосинклиналях в настоящее время является господствующим в геологии и детально разбирается в руководствах по палеогеографии и исторической геологии. Наиболее постоянной и важной геосинклиналью являлась Тетис или средиземноморская, протягивавшаяся от Гибралтара до Суматры, с палеозоя до третичного времени, которую теперь представляют себе скорее в виде ряда бассейнов различной глубины, местами и временами разобщавшихся между собой. После заполнения геосинклинали и выпучивания ее дна, при сжатии краев возникают на ее место складчатые цепи, обнаруживающие колоссальную мощность осадков (до 19000 м в Новозеландской геосинклинали); складчатые цепи являются, так сказать, зрелыми

ленных колебаниях геосинклиналей, опусканиях их дна, прерывавшихся временными вспучиваниями его, вызывавшими затопления краев мате-



Фиг. 51. — Схема тектоники западной части С. С. С. Р. (по А. Карпинскому). Массивы Финский и Азовский показаны пунктиром. Жирные линии — главные складчатые системы Урала, Тимана, Донецкого края (38), Карпат, Крыма, Кавказа, Мангышлака и др. Небольшие черточки — отдельные дислокации средне-русской платформы.

риков и обмеление геосинклиналей. Эта идея о чередовании медленных вертикальных движений больших участков земной коры с быстрыми и резкими пароксизмами поднятий и сморщиваний их развита

различными авторами в довольно стройное учение о делении всех тектонических процессов на эпейрогенические (с греческого, буквально — „порождающие материки“) и орогенические (тоже — „порождающие горы“).

Эпейрогенические процессы первого порядка, захватывают громадные части литосферы, создавая большие волны ее, большие, пологие волны земли; процессы же орогенические, при кажущейся своей большой интенсивности, — явление второго порядка, приуроченные к определенным, обычно узким и длинным, зонам земли, как мы видели выше, с течением времени, все более сокращающимся. И в тех и в других могут происходить всевозможные частные перемещения земной коры со смятиями, изогнутиями и разрывами, но в эпейрогенических преобладают движения вертикальные (радиальные) и пологие изогнутия, выпучивания или опускания, куполо-и ваннообразные, тогда как процессы орогенические создают все бесконечное разнообразие тектонических нарушений. Из сказанного уже выше о геосинклиналях ясно, что формирование больших земных волн, эпейрогенические движения захватывают как океанические, так и континентальные участки земной коры, и наблюдения последнего времени это доказывают с полной очевидностью, как мы сейчас ниже убедимся, но так как, при чрезвычайной медленности для человеческого масштаба этих процессов, наблюдение и установление их вообще сопряжено с большими трудностями и применением точнейших геодезических методов, развитых только за последнее время, в особенности на суше, то понятно, что изучение медленных колебаний началось с морских побережий, где уровень моря или следы его прежних положений давали более ясную и понятную картину, обратив внимание первых исследователей.

3. Медленные или вековые колебания — эпейрогенические движения.

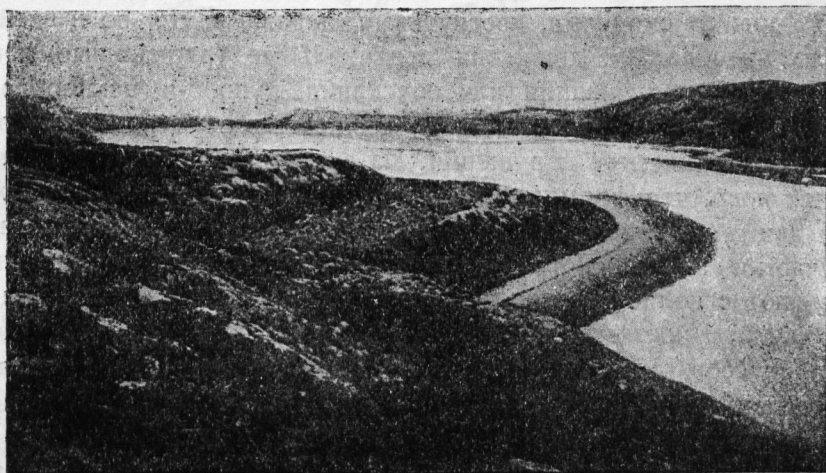
Перемещение берегов. Поднятия и опускания.

Колебания эти имеют характер поступательных движений: то вверх, то вниз и охватывают обширные площади. Взгляды на происхождение их время от времени резко изменялись; причину их усматривали, то в колебаниях уровня моря, то в поднятиях и опусканиях материков и, наконец, в сложных процессах, обусловленных совокупным перемещением материков и морей.

Первое указание на поднятие берегов Швеции сделано в 1702 г. и с того времени Скандинавия считается классической страной для изучения медленных колебаний. В 1743 г. знаменитые шведские ученые не только внимательно исследовали перемещение берегов, но даже

определили величину поднятия в 1,27 м в столетие, при помощи знаков, высеченных на береговых скалах.

Чтобы удостовериться в современных поднятиях и опусканиях материковых берегов, необходимо познакомиться с главнейшими признаками, характеризующими то и другое явление, а также со способами определения их. Из всех признаков, оставляемых на перемещающихся берегах морем, материковыми агентами и человеком, только немногие проявляются отчетливо и имеют положительное, решающее значение; большинство же открывается с большими затруднениями, требует много времени и получает силу доказательности только при



Фиг. 52. — Террасы в Кольском фиорде.

совокупном проявлении их. Признаки поднятий вообще считаются более ясными и надежными нежели признаки опусканий; перечислим главнейшие из тех и других.

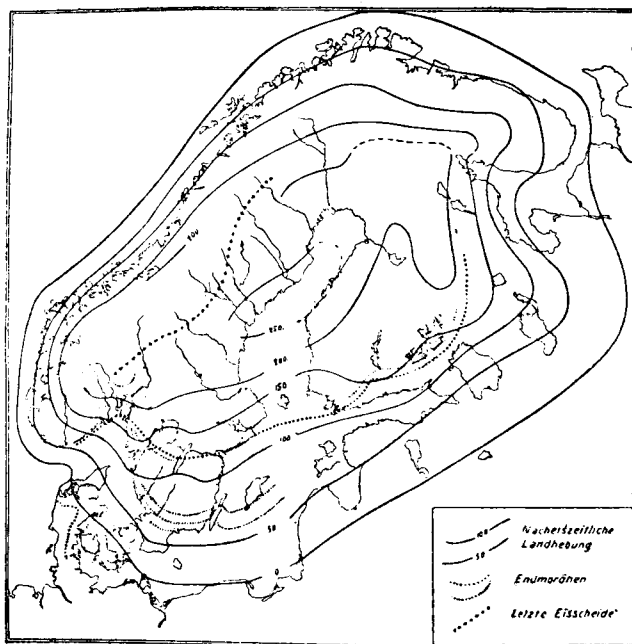
Признаки поднятия берегов:

1) Самый важный и убедительный признак поднятия заключается в положении и взаимном отношении, так называемых, береговых линий и террас (фиг. 52). Дело в том, что море, с одной стороны, подмывая крутые и высокие берега, производит на них волноприбойные уступы, а с другой, накапливая рыхлый материал на низких и плоских берегах, образует береговые валы; те и другие, разумеется, залегают на уровне прибоя. Если представим себе, что берег поднимается, или уровень моря понижается, то очевидно, что через некоторый период времени волноприбойные уступы и береговые валы выйдут из сферы действия прибоя волн и образуют постоянные знаки бывшего положения уровня; в этом случае первые из них, т. е. волноприбойные уступы, назы-

ваются древними береговыми линиями, а вторые—древними береговыми террасами; по высоте залегания тех и других над современным уровнем моря можно судить о размерах отрицательного перемещения берегов. Чем продолжительнее или быстрее происходит этот процесс, тем линии и террасы будут стоять выше над уровнем моря, а чем чаще будут остановки в нем, тем больше будет число их. Береговые линии и террасы с большой подробностью изучены во многих местах, но в особенности по берегам Скандинавии, где они залегают на различной высоте от 5 до 200 метров и окружают весь полуостров. Береговые линии сохраняются на крутых скалистых берегах и представляют небольшие уступы, или просто желоба, вымытые в скалах. Они появляются или поодиночке, или понескольку.

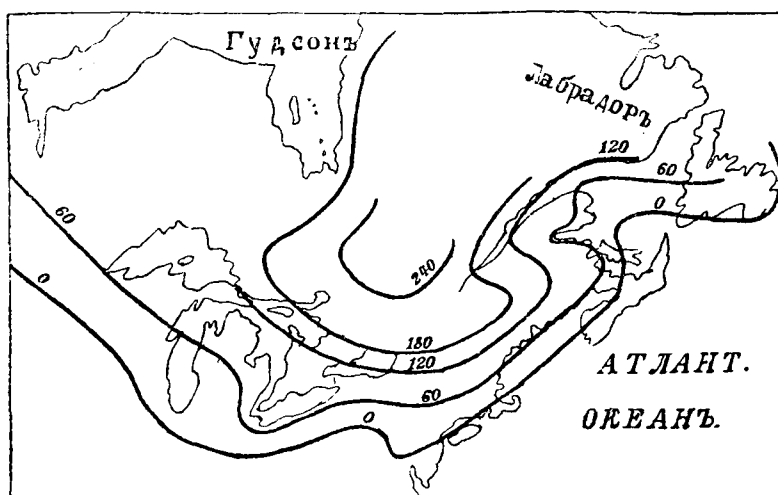
Береговые террасы свойственны преимущественно пологим, низким берегам; у крутых же берегов они отчетливо проявляются только в устьях рек, где происходит наибольшее отложение рыхлого материала, и где они переходят в речные террасы. Террасы появляются также по несколько, например, на берегах Новой Земли, около Малых Кармакул, их четыре, тоже на берегах фиорда Колы (фиг. 52) и пр.; они представляют большой интерес, потому что часто содержат остатки морской фауны, по которой возможно более точное определение их древности, а следовательно, и периода отрицательного перемещения берегов.

2) Вторым хорошим признаком поднятия берегов являются коралловые постройки. Известно, что кораллы возводят свои постройки в мелком море (глубиною около 40 м) только до высоты прилива, поэтому, если коралловые рифы и банки выступают выше уровня прилива, где кораллы не могут жить, то, очевидно, это указывает на поднятие берега. Такое же значение имеет осушение раковин-



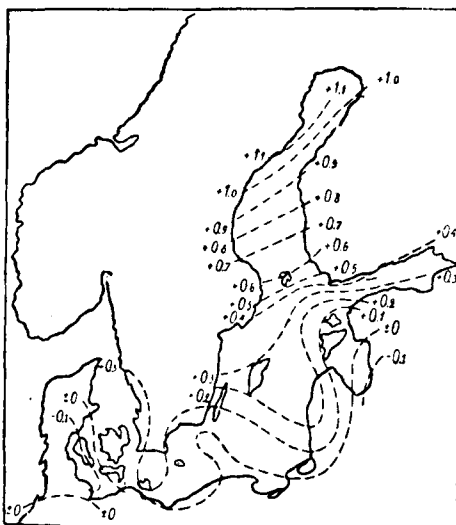
Фиг. 53. — Карта изобаз, показывающая величину послеледникового поднятия Финноскандии в метрах.

ных банок и скопление раковин в дюнах, удаленных на значительное расстояние от берега, если только можно доказать, что раковины не могли быть перенесены ветром.



Фиг. 54. — Карта последниковых изобаз С. Америки в метрах.

3) Менее надежный признак представляет присутствие поваренной и других морских солей в почве побережья, а также развитие большого числа ильменей, соленых озер, солончаков и засух, отделяющихся от моря и постепенно удаляющихся внутрь материка, если только можно доказать, что прибрежные озера не надвигаются на материк под напором дюн.



Фиг. 55. — Современные (1898 — 1912) изменения балтийских побережий в сантиметрах: + — значит поднятие; — — опускание суши.

4) Увеличение прибрежных мелей, шхер, полуостровов, расширение намывного берега, огражденного крутым и скалистым берегом, который когда то размывался, но при поднятии вышел из сферы действия прибора. Разумеется, расширение намывной полосы может происходить также от отлагающей деятельности прибоя и от накопления дельтовых осадков, а потому нужно осторожно пользо-

ваться этим признаком, который приобретает значение только в ряду других.

5) Остатки доисторического человека, кухонные отбросы, удаленные от моря, так же могут указывать на поднятие, если только можно доказать, что они накоплены человеком прибрежных или свайных построек. Такие остатки, отодвинутые внутрь материка, не только свидетельствуют об отрицательном перемещении берега, но дают возможность вычислить быстроту этого перемещения по высоте их над морем и времени обитания человека на берегу. В этом отношении еще большее значение имеют исторические свидетельства об изменении гаваней и вообще об условиях прибрежного и речного судоходства. Наконец, сравнительное изучение названий различных местностей на берегу также может привести к интересным заключениям: материковые местности, название которых оканчивается приставками, означающими: остров, прилив, залив и пр., очевидно, когда то принадлежали морю, но от поднятия присоединились к матерiku; например, в Финляндии и Швеции названия многих местностей оканчиваются на *holm* (большой остров), *ö* (остров), *Sari* (остров), *Sund* (пролив), *Wiek* (залив), на Суматре — *pulo* (остров), в Атакаме — *haru* (остров) и т. д.

6) Самый верный и точный способ определения характера и быстроты поднятия состоит в сравнении съемок и нивелировок разных периодов и наблюдений постоянных знаков, отмеченных на прибрежных скалах. Но, к сожалению, способы эти применимы только к весьма немногим местностям, имеющим повторные точные съемки. Наблюдения же над постоянными знаками требуют больших периодов времени — до 50 и даже более лет, так как современные поднятия происходят очень медленно, большею частью около $\frac{1}{2}$ метра в столетие.

Признаки опускания берегов:

1) Подобно тому как линии и террасы представляют важнейшие признаки поднятия, так подводные материковые террасы составляют важнейший признак опускания, но констатировать его гораздо труднее надводных террас. Дело в том, что волноприбойный уступ, при опускании берега, постепенно расширяется и превращается в подводную платформу или континентальную террасу, размеры которой возрастают по мере наступления моря на опускающийся берег: местами она только в зачаточном состоянии, местами же ширина ее до 2—4 км, и, наконец, местами она достигает нескольких десятков километров.

2) Не менее надежным признаком опускания берегов являются возрастающие коралловые постройки. Если рифы и атоллы поднимаются с значительной глубины, далеко превышающей границу развития кораллов, т. е. более 40 метров, и вместе с тем продолжают возрастать, не переходя высоту прилива, то они указывают на положительное перемещение, точно также же, как углубление других прибрежных образований, например, нуллипоровых отложений.

3) Замедление в возрастании дельтовых отложений или отсутствие их и замена воронкообразными устьями рек или эстуариями также в известных случаях указывает на опускание, если только можно доказать, что эти явления не зависят от других причин.

В некоторых местах (у берегов Шотландии, Исландии, Гренландии, Шпицбергене) устья Гудзона и особенно Конго наблюдаются подводные затопленные речные долины (у Конго на 130 км в океан, на глубине до 2000 м); Босфор — также часть опустившейся древней долины; на то же указывают „лиманы“ побережья Черного моря.

4) Изменение растительного покрова на побережье, нахождение материковых лесов и особенно торфяников под морской водой составляют наиболее надежные признаки опускания.

5) Исторические свидетельства и указания местных жителей могут в некоторых случаях определить быстроту положительного перемещения.

6) Наблюдения над постоянными знаками на береговых скалах, сравнение съемок и нивелировок здесь также, как при изучении поднятий, имеют первостепенное значение, но также редко применимы и требуют больших периодов времени.

Таковы способы и признаки, при помощи которых возможно определить географическое распространение новейших медленных колебаний.

Географическое распространение медленных колебаний.

Медленные колебания имеют обширное географическое распространение. Следствием их являются весьма разнообразные изменения на поверхности; так, например, в Фенноскандии, с одной стороны, изменяются очертания Балтийского моря, а с другой, древние террасы поднимаются до высоты около 300 м. Само собой разумеется, что такие движения не составляют исключительной принадлежности современной эпохи, но, очевидно, происходили во все предыдущие геологические периоды и, вероятно, гораздо в большем масштабе, как об этом свидетельствуют громадные трансгрессии, обуславливавшие обширное распространение некоторых осадочных образований. Теми же колебаниями объясняются пробелы или отсутствие непрерывности даже в осадках одного и того же периода, частая перемежаемость морских отложений с пресноводными и, наоборот, высокое залегание над уровнем моря сравнительно спокойных пластов, почти не испытавших дислокации.

Следовательно, медленные колебания в древние эпохи были развиты так же широко, как и в новейшие, что еще более увеличивает значение их для истории земли и придает высокий интерес вопросу о происхождении их.

Трансгрессии и регрессии океана объясняются этим путем, и этими же медленными радиальными, эпейрогеническими процессами, вероятно, созданы были основные черты рельефа земли — океанические впадины и материковые массивы (см. стр. 97). Величайшей впадиной является Тихий океан, а наибольшим материком — Евразия. Американские геологи полагают, что дно мирового океана ритмически продолжало опускаться в течение всего геологического времени, вплоть до наших дней, и видят в этом основной процесс истории земли.

Помимо вышеприведенных наблюдений над современными поднятиями и опусканиями морских побережий, движения земли, происходящие на наших глазах, констатируются теперь и внутри материков.

Так, в руднике Моргенштерн, около Аахена, нивелировкой установлено перемещение брусьев, заложенных по сторонам сброса, на 115 мм в $2\frac{1}{2}$ года.

Давно уже имелись указания, что определенные предметы (колокольни и т. п.), видные раньше с какого либо места, с течением времени становились невидимыми; в некоторых случаях эти факты объясняются оседанием почвы над пустотами естественного или искусственного характера, но в других — исключительно тектоническими перемещениями. В Ю. Германии подобные явления точными нивелировками констатированы у Боденского озера, занимающего впадину которая в связи с землетрясениями последнего времени все более опускается; у г. Брегенц за 1896 — 1906 гг. опускание достигло 102 мм у Констанцы за 1817 — 1890 г.г. — 317 мм. Еще тщательнее наблюдения в баварских предгорьях Альп, между Мюнхеном и р. Зальцах, помощью густой сети специальных триангуляций и нивелировок. Выводы, полученные здесь, сводятся к следующему:

1. Триангуляционные точки, лежащие к Ю. от Мюнхена, за последнее столетие (с 1801 — 1905) приблизились к Мюнхену (т. е. на СЗ) на $\frac{1}{4}$ метра.

2. При неизменном высотном положении Мюнхена, область к востоку от него понижается (с 1887 — 1906 г.г. у г. Марктль на 66,4 мм) в виде впадины, замыкающейся к ЮЗ и расходящейся на СВ, хорошо обрисованной „изокатабазами“ — линиями одинакового оседания, подобными изонабазам Скандинавии. При постоянстве этого процесса, в тысячелетие получается опускание на 3 метра, величину очень большую, доказывающую возможность значительных прогибов земной коры в сравнительно небольшие периоды нескольких тысячелетий, и следовательно, значительную ее подвижность. Замечательно также то, что происходящее теперь проседание этой полосы северного предгорья Альп находится в области древней

геосинклинали, являясь, следовательно, продолжением процесса ее формирования; с этой же полосой, вполне естественно, связаны периодически происходящие здесь (еще в 1911 году) землетрясения.

Помимо вертикальных перемещений, было затем обнаружено около Мюнхена и весьма значительное горизонтальное, в направлении на запад, т. е. к Боденскому озеру; так, у Кирхгайма и Штафферсберга—по 18 мм в год, или 18 метров в тысячелетие, в связи с чем находится и легко заметное на картах изогнутие к западу долин рек Зальцах, Альп, Инн, Изар, Лех, Бертах и Идлер на соответственной широте.

Повидимому, северные берега Франции, Бельгии и Голландии, а также южная часть Англии также опускаются, а северная часть Англии и Шотландия поднимаются, и следовательно, намечается большая корытообразная впадина, наиболее глубокая часть которой совпадает с Ламаншем; ее восточное продолжение захватывает, очевидно, Немецкое и Балтийское моря и Ладогу, так как берега Финноскандии поднимаются, а С. Германии опускаются. Таким образом, возможно, уже с большой вероятностью, установить продолжающееся на наших глазах формирование одной из больших пологих земных волн — громадной впадины поперек северной и средней Европы, сдавливаемой между Шотландско-Скандинавским массивом и третичными альпийскими цепями; строение последних, с опрокидыванием и надвиганием на север, говорит в пользу того же, равно как и явления в баварском предгорье.

Кора земная не обладает достаточной жесткостью и сопротивлением изменяющейся нагрузке; соответствующая определенному давлению высота данной площади есть для нее положение равновесия или изостазии, а движения земной коры, приводящие ее в такое положение равновесия, мы называем эстатическими; эти движения не могли бы иметь места, если бы верхний слой твердой литосферы не подстилался слоем пластическим, подвижным, текучим (см. гл. II), перемещения которого, однако, происходят весьма медленно, чем объясняется большая длительность и постепенность эстатических колебаний. Факторами изменения нагрузки отдельных площадей поверхности литосферы служат: покровные оледенения и их исчезновение, смыв материков (денудация), отложение на дне морей и континентальных впадин, в гораздо меньшей степени, вулканические излияния, и то лишь массовые покровные, и наконец, горообразовательные процессы, сопряженные с большим накоплением смятых складками масс, вдоль ограниченных полос, и мощными горизонтальными перемещениями — надвигами. Наблюдения над изменениями силы тяжести доказывают,

однако, ничтожные отклонения ее в области новейших (третичных) складчатых хребтов и тем самым на достигнутое ими уже после своего образования, уравнивание; по наблюдениям в Альпах и других местах, можно предполагать, что после своего формирования горы испытывали опускание, прогибание своего пьедестала.

Мы знаем, что весь массив последнего поднятия Фенноскандии ограничен зоной разломов (сравн. фиг. 51 и 53), проявляющейся также сейсмическими явлениями, и мы можем рассматривать эти разломы верхней, хрупкой части литосферы, как вполне естественный краевой процесс общего поднятия, вылучивания большого купола.

Геологические исследования в разных областях последнего времени все более приводят к заключению о первенствующей роли в поднятии больших горных систем эпейрогенических, широких волнообразных вздутий; активные фазы их гораздо многочисленнее, чем ранее предполагалось, а местами, повидимому, движения вообще почти не прекращаются.

Непосредственно наблюдаемая нами складчатость (орогеническая)—сравнительно, мелкое, второстепенное явление, лишь усложняющее основные черты больших волн — поднятий. В этом смысле некоторые современные авторы говорят именно о периодах „поднятий“, а не „складкообразования“ хребтов, поскольку последние создаются в целом именно поднятиями. Установление, однако, очертаний этих больших тектонических волн сопряжено с большими трудностями и основано в значительной мере на морфологическом методе изучения древних денудационных поверхностей (см. гл. IV).

Медленные вертикальные колебания и эстатические изменения уровня океана имели и имеют основное значение в истории земли, изменяя области деятельности главных геологических процессов и, в свою очередь, находясь иногда от них в зависимости, благодаря чему нередко возникают весьма запутанные взаимоотношения. Если климат может влиять на эстатические движения, то и, обратно, последние его видоизменяют, как, например, при замыкании и изоляции отдельных водных бассейнов, сопряженном с нарушением циркуляции воды, распределением температур и осадков. Целый ряд сложных палеогеографических явлений, изменений условий развития фауны и флоры и их расселения, образования коралловых рифов и островов, находятся в прямой причинной зависимости от эстатических движений, так же как в некоторых случаях и судьба человечества. Достаточно указать, что именно на поднявшейся из моря за последние 10.000 лет части Фенноскандии живет 80% ее населения. Но если процесс поднятия Фенноскандии будет продолжаться достаточное время, то возможно

наступление нового громадного оледенения, подобного последнему (см. гл. IV), которое уничтожит собой жизнь и культуру всей северной Европы. С другой стороны, обширные культурные пространства поглощены Северным морем: у датских и северо-германских берегов под водой лежат поселения и могилы каменного века, а у Корнваллиса, разрабатывавшиеся в доисторическое время оловянные россыпи теперь погружены на несколько метров под уровень моря. Будущность всей Голландии находится под большой угрозой, если происходящее сейчас опускание ее побережья еще будет продолжаться.

4. Причины движений литосферы.

Познакомившись с разнообразными видами движения литосферы и убедившись в чрезвычайно тесной связи, между ними существующей, обусловленной, очевидно, общностью первопричин и не позволяющей теперь резко, искусственно разграничивать одни виды дислокаций от других, нам необходимо обратиться к выяснению этой общей первопричины, задаче в высшей степени сложной, и все еще туманной, о чем свидетельствует громадное количество взглядов и гипотез.

Основным вопросом во всех гипотезах является происхождение энергии, проявляющейся в тектонических процессах. Можно наметить следующие ее источники.

1. Процессы окисления как во внешней, так и в глубоких частях земли. В этой группе источников энергии участвуют также и внешние силы (солнечные лучи), но в общем она играет совершенно незначительную роль в орогении.

2. Распад радиоактивных веществ в смысле выделения теплоты играет большее значение, чем процессы группы первой, но, повидимому, только в верхней зоне (10—20 км) литосферы ¹⁾.

¹⁾ Предполагается, что континентальная масса, сложенная гранитом, при мощности континентов в 31 км, каждым квадратным сантиметром выделяет $24,8 \times 10^{-6}$ калорий тепла в секунду.

Это количество тоже полностью возмещает потерю тепла землей, равную $2,45 \times 10^{-6}$ кал. с 1 кв. см, и в таком случае в коре земной может иметься известное тепловое равновесие. С точки зрения радиоактивности лишь подкоровая „постель“ базальтовая скапливает тепло от распада радиоактивных элементов до того, что сама, наконец, расплавляется, временами через 30—50 миллионов лет. Каждое такое расплавление постели будет вызывать увеличение ее объема, увеличение радиуса земли, и следовательно, напряжения ее поверхности, площадь которой оказывается несоответственно малой в эти периоды. Таким путем могут происходить смятия и разрывы земной коры, выход лав по разрывам, а океаны, заливая наиболее низкие части суши, вызывают трансгрессии.

3. Уменьшение объема сжатием при:

- а) переходе огненножидких веществ в твердое состояние и
- б) продолжающемся охлаждении в твердом состоянии.

Уменьшение объема является источником энергии вследствие перехода в кинетическую энергию потенциального давления нависающих над сокращающимся ядром частей земной коры.

4. Увеличение объема в земной коре может происходить путем:

- а) расплавления твердых масс,
- б) затвердевания жидких масс, находящихся под давлением выше критического (соответствующего их точке плавления); этот процесс может, следовательно, происходить лишь на значительных глубинах;
- в) нагревания твердых масс, опускающихся, под давлением вновь образующихся над ними отложений, на значительное расстояние от охлаждающейся поверхности земли.

5. Вращение земли и в особенности изменения скорости.

Выше приведены основные положения о тепловом режиме земли; она несомненно в течение долгого времени продолжает отдавать часть своего тепла в мировое пространство, но потери эти периодически, повидимому, компенсируются распадом радиоактивных веществ. Теплота поверхности земли испытывала частые изменения как в смысле распределения, так и своего количества, при чем последнее не только в сторону уменьшения, но и увеличения.

Мы подчеркивали общность процессов эпейрогенических и орогенических, являющихся, в сущности, лишь различными фазами одного основного эволюционного процесса формирования лика земли, сменяющими друг друга; мы вправе предполагать и общность причин этих процессов, однако, все-же, по состоянию наших знаний, главным предметом тектонических теорий являются процессы орогенические, проявления которых более ограничено как во времени, так, особенно, и в пространстве.

Изучение складок и складчатых горных кряжей (см. гл. IV) не оставляет сомнения, во-первых, в существовании горизонтального давления, а во вторых, в общем сокращении земли и уменьшении окружности ее. Горизонтальное стяжение или тангенциальное давление выражается не только во внешнем орографическом характере складчатых гор, но и во внутреннем строении их.

Почти все наиболее типичные складчатые хребты простираются не прямолинейно, а дугообразно изгибаясь, при чем выпуклые и вогнутые склоны их резко отличаются друг от друга. Особенность эта под-

мечена давно, но генетическое значение ее впервые указано Э. Зюссом: вогнутый склон отличается крутизной, сложностью строения, выходом вулканических масс, маскировкой складок; выпуклый склон, напротив, гораздо положе предыдущего, сложен из более или менее правильных и параллельных складок, постепенно уменьшающихся с удалением от гребня, с небольшими выходами вулканических пород или даже совсем без них.

Такой орографический характер отличителен не только для отдельных хребтов, но даже для систем их, распространяющихся на целые материки; особенность эта объясняется направлением горизонтального давления, под влиянием которого нагромодились эти новые кряжи. Склоны, обращенные в сторону давления, должны были претерпевать более сильное давление нежели противоположные, а потому в зависимости от правильного или неправильного распределения давления получили простое или сложное изогнутие, вогнутость в местах наибольшего проявления давления, а соответственно вогнутости на противоположном склоне появлялась выпуклость. Если горизонтальное давление проявлялось сильно и неравномерно, то склон, обращенный к нему, не только становился крутым, вогнутым и высоким, но получал различные нарушения и неправильности; тогда как на противоположном, выпуклом, складки появлялись более или менее правильно, последовательно, постепенно уменьшаясь в размерах и интенсивности, по мере удаления, так сказать, от центра напряжения давления. Совершенно аналогичный процесс можно наблюдать на складках растянутого сукна, подвергающегося горизонтальному давлению с какой-нибудь одной стороны.

Таким образом, изогнутость и разноклонность складчатых кряжей или диссиметрия их являются следствием горизонтального давления.

Переходя от этих общих орографических особенностей складчатых кряжей к частностям, мы находим еще большее подтверждение той же идеи о горизонтальном давлении. Подобно тому, как на поверхности сжимаемого сукна слабое давление производит плоские низкие складки, а сильное — целую систему крутых и высоких складок, так и в коре земной простые складчатые кряжи представляют, вероятно, результат слабого давления, а сложные — сильного. Как на сукне, так и на поверхности земли, под влиянием сильного горизонтального давления, образуется общее вздутие, состоящее из целой системы складок, которые, хотя и обладают некоторыми общими свойствами, но не совсем тождественны. В любом горном кряже можно видеть, что длина складок, их интенсивность и высота чрезвычайно разнообразны. Длина отдельных складок никогда не достигает

длины целого кряжа, а всегда меньше, так что по простиранию кряжа одни складки сменяются другими.

Соотношение горных кряжей между собою, их общий орографический характер и, наконец, распределение форм и свойства складок каждого отдельного кряжа, — все это вместе взятое, одинаково свидетельствует в пользу горизонтального давления, и только влиянием его возможно объяснить указанные особенности складчатых горных кряжей.

Пластичность присуща даже самым твердым породам, а потому нет надобности предполагать особое состояние пород до складчатости, напротив, складки могут образоваться во всяких, самых хрупких и твердых породах, но, разумеется, с большим или меньшим разрывом сплошности. Расположение трещин, указывая на направление стяжения, соответствует местам наибольшего растяжения.

Признавая горизонтальное стяжение, мы должны допустить, что или кора земли почему-либо увеличивается, или же ядро земли уменьшается, а кора, неразрывно-связанная с ним, постепенно приспосабливается к нему и сокращается. Первое предположение не имеет за собой никаких данных, второе же мыслимо, потому что уменьшение ядра земли возможно вследствие его постепенного охлаждения или же выхода на поверхность вулканических масс. При таком допущении совершенно естественно, что складки должны выражать собою степень сокращения земли или, все равно, уменьшение окружности ее. Следовательно, перед нагромождением складок окружность земли была больше на величину, которая составляет разность между современною окружностью и тою, которая получилась бы, если-бы все складки, залегающие на одном и том же меридиане, сгладить или растянуть. (См. примечание на стр. 119).

Идею о связи горообразования с сокращением земного шара можно проследить с 1829 г. Согласно этой идеи, или к о н т р а к ц и о н н о й т е о р и и, длительное сжатие ядра земли должно было вызывать постепенное сморщивание ее оболочки под влиянием тангенциального давления; последнее должно происходить из радиальных сил, стремящихся опуститься, вслед за сжимающимся ядром, частей земной коры, подобно боковому давлению, развивающемуся в каменном своде. Это тангенциальное давление раздавливает или сминает в складки менее устойчивые, тонкие или податливые части литосферы; величина его для земной оболочки (при радиусе в 6.370.000 метров и уд. весе в 2,7) равна 17.200.000 тонн на квадратный метр сечения ее, т.-е. в 1.700 раз больше, чем сопротивление раздроблению гранита; из этого ясно, что все препятствия могут быть преодолены тангенциальным давлением, и все породы испытать пластическую деформацию.

Из этого же ясно, что лишь при смятии одних частей возможно опускание других; вместе с тем части, испытавшие уже смятие, представляют при последующем давлении большее сопротивление, чем другие, а в особенности, испытавшие смятие в поперечном новому направлению.

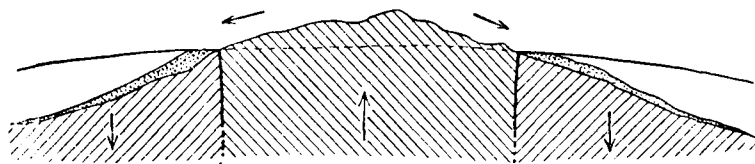
Переход от смятых к несмятым горизонтам литосферы представляется постепенным; глубина складчатости, например, в Юрской цепи достигает 1.800—3.600 метров под первоначальным сводом хребта и в 1.200—2.700 под современными его гребнями; для самих Альп, сложенных серией мощных покровов, глубина третичной складчатости, или границы между перемещавшейся корой и сокращавшимся ядром, должна была достигать 40—50 километров. Ни одна из обнаженных сейчас альпийских складок не образовалась на поверхности, но лишь на глубине пластичной деформации, под известным давлением; покрывавшие же их части, раздробленные и размытые, давно исчезли.

Из всех современных возражений против контракционной теории серьезное значение имеет лишь одно, а именно: мы все-таки не знаем состояния внутренности земли, а следовательно, не можем определенно говорить о характере ее изменений при охлаждении, однако, это же возражение сохраняет свою силу и при других теориях, а потому при всей своей важности не может еще заставить нас отказаться от теории, более всех других основанной на действительно наблюдаемых в строении земной коры данных, теории по преимуществу геологической: присущая всем горным хребтам складчатость может быть объяснена только сокращением земли.

Выше, при рассмотрении эпейрогенических движений, упоминалось о принципе равновесия в земной коре, лежащем в основании теории изостазии. Согласно этой теории, верхняя твердая кора земная плавает на жидком слое, и поэтому всякие изменения нагрузки ее опедением, отложением, смывом и т. п. вызывают опускание или поднятие соответствующих частей коры (см. фиг. 56). Уровень равновесия земли лежит на глубине 120 километров (см. гл. I, стр. 28). Этим путем объясняются вертикальные колебания Фенноскандии и Сев. Америки (см. стр. 112), а также общее опускание Альп и других подобных хребтов после их складкообразования; равным образом объясняется длительным опусканием накопление громадных толщ мелководных отложений, каменноугольных месторождений, рифовых известняков, континентальных образований и т. п. Изменения силы тяжести находятся также в соответствии с теорией изостазии. С геологической точки зрения она, несомненно, не только приложима, но и необходима в целом ряде тектонических явлений, однако, универ-

сальной складчатости земли в большом масштабе; объяснить не может, т. е. именно главных орогенических процессов, и изостазия скорее лишь сопровождает их в качестве дополнительного фактора.

В связи с основным положением теории равновесия находится и наиболее оригинальная гипотеза последнего времени (Веге-

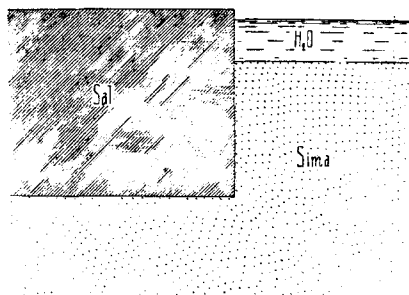


Фиг. 56. — Схема гипотезы изостазии. Горизонтальные стрелки показывают сдвиг поднимающегося массива, а вертикальные — перемещение отдельных частей земной коры.

нера) о больших горизонтальных перемещениях материков, породившая чрезвычайно большой обмен мнений различных специалистов.

По Вегенеру, материковые массивы, состоящие из легкого „салического“ материала до 100 километров толщиной, плавают в тяжелой „сима-зоне“, глубоко погруженные в нее, на подобие айсбергов (см. фиг. 57).

В силу различных геофизических причин материки, плавающие, могут менять свое взаимное расположение на протяжении геологической истории, чем весьма удобно разрешаются всевозможные палеогеографические вопросы. Основным доводом в пользу этого указывается поразительный параллелизм противоположных берегов Старого и



Фиг. 57.

Нового Света, — Америка, оторвавшись от Европы и Африки, сдвигается к западу, при этом, помимо географических гомологий, можно подметить и геологические в строении противоположных побережий. Вообще, по Вегенеру, материки в области Атлантического океана расходятся, а в области Тихого — сходятся; в связи с этим на передних очертаниях их возникают от надвигания краевых вздутия, т. е. происходит горообразование (Анд, цепей Японско-Молуккских и т. п.).

Наконец, за последние годы возникла особая группа тектонических теорий, которую можно назвать группой магматических теорий, порывающих с контракционным принципом и полагающих

основную причину складчатости в особых течениях и изменениях объема пластической зоны под твердой земной корой.

Основной идеей этих теорий является помещение причины складчатости в пластическую зону, при чем движения, в ней происходящие, лишь отражаются в измененном виде, запечатлеваясь на „мертвой“ поверхности различными дислокационными формами, т. е. складкообразование есть пассивное проявление глубоких процессов литосферы. Самым серьезным препятствием применению этих идей является локализация складчатости на земле, ее зональность и постепенное сужение складчатых зон.

Независимо от различных теоретических предпосылок и точек зрения, решающую роль для объяснения причин движения литосферы должны играть действительно наблюдаемые в коре земной геологические явления — изучение и исследование всевозможных форм нарушений горных масс. Основной первопричиной горообразования является стяжение земной коры, но процессы термические, вулканические, изостатические должны также играть несомненную роль; однако, лишь контракционные явления доступны нашему непосредственному наблюдению и только они одни объясняют горизонтальные покровные перемещения больших масс, важное значение которых и широкое распространение все более для нас несомненно.

ЧАСТЬ II.

ГЛАВА IV.

Общий обзор денудационных процессов.

Под именем денудационных процессов мы разумеем всю совокупность геологических явлений, обусловленных деятельностью воздуха, воды в разных состояниях и организмов. Хотя деятельность этих агентов выражается весьма сложными и разнообразными процессами, получающими различные частные названия, но вся она сосредоточивается, главным образом, на поверхности земли и проникает только на небольшую глубину внутрь земной коры; поэтому денудационные процессы можно назвать внешними в отличие от внутренних или тектонических.

Денудационные процессы видоизменяют все тектонические формы рельефа и придают им то сложное расчленение в горизонтальном и вертикальном направлениях, которое обуславливает красоту и разнообразие ландшафта. Но, кроме того, они производят мощные отложения целой группы сложных пород, имеющих для истории земли более важное значение, чем изверженные породы, потому что они служат основанием для геологической хронологии.

Рассмотрим вкратце процессы различных денудационных агентов, начиная с атмосферы.

Влияние атмосферы на поверхность земли обуславливается составом атмосферы, резкими колебаниями температуры и особенно ветрами. Влияние это может быть или непосредственное, или же косвенное, при посредстве других агентов: воды и организмов. Непосредственное или прямое действие атмосферы разделяется на механическое и химическое.

Химическое влияние атмосферы в природе редко проявляется вполне обособленно, а всегда совместно с физическим и химическим влиянием воды и организмов; эта совокупная работа, разрыхляющая самые твердые скалы на поверхности земли и подготовляющая их к переносу, называется выветриванием. В зависимости от свойства процессов, выветривание разделяется на физическое, химическое и органическое. При физическом выветривании главное

значение имеет колебание температуры воздуха; чем выше годовая и особенно суточная амплитуда температуры, тем больше образуется трещин в поверхностных породах и тем скорее массивные скалы превращаются в груды обломков, называемых россыпями и осыпями. Одновременно с физическими происходят и химические процессы. Кислород, углекислота и влага атмосферы, проникая по готовым трещинам, изменяют состав пород и еще более способствуют разрыхлению скал. Такое же влияние оказывают организмы, действуя на породы своими органическими кислотами или разрушая их механически. Все эти сложные процессы действуют совместно по всей поверхности земли, только несколько изменяя свою интенсивность в различных областях; в обособленном же виде наблюдается только физическое выветривание, но в весьма редких случаях. В виду такой тесной связи этих процессов, мы рассмотрим их все вместе, несмотря на то, что они обуславливаются различными агентами.

Механическая деятельность атмосферы проявляется, главным образом, в работе воздушных токов, которые охватывают всю земную поверхность и действуют как в горизонтальном направлении — от полюсов до экватора, так и в вертикальном — от уровня моря до снежных вершин высочайших гор. Хотя механическая сила их несравненно слабее водяных потоков, так как воздух легче воды почти в 800 раз, но зато площадь приложения этой силы гораздо больше, потому что воздушные токи не ограничиваются какими-либо определенными руслами, как водяные, а воздействуют на обширные площади поверхности земли; вследствие этого результаты механической деятельности ветра достигают огромных размеров и во многих областях превосходят даже работу воды.

Ветер, ударяя о поверхность земли, подхватывает мелкие минеральные частицы, особенно если они уже подготовлены выветриванием, поднимает их высоко, образуя, так называемые, пыльные ураганы, и уносит их на далекое расстояние; другие же более крупные частицы передвигает перекачиванием по поверхности и скопляет в кучи определенной формы. В пустынях не только рыхлые породы, подготовленные выветриванием, но и твердые скалы постепенно разрушаются под влиянием ударов ветра. Нападая на более слабые части выдающихся скал, ветер производит на них бороздки, желобки и всякого рода неправильные углубления. От выветывания слабых частей пород более крепкие выступают в виде оригинальных форм рельефа, которые придают пустыням характерный и своеобразный ландшафт. При дальнейшем действии ветра выступающие формы рельефа также постепенно разрушаются или сглаживаются и покрываются летучим песком, сравнивающим все неровности.

Все продукты разрушения горных пород ветер переносит на другие места и при этом шлифует как переносимые частицы, так и все, встречающееся им на пути.

Таким образом, деятельность ветра состоит из нескольких процессов: 1 — разрушения горных пород, или их постепенной убыли, которая всегда сопровождается: 2 — перенесением оторванных частиц на другое место, 3 — обтачиванием или шлифованием и, наконец, 4 — отложением эоловых или суб-аэральных осадков, из которых лесс и летучий песок имеют наибольшее значение и громадное распространение. Первые три процесса называют одним именем — развевание; следовательно, механическая деятельность ветра разделяется на разрушительную, или развевание, и созидательную, или отложение; первая понижает поверхность или производит местное укорачивание радиуса земли, а вторая, напротив, возвышает поверхность или удлиняет радиус земли.

Кроме непосредственного действия атмосферы на поверхность земли, она проявляет еще косвенное влияние при посредстве других агентов. Ветры разносят влагу с поверхности океанов на материки и обуславливают в каждом данном месте не только количество атмосферных осадков, но также и температуру; в одних местах они увлажняют почву, в других иссушают, а в зависимости от того распределяется деятельность материковых вод и организмов, не исключая и человека. Те же ветры посредством прибоев морских волн производят большие изменения на окраинах материков. Таким образом, атмосфера, являясь посредницей между сушей и водою, обуславливает круговорот воды и расширяет ее деятельность.

Геологическая деятельность воды, хотя разнообразнее и сложнее работы атмосферы, но состоит из таких же процессов разрушения и созидания, которые так же обуславливаются прежде всего движением воды, а затем физическими и химическими свойствами ее. Все количество воды, заключающейся в главных резервуарах — океанах, составляет около $1.300.000.000 \text{ км}^3$; эта масса находится в непрерывном движении, проявляющемся или в постоянных течениях по определенному направлению, или в переменных волнениях. Волны моря, ударяясь о берега с огромною силою, выражающеюся иногда давлением в $10.000\text{—}16.000 \text{ кг/м}^2$, с одной стороны, обтачивают, подмывают и разрушают их, а с другой — переносят, сортируют и отлагают разрушенный материал в виде береговых и прибрежных осадков.

Морские течения значительно расширяют работу волн, особенно в деле перенесения и отложения; они разносят измельченный материал на большие расстояния как вдоль берегов, так и в открытом океане. Морские отложения отличаются наибольшею мощностью

и распространенностью; кроме того, они заключают в себе важнейшие документы в виде многочисленных окаменелостей для определения древности различных периодов жизни земли. Море, подмывая берега и отлагая осадки, обуславливает не только характер горизонтального расчленения материков, а следовательно, и степень доступности их, но также и вертикальное расчленение суши; при наступании моря на материк оно смывает (сбрасывает) все неровности и превращает даже горные страны в совершенные равнины. Таким образом деятельность моря состоит из тех же процессов, как и деятельность атмосферы, т.е. разрушения (убыли), обтачивания, или шлифования, перенесения и отложения, причем первым трем придают общее название — смывание или абразия (буквально значит — сбрасывание), аналогичное эоловому развеванию.

Вода, циркулирующая внутри земной коры, совершает разнообразную работу в зависимости не только от движения, но, главным образом, от химических и физических особенностей ее. Известно, что вода в чистом виде представляет соединение одного атома кислорода и двух атомов водорода, что при температуре 100°C и давлении 760 мм она превращается в пар, увеличиваясь в объеме в 1.700 раз; она в 770 раз тяжелее воздуха и наибольшую плотность имеет при $4,1^{\circ}\text{C}$. При 0° она затвердевает в лед и увеличивается в объеме на $\frac{1}{11}$ часть. Однако, в природе нет совершенно чистой воды, даже дождевая и снеговая воды содержат различные примеси, захваченные из атмосферы; так в литре, дождевой воды заключается $5,97\text{ см}^3\text{O}$, $16,60\text{ см}^3\text{N}$ и $4,47\text{ см}^3\text{CO}$ или в $\% = 22,06\text{O}$, $61,40\text{N}$ и $16,54\text{CO}_2$.

Атмосферные воды, падая на земную поверхность, проникают через разнообразные горные породы. Порода абсолютно непроницаемых нет; не только такие породы как песчаники и различные известняки, но даже массивные кристаллические породы — граниты, базальты и т. п. — проницаемы для воды. Различные породы имеют различную степень проницаемости: одни из них — менее, другие — более проницаемы; поэтому в практике различают породы водопроницаемые и водонепроницаемые; к первым относятся, например, рыхлые пески, песчаники, конгломераты и пр., а ко вторым — жирные глины, плотные мергели, известняки, некоторые вулканические, особенно стекловатые породы и пр.; от того или другого сочетания этих пород зависит характер распределения подземной воды.

Вода, проникающая вглубь, проходит растительный слой, богатый гниющими веществами, и еще более увеличивает свои примеси. Между ними самую главную роль играет углекислота, потому что она значительно увеличивает растворяющую способность воды. В воздухе, проникающем в почву полей, заключается в 200 раз больше угле-

кислоты, чем в атмосфере. Вместе с углекислотой вода уносит и органические вещества, которые играют также немаловажную роль в преобразовании земной коры, являясь единственными восстановителями различных минеральных соединений.

В таком виде вода, содержа в себе кислород, углекислоту, азот и органические вещества, является геологическим деятелем, разлагающей и растворяющей силе которого с течением времени не может сопротивляться ни одна горная порода.

Вода, проникающая в породы, скоро теряет кислород и углекислоту, а взамен их принимает минеральные вещества, растворяющиеся в ней или непосредственно, или при посредстве углекислоты и кислорода; при этом вода получает возможность производить на дальнейшем пути новые, более сложные разложения и соединения. Только азот большею частью остается без влияния, не вступает в соединения, а выходит с водою на поверхность и снова освобождается в атмосферу. Подобно тому, как нет абсолютно-непроницаемой, так нет и абсолютно-нерастворимой породы.

Подземная работа воды выражается не в одном только изменении пород, но, благодаря продолжительному влиянию ее, исчезают громадные толщи, и на их месте образуются пустоты в виде трещин, пещер и т. п., достигающие громадных размеров, иногда несколько сот квадратных километров. При нарушении равновесия в пустотах происходят обвалы, которые на земной поверхности обнаруживаются землетрясениями, нередко разрушительными, с небольшою областью сотрясения, как мы уже видели это (см. стр. 93).

С другой стороны, минеральные воды, циркулирующие внутри земной коры, встречая готовые уже пустоты, стремятся их заполнить. Они производят в них разнообразные отложения: сталактиты, сталагмиты, жеоды, миндалины и различные жилы, между которыми много, так называемых, рудных жил, содержащих тот или другой, практически важный, минерал. Скопления рудных залежей находятся не только в жилах, представляющих заполненные трещины, но также и в больших пещерах. Следовательно, подземная вода, с одной стороны, производит разложения, размывы, а с другой, — новые и нередко полезные отложения.

Обремененная различными солями, подземная вода, сделавши свое дело, при известных благоприятных стратиграфических условиях, выходит на поверхность и образует источники, имеющие часто важное целебное значение. Как только она вышла на поверхность, сила ее, так сказать, ослабевает; при соприкосновении с воздухом различные минеральные соли осаждаются при выходе источника, и эти осадки достигают громадных размеров, образуя иногда целые горы;

осадки углекислого кальция или травертина, железных руд, поваренной соли, кремнезема — представляют нередкие явления.

Выйдя на поверхность, минеральные источники соединяются уже с реками и продолжают свой путь дальше, участвуя в образовании наружных форм рельефа. Воды, протекающие по поверхности, производят также громадную работу, но действуют не столько химически, сколько механически.

Первые капли, упавшие из атмосферы, стремясь к ближайшему углублению, оставляют едва заметные бороздки даже на твердых породах; соединившись в ручеек, они образуют уже небольшую промоину, которая, при существовании трещин в породах, скоро превращается в расселину. Ручьи, соединившись в бурные горные потоки, превращают расселину в горное ущелье; потоки, собираясь в реки и постепенно расширяя, удлиняя и углубляя ущелья, превращают их в долины, по которым поверхностные воды возвращаются к общему резервуару — морю; только часть их скопится на суше в виде озер, деятельность которых также имеет большое значение в экономии природы, выражаясь частью в механических, но, главным образом, в химических осадках, имеющих важное практическое значение.

Море, постоянно отлагая осадки, несомненно нуждается в пополнении потраченных веществ, которые приносятся в него источниками и реками. Следовательно, долины, с одной стороны, представляют пункты, в которых больше всего вода разрушает горы, а с другой — каналы, по которым разрушенный материал переносится с материков в океаны.

Породы, подготовленные выветриванием, легко уносятся потоками. Обломки их от взаимного трения постепенно округляются и уменьшаются, превращаясь в конце концов в необыкновенно тонкий ил, производящий муть в речной воде. Он осаждается не только при устьях рек, но разносится на огромное пространство в морях. Другая часть минерального материала переносится реками посредством перекатывания по дну; при всяком, даже малейшем, изменении скорости потока этот материал или более крупные части его осаждаются в русле реки и способствуют возвышению дна долины или перемещению русла. Наибольшее количество минерального материала осаждается при устьях рек, образуя громадные площади, так называемых, дельтовых осадков. Но, кроме того, реки уносят много минерального материала в химически-растворенном виде. Вследствие всех этих процессов площади бассейнов рек постепенно понижаются.

В течение года реки сносят с поверхности всей суши около 10 км^3 горных пород, понижая уровень суши на 1 м в течение около 10.000 лет.

При таких условиях можно было бы думать, что море в конце концов насытится различными солями; но здесь является новый элемент, который помогает круговороту воды. Этот элемент заключается в мириадах морских животных, которые выбирают из воды соли и строят из них свои твердые части.

Морские животные, извлекая соли из морской воды, особенно углекислый кальций, которого, несмотря на громадный принос его речной водой, в море почти не находится, — строят громадные коралловые банки, рифы, острова и пр. Постройки эти некоторый период существуют в море, но при известных тектонических процессах могут выйти на поверхность и образовать сушу. С другой стороны, целые хребты состоят из пород морского происхождения, образовавшихся вследствие деятельности морских животных.

Из этого краткого очерка деятельности материковой и проточной воды видно, что она разделяется на химическую и механическую. Первая наиболее свойственна подземной воде; на поверхности же она проявляется преимущественно в выветривании или подготовке пород к размыву, где, как уже упомянуто, она действует нераздельно с атмосферой. Вторая же принадлежит поверхностным потокам, которые, как воздушные и морские, разрушают горные породы, переносят, шлифуют или обтачивают и отлагают, образуя своеобразные осадки. Подобно предыдущему, первые три процесса соединяют в один под общим именем размывания или эрозии, которые аналогичны развеванию и абразии.

Кроме газообразного и жидкого состояния, вода имеет свою деятельность также в твердом виде, т.-е. в форме льда. С одной стороны, образование льда, сопровождаясь увеличением объема, способствует быстрому разрушению скал или выветриванию, а с другой, при благоприятных климатических и орографических условиях, массы льда скопляются не только на поверхности рек, озер и морей в виде обширных ледяных полей и айсбергов, но даже на поверхности материков, где текут подобно рекам и производят громадную механическую работу. Они выпахивают долины, переносят такие крупные глыбы пород, с которыми не мог бы справиться никакой другой агент, при движении они не только шлифуют твердые скалы, но даже полируют их, что также составляет исключительную особенность ледников. Наконец, они образуют совершенно своеобразные отложения, которые резко отличаются от всех других. Результатом деятельности льда на поверхности материков является оригинальный ландшафт, называемый ледниковым, который вместе с отложениями яснее, чем что-либо указывает на крупные изменения климата земли. Словом, в деятельности льда выделяются такие же про-

цессы: разрушения, перенесения, шлифования и отложения.

Деятельность организмов также представляет весьма важное геологическое значение. Работа организмов в деле преобразования земной коры отличается от деятельности других геологических агентов тем, что она, главным образом, сосредоточивается на процессе создания или отложения, тогда как в разрушении и перенесении принимает малое участие. Разрушение пород при помощи организмов наблюдается при выветривании, где принимают участие преимущественно растения и микроорганизмы; растения, кроме химического воздействия на породы, своими органическими кислотами разрыхляют их еще механически своими корнями, проникающими в трещины и значительно их расширяющими. Кроме того, некоторые морские раковины, так называемые, сверлильщики, вытачивают даже твердые породы, а суслики, кроты и др. роющие животные не только проводят подземные ходы, но даже переносят на небольшое расстояние значительные количества измельченного материала. Но главная роль организмов заключается в образовании новых осадков, которые достигают значительной мощности и разделяются на фитогеновые, т.-е. произведенные растениями, и зоогеновые, произведенные животными. Между первыми преобладают торф и минеральные угли, а которым принадлежат преимущественно известняки, получающие название часто в зависимости от организмов, которым они обязаны своим происхождением.

Все вышеуказанные процессы, т.-е. выветривание, развевание, смывание, размывание и выпаживание в соединении с разного рода отложениями не только производят самостоятельные формы рельефа, но и придают бесконечно разнообразное расчленение первозданным формам, произведенным тектоническими процессами; денудация, так сказать, придает окончательную моделировку земной поверхности.

Геологическая деятельность атмосферы.

Как химическая, так и механическая деятельность атмосферы по своей интенсивности и характеру разнообразно видоизменяется не только в различных местностях, но даже в одной и той же. При замечательном постоянстве состава основных элементов, т.-е. отношения кислорода к азоту, атмосфера подвергается весьма резким колебаниям во всех остальных своих свойствах. Температура, влажность, давление и движение ее, или ветры, изменяются как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях, в зависимости от географической широты, долготы, положения солнца, рельефа суши, отношения площадей суши и воды.

При такой связи очевидно, что для правильного уразумения геологической роли атмосферы необходимо ознакомление с основными свойствами ее и факторами, обуславливающими колебания их. Без знания климатических факторов трудно понять и верно оценить не только деятельность атмосферы, но и других, еще более важных геологических агентов, тесно связанных с атмосферой, например, проточной воды, моря и особенно морских течений, современных и древних ледников.

К л и м а т. Совокупные свойства всех метеорологических элементов какой-либо местности, но особенно температуры и осадков, выясненные многолетними средними данными, называются **к л и м а т о м** данной местности. Само собой разумеется, что при большей изменчивости климатических факторов как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях, возможно выделить множество климатических провинций.

Хотя границы климатических провинций признаются более или менее постоянными, но климаты подвержены некоторым колебаниям во времени. Кроме суточных и годовых колебаний климатических факторов, предполагают еще многолетние (11—35-ти летние) или волны Брюкнера, вековые или волны Блитта и геологические волны. Первые два периода отличаются тем, что вызываются переменным положением земли относительно солнца и каждая фаза их последовательно наступает только на одной половине земли, а не на всей земле одновременно, тогда как три последних периода проявляются может быть одновременно на всей земле, хотя сущность их исследована еще весьма мало.

По недостатку наблюдений, восходящих только до начала XVIII ст. и то редких и разнородных, доказать цифровыми данными вековые колебания невозможно; о существовании их заключают или по колебанию ледников или по смене растительности. Все климатические колебания имеют периодический характер, при чем продолжительность периодов весьма разнообразна; наиболее точно определены: суточные, годовые, 11-летние и 35-летние. В виду этого утверждения о прогрессивном изменении климата некоторых стран в историческое время едва ли справедливы, тем более, что попытки, сделанные в этом направлении, оказались неудачными. Дело в том, что нередко такие изменения обуславливаются чисто местными причинами: истреблением лесов, уменьшением земледельческих культур, войнами и пр., а не изменением среднего годового количества осадков. В некоторых случаях хищническое пользование дарами природы вызывает развитие оврагов, летучих песков и пр., вследствие чего страна опустошается, дичает, хотя климат ее не претерпевает никаких существенных изме-

нений; тоже, наоборот, иногда пустыня превращается в культурную страну почти без изменения средней температуры и среднего количества годовых осадков.

До сих пор мы не имеем удовлетворительной классификации климатических зон или провинций; классификация Мартонна чисто метеорологическая представляется в следующем схематическом виде:

- | | |
|---|--|
| I. — Группа тропических климатов, или мегатермических. | 1. — Экваториальная подгруппа. |
| | 2. — Собственно тропическая. |
| | 3. — Муссонная подгруппа. |
| II. — Группа пустынных климатов, или ксерофитных. | 1. — Климат пустынь тропических. |
| | 2. — „ „ пустынь умеренного пояса. |
| | 1. — Умеренный климат без зимы. |
| III. — Группа климатов умеренного пояса, мезо — и микротермических. | 2. — Умеренный климат с короткою зимой. |
| | 3. — Умеренный климат с продолжительной суровой зимой. |
| IV. — Группа полярных климатов. | |

Кроме того, в каждой группе можно различить две главные разновидности — океанскую и континентальную, и много второстепенных в зависимости от рельефа.

Наибольшее значение для нас имеют изменения климата в объяснении ледниковых эпох, к чему и вернемся ниже.

Для определения пустыни, как таковой, и геологических заключений о пустынных условиях необходимо наряду с эоловой деятельностью (сносом и отложением) учитывать и значение сноса и отложения пустынными потоками, эпизодическими, площадными, неправильными, в противоположность деятельности нормальной эрозии при периодичности осадков. В первом случае образуются глинистые неправильные наносы с быстро выклинивающимися прослоями валунов и гальки и остатками обработанных ветром поверхностей и трехгранников, во-втором — более сортированные альвиальные отложения.

Тщательное изучение современных процессов сноса и отложения в пустыне, а также как и в ледниковых областях, является единственным способом правильного подхода к объяснению истинной природы целого ряда своеобразных отложений различного геологического возраста, часто получающих совершенно неправильные толкования. Между тем при отсутствии органических остатков стратиграфические и литогенетические признаки нередко и являются единственным ключом к восстановлению геологической истории и палеогеографии данной области.

Чрезвычайно важное значение имеют попытки воссоздания климатических условий для объяснения образования не только тех или иных свит осадочных отложений (например, громадных немых песчано-

глинистых и конгломератовых толщ Средней Азии, мелового и третичного возраста, пермских отложений Приуралья и пр., но особенно месторождений некоторых неметаллических полезных ископаемых, как, например, каменных углей, сапропелитов, солей и др. Целый ряд укрупнившихся даже в геологии представлений нередко видоизменяется весьма значительно после более внимательного анализа влияния климатических факторов.

Механическая работа атмосферы, как уже указано в общем обзоре, состоит в развевании, перенесении и отложении; процессы эти производят, с одной стороны, своеобразные осадки, называемые эоловыми; напряженность их в каждом данном месте зависит от климата. В странах с обильными дождями, слабыми ветрами, ровною температурою и густою растительностью деятельность их едва проявляется, да и то на небольших площадях при сочетании особенно благоприятных условий, например, на обнаженных плоских берегах морей, на илистых участках заливных долин, периодически осушающихся, на свежих скоплениях вулканического пепла, на оголенных вершинах, разрушающихся от выветривания, и пр. В степях с умеренными дождями, сильными ветрами, резкими колебаниями температуры и мелкою растительностью деятельность эоловых агентов проявляется уже весьма заметно; они не только изменяют площади, обнаженные от растительности, например, в речных долинах накапливают летучие пески, солончаки превращают в простые котловины и пр., но и травянистые степи не оставляют в покое, а пользуются всякими случаями, чтобы превратить их в пустыню. Такие случаи представляются часто и обуславливаются или естественными причинами, например, продолжительными засухами, или же деятельностью животных и человека. Степная почва настолько слаба, а растительность нежна, что даже стада диких животных: антилоп, северо-американских бизонов, сайгаков, азиатских куланов и пр., вытаптывая траву и разрыхляя почву, отдают ее в жертву развеванию. То же самое производит человек неразумным хозяйством.

Наибольшего развития эоловые процессы достигают в странах бедных или лишенных дождей, с сильными и постоянными ветрами, с большими суточными амплитудами температуры и обнаженных от растительности. В таких странах не только мягкие почвы, но даже твердые скалы находятся в постоянной борьбе с ветром и не могут сопротивляться разрушительному действию его: ветер проникает во все трещины и пустоты, извлекает оттуда все, что успело разрыхлиться; словом, нет уголка, который бы не подвергался влиянию ветра. Резкие колебания температуры, доходящие до 30—40° Ц в течение суток, разрыхляя породы, готовят их к развеванию; ветер дей-

ствуется на них не только своею механическою силою, но и пользуется твердыми частицами для обтачивания и шлифования, вследствие чего, рядом с увеличением процесса разрушения пород, получаются оригинальные формы скал и всего рельефа. Конечным результатом свободной деятельности ветра являются разнообразные и обширные пустыни, среди которых различают четыре главных типа, а именно: пустыни каменистые, щебневые (кремнистые), песчаные и глинистые. Первые два типа обуславливаются преимущественно развеванием, последние же два типа — преимущественно отложением пород.

Развевание.

Скорость и давление воздушных токов достигают больших размеров, при которых неудивительно, что бури и ураганы производят крупные разрушения; они нередко вырывают деревья с корнем, раз-



Фиг. 58. — Развевание закрепленных растительностью песков вдоль караванной дороги. Южная часть пустыни Гоби. (Фот. Васильевского).

рыхляя этим верхний слой почвы, уничтожают целые леса, опрокидывают здания (фиг. 58).

Процесс развевания прежде всего выражается в обтачивании и шлифовании, которые состоят в том, что ветер, подхватывая мелкие камушки, песчинки и пылинки, ударяет ими о поверхность

скал или отдельных глыб или даже мелких обломков, обтачивает, истирает или шлифует скалы и тем самым придает им особую, оригинальную форму. Процесс этот уже давно применяется в технике для приготовления матового стекла посредством воздушной струи, несущей шлифовальный порошок, но в природе он подмечен только недавно, хотя проявляется весьма разнообразно и мощно, увеличивая силу развевания.

Характер и сила обтачивания зависят от многих частных условий: от твердости, однородности и сложения обтачиваемых пород, от формы их залегания, от силы ветра и крупности обтачивающих частиц, которые в одном случае действуют, как резцы, проводящие штрихи, борозды и желоба (фиг. 60), в другом — как сверлящие орудия, обуславливающие ноздреватые и пещеристые скалы, и в третьем — как шлифовальный порошок, образующий черную корку или, так называемый, загар пород.

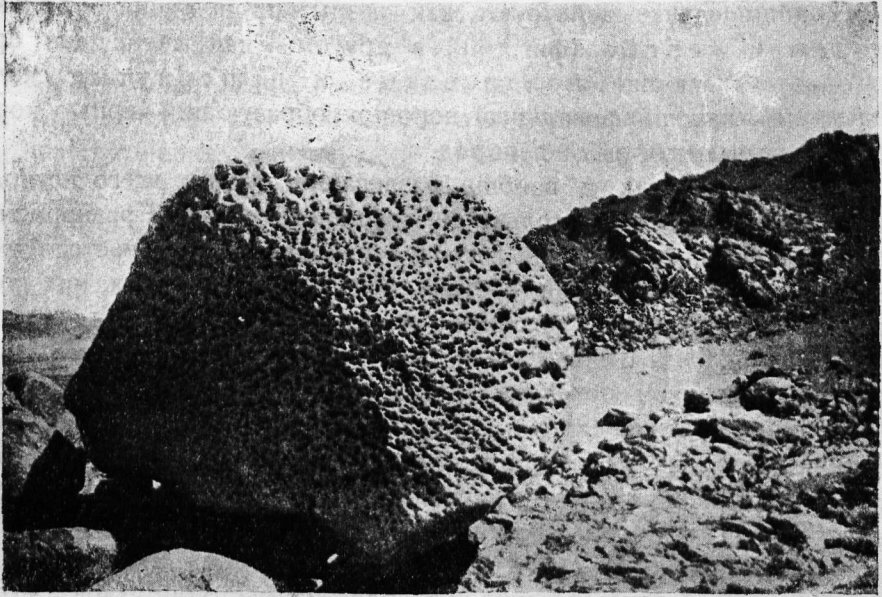
Обтачивание, как и вообще развевание, прежде всего истирает самые слабые части скал, пользуясь трещиноватостью и разнородною твердостью пород, вследствие чего поверхность их покрывается бугорками, бороздками, желобами и даже пещерками, расположение которых зависит от состава, сложения и формы залегания пород.

В слоистых породах с разнообразными трещинами обнажения под влиянием обтачивания получают ребристую поверхность; так как более мягкие слои быстрее истираются, и на месте их появляются углубления, между которыми выступают более твердые слои в виде ребер; но, кроме того, вертикальные трещины, постепенно расширяясь, придают породе как бы столбчатую отдельность.

В сложных массивно-кристаллических породах, состоящих из минералов различной твердости, вместо бороздок и штрихов чаще происходят углубления, соответствующие более слабым минералам, например, на порфирах и порфиритах, у которых блестящая отполированная поверхность основной массы покрыта крупными и мелкими углублениями на подобие оспинок, происшедшими от развевания кристаллов полевого шпата, более мягкого, чем основная масса; то же бывает у крупно-зернистого многослюдистого гранита, сиенита и пр.; словом, таким путем происходят ноздреватые камни (фиг. 59). Нередко эти ноздрины или дырки разрастаются в большие углубления на подобие пещер или котлов.

При сочетании пород различной твердости и состава, более однородные и твердые выступают в виде отполированных гребней, тогда как более слабые, истачиваясь, дают углубления; такое явление отчетливо наблюдается на жилах, которые при обтачивании выступают или в виде даек, если они тверже окружающей породы, или же в виде соответствующих углублений: желобов, каналов и пр.

Направление господствующих ветров обнаруживается на неравномерном расположении борозд, или ноздрин выдувания, не только на утесах, скалах или больших глыбах, но даже на маленьких гальках, которые получают особую окраску; так, в центральной Азии при господстве с.-з. ветра эта сторона камней гораздо более обточена, нежели другие, покрытые нередко мелкими расходящимися штрихами, а противоположная юго-восточная сторона обнаруживает очень сложный рисунок выпуклостей и впадин, произведенный песчинками, сте-



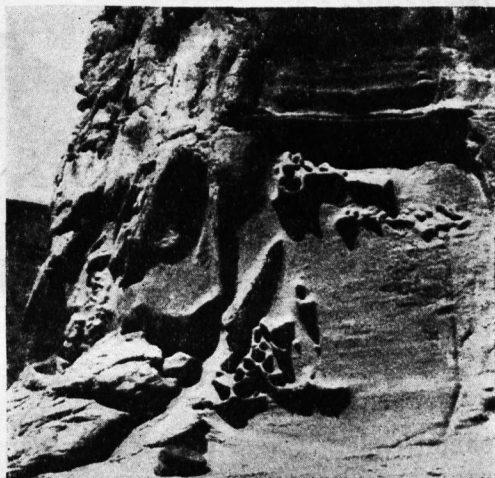
Фиг. 59. — Развеваемые скалы гранита и ноздреватые камни в окрестностях г. Кобде

кавшими по этой стороне сверху. В Туркестане наиболее обточенную стороною является северо-восточная, вследствие преобладания с.-в. ветра. При одинаковом господстве ветров двух или трех направлений нередко получается двух, трех или многогранники (фиг. 61), которые встречаются не только в пустынях, но и среди дюн, например, в Потсдаме (Германия).

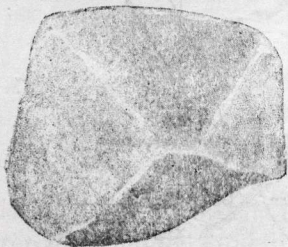
Вообще полагают, что более мягкие породы песок точит, а более твердые — шлифует и полирует. Хотя вода с илом и песком, как увидим ниже, производит подобное же действие, но гораздо в меньшей степени; работа воды и ее резец, так сказать, грубее и обнаруживает разницу в твердости пород менее рельефно; кроме того, вода не полирует пород так совершенно; обточенные водою гальки, валуны и утесы блестят только пока они влажны, а по высыхании они стано-

новятся матовыми. Вода уничтожает даже полировку, произведенную песком, так как в сухих руслах пустынь, где имеются благоприятные условия для шлифовки и где вода бывает только изредка, может быть один раз в течение нескольких лет, полировка не наблюдается, а зарождающаяся уничтожается; вообще нужны многие годы, чтобы на утесах и гальке получились те резкие следы работы песка, которые развиты там, где не работает проточная вода.

Развевание не только точит, сверлит и шлифует породы, но и удаляет измельченный материал, вследствие чего мелкие бороздки и ноздрины, постепенно увеличиваясь, превращаются в течение вековой деятельности ветра в глубокие долины и котловины, а промежуточные между ними части выступают в виде причудливых скал, отвесных утесов и круто-



Фиг. 60.—Мелкие формы выдувания песчаника, Фергана. (Фот. В. Вебер).

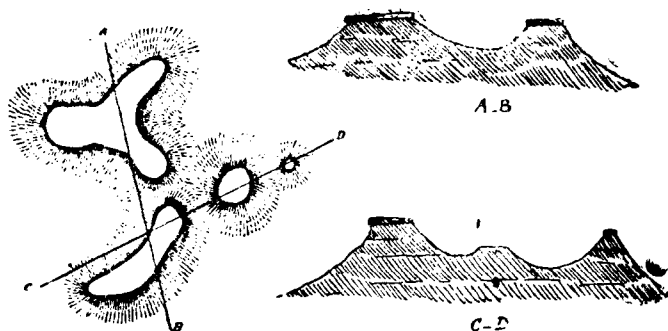


Фиг. 61.—Эоловый многогранник.

боких столовых гор. Исключительное развитие этих элементов развевания на обширных площадях свидетельствует о той могучей силе, которую проявляет ветер в пустынях, где он поистине является богатырем, подчиняющим себе всех других агентов и создающим особые формы рельефа, резко отличающиеся от рельефа размывания. Вода, как более сильный агент, производит гораздо более грандиозные формы рельефа, но работа ее имеет совершенно другой характер; она, так сказать, приурочена к определенному месту, ограниченному рамками ущелий и долин; высокие вершины, подвергаясь выветриванию, большей частью находятся вне сферы действия проточной воды. Ветер же, наоборот, действует

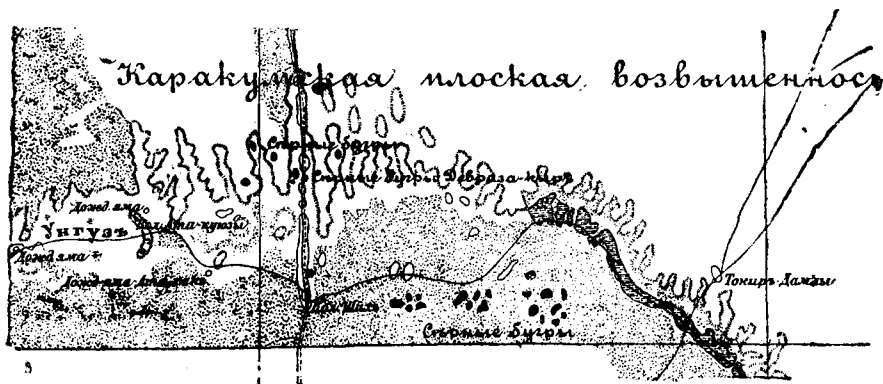
совершенно свободно и повсеместно; он одинаково развевает узкие ущелья, широкие долины, обширные равнины и высокие вершины. Вода уносит смываемые ею продукты разрушения всегда вниз; ветер же разносит их по самым различным направлениям и даже вверх по долинам, через гребни хребтов, вывевает их из замкнутых котловин и отлагает на высотах. Формы размыва отливаются мягкими контурами, склоны их сглажены, покрыты растительностью, а подножие утопает

в мощных осыпях; вертикальные склоны имеют ограниченное распространение, появляются только при начале формирования долин, в ущельях, но затем постепенно превращаются в пологие, с углом падения в зависимости от геологического состава; такое изменение склонов происходит



Фиг. 62. — План и профиль холмов развезания в Гадамесе.

сравнительно в короткое время, например, в наших растущих оврагах, которые вместе с тем показывают, что верховья долин размыва большей частью имеют заостренную форму. Совершенно другое представляют формы развезания: они отличаются острыми и резкими контурами



Фиг. 63. — Серые бугры развезания в Каракумах (Туркменистан).

и почти всегда крутыми или даже отвесными, обнаженными склонами; крутобокие долины, скалы и горы составляют непремennую принадлежность каменистой пустыни. Но самая характерная особенность рельефа пустынь заключается в отсутствии каких-либо щебневых накоплений: осыпей или россыпей на склонах и у подножия гор, даже в случае их энергичного выветривания. Причина этого явления кроется в том, что, с одной стороны, редкие дожди легко уносят рыхлый материал, а с другой, — ветер постоянно раздувает продукты

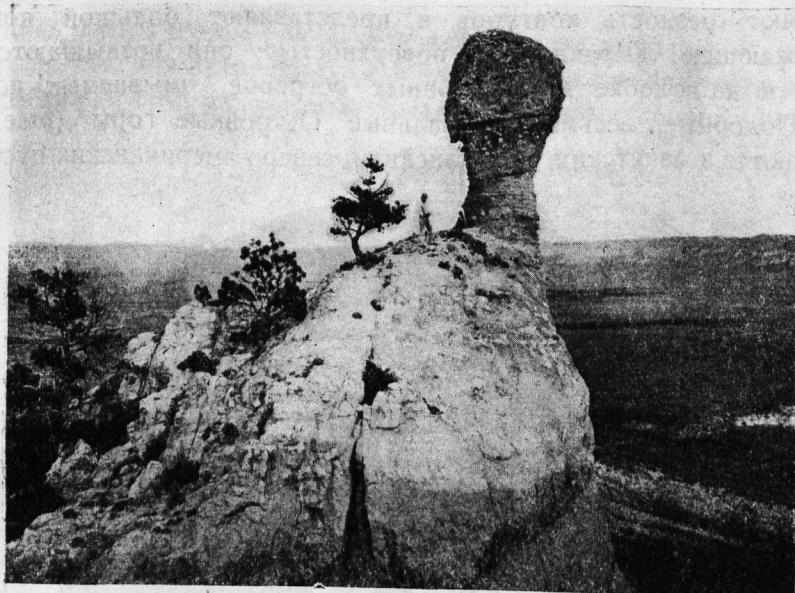
разрушения и очищает склоны. Вследствие этого горы пустынь всегда сохраняют резкость контуров и представляют большой контраст с окружающей, выравненную поверхность; они возвышаются над пустынею на подобие крутосклонных островов, омываемых волнами моря. Подобные, весьма оригинальные „Островные горы“ (Inselberge) встречаются в азиатских, африканских и северо-американских пустынях.



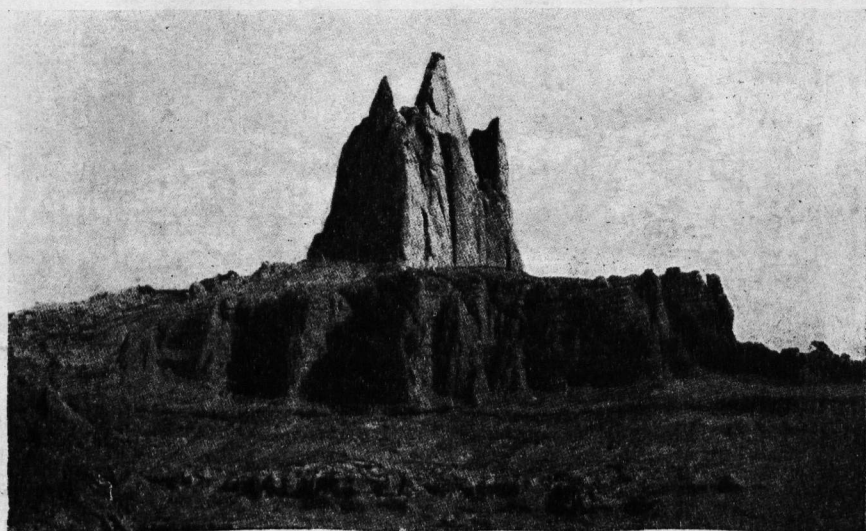
Фиг. 64. — Золовые столбы. С. Америка, Колорадо.

Иногда их можно рассматривать, как остатки ландшафта прежних геологических эпох.

Долины развевания также отличаются своеобразным характером; кроме отвесных склонов, с разнообразными выступами и углублениями, они, в противоположность островершинным оврагам или вообще долинам размыва, оканчиваются и прерываются котловинами или цирками. Наконец, каким бы первоначальным рельефом пустыня не обладала, из каких бы пород ни состояла, она не в состоянии сопротивляться разрушительной работе ветра и его пособников, которые стремятся снести все хребты, сгладить все скалы, словом, уничтожить все препятствия для свободного передвижения воздуха



Фиг. 65. — Эоловый столб. С. Америка. Небраско.



Фиг. 66. — Эоловый „свидетель“. Мангышлак.

и превратить поверхность пустыни в плоско-волнистую равнину без малейшего выдающегося утеса, но покрытую щебнем или летучим песком; в первом случае каменистая пустыня переходит в щебне-

вую или кремнистую пустыню. Следовательно, каменистая пустыня представляет, так сказать, первоначальную стадию развития всех других типов пустынь.

Перенесение и отложение.

Развевание подготавливает измельченный материал для перенесения воздушными потоками на неопределенные, иногда весьма значительные расстояния или путем перекачивания по поверхности земли, или во взвешенном состоянии. При благоприятных условиях, переносимый материал осаждается и образует накопления, которые так же способствуют изменению наружного вида земной поверхности, как и развевание, но в противоположном направлении, т.е. они возвышают уровень пустыни, и известны под именем эоловых отложений. Характер переносимого материала зависит от скорости и силы ветра: чем сильнее ветер, тем он переносит более крупный материал; в этом отношении между воздушными и водяными течениями существует полная аналогия. Измельченные минеральные вещества переносятся воздушными течениями различными способами, — более крупные передвигаются перекачиванием по самой поверхности, как гравий на дне рек, более мелкие переносятся как бы отдельными прыжками, взлетая на высоту метра и более, и, наконец, самые мелкие частицы поднимаются высоко в атмосферу и переносятся ветрами



Фиг. 67. — Столб выветривания в песчаниках. Саксония.

на громадные расстояния, так сказать, во взвешенном состоянии, на подобие минеральной мути в воде рек и морских течений. При первых двух способах измельченный материал обыкновенно отлагается и образует накопления вблизи места своего первоначального залегания, а при последнем — на неопределенно далеком расстоянии. Первые, производя особые формы рельефа, разнообразят расчленение поверхности земли, вторые же, напротив, нивелируют ее; наконец, минералогический состав и географическое распределение тех и других различны. Представителями первых являются, главным образом, подвижные песчаные холмы и гряды, возрастающие до значительной высоты и известные под общим именем дюн, если они образуются в прибрежных местах, и барханов, если внутри материка, а представителем вторых — отложение атмосферной пыли, которая может быть теллурического или космического происхождения; между всеми видами этой пыли первое место занимают мощные толщи лесса. Рассмотрим подробнее происхождение и характер этих эоловых отложений.

Дюны и барханы.

При выветривании, размывании и развевании различных пород самым устойчивым минералом является кварц и родственные ему породы; так как он не только имеет наибольшее распространение в коре земной, но находится почти повсюду, то поэтому продуктом этих процессов, остающимся на месте, большею частью являются кварцевые частицы в различных видах; кварцевый песок имеет преобладающее распространение в эоловых отложениях.

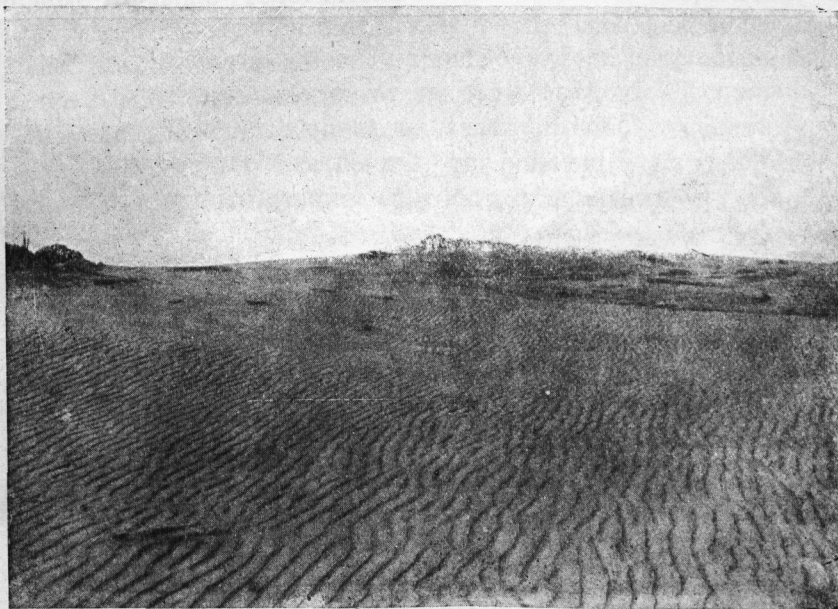
Выше было замечено, что песчинки переносятся ветром, или перекатываясь, или же, при неправильной форме, передвигаясь какою-либо одною широкою стороною непрерывным движением или прыжками. Но, кроме того, перемещение их совершается путем более или менее медленного передвижения маленьких песчаных грядок или песчаной ряби, которые представляют как бы миниатюрные дюны (фиг. 68).

На морских побережьях дюны развиты вследствие того, что прибой волн, разрушая породы берега, доставляет большое количество рыхлого песчаного материала, который, при благоприятных орографических условиях берега, легко перерабатывается ветром и служит для построения дюн. Подобные же условия, но в меньшей степени, производят дюны на берегах больших озер, в речных долинах и вообще в местах, подверженных частой перемене уровня воды, вследствие периодического чередования засух и разливов.

Но кроме приморских или вообще прибрежных дюн существуют, так называемые, материковые дюны, которые, в отличие от при-

брежных, мы называем барханами. Они образуются среди материка и не зависят от какого-либо водного бассейна.

Правильно образовавшаяся дюна имеет определенную, часто изящную форму, характеризующуюся резким гребнем и различием склонов. Большею частью она представляет гряду с ровным, плоско-изогнутым гребнем и двумя склонами: наветренным и подветренным. Склон, обращенный к ветру, или наветренный, всегда более пологий, нежели противоположный (фиг. 70). Угол наклона его по многочисленным измерениям варьирует чаще всего от 5° до 12° и только изредка

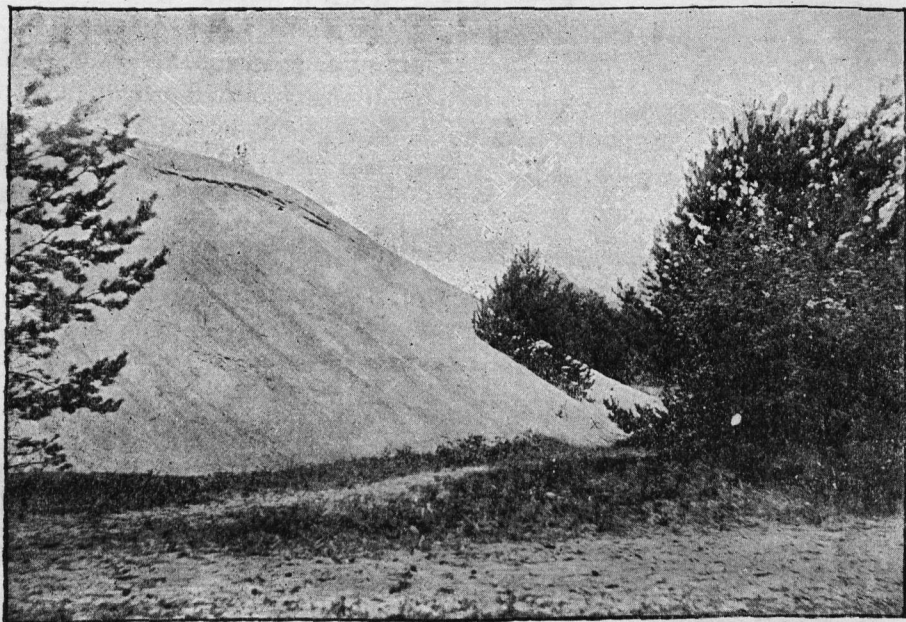


Фиг. 68. — Поверхность бархана. Репетек, Туркменистан.

на небольшом протяжении доходит до 15° и 17° . Профиль его, особенно у больших дюн, представляет не прямую, но слабо изогнутую кривую, обыкновенно в нижней части вогнутую, а в верхней выпуклую, при чем переход между тою и другою часто весьма постепенен (фиг. 70). Появление вогнутости, равно как и выпуклости, на наветренном склоне обуславливается одновременным сдуванием и навеванием песка ветром, происходящим беспрестанно, песчинка за песчинкой, по всему склону. Наибольшее выдувание происходит у подножия дюны, где горизонтальный ветер, встречая склон, производит наиболее сильный удар; здесь-то и образуется углубление, которое тоже можно назвать котловиной выдувания. При сильных ветрах и при смоченности дюнного песка котловинки образуются

вдоль наветренного склона дюны и служат как бы ложем, по которому передвигаются песчинки. Перенесение песчинок на наветренном склоне большею частью совершается вблизи поверхности.

Подветренный склон резко отличается от наветренного по своей рыхлости и особенно по крутизне. Угол наклона его значительно больше; он не превышает угла естественных склонов сыпучих тел, т.-е. около 40° , но непосредственные многочисленные наблюдения дают в большинстве случаев от 29° до 32° . Профиль подветренного склона большею частью прямая линия. Хотя при сильных ветрах



Фиг. 69. — Дюна с подветренной стороны. Сестрорецк.

песок ссыпается по нем сплошными широкими потоками, которые нередко нарушают правильность очертаний его, но это только временно. Гребень, разделяющий оба склона, представляет ясно выраженный перелом только тогда, когда дюна не подвержена действию других ветров, кроме господствующего; в противном случае вершина дюны представляет закругленный гребень, и один склон постепенно, без резкой границы, переходит в другой.

Такова нормальная форма дюны, образующейся на сравнительно ровной поверхности и под влиянием какого-либо одного господствующего ветра. Эта форма изменяется в зависимости, во-первых, от разнообразия ветров, а во-вторых, от разнообразия орографических условий.

Что касается скорости движения дюн, то многочисленные измерения доказывают большую неравномерность движения дюн не только в различных местах, но даже на одном и том же берегу (от 1 м до 20 м в год).

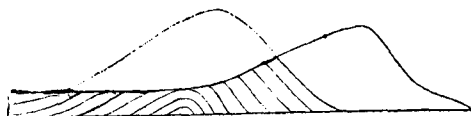
Высота дюн также весьма различна и зависит отчасти от силы ветра, обилия материала, но отчасти также от крупности песка.

С поступательным движением дюн связаны многие весьма интересные явления. Не говоря об опустошительном влиянии наступающих дюн на культурные площади, распространение их производит различные физико-геологические изменения в береговой полосе. Наступающие дюны нередко перемещают устья рек, пересыпают их, запружая реку, и таким образом производя береговое озеро; например, Нарвское озеро образовалось от запруды протока Рысони.

Так как движение дюн часто ведет за собой гибельные последствия для культурных местностей, то понятно, что давно уже обращено внимание на изыскание способов удержания их. Способы эти



Фиг. 70. — Поперечный разрез дюны.



Фиг. 71. — Разрез дюны отчасти переместившейся.

указаны самой природой и заключаются или в устройстве, так называемой, передовой дюны, или в разведении растительности на песках.

Описанный способ образования дюн и их передвижение обуславливает их слоистое строение. При остановке и закреплении дюн на поверхности их появляется растительность и небольшой слой перегной (до 3-5 см и редко до 20 см, например, в дюнах Нарвского залива, при устье Зап. Двины, у Сестрорецка, Куоккала); следовательно, слои перегной, равно как стволы и пни деревьев, указывают на период остановки в развитии дюн. Слоистость дюн зависит от разнообразной силы ветров, которые нагоняют песок не только разной крупности, но и разного петрографического состава; в общем слоистость эта представляет повторение уклонов наветренного и подветренного склонов, т. е. в одну сторону до 5°, а в другую до 30°, следовательно, в поперечном разрезе дюны слои ее представляют как бы седло (фиг. 70); но это только по линии, перпендикулярной к гребню дюны, по всем же другим разрезам она менее правильная и обнаруживается в чисто песчаных дюнах только при особых условиях, например, в начале обсыхания свежего разреза. Особенно часто в больших и старых дюнах развита косая сложная слоистость, происхо-

ждение которой объясняют неполным перемещением дюн. Если сформировавшаяся дюна (см. фиг. 71) начинает перемещаться, то прежде всего развевается или, лучше сказать, свевается вершина ее гребня, на месте которого образуется воздушное седло (фиг. 71), а гребень передвигается вперед; вследствие этого нередко на пологом наветренном склоне переместившейся дюны наблюдаются крутопадающие слои, которые в случае их петрографического отличия выделяются весьма отчетливо, как это часто наблюдается, и на поверхности срезанного седла возникает новая дюна, слоистость которой будет резко отличаться от прежней. Новая дюна может испытать такие же преобразования и покроется следующей и т. д., так что в конце концов на месте старых дюн образуется целая свита пластов с развитою и сложною пересекающею, косою слоистостью. Таким образом, диагональная слоистость происходит из эоловых изолированных гряд, представляющих неравносклонные седла и перемещающихся не всей массой, а только отчасти, оставляя свое основание на прежнем месте. Косая слоистость свойственна преимущественно материковым эоловым образованиям и только в редких случаях появляется в отложениях мелкого моря, но здесь редко образуются холмы с крутыми уклонами; точно также в отложениях текучих вод, например, в речных дельтах.

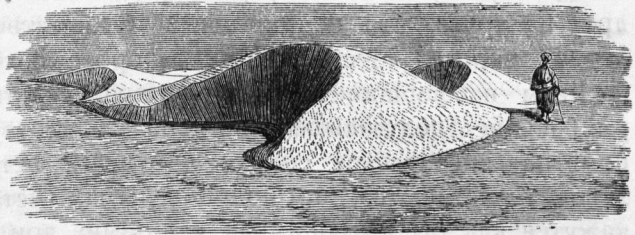
Что касается крупности дюнного песка, то обыкновенно величина песчинок не превосходит 2 мм в диаметре, но чаще около 0,5 мм.

Форма песчинок более или менее угловатая, и округленность их несколько не больше округленности морского песка.

Площади, занятые летучими песками в области пустынь, достигают громадных размеров; самый большой материк — Азия отличается самым большим распространением летучих песков. За нею следуют Африка с Сахарой и Калагари, Австралия, где во внутренней части материка пески также достигают, повидимому, огромного развития, но он мало исследован. В Северной Америке пустыни, хотя меньшей величины, но также суровые, находятся между Скалистыми горами и Сьерра-Невадой, особенно в области Колорадо; в Южной Америке известна пустыня Атакама.

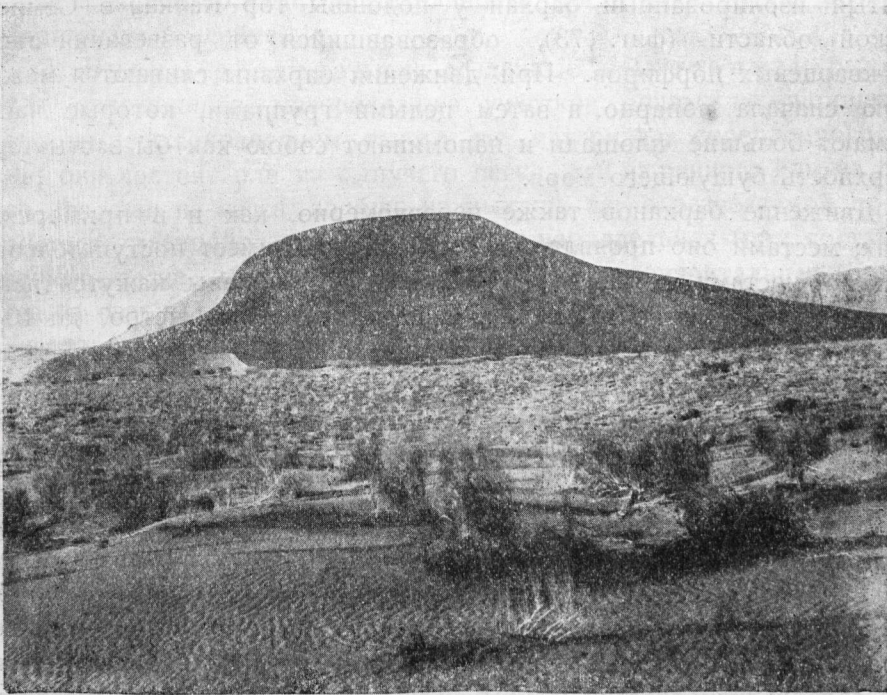
Песок пустынь под влиянием одного и того же агента — ветра образует накопления по тем же самым законам, как и прибрежные, а потому в пустынях возможно формирование дюн такой же формы, как приморские и речные, особенно в пустынях, прилегающих к морю или большому озеру, например, в Туркестане, где встречаются все роды дюн и где нередко приморские так тесно сливаются с материковыми, что затруднительно различить их. Однако, благодаря иному оротопографическому характеру поверхности пустынь, иному распределению ветров и, наконец, иному способу происхождения песка, без

помощи воды, форма материковых дюн гораздо разнообразнее и между ними самую распространенную и характерную для всех пустынь является форма в виде полукруглого или удлиненного с наветренной стороны и полуциркового или серпообразного с подветренной, наклонного холма, называемого барханом, чистый тип которого изображен на фиг. 72 и 73.



Фиг. 72.

Наблюдения показывают, что нарастание рогов или боковых кондов происходит быстрее, нежели середины бархана. Переменные ветры и особенно



Фиг. 73. — Бархан у гор Калкан (Семиречье), с подветренной стороны. (Фот. Мушкетова).

вихри заворачивают иногда концы рогов внутрь и, преобразовывая наветренный склон, делают его террасообразным.

На ровной поверхности барханы, несмотря на некоторые отклонения от типичной формы, кажутся совершенно одинаковыми, необыкновенно изящными, точно выточенными; тысячи барханов Джидели, в Кызылкумах, один из которых представлен на фиг. 72, до того похожи друг на друга, что непривычный путешественник теряется в них на первой версте. Местами, при завороте рогов, они кажутся с углублением на вершине в виде кратера, в котором виднеются иногда умирающие, полузасыпанные деревья, кустарники, производящие неприятное впечатление смерти. Во время ветра, когда с вершин барханов поднимаются, на подобие дыма, густые струи песка, барханы кажутся как бы дымящимися сальзами; при этом песчинки взлетают до 10 и даже до 50 м высоты, а в исключительных случаях еще более.

Высота барханов обыкновенно небольшая, от 2 до 10 м, но в некоторых исключительно благоприятных случаях достигает до 100 и даже до 150 м, сохраняя свою изящную форму, как, например, знаменитый изолированный бархан у подошвы гор Калкан в Семиреченской области (фиг. 73), образовавшийся от развевания твердых кварцевых порфиров. При движении барханы сливаются между собою сначала попарно, а затем целыми группами, которые часто занимают большие площади и напоминают собою как бы застывшую поверхность бушующего моря.

Движение барханов также неравномерно, как и в приморских дюнах; местами оно проявляется весьма ясно и имеет поступательный характер, местами же так мало заметно, что барханы кажутся неподвижными. Мелкие барханы передвигаются очень быстро, до 10 м в сутки, тогда как большие, даже при постоянных ветрах, только около 2-3 м в год. Для многих мест доказано (Репетек), что движение барханов в разные полугодия противоположно, и что в результате они остаются собственно на месте, перемещаясь лишь на небольшом участке.

Влага и растительность обуславливают особого рода формы песчаных накоплений — кучевые и бугристые пески.

1. Кучевые пески обусловлены накоплением песчинок, т.-е. более грубого материала, переносимого ветром в горизонтальном направлении; они состоят существенно из песка с большим или меньшим содержанием частиц глины, извести, солей (вообще пылинок), современных животных и растительных остатков; они ясно-слоисты, слои вообще расположены периклинально, но с многочисленными нарушениями этого положения. Эти накопления имеют различную величину и форму в зависимости от вида растения, под защитой которого образовались, и поэтому мы различаем пески тама-

рисковые, хармыковые, чиевые, камышевые, саксаульные и смешанного типа. Кучевые пески распространены как вблизи рек и озер, по окраинам оазисов и даже среди последних (иногда), так и вдали от воды, на дне больших и малых впадин и долин, на пьедесталах горных хребтов и в ущельях последних.

2. Бугры насыпания, созданные отложением пылинок, т.-е. более мелкого материала, принесенного также ветром, но осаждающегося в вертикальном направлении из спокойного воздуха; они состоят существенно из минеральной пыли с современными животными и растительными остатками и большим или меньшим количеством песчинок; они всегда ясно и в общем горизонтально слоисты. Эти бугры также должны иметь различную величину и форму в зависимости от вида растения, под защитой которого они образовались, но в этом отношении они еще не изучены путешественниками. Они распространены исключительно в местностях, где осаждается в достаточном количестве лессовая пыль, т.-е. по окраинам Центральной Азии, вблизи рек и озер, где растительность достаточно густа, особенно в Таримском бассейне.

3. Бугры развевания, созданные вынесением рыхлого, ранее отложенного материала из участков почвы, не защищенных растениями, и сохранением такого же материала, скрепленного корнями; они состоят или из сыпучего песка, или из речного или из озерного ила, или из лесса, вообще из рыхлой, легко развеваемой почвы; слоистость разнообразная — перекрестно-параллельная (при составе из сыпучего песка или из речных отложений), горизонтальная (при составе из озерных отложений) или совершенно отсутствует (при составе из неслоистого лесса); растительные и животные остатки могут быть, но могут и отсутствовать (кроме корней растений). Величина и форма этих бугров должны меняться в зависимости от вида растения, корни которого обусловили образование бугра, но в этом отношении мы также не имеем достаточных наблюдений. Распространение таких бугров развевания пока установлено только для Таримского бассейна.

Возможны также комбинированные формы накопления и развевания, т.-е. верхняя часть образования представляет кучу песка или бугор накопления, а нижняя создана развеванием.

Заросшие кучевые пески при развевании превращаются в песчаные столбы с торчащими по склонам их отмершими ветвями, а тогда их легко смешать с, так называемыми, бугристыми песками, которые отличаются от кучевых тем, что происходят от последующего зарастания песков растительностью, т.-е. разница между теми и другими заключается в последовательности процессов: кучевые пески образуются самостоятельно, путем скупивания песка около готовых

кустов, и при известных условиях переходят в барханы, тогда как у бугристых песков, наоборот, сначала образуются обнаженные барханы, а затем они при благоприятных условиях покрываются растительностью.

Атмосферная пыль.

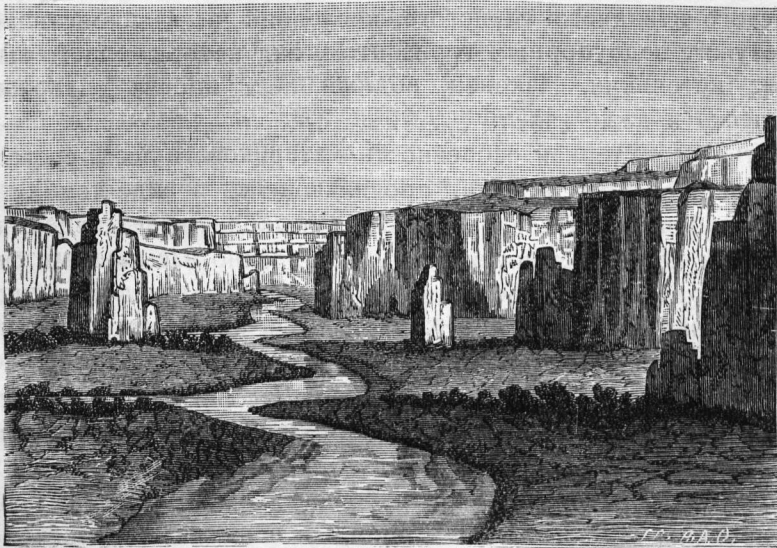
В воздухе всегда находится в виде примеси то или другое количество не только минеральной, но и органической пыли и даже микроорганизмы, способствующие брожению и гниению, а также распространению различных эпидемических болезней. Воздушные течения разносят эту пыль на громадные расстояния и при благоприятных условиях, отлагая ее в новых местностях, образуют совершенно эоловый осадок, который резко отличается от передвигаемых по поверхности земли летучих песков по составу, структуре, географическому распространению и форме залегания. Состав и место происхождения этой пыли чрезвычайно разнообразны. Одни склонны приписывать ей исключительно земное, другие же, напротив, космическое происхождение, но, очевидно, существует та и другая пыль, хотя в некоторых случаях разделить их между собою невозможно.

Особенно интересны, так называемые, черные бури или черноземные мятели, происходящие у нас в степной полосе европейской части СССР в засушливое жаркое время; они передвигают огромное количество черноземной пыли и производят большие опустошения на полях; в одних местах они выдувают почву вместе с посеянными зернами, а в других, напротив, накапливают толстый слой пыли и тем самым заглушают молодые всходы и всякие посевы. Результатом того и другого является неурожай и голодовки во время засух, которые почти ежегодно поражают те или другие части СССР, т.-е. становятся почти хроническим бедствием; в некоторые годы они захватывали большие площади, например, в 1885, 1891, 1898, 1899 и 1920 г.

Широкое развитие атмосферная пыль имеет в континентальных областях Азии, где при сухости воздуха, отсутствии растительности и энергичном развевании сильные ветры поднимают массу желтой пыли, которая до того мелка и легка, что держится при тихой погоде по несколько дней в воздухе, прежде чем осядет, и проникает в дома даже при закрытых окнах и ставнях. При сильных ветрах в Туркестане, Китае и пр. атмосфера до того переполняется пылью, что получает особый желтоватый оттенок, а солнце кажется желтовато-матовым кружком. Отлагаясь на поверхности земли, она образует своеобразную желтоватую почву, давно известную под именем лесса или желтозема, который представляет серовато-или буровато-желтую известково-песчанистую глину пористого сложения. По своему замечательному

плодородию желтозем нисколько не уступает нашему чернозему, или индийскому краснозему, что объясняется его пористым сложением и составом из мельчайших частиц самых разнообразных пород. Выпадение этой пыли представляет естественное удобрение полей.

Таким образом, накопления песка и лесса происходят под влиянием одного и того же агента — ветра. Но несмотря на эту общность основной причины их образования, они резко отличаются как по составу, так по формам залегания и рельефа поверхности. Атмосфер-



Фиг. 74.

ная пыль не стесняется каким-либо определенным горизонтом, она отлагается на самых разнообразных высотах и даже на самых крутых склонах; в населенных местах можно наблюдать осаждение ее не только на крышах домов, но и на стенах, на шпицах башен и колоколен. Но как легко осаждается, так же легко она и сдувается при последующем ветре, если только влажность не уплотнит ее; тогда, напротив, она держится очень крепко и постепенно слой ее утолщается от новых отложений.

Мощность лесса чрезвычайно разнообразна: от самых тонких слоев до 400 м толщиной, например, в северо-западном Китае (фиг. 74). Для образования таких толщ очевидно потребовался громадный период времени.

Одна из характерных особенностей эолового лесса состоит в том, что он залегает на самых разнообразных высотах и на самых различных формах рельефа, при чем повсюду

он стремится нивелировать поверхность и превратить ее в равнину.

Другою особенностью эолового лесса, также обусловленную способом образования его, является полное отсутствие слоистости; такой лесс собственно и называется эоловым в отличие от водного лесса, который, отлагаясь в водных бассейнах, получает не только слоистость, но другое сложение и даже состав.¹ Он обыкновенно пропитан различными солями, имеет плотное сложение и отличается водонепроницаемостью. При совместном залегании материкового не слоистого и водного слоистого, последний всегда подстилает первый и служит водоупорным горизонтом, над которым часто вытекают обильные источники. Наконец, водный лесс иногда содержит прослойки песка и даже галек.

Третья характерная особенность материкового лесса состоит в его замечательной пористости, проявляющейся в виде тонких разветвленных трубочек или канальцев; она происходит вследствие сгнивания стебельков и корней степных трав, постепенно засыпаемых лессовою пылью. Благодаря пористости материковый лесс отличается водопроницаемостью; на поверхности его никогда не образуется стоячих вод; атмосферные осадки быстро впитываются лессом и капиллярными ходами проникают через него; вследствие этого в лессовых обрывах источники вытекают всегда из под лесса, но никогда из середины его толщи.

Неслоистый пористый лесс, благодаря подмыву, а также пронизывающим его вертикальным трубочкам, стенки которых нередко инкрустированы углекислым кальцием, отличается вертикальною отдельностью, а следовательно, способностью давать отвесные обрывы значительной высоты, иногда спускающиеся террасами, например, на склонах речных долин и оврагов. При всей его мягкости или, лучше сказать, нежности сложения, он достаточно тверд и вязок, чтобы поддерживать долгое время в устойчивом равновесии не только вертикальные, но даже нависшие стены и своды.

Состав лесса, как и следовало ожидать, не может быть повсюду одинаков уже потому, что атмосферная пыль образуется от развевания самых разнообразных пород, а следовательно, количество составных частей может варьировать в широких пределах даже в соседних пунктах залегания лесса. Главными же составными частями в лессе являются: силикатов и песку от 27 до 90%, глинозема от 4 до 20% и углекислого кальция от 6 до 67%.

Что касается органических остатков или окаменелостей лесса, то они принадлежат исключительно наземным формам или обитателям суши и притом появляются или редкими отдельными экземплярами, или же массами, которые богаты особями, но бедны видами.

В Европе лесс занимает также обширные пространства (7⁰/о); начинаясь на западе от Пиренеев, он протягивается широкою полосою к северо-востоку; южная граница ее совпадает с северною окраиною Альп, откуда мимо Балкан доходит до Черного моря, а северная почти совпадает с южною границею ледниковых отложений и только местами заходит севернее ее; он тянется от Бельгии через Гарц, Саксонию, Силезию, по всей южной части СССР до внутренней Азии. Но лесс западной Европы далеко не так типичен и не достигает такого мощного развития, как в южной части СССР, где северная граница, также отчасти совпадающая с южною границею ледниковых валунов, проходит из Польши через Волынскую и Киевскую губ., а далее через губернии: Черниговскую, Орловскую, Тульскую и Нижегородскую до Волги, где лесс присоединяется к каспийским отложениям. К северу от этой границы лесс встречается только отдельными островами, а к югу от нее он почти сплошь покрывает все пространство до Черного моря и предгорий Кавказа.

Лессом покрыто в общем 4% земной поверхности, а песчаными пустынями 7⁰/о.

Как в Западной Европе, где лесс впервые обратил на себя внимание и получил на Рейне свое название, так и в европейской части СССР, он, во 1-х, по своему распространению находится в некотором, довольно тесном, соотношении с развитием ледниковых отложений, а, во 2-х, давно уже закончил свое образование и местами даже значительно изменился, например, в средне-европейской части СССР под влиянием влаги и растительности он превратился с поверхности в чернозем, в других местах в, так называемую, лессовидную глину. Этими особенностями он резко отличается от азиатского лесса, который не закончил свое образование и продолжает накапливаться до сих пор без всякой зависимости от ледниковых явлений.

Фульгуриты. В заключение описания геологической деятельности атмосферы упомянем о влиянии атмосферного электричества на породы. Влияние это, впрочем, не имеет большого геологического значения и объясняет только некоторые частные явления. Молния, попадая на породы, оплавляет их и образует угловатые неправильные трубочки до 3 см диаметром, называемые фульгуритами (или громовыми стрелами).

В рыхлых породах молния, сплавляя отдельные зерна, образует фульгуриты в виде трубочек, иногда разветвляющихся, но большею частью конических на подобие стрел до 1 ф и более длины; внутренняя сторона их покрыта молочно-белою эмалью (кварцевым стеклом), а внешняя состоит из сцементированных песчинок. Особенно часто фульгуриты находятся в песчаных пустынях, например, в Ливийской,

в Кызылкумах и пр., где они состоят из сплавленных кварцевых зерен, иногда с примесью железа и марганца. Фульгуриты встречаются на самых разнообразных породах как в равнинах, так и на горах. Интересно, что соседние вершины, находящиеся, повидимому, совершенно в одинаковых условиях, относятся различно к влиянию молнии; причина этого до сих пор не выяснена.

Попадая в рыхлые породы, молния иногда производит звездобразные углубления в них. Население часто принимает белемниты за громовые стрелы, т.-е. фульгуриты.

Выветривание.

Горные породы, выступающие на дневную поверхность, редко сохраняют свою первоначальную свежесть или, вообще говоря, нормальное состояние; они подвергаются разнообразным изменениям, выражающимся преимущественно в разрыхлении их и подготовке к развеванию и размыванию. Этот процесс изменения горных пород под влиянием механического и химического действия различных атмосферных агентов называется **выветриванием**. По своему характеру выветривание разделяется на три типа: физическое, органическое и химическое, которые так тесно сливаются между собою, что в отдельности появляются только в исключительных случаях. Процессы разрушения и новообразования свойственны не одним поверхностным частям земного шара, но не всякие химические реакции принимают участие в верхней части земной коры, и необходимо поэтому иметь в виду, что постепенно, с глубиной, одни процессы сменяются другими, так что каждая зона земной коры обладает своими реакциями и своеобразными продуктами этих реакций; над зоной аноморфизма, или зоной высоких температур и высоких давлений, где формируются кристаллические (метаморфические) породы с характерными для них минералами, находится зона катоморфизма, где давление и температура низки и возрастают сверху вниз. Зона катоморфизма разделяется на два пояса: 1) нижний, пояс цементации, где грунтовые воды заполняют поры горных пород и существующие в них пустоты, и потому преобладают реакции гидратации и выделение из растворов различных (между прочим и рудных) минералов, цементирующих породы, а также где часты реакции раскислительного характера, и 2) верхний или пояс выветривания, значительно менее глубокий (до 0,5 км и иногда очень маломощный), где вода далеко не сплошь проникает породы, почему преобладают реакции окисления, а также изменения при участии живых организмов и продуктов их жизнедеятельности. Продукты реакций в поясе выветривания часто имеют коллоидный характер. Конечно, оба пояса

связаны постепенным переходом, например, в поясе выветривания могут идти реакции гидратации в условиях доступа воды, равно как возможны в известных случаях и реакции раскислений. В поясе выветривания необходимо указать также на периодическую смену различных процессов, вследствие изменчивости условий — его температуры и влажности, которые зависят от метеорологического режима (климата). Поэтому и образующиеся здесь продукты носят неустойчивый, изменчивый характер. Эти условия определяют и закономерность географического распределения типов и продуктов выветривания по лику земли.

Физическое выветривание. Этот род выветривания обусловливается, главным образом, резкими переменами температуры воздуха. Известно, что температура наружных слоев земли подвержена постоянным колебаниям, в зависимости от лучеиспускания теплоты солнцем: суточные колебания распространяются до глубины от 1 до 3 м, а годовые — от 20 до 30 м. Но одно и то же количество теплоты нагревает неодинаково различные породы, что отражается на температуре воздуха, растительном покрове и продолжительности снегового покрова. Степень нагревания наружных слоев почвы зависит от теплоемкости пород данного места, цвета их, теплопроводности и количества теплоты, превращающейся в работу. Вообще быстрота и степень нагревания почвы находится в прямом отношении к способности лучеиспускания ее. Цвет пород имеет весьма большое значение для нагревания: породы темных цветов или черные нагреваются сильнее, нежели породы белые или вообще светлых цветов, но зато и охлаждаются черные породы быстрее белых. Гумус, черный вулканический песок, базальт нагреваются сильнее, нежели белый песок, гранитная дресва, известняк: плоды на первых вызревают скорее, чем на последних; отсутствие летом снега на высоких вершинах Армении приписывают черному цвету пород, равно как быстрое развитие растительности по удалении снежного покрова. Этим же объясняется высшее залегание верхнего предела растительности на черных породах сравнительно с белыми. Но эти отношения изменяются разною теплоемкостью пород, сложением и составом. Теплоемкость пород обыкновенно составляет от 0,20 до 0,25 теплоемкости воды, принимаемой за единицу; при этом породы черные, но влажные, будут нагреваться менее, нежели породы белые, но сухие; хотя первые поглощают большее количество теплоты, но они тратят ее еще на работу испарения воды; следовательно, влажные породы обладают низшею температурою сравнительно с окружающим воздухом; влажная почва оазисов нагревается и охлаждается медленнее, нежели сухой песок соседней пустыни; такое же влияние имеет и растительный покров. Кроме того,

сложение и характер поверхности пород также изменяют быстроту нагревания: плотные и однородные породы с шероховатой неровной поверхностью нагреваются и охлаждаются быстрее, нежели крупнозернистые и неоднородные породы с гладкою поверхностью. В сланцеватых породах нагревание по плоскостям сланцеватости происходит вдвое или даже втрое быстрее, нежели в направлении перпендикулярном к ней, например, в гнейсах это отношение равно 1:1,5, а в слюдяных сланцах, 1:2 или 1:3. Наконец, благодаря разному коэффициенту линейного расширения и удельной теплоте минералов и горных пород, объем их изменяется весьма неравномерно при колебаниях температуры, что особенно важно для сложных пород, состоящих из различных минералов.

Очевидно, с повышением температуры составные части сложной породы увеличиваются неравномерно в объеме и давят друг на друга; с понижением температуры происходит сжатие их. Такие частичные передвижения внутри породы, несмотря на малый коэффициент расширения камней и небольшие колебания температуры воздуха, при частом и продолжительном повторении их, могут вызывать появление многочисленных трещин, значит, ослабить прочность камня или даже разрушить его.

Трещиноватость и разрушение пород от колебаний температуры возрастает тем более, чем больше колебания, чем неравномернее нагревание, чем больше различия в удельной теплоте и цвете пород, чем сложнее состав породы. При разной удельной теплоте происходит неравномерное расширение и сжатие, равно как при различной крупности зерна и разном цвете. Цвет породы имеет весьма большое значение, и притом не столько качество, хотя и это имеет влияние, сколько однородность цвета.

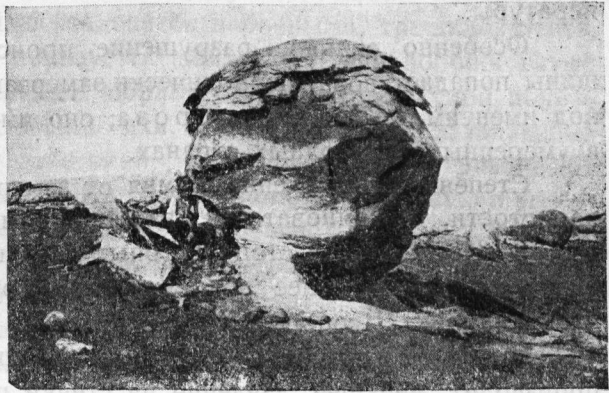
Одноцветные породы, например, мраморы, мелкозернистые граниты, покрываясь радиальными или периферическими трещинами, распадаются на концентрические скорлупы или получают местную сланцеватость и образуют кучи остроугольных обломков: такой характер разрушения пород от выветривания называется десквамациею (фиг. 75 и 76).

Пестроцветные породы, состоящие из неделимых разного цвета и удельной теплоты, например, крупнозернистый гранит и порфир, распадаются на отдельные составные части и образуют крупный песок, или дресву, в которой минералы, слагающие гранит, являются совершенно изолированными; это потому, что минералы под влиянием теплоты изменяются различно вследствие разного цвета и теплопроводности.

Исключительное влияние инсоляции особенно резко проявляется в пустынях, где сухость воздуха, отсутствие растительности и боль-

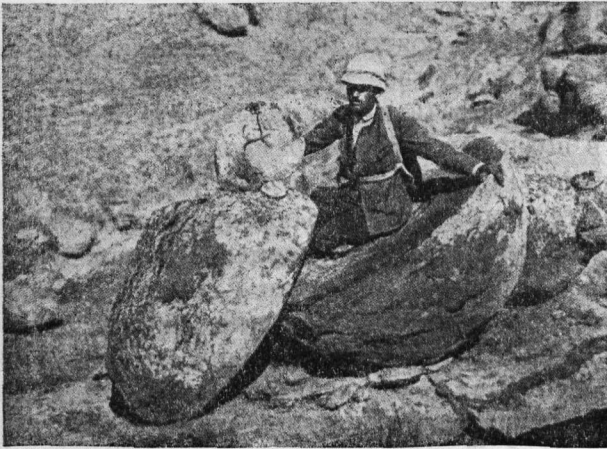
шие колебания температуры способствуют сильнейшему действию ее; горные породы, разбиваясь многочисленными трещинами, распадаются на остроугольные осколки разной величины, образующие осыпи. Такие осыпи достигают громадных размеров в области сланцеватых и песчаниковых крутых склонов.

Расширение трещин в некоторых породах, например, в пустынях Египта увеличивается вследствие выкристаллизовывания солей. Гигроскопические соли (например, хлористый натрий), находящиеся в породах, ночью притягивают из воздуха



Фиг. 75.

влажность, хотя бы самое ничтожное количество. Соляной раствор проникает капиллярными ходами внутрь породы и, когда солнце ее нагреет, раствор испаряется, а соль, выкристаллизовываясь, увеличи-



Фиг. 76.

вается в объеме и расширяет трещины, подобно замерзающей воде. В этих случаях часто происходят пустоты внутри породы, поверхность которой почти свежая, так что результаты выветривания как бы замаскированы. Этим путем при помощи солей, которые оказывают еще и химическое влияние, некоторые породы очень быстро разрушаются, например, гробницы

из известняка в Египте разваливаются через 30—40 лет.

Зная такое влияние температуры на разрушение пород, надо быть особенно осторожным в употреблении пород, как строительного материала, добываемого с более или менее значительной глубины.

Известно, что даже в нашем климате уже на глубине 10—15 м годовые колебания температуры вдвое и втрое меньше, чем на поверхности, а на глубине 20—30 м породы почти не испытывают колебаний температуры, так как находятся вблизи или в слое постоянной температуры.

Особенно сильное разрушение происходит тогда, когда в трещины попадает вода, периодически замерзающая; это явление известно под именем действия мороза; оно имеет место преимущественно в умеренных и холодных странах.

Степень повреждения камня от замерзающей воды зависит от пористости, трещиноватости, эластичности его и сопротивления на разрыв. Но, с другой стороны, опыт показывает, что породы с большими пустотами менее повреждаются морозом, вероятно, потому, что в широких сообщающихся пустотах или порах образующийся лед имеет возможность свободно расширяться, вследствие чего производит меньшее давление на стенки пор, чем в узких и замкнутых порах.

Мягкие и вязкие камни сопротивляются морозу лучше, чем твердые и хрупкие. Наибольшее всасывание влаги трещинами и пораами происходит при осаждении росы на поверхности камня, например, при оттепели после продолжительных морозов; роса осаждается на более охлаждающихся частях камня, т.-е. на выдающихся, имеющих темный цвет и крупно-зернистое строение; поэтому темные, крупно-зернистые, шероховатые камни более боятся морозов, нежели светлые мелкозернистые и полированные. Вследствие действия мороза происходит движение рыхлых масс по склонам, или, так называемые, земляные ледники, разрушение скал в полярных странах, разрушение скалистых берегов моря и ложа ледников.

Органическое выветривание. Оно обуславливается влиянием растений и животных на горные породы. Растения способствуют выветриванию пород, с одной стороны, химически—своими органическими кислотами, выделяющимися из корней, и углекислотой, образующейся при гниении растений, а с другой,—механически, так как корни, проникая в трещины пород и увеличиваясь в объеме, представляют непреодолимую разрушительную силу, приподнимая и разрывая громадные скалистые глыбы.

На поверхности пород, особенно содержащих кальций и щелочи, прежде всего развиваются микроскопические лишай; они покрывают породу наподобие пыли и придают ей разнообразную окраску: бурую, красную, желтую и пр. Лишай поселяются на самых крепких и голых скалах: даже на отполированных кварцевых валунах и на оконном стекле могут жить до 47 видов.

Эта покрывка изменяет колебание температуры, но вместе с тем обуславливает большую конденсацию водных паров и большее развитие углекислоты, что ведет за собою увеличение эффекта разрушения породы; например, часто наблюдается, что гладкие поверхности известняка с развитием лишая становятся неровными, трещиноватыми, рыхлыми, а в углублениях образуется землистый или порошокватый известняк. Из отживших лишая образуется некоторый слой почвы, на котором развиваются сначала мхи, а затем травы, обладающие большим разрушительным действием, нежели лишай; они разбивают породы на куски, а, разлагаясь, дают сероводород, гумусовую и угольную кислоты, которые еще энергичнее разрушают породы. В конце концов, при достаточной теплоте и влаге, травы, изменяя породы, образуют настолько значительный слой почвы, что на нем могут развиваться кустарники и даже большие деревья.

Органическое вещество растительной и животной ткани в процессах выветривания при доступе воздуха вполне минерализуется до образования углекислоты (CO_2), воды (H_2O), SO_3 , P_2O_5 , NO_3 и др. свободных кислот; при отсутствии доступа воздуха получают CH_4 (метан), H_2 (водород), SH_2 (сероводород), PH_3 (фосфористый водород), NH_3 (аммиак) и др. бескислородные вещества. Из зольной части органических тканей получают также различные металлоокиси в первом случае и сернистые металлы—во втором. Промежуточными же продуктами разложения органических веществ (углеводов, белков, жиров и др.) являются те более или менее темноокрашенные вещества, которые известны под названием гумуса, или перегноя, и которыми окрашиваются верхние горизонты выветренных горных пород, т.е. почвы. Состав гумуса различен в различных условиях климата и водного режима почвы. В общем можно констатировать, что в состав перегнойных веществ входят и трудно-растворимые, имеющие нейтральный или слабо-кислый характер, и легко-растворимые кислотного характера. Вещества эти различны по составу. В составе гумуса из-под леса получают более подвижные соединения гумуса, которые являются „защитными“ коллоидами, и не только поэтому сами легко вымываются, но и способствуют вымыванию других веществ. Наоборот, в степных черноземных почвах вследствие некоторого недостатка влаги получается темно-окрашенный, трудно-растворимый гумус, насыщенный основаниями, почему он и накапливается в этих почвах, иногда отличающихся очень темной окраской, содержащих до 15% гумуса. Содержание гумуса в почве и мощность гумусных горизонтов кладутся в основание некоторых классификационных разделений почв. В отсутствии воздуха, при пересыщении почвы водой, органическое вещество обогащается углеродом, получают

при этом торфа. Более значительное обуглероживание приводит к обугливанню; таково происхождение ископаемых (каменных и бурых) углей.

Превращение органической ткани как до полной их минерализации, так и до образования перегнойных веществ совершается при участии микроорганизмов — бактерий, грибов и отчасти водорослей. Процессы, происходящие в органическом веществе при участии микроорганизмов, называются брожениями. Они состоят в общем в разложении и упрощении органического вещества как в присутствии воздуха (процессы аэробные), так и при отсутствии его (анаэробные процессы). Деятельность всякого рода бактерий наиболее энергична в особых оптимальных условиях температуры и влажности, при отступлении от которых она слабеет. Большое значение бактерии имеют в мобилизации азота: существуют бактерии, усваивающие азот из атмосферы, бактерии, окисляющие аммиак до азотистой кислоты и до азотной (нитри- и нитрофикаторы), а также восстанавливающие окисные соединения азота до аммиака (аммонификаторы). Кроме того, бактерии принимают участие в круговороте серы, фосфора и железа, особенно при разложении органического вещества; повидимому, однако, и при разложении минеральных веществ можно утверждать некоторое участие бактерий. Низшие грибки также играют большую роль в разложении преимущественно под пологом леса.

Различного рода бактерии находятся массами в верхних слоях почвы, до $2\frac{1}{2}$ миллионов в одном куб. см, на глубине же 2 м количество это уменьшается до 23.000; в глинистой почве на глубине 2 м находится 445.000 бактерий, а в песчаной только 70.000 в 1 куб. см. Очевидно, при таком громадном развитии этих мелких существ, влияние их на разрушение породы должно быть весьма велико. В Альпах, Пиринеях, Вогезах, Оверни и пр. не только поверхность скал, но даже мельчайшие поры в них покрыты микроскопическими нитрифицирующими организмами, например, Фаульгорн буквально изъеден ими.

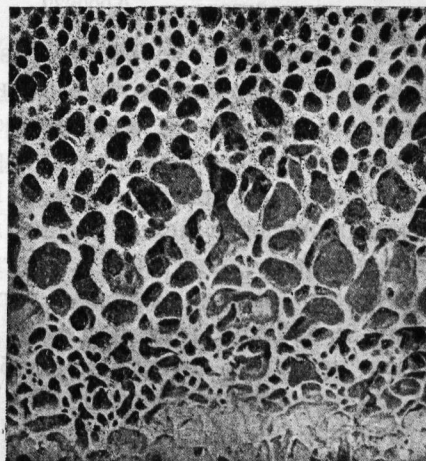
Более крупные организмы тоже изменяют породы: камнеточцы просверливают их, баланусы, прирастая, разрыхляют их, но особенно интересно влияние дождевых червей, которые производят удивительные изменения пород: они измельчают их, перепускают через свои желудки и выбрасывают окрашенным гумусом, так что превращают в темноцветные почвы на значительном протяжении; мощность их зависит от количества дождевых червей.

Громадная геологическая работа, превосходящая работу червей, производится в тропических странах термитами.

Химическое выветривание. Химическое влияние воды и воздуха имеет первенствующее значение при выветривании пород.

Вода прежде всего действует на породы непосредственно прямым растворением. При общем обзоре уже было указано, что только немногие минералы сопротивляются растворяющей силе воды, а особенно содержащей углекислоту. Некоторые минералы и породы настолько быстро и легко растворяются в воде, что нахождение их в природе было бы немыслимо без особенных условий, защищающих их от влияния ее, например, железный и медный купоросы, квасцы, каменная соль и пр.; они были бы выщелочены из месторождений, если бы не были защищены постоянными спутниками — водонепроницаемыми глинами, составляющими необходимое условие для существования месторождений, например, каменной соли.

Для примера степени растворимости приведем некоторые породы, легко поддающиеся влиянию воды и имеющие широкое распространение в земной коре. На первом месте в этом отношении стоит каменная соль, растворимость которой в 100 ч. воды определяется в 36 ч. при обыкновенной температуре (15° Ц), а при 100° Ц доходит до 40 ч.; при тех же условиях растворяется: хлористого магния — 56 ч., хлористого стронция — 50 ч., хлористого калия — 32 ч., хлористого кальция — около 67 ч.



Фиг. 77. — Ячеистое выветривание меловых пород. (Манчышлак).

Сернистые соединения, за исключением некоторых купоросов, например, железного, медного и др., растворимость которых не уступает хлористому натрию, вообще гораздо устойчивее, например, самые распространенные в природе: гипс и ангидрид; первый из них растворяется в количестве 25 ч., а второй — 20 ч., но уже в 10.000 ч. воды; тогда как тяжелый шпат и целестин только 0,5—1,5 ч.

Углекислые соединения, между которыми известняки имеют весьма важное значение в строении земной коры, хотя менее растворимы, чем гипс, но все-таки легко поддаются влиянию воды. В следующей таблице указана степень растворимости углекислых соединений в 10.000 ч. воды, содержащей углекислоту, при обыкновенном давлении и температуре:

Ca CO ₃	10	:	Ba CO ₃	0,7
Mg CO ₃	13	:	Sr CO ₃	12
Fe CO ₃	7,2	:	Ca CO ₃ + Mg CO ₃ (доломит) .	3,4
Mn CO ₃	4-5	:	Fe CO ₃ + Mg CO ₃ (мезитин) .	0,75

Все другие породы хотя поддаются растворяющей силе воды, но в гораздо меньшей степени, да и для приведенных соединений сила растворения значительно колеблется в зависимости от разнообразия условий, например, морская вода, обремененная солями, оказывает в несколько раз меньшее растворяющее влияние, чем пресная, как видно из следующей таблички Тулэ, выражающей потерю вещества из массы в один куб. дм в течение дня от растворения:

	Пемза	Рак. изв.	Коралл. изв.	Глобигер. изв.
в морской воде . .	0,000105	0,000039	0,000201	0,000137
в пресной воде . .	0,000832	0,001843	0,003014	0,003091

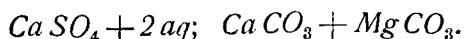
Вследствие только растворения, на поверхности известняков, гипсов и пр. появляются различные углубления и выступы, которые тем больше, чем менее однороден состав пород; некоторые оригинальные формы рельефа, которые будут рассмотрены ниже, обязаны исключительно растворению. В течение продолжительных периодов выщелачиваются целые толщи пород, что обусловливает постепенное понижение уровня поверхности значительных участков. Например, допустим, что на гипсовую гору в 33 м высотой ежегодно выпадает один м осадков, при чем вода совершенно насыщается гипсом; при таких условиях высота горы будет ежегодно уменьшаться на 1,1 мм, а, следовательно, через 30.000 лет она совершенно исчезнет. Золенгофенский известняк понижается на 1 м в течение 72.000 лет, а известняк долины Ниттани в 30.000 лет; в известняках Карста образуются воронки до 30 м глубиной и до 1 км в диаметре.

Даже силикаты, как полевые шпаты, авгит, слюда и пр., измельченные в дистиллированной воде, дают в фильтрате через некоторое время следы щелочей и щелочных земель; последние, отщепляясь, гидролитически переходят в раствор, как гидроокиси, тогда как гидраты *Al* и *Fe* и коллоидальная *SiO₂* выпадают.

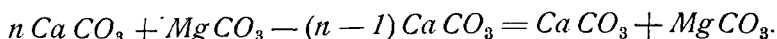
Вода, проникающая внутрь земной коры, растворяет еще энергичнее, так как находится при высшем давлении и температуре; отсюда понятно образование больших пустот, разрастающихся в огромные пещеры, о которых тоже речь будет впереди.

Кроме прямого растворения, вода производит более сложные и разнообразные химические изменения минералов и горных пород при помощи растворов и взаимодействия их, что называют собственно сложным выветриванием, в противоположность простому выветриванию, заключающемуся в непосредственном влиянии воды и воздуха. Однако, сложные процессы химического выветривания можно выразить только несколькими схематическими положениями.

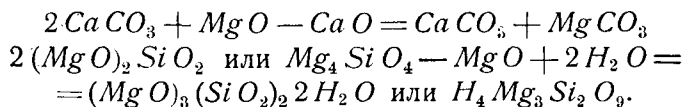
1) Изменение пород через поглощение или прибавление составных частей. Порода А берет из раствора тело В и образует с ним сложное соединение, например, ангидрид, поглощая воду, переходит в гипс; тоже углекислый кальций, принимая углекислый магний, переходит в доломит или просто в магнезиальный известняк:



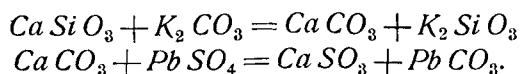
2) Изменение чрез потерю составных частей. Порода АВ отдает В, например, магнезиальный известняк, лишаясь части извести, переходит в доломит:



3) Изменение чрез обмен составных частей. Раствор с А, встречающийся с раствором В, отдает А и принимает В, например: известняк, принимая магнезию и выделяя известь, превращается в доломит; оливин, поглощая воду и выделяя магнезию, переходит в змеевик и прочее:



4) Изменение через сложный обмен составных частей. На минерал или породу АВ действует раствор CD так, что D соединяется с А и переходит в раствор, а ВС образует трудно растворимое соединение и выделяется из раствора; после того соединение ВС может встретить раствор EF и дать новое соединение FC, в котором уже совсем нет первоначальных составных частей породы АВ; например, при превращении силикатов в карбонаты силикат кальция при действии углекислого калия переходит в углекислый кальций, который при действии на свинцовый купорос дает углекислый свинец и сернокислый кальций. Таким путем при разложении полевых шпатов силикаты щелочей, превращаясь в углесоли, выщелачиваются, а силикат глинозема, или глина, остается окончательным продуктом выветривания.



Формулируя главные черты выветривания сложных силикатов, можно свести их к следующему. Прежде всего происходит гидратация минералов, и начинается их гидролиз с отщеплением щелочных и щелочно-земельных оснований, образующих большей частью углесоли с углекислотой, циркулирующей в породах воды („карбонация“). При этом отщепляется всегда и часть кремнезема и иногда железо

в виде коллоидного гидрата окиси, которые могут быть удалены в псевдорастворах или коагулировать и выделиться на месте. Гидролиз приводит сначала к минералам типа кислых солей (как при простых силикатах из оливина происходит эмевик и из энстатита тальк). Эти вещества имеют иногда глиноподобный характер и непостоянный состав, представляя собой тонкочастичные вещества. До сих пор, однако, этот процесс начальной „пелитизации“ еще недостаточно изучен.

Как промежуточные продукты разложения, получают и кристаллические водные алюмосиликаты (белая слюда из полевых шпатов, гидрослюды из слюд).

При дальнейшем действии воды, богатой углекислотой (нельзя отрицать при этом и значения органических растворов, в частности, гумуса), может происходить полное вытеснение оснований из частицы алюмосиликата и образование свободных кремнеглиноземных кислот, солями которых большинство алюмосиликатов и является.

Эти вещества известны под названием химических глин. Такие глины также образуют землистые агрегаты, и каолин между ними отличается выдающейся тонкочастичностью и пластичностью. Разложение алюмосиликатов до каолина требует значительных количеств влаги и наблюдается в условиях, главным образом, теплого и влажного климата. Химические глины являются конечным продуктом „пелитизации“.

Выветривание горных пород.

Нельзя говорить о выветривании пород вне условий климата и водного режима. Разнообразие коры выветривания зависит гораздо более от климата и растительности, нежели от состава пород. Однако, условия залегания горных пород, их сложение и состав все же в общих чертах определяют характер их разложения.

А. Сложение пород влияет на ход выветривания при прочих равных условиях следующим образом:

1. Зернистое сложение способствует скорости выветривания и тем больше, чем крупнозернистее, потому что оно помогает проникновению воды, образованию трещин и развитию лишая.

2. Сланцеватое сложение, напротив, замедляет выветривание и тем больше, чем плоскости сланцеватости ровнее, глаже и прямее.

3. Порфировое и миндалекаменное сложение действует различно: то ускоряет больше, чем зернистое, то замедляет выветривание, смотря по сложению основной массы и величине порфировидно выделяющихся кристаллов:

а — порфиры с мелкозернистой основной массой выветриваются легче плотных порфиров;

b — порфиры с мелкими выступающими кристаллами выветриваются труднее порфиров с крупными выступающими кристаллами;
с — то же можно сказать про миндалекаменные породы.

4. Плотное сложение больше всех других родов сложения замедляет выветривание.

В. Условия залегания пород, характер отдельности пород и соседство их с другими оказывают влияние на ход выветривания.

1. Чем трещины отдельности в породе менее развиты, тем труднее она выветривается.

2. Система взаимно-перпендикулярных трещин способствует выветриванию и обуславливает разрушение пород изнутри к краям, благодаря чему нередко порода с поверхности является совершенно свежей, тогда как внутри разложившейся и превратившейся в землестую массу.

3. Соседство тех или других пород оказывает большое влияние на выветривание, потому что от этого зависит образование тех или других растворов, влияющих разрушительно на породы и, таким образом, способствующих разложению даже весьма устойчивых образований.

С. Состав пород, т.-е. ассоциация минералов, также не остается без влияния на выветривание. Легче всего, конечно, выветриваются растворимые породы, как гипс, известняки и др. Относительно же кристаллических пород можно сказать следующее:

1. Породы полевошпатовые выветриваются скорее, чем не содержащие полевых шпатов, за исключением легко растворимых простых пород, каковы: известняк, гипс и пр.

а — Между полевошпатовыми породами легче выветриваются те, которые содержат полевые шпаты, бедные кремнеземом. Содержание извести влияет в обратном отношении. В силу этого содержащие олигоклаз граниты, гнейсы, сиениты и порфиры выветриваются быстрее, нежели содержащие только ортоклаз; лабрадорные породы — быстрее олигоклазовых.

b — Породы с полевым шпатом, кварцем и слюдой выветриваются быстрее, чем те же породы, но без слюды, так как последние лучше сопротивляются быстрым переменам температуры. Из слюдистых пород выветриваются легче те, которые содержат черную магнезиальную слюду, нежели содержащие белую калиевую слюду.

с — Породы с лабрадором или анортитом и известковою роговою обманкою выветриваются быстрее, чем породы с олигоклазом и магнезиальною роговою обманкою, бедною известью.

d — Породы с известковистым авгитом выветриваются быстрее пород с известковистою роговою обманкою, диалогоном или гипер-

стенom. Отсюда ясно, что между плагиоклазовыми или, так называемыми, зеленокаменными породами лучше всего сопротивляются выветриванию диорит, затем гиперстенит, габбро, диабаз и хуже всех — долерит.

2. Между породами, не содержащими полевого шпата, скорее всех выветриваются породы слюдистые, а между ними скорее те, которые содержат биотит, а не мусковит. За слюдистыми по быстроте выветривания следуют хлоритовые, затем тальковые, а лучше всего сопротивляются змеевики.

Конечные продукты выветривания или остаются на месте своего первоначального образования или же переносятся различными агентами на большее или меньшее расстояние. В первом случае, т.-е. если они остаются на месте своего первоначального происхождения, они называются элювием или элювиальными образованиями; во втором же случае, если они перемещаются (вне постоянных русел) вследствие тяжести или дождевыми и снеговыми водами с вершины на склоны той же выветривающейся возвышенности, т.-е., так сказать, смываются сверху вниз, то называются делювием или делювиальными образованиями; смываемые с гор широкими плоскими потоками в равнину массы называются пролювием, если же они переносятся постоянными потоками на большие расстояния, то называются аллювием или аллювиальными образованиями.

При разложении горных пород в процессе выветривания одни продукты этого процесса остаются на месте — это остатки от выветривания или выщелачивания, образующие кору выветривания. Между тем как выщелоченные вещества попадают в грунтовые воды и определяют в разных условиях выветривания их состав, кора выветривания, или элювий, имеет различный характер в различных климатических условиях. В состав коры выветривания (элювия) входит и та ее часть, которая образована при ближайшем участии органического вещества, называемая почвою, хотя некоторые почвою называют кору выветривания вообще. Безгумусовая, „подпочвенная“ часть коры выветривания иногда имеет (в противоположность „почве“) значительную мощность (фиг. 78).

Климат и растительность настолько изменяют характер выветривания и продукты его, что как бы отражают на них свою зональность; это влияние их сказывается с особою ясностью на самом верхнем слое коры выветривания или на, так называемых, „почвах“, но оно проявляется и в нижних горизонтах, хотя зональность этих последних изучена гораздо меньше, чем собственно „почв“ и подчеркнута только в самых общих чертах.

Под почвою разумеют перемещенные продукты изменения поверхностных горных пород совокупным действием атмосферы, воды и организмов. Наука о почвах (Почвоведение) в настоящее время уже вылилась в самостоятельную науку, примыкающую к минералогии и геологии, с одной стороны, и к химии и биологии, с другой.

Главную роль в действии климата на горные породы играет величина и характер увлажнения, которое зависит от температуры и количества осадков; температура имеет, однако, и самостоятельное значение.

Почвенные зоны соответствуют климатическим поясам, т. е. распределению солнечного тепла, в зависимости от широты и от количества осадков и влажности воздуха, в зависимости от характера атмосферной циркуляции; удаление от моря, характер господствующих ветров и другие элементы климата поэтому имеют значение для почвенной зональности.

Но увлажнение почв в пределах одной зоны зависит существенно от рельефа, благодаря чему почвы не залегают однообразными покровами на больших простран-



Фиг. 78. — Тонкая кора выветривания песчаников. Донбас. (Фот. Д. Мушкетова).

ствах, а образуют более или менее сложные комплексы, где каждая почвенная разность соответствует своему элементу рельефа и микро-рельефа (т. е. малого рельефа). Та порода, из которой путем выветривания произошла почва, носит название материнской породы. Оно также оказывает влияние на почвообразование, особенно в тех случаях, когда ее химизм может ярко проявиться, или когда почвообразовательный процесс ослаблен смывом, или недостатком влаги или тепла. Такие почвы, которые резко обособляются от нормальных почв зоны указанным влиянием породы или избыточного увлажнения, отнесены к интразональным, хотя и на них сказывается влияние климатических, т. е. зональных условий.

Типы почвообразования, различаемые большинством русских почвоведов, сводятся в настоящее время к следующим:

1) латеритный, 2) подзолистый, 3) степной, 4) болотный, 5) солонцовый, 6) солончаковый.

На ряду с совершенными почвами многими геологами и почвоведомы были изучаемы и древние продукты выветривания и древние почвы, в которых можно узнать процессы, господствовавшие в предшествовавшие геологические эпохи. К таким образованиям относятся в некоторых случаях ископаемые бокситы, латериты и каолины, приуроченные к породам каменноугольного, пермского и третичного возраста и др.

Из почв, относящихся к более поздним моментам жизни земли, укажем на ископаемые почвы („гумусные горизонты“) в лёссах и лёссовидных суглинках, которые некоторые исследователи относят к ледниковому периоду, при чем в них узнают степные и лесные подзолистые почвы и параллелизуют их с отдельными моментами наступления ледника. Кроме того, погребенные, еще более молодые почвы обнаруживаются в речных аллювиях также в виде гумусных прослоек. В лёссовой зоне большое значение имеют ископаемые торфяники, указывающие составом своей растительности на климатические условия времени их образования. Так, между прочим, устанавливают „ксеротермическую“ эпоху в послеледниковое время.

С точки зрения методики геологической полевой работы и составления геологических карт большое значение имеет внимательная картировка продуктов выветривания. В условиях малой обнаженности коренных пород (например, во многих средних и южных частях СССР), нанесение геологических границ часто возможно лишь по составу и цвету элювия, а иногда по распределению определенных растений; при этом цвет может меняться в зависимости от влажности и различного освещения; большое значение имеют высыпка, сурковые ямы и т. п. Предложены совершенно особые способы составления „физиоморфологических“ карт, изображающих различные разрушающие и предохраняющие поверхность геологические факторы, или, вернее, условия их проявления, как, например, сопротивление пород выветриванию, водопроницаемость пород, наносов и почвы, характер растительного покрова. Для практических, технических целей подобные карты в дополнение к геологическим обыкновенным должны иметь большое значение.

Исследование элювиальных образований, помимо вопросов почвоведения и полезных ископаемых, разрешает иногда чисто геологические задачи, например, о колебании поверхности некоторых участков суши. Если в свиге пластов разного возраста, но морского происхождения, находятся хотя бы прослойки элювиальных образований, то они указывают на перерывы в морских отложениях и временную смену

их континентальными; следовательно, по числу элювиальных слоев на разных горизонтах возможно определить число континентальных периодов или, все равно, число колебаний для данной страны, которая то покрывалась морем, отлагавшим морские осадки, то освобождалась от него и покрывалась слоем элювиальных образований. Наконец, кроме всех вышеуказанных изменений, производимых выветриванием на поверхности суши, тот же процесс обуславливает появление особых форм рельефа.

Если породы гор более или менее однородного сложения и состава, то часто на склонах таких гор, вследствие химического



Фиг. 79. — Выявление выветриванием шаровой отдельности диабаза. Ст. Бер-Чогур. (Фот. В. Яворского).

выветривания, образуются совершенно оригинальные формы рельефа. Они почти исключительно образуются на известняках и гипсах. Как бы ни была однородна порода, однако, одни части ее растворяются водою легче сравнительно с другими, вследствие этого поверхность, повидимому, даже однородного известняка от выветривания становится неровною. Вода скопляется в углублениях и еще более увеличивает их; возвышающиеся части постепенно утоняются, становятся уже и острее, таким образом, неровности все более и более увеличиваются и образуются голые, дикие поверхности, называемые каррами (фиг. 80). В общем поля карр представляют волнистую, мало расчлененную поверхность, в частностях же они расчленены до бесконечности. Поверхность карр

изборождена рытвинами от 1 — 2 м глубиною, а иногда даже до 10 м, которые имеют вид то узких или широких щелей, то круглых дыр, то совершенно неправильных углублений, открытых с одной стороны или совершенно замкнутых; нередко ключи, пропадающие в одной, выходят из соседней дыры. Гребни и ребра между рытвинами имеют неровную поверхность, а иногда напоминают острие ножа. Более широкие из них часто бывают изборожжены второстепенными углублениями. Однако, изборожженная и размытая с поверхности порода сохраняет прочную связь, так что обломки ее попадают очень редко. Тонкие гребни издают при ударе чистый звук, а ветер, проходя над полями карр, производит глухой рев.

Влияние выветривания на рельеф. Делювиальные образования.

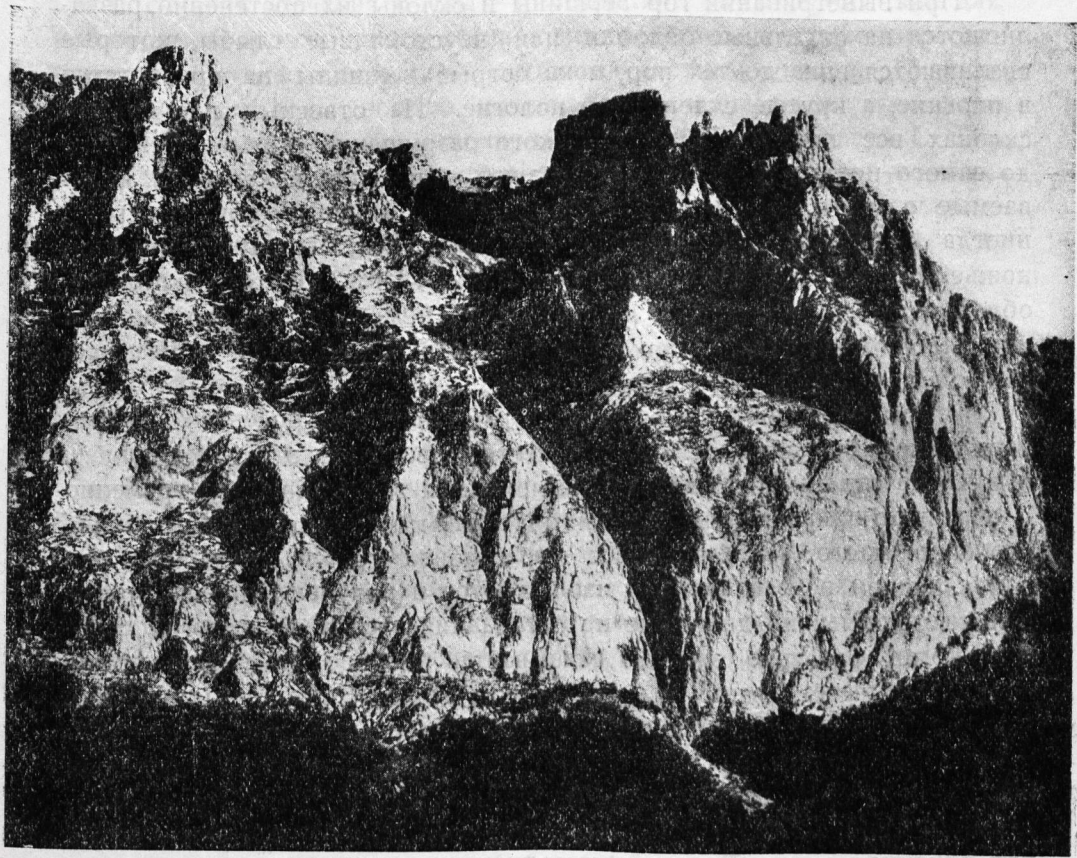
Выветривание, разрыхляя и выщелачивая горные породы, не только производит частные формы рельефа (фиг. 79), но и более общие



Фиг. 80. — Древняя карровая поверхность, сглаженная дальнейшими процессами.

изменения как в горных, так и в равнинных областях. Общий характер ландшафта и распределение форм его рельефа гораздо менее зависят от условий залегания горных пород, т. е. тектоники, чем от условий их выветривания. На равнинах выветривание обыкновенно проникает только на небольшую глубину, потому что элювиальный покров очень часто задерживает его и предохраняет нижележащие породы от дальнейших изменений. В горах или вообще на крутых склонах, наоборот,

продукты выветривания не остаются на месте, а перемещаясь, вследствие своей собственной тяжести, скатываются вниз, и постепенно обнажая нижележащие породы, предоставляют их действию выветривания, которое, следовательно, может проникать на значительную глубину. При таких условиях, во-первых, происходят разнообразные изменения первоначальных и возникновение новых форм рельефа,



Фиг. 81. — Формы выветривания мощных известняков. Г. Ай-Петри, Крым.

и во-вторых, образуются своеобразные накопления продуктов выветривания, которые отличаются от элювия перемещением и потому называются делювием. В том и другом случае, т. е. как при формировании гор, так и при накоплении делювия, некоторое участие принимают мелкие дождевые потоки, смывающие элювий и способствующие смещению делювия.

Делювий, в противоположность петрографически однообразному элювию, характеризуется большим разнообразием петрографического

состава, что обусловливается разнообразием разрушающихся пород, характером выветривания и передвижением, которое в свою очередь объясняет частое несоответствие состава делювия с составом подстилающих его коренных пород. Таким образом делювий отличается от элювия как по характеру выветривания, по залеганию, так и по составу.

При выветривании гор вершины и склоны их постепенно разваливаются на отдельные обломки или неустойчивые глыбы, которые сваливаются вниз до тех пор, пока острые вершины не превратятся в плоские, а крутые склоны — в пологие. На отвесных или крутых склонах все продукты механического разрушения скатываются вниз до самого подножия склона и образуют конические накопления, называемые осыпями; близко расположенные мощные конуса осыпей иногда соединяются в сплошной шлейф осыпей, опоясывающий подножье гор; по мере того, как склон сглаживается, становится положе, обломки задерживаются и образуют на нем или широкие полосы или сплошные покровы, доходящие иногда до вершины и называемые россыпями.

В осыпях преобладает массовое движение, а в россыпях — перекатывание отдельных камней; разумеется, движение это тем сильнее, чем круче склоны. Иногда отдельные глыбы задерживаются временно и образуют оригинальные, так называемые, качающиеся камни, особенно часто встречающиеся на склонах гор в пустынях, где под влиянием развевания они изолируются и получают иногда оригинальные формы; но движение не останавливается и на пологих склонах, когда особенно заметно сказывается влияние на передвижение продуктов выветривания температуры и дождей. При частых и резких переменах температуры обломки, неравномерно расширяясь и сжимаясь, постепенно перемещаются и, как показывают наблюдения, не только вниз по склону, но и несколько в сторону, т. е. по горизонтальному направлению. Передвижение это значительно усиливается под влиянием мороза и атмосферной воды, которая вымывает мелкий материал из россыпи и намывает его на осыпи, придавая им некоторую, правда, местную слоистость и сортировку. Пока движение продолжается, россыпи и осыпи находятся в периоде формирования и имеют совершенно обнаженную поверхность.

Россыпи с обнаженной поверхностью и состоящие из крупных каменных обломков иногда называют морями скал; но собственно моря скал могут образоваться не только от выветривания, но и от вымывания или смывания отложений, происшедших другим путем; например, если из основных или конечных морен вымываются атмосферною водою все мелкие глинисто-песчаные частицы, то на месте

останутся только крупные валуны, которые образуют „море скал“, по внешнему виду весьма похожее на россыпь, но отличающееся только залеганием на дне долин.

За последнее время вопрос о морях скал и россыпях привлек особое внимание и освещен с особой стороны для средневропейских возвышенностей; их рассматривают, как результат происходящего на всех склонах „течения почвы“ — Solifluktion. В то время как для Ср. Европы скорость такого течения не превосходит нескольких сантиметров в год, в полярных областях она достигает метра. С чисто практической стороны вопрос почвенного течения имеет громадное значение в полярных и приполярных странах (всего Севера СССР) при проведении железных дорог и всяких инженерных сооружений.

Осыпи в период формирования также отличаются обнаженною поверхностью, но состоят из более разнообразного материала, т. е. из обломков самой различной величины, которые обыкновенно в начале образуют конус, прислоненный к склону своею вершиною.

Уклон конусов мокрых осыпей колеблется от 3° — 30° , а сухих 27° — 37° ; в последних угол возрастает с увеличением величины и угловатости обломков и обратно.

Сопоставляя все, что сказано нами о выветривании, мы видим, что оно имеет весьма важное значение в природе; оно не только разнообразно изменяет горные породы, превращает их в более устойчивые соединения, но и производит совершенно новые и оригинальные элювиальные и делювиальные образования, имеющие существенное значение для выяснения происхождения культурного слоя, или „почв“. Кроме того, оно, с одной стороны, разрушает горные хребты, разнообразно расчленяет их, а с другой, — постепенно понижает их и разрушенным материалом заполняет долины, т. е. углубления, выработанные проточной водой. Выветривание, разнообразя контуры гор, вместе с тем как бы стремится понизить и сравнить их. Можно проследить постепенно изменение формы гор, при чем крутизна склонов уменьшается от предельного наибольшего уклона свежей породы до уклонов осыпей, а вместе с этим возрастает устойчивость форм рельефа, покрывающихся растительностью. Твердое ядро гор постепенно уменьшается, а нагромождения обломков увеличиваются, пока, наконец, гора не скроется под покровом россыпей и осыпей. Этот процесс самопогребения гор в продуктах собственного распада чрезвычайно характерен для целого ряда стран, как Средняя Азия и другие. Выветривание таким образом может превратить горную страну в холмистую, но докончить работу выветривания, т. е. совершенно сравнять горы, может только проточная вода в виде рек или ручьев.

Подземные воды.

Атмосферные осадки, попадая на земную поверхность, распределяются обыкновенно на три неравные части: одна часть их стекает прямо по поверхности и образует ручьи, реки и озера; другая — и спаряется, возвращается снова в атмосферу и отчасти расходуется организмами; наконец, третья часть их поглощается почвою, проникает в глубину земной коры и служит для питания подземных вод. Величина этих частей весьма неравномерна для различных местностей и колеблется в широких пределах в зависимости от климата, растительности и почвы. Под влиянием климата в одних местах на испарение расходуется до 75% — 80% годового количества атмосферных осадков, а в других, напротив, почти столько же поглощается и стекает. Но при одних и тех же или приблизительно одинаковых климатических условиях, например, в Средней Европе, поглощение изменяется от 8% до 35% на разных почвах, сток от 13% до 45% при разных уклонах и растительности.

Сток дождевых и снеговых вод по поверхности земли зависит от характера рельефа и падения местных рек, от водопроницаемости почвы и подпочвы; затем от характера поверхности и строения почвы, от количества и характера оврагов, состава растительного покрова, условий выпадения осадков и таяния снегов, от промерзания и оттаивания почвы, от водопроницаемости обнажающихся коренных пород.

Поглощение осадков почвою обуславливается почти теми же факторами, которые перечислены для стока, но только действие и влияние их прямо противоположны, так как водопоглощение представляет процесс обратный и дополнительный к стоку.

Земная поверхность, особенно болота, поглощает непосредственно дождевую и снеговую воду при таянии, а также росу, туман и вообще водяной пар. Воды эти, задержанные почвою и подпочвою, разделяются в недрах земли на две части, совершенно различные по своему значению. Одна поглощается почвою и подстилающими ее породами, обуславливая их естественную влажность, другая же постепенно просачивается в более глубокие слои до тех пор, пока не встретит относительно непроницаемую породу, на поверхности которой образует водоносный горизонт более или менее значительной мощности.

Способность горных пород свободно пропускать книзу или профильтровывать водусквозь свои поры сама по себе весьма мала и различна для разных пород; одни из них, например, глины, стекловатые породы, почти не пропускают воды при небольшой высоте

напора и проникаются только при большом давлении; другие же, напротив, например, пески, трещиноватые известняки, очень быстро пропускают воду. Эта способность более или менее быстро проникаться влагою называется водопроницаемостью почв или пород, по отношению к которой породы разделяются на водопроницаемые и водонепроницаемые или водоупорные. Но, кроме того, нужно отличать еще водоемкость или влагоемкость пород, т.-е. свойство почвы или породы принимать и задерживать, вследствие ее капиллярности и гигроскопичности, известное количество воды. Различают влагоемкость наименьшую или абсолютную, представляющую количество влаги, удерживаемое породой при свободном стоке, и наибольшую или полную влажность, т.-е. количество влаги, насыщающей породы до совершенного заполнения всех пустот ее при отсутствии стока.

Просачивание воды в недра земли происходит вследствие силы тяжести и капиллярности, весьма медленно, сравнительно, например, со скоростью стока по поверхности, и тем медленнее, чем водопроницаемость пород меньше.

По отношению к способности пропускать и поглощать воду все породы, слагающие известную нам часть земной коры, можно разделить на шесть групп, удобных для практических целей, а именно: 1) водопроницаемые, 2) полупроницаемые, 3) непроницаемые, и каждую из них еще — на две: влагоемкие и невлагоемкие.

Величину общего поглощения на площади данного бассейна в некоторых благоприятных случаях определяют так же, как и сток, т.-е. наблюдениями над средним расходом меженной воды, произведенными в бездождное время; наблюдения эти определяют питание реки ключевой водою. Если рассматриваемый бассейн совершенно замкнут, т.-е. не получает воды со стороны и не отдает, тот годовой расход речной воды в конце бассейна, из которого вычтен весь поверхностный сток дождевых и весенних паводков, дает прямо годовое количество атмосферных осадков, поглощаемых данным бассейном. Точно так же, если измерять производительность какого-либо ключа, имеющего совершенно замкнутую область питания, то можно получить высоту слоя инфильтрационной воды или, как говорят, инфильтрационное число; умножая это число на площадь области питания ключа, получим полную годовую производительность источника. Разделяя это произведение на 365, для определения средней суточной производительности ключа, мы увидим, что она никогда не согласуется с действительностью; в зависимости от характера местности и величины подземного резервуара суточная производительность зимой бывает больше, а летом меньше полученной средней или, наоборот, например,

на высоких горах летом больше, чем зимой, а на плоских равнинах — наоборот. Наблюдения за каждый год дают различные общие результаты, но никакой законности для более или менее длинного периода времени не замечается.

Зная количество атмосферных осадков, а также величину стока и поглощения, по разности легко определить и величину испарения с данной площади в определенное время.

Помимо поглощения поверхностью воды — инфильтрации, несомненно некоторое количество ее поступает и конденсацией атмосферной влаги, преимущественно рыхлыми образованиями, особенно каменными россыпями. Значение этой конденсации невелико и нуждается еще в проверке наблюдениями.

Грунтовые воды.

Грунтовую воду называется вода, поглощенная почвою и образующая первый от поверхности водоносный горизонт, расположенный в подпочве или в более глубоких коренных породах, но на первом от поверхности водонепроницаемом слое и в своем режиме подчиняющийся внешним физико-географическим условиям; она представляет вместе с тем свободный остаток за удовлетворением наименьшей влагоемкости водоносной породы. Глубина залегания ее зависит от водопроницаемости почвы и подпочвы; в случае водонепроницаемости их она сливается с наружными водами, в противном же случае она проникает глубоко — до 20 и более метров, отделяясь от почвы целым рядом напластований — то влажных, то сухих, но не образующих обособленных водоносных горизонтов. Грунтовая вода обыкновенно отличается очень слабым напором или отсутствием его, так что при достижении ее колодцем или буровой скважиной она не поднимается вверх, довольно быстро понижается при откачке и очень медленно восстанавливает свой уровень. Переполняя водоносную породу до известной высоты, зависящей от сопротивления породы свободному движению воды, от крупности ее зерна, но, главным образом, от уклона водонепроницаемого слоя, грунтовая вода, при благоприятных условиях, например, при обнажении водоносного слоя на склонах оврагов или долин, просачивается наружу и дает начало источникам. В противном случае образуются подземные потоки, которые текут только по известным направлениям в крупнозернистой толще, где преимущественно и наблюдаются выходы ключей. Скорость передвижений грунтовых вод в горизонтальном направлении весьма различна, но, во всяком

случае, она гораздо меньше, нежели в поверхностных потоках. Замедление вызывается сопротивлением движению самую водоносную породу, и зависит от ее водонепроницаемости, величины зерна глубины залегания, трещиноватости и пр. Наблюдения над уровнем воды в последовательном ряде буровых скважин, равно как над изменением дебета ключей, показывают, что грунтовые воды, так же, как и вообще подземные воды, иногда требуют недель и даже месяцев для прохождения подземным путем всего нескольких сот сажен расстояния. Этим замедлением объясняется то явление, что засушливый год иногда отражается на уменьшении дебета ключей только в следующем году.

Внешний рельеф оказывает влияние на высоту стояния грунтовых вод, так как давление атмосферы на них такое же, как и на поверхности. В котловинах они по краям стоят выше, чем в середине, например, в долине Невы на Песках—в самой высокой части Ленинграда—грунтовая вода находится на глубине $1\frac{1}{2}$ м, и следовательно, над уровнем Невы возвышается на 8 м. В местности с совершенно горизонтальной поверхностью и таким же водонепроницаемым ложем, но прорезанной долиной или оврагом, грунтовые воды образуют плоский подземный водораздел и понижаются в сторону долины.

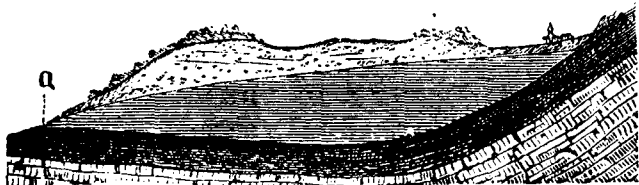
Особенно отчетливо влияние внешнего рельефа сказывается в области дюн, где поверхность грунтовых вод имеет такой же волнистый характер, как и поверхность дюн, но только водяные волны соответственно положе, чем дюнные.

Уровень грунтовых вод подвержен значительным и разнообразным колебаниям, которые зависят от неравномерности выпадения атмосферных осадков, от влияния растительности, особенно лесной, а в некоторых случаях от подпора внешними водами при колебаниях уровня в реках, озерах и морях. Наблюдения показывают, что одни из этих колебаний подчиняются строгой законности и происходят правильно периодически, другие же появляются неправильно. Величина годового колебания разнообразна, зависит от количества атмосферных осадков и бывает весьма значительна.

Грунтовые воды образуют только верхний горизонт подземных вод, ниже которого, при благоприятных геологических условиях, могут образоваться еще несколько более глубоких горизонтов; следовательно, атмосферные осадки проникают на значительную глубину, пределы которой определяются глубиной залегания геотермы кипения воды, где вследствие высокой температуры вода не может быть в жидком состоянии; она достигает 10 километров.

Проникая на значительную глубину, вода распределяется там различно в зависимости от состава и способа залегания горных пород.

В породах слоистых, водопроницаемых, залегающих среди водонепроницаемых, она подобно грунтовой воде образует водяные слои; в породах непроницаемых, но трещиноватых она направляется по трещинам и образует водяные жилы; наконец, в породах плотных и однородных она появляется только в виде горной влажности, заполняя поры пород; в каком бы виде вода ни находилась внутри земной коры, она производит там разнообразную и постоянную работу. В одних местах она разрушает породы, выщелачивает их и образует внутри земли различные пустоты: от самых мелких до громадных пещер, производит подземные обвалы, провалы и оползни, изменяющие стратиграфические условия пород. В других местах, наоборот, подземная вода, насыщенная разнообразными минеральными веществами, встречая готовые пустоты, производит в них новые отложения.



Фиг. 82.

При благоприятных стратиграфических условиях вода эта снова выходит на дневную поверхность в виде разнообразных источников или ключей, которые продолжают работу

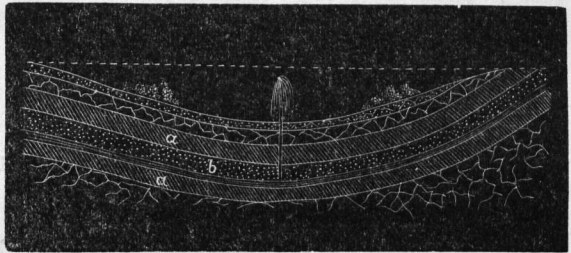
подземной воды, но уже более доступную для непосредственных наблюдений, а потому мы сначала познакомимся с происхождением и характером источников, а затем уже рассмотрим главнейшие результаты деятельности подземной воды.

Источником (ключ, родник, булак) называется большей или меньшей величины поток подземной воды, выходящей на земную поверхность при естественных условиях, без участия человека. Искусственно открытые источники называют колодцами.

Источники по характеру выхода их на поверхность разделяются на две группы: нисходящие и восходящие. Первые представляют простой выход подземных вод в местах обнажения водоносных слоев (Q фиг. 82); они вытекают спокойно по уклону водонепроницаемости ложа, не обладают напором, залегают преимущественно среди пластовых пород и отличаются весьма широким распространением. Искусственно открытые нисходящие источники называются простыми колодцами. Вторые, т.е. восходящие источники встречаются сравнительно реже, образуются только при участии значительного напора и в естественном виде свойственны преимущественно массивным, но трещиноватым породам, например, гранитам, порфирам и др., где вода, проникая по многочисленным трещи-

нам, сообщается с одной главной; если устье ее лежит ниже верховьев, то по закону сообщающихся трубок, из него будет выходить на поверхность бьющий или восходящий источник или естественный фонтан. В пластовых породах естественные фонтаны встречаются редко, но зато искусственные получаются чаще, чем из массивных пород; для этого необходимо, чтобы, во 1-х, пластовые породы имели корытообразное изогнутие (фиг. 83) и, во 2-х, чтобы водоносный слой (b фиг. 83) залегал между водонепроницаемыми пластами (a, a фиг. 83); при таких условиях всякая буровая скважина, проведенная в середине мульды до водоносного горизонта, откроет фонтан, называемый артезианским колодцем. Следовательно, двум типам естественных источников соответствует два типа колодцев: простые колодцы — нисходящим, а артезианские — восходящим источникам.

Иногда бурение артезианских колодцев производится с совершенно противоположною целью, т.-е. не для получения воды, а для отвода ее с поверхности. Такие колодцы, которые по-



Фиг. 83.

зволяют осушать местность, называются отрицательными, или поглощающими колодцами; проведение их должно совершаться с большою осторожностью как в виду возможности загрязнения водоносных горизонтов, так и в виду случаев создания этим путем искусственных карстовых явлений (см. ниже).

Нисходящие источники. — Простейшая форма нисходящего источника является при выходе грунтовой воды на поверхность или, в так называемых, грунтовых источниках; они встречаются очень часто и преимущественно, особенно на равнинах вроде Русской, по склонам долин и оврагов, и сравнительно редко на пологих склонах каких-либо возвышенностей вне речных долин; в последнем случае выходы эти обозначаются некоторым заболачиванием и особою растительностью с преобладанием осок, которая резко выделяется среди выжженной поверхности во второй половине лета и служит надежным признаком для отыскания грунтовых источников, как это давно известно практикам. Многие ключи этого рода представляют сливные стоки протекающего под ними грунтового потока. Причина их появления в подобном случае кроется в характере поверхности и в изменении состава водоносного слоя; в проницаемой и даже в мало проницаемой почве такие ключи появляются в тех пунктах, где грунтовые воды

дают противоположные токи и, не имея свободного выхода, задерживаются и дают ответвления, выступающие на поверхность; всякий, знакомый с течением поверхностных потоков, легко может определить закрытые водяные жилы, так как оба рода потоков следуют одним и тем же законам.

При горизонтальном залегании водоносного горизонта источники вытекают одинаково по обоим склонам долины, и вода их скопляется на дне ее, образуя небольшие пруды и водостоки. При наклонном залегании пластов в изоклинальной долине источники выступают только на одном склоне, соответствующем падению пластов; вода их тоже скопляется в тальвеге, если только он не приходится на зияющем сбросе; в противном случае вода их уходит по трещине вниз; если же сброс закрытый, и водоносный горизонт упирается в водонепроницаемую толщу, то источники выходят по линии трещины (сброса) даже на ровном склоне и с некоторым напором. Такие источники составляют уже переход к восходящим, где сбросы играют большую роль, как увидим ниже. В антиклинальных долинах нисходящие источники никогда не выступают. Если источники выходят ниже почвы долины, но выше или на уровне речных вод, то они проявляются периодически в зависимости от колебания уровня в реке; иногда при понижении его, а иногда, если грунтовые воды, просачивающиеся из реки, подпирают водоносный горизонт, то при повышении его, когда источники поднимаются выше аллювиальных наносов.

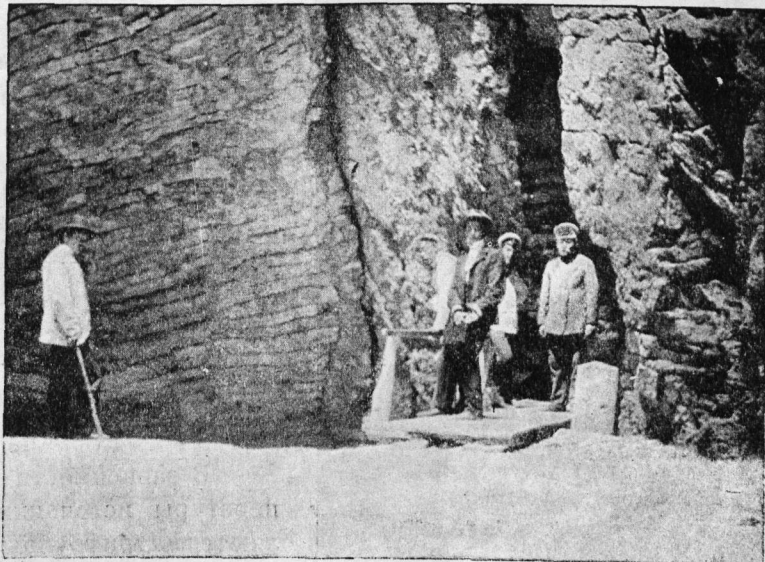
Все эти источники называются пластовыми, но если водонепроницаемое ложе изогнуто в виде котловины, из которой источники выходят, по заполнении ее, по окраинам, то они называются котловинными или переливающимися. Если же они выходят по щели или трещине, рассекающей водоносные породы, то называются трещинными, или щелевыми источниками. Все три разновидности нисходящих источников встречаются иногда совместно, питаются одним и тем же горизонтом.

Если места выходов источников прикрыты наносами, то они часто разбиваются на мелкие струйки и называются источниками осыпей. Нередко конуса выносов боковых притоков, насыщаясь поглощаемыми ими водами и фильтруя их через себя, дают начало источникам.

Некоторые нисходящие источники питаются также и надземными бассейнами, вследствие сокрытия рек и ручьев в подземных пустотах или просачивания воды из высоколежащих озер.

Восходящие источники выступают на поверхность под напором более или менее значительного столба воды в виде

естественных фонтанов, а потому их называют также бьющими источниками. Некоторые из них поднимаются под влиянием напора выделяющихся газов, которые действуют или постоянно или же только временами, производя периодические извержения; такие источники называются извергающимися или гейзерами; они отличаются высокою температурою. Восходящие источники появляются или из различных трещин отдельности, или из трещин сбросов, или в контактах пластовых пород с массивными, особенно с жильными,

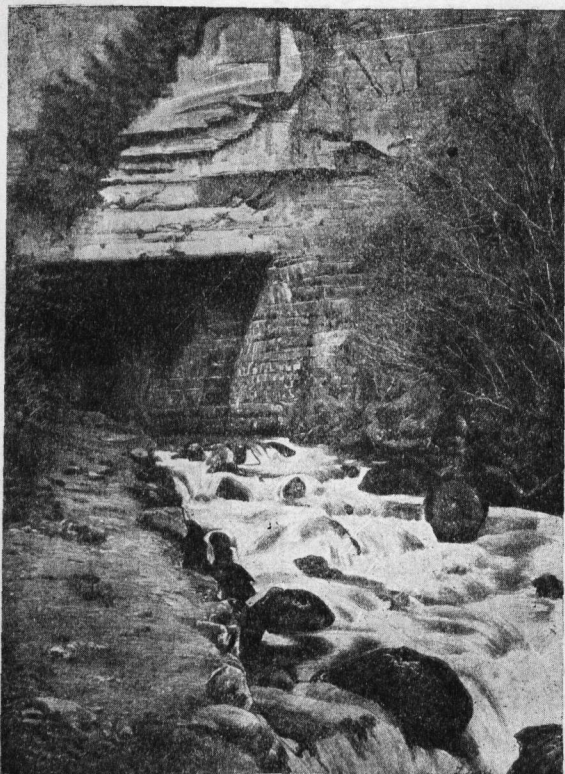


Фиг. 84. — Трещинный источник в „Большом провале“. Пятигорск.
(Фот. Д. Мушкетова).

или же, наконец, вследствие складчатого изогнутия водоносных слоев, залегающих среди водонепроницаемых, поэтому они, подобно нисходящим источникам, могут быть разделены в зависимости от условий выхода их на несколько главных типов, а именно: 1) трещинные восходящие источники, которые в отличие от нисходящих трещинных можно было бы назвать жильными, так как они представляют настоящие водяные жилы (фиг. 84); 2) сбросовые (фиг. 85); 3) контактовые восходящие источники представляют только разновидности предыдущих, при чем первые приурочиваются к трещинам сбросов, а вторые — к контактам различных пород, и 4) складковые или пластовые восходящие источники.

Качества воды источников и колодцев весьма разнообразны. Хотя многие источники дают прекрасную пресную воду, годную для

всякого употребления, но зато вода других по своим свойствам резко отличается от атмосферной. Циркулируя более или менее продолжительное время по разнообразным породам, на различной глубине, подземная вода получает особый состав, температуру и пр. и выходит на поверхность совершенно измененною. Степень этого изменения, разумеется, зависит от условий циркуляции; чем глубже она залегает,



Фиг. 85. — Сбросовый источник — выход реки по сбросовой трещине. (Гренобль, Франция).

тем выше температура ее; чем больше она соприкасается с легко растворимыми породами, тем сильнее она насыщается различными минеральными солями и пр. Все источники, дающие такую измененную воду, в зависимости от температуры и состава, называются термальными, минеральными или термо-минеральными.

Термо-минеральные источники.

В зависимости от температуры источники разделяются на три группы: 1) Нормальные, или изотермические, температура которых равна средней годовой температуре воздуха в данном месте; они залегают на небольшой глубине, обыкновенно вблизи слоя постоянной температуры.

2) Гипотермы, или гипотермические источники, температура которых ниже средней годовой температуры данного места; они берут начало в высоких холодных областях и выходят в низовьях долин; следовательно, принадлежат к нисходящим источникам и действуют большею частью только летом, например, источники в долине Иссык в Заилийском Алатау с $t + 5^{\circ}\text{C}$, при средней годовой этой местности около 12°C . 3) Термы, или гипертермические источники, температура которых выше средней годовой данного места. Термы, в противоположность гипо-

термам, выходят большею частью вблизи вулканических очагов или из большой глубины и принадлежат к восходящим источникам. Термы разделяются на местные или относительные и абсолютные. Первые имеют температуру выше средней годовой данного места, а вторые — выше максимальной средней годовой у экватора, т.е. выше $+30^{\circ}\text{C}$. Термы, не содержащие в растворе минеральных солей или содержащие очень мало, называются индифферентными; в противном случае называются минеральными или термо-минеральными источниками. Местные термы в большинстве случаев почти не отличаются от обыкновенных источников и редко имеют какое-либо специальное применение, тогда как абсолютные термы и особенно термо-минеральные источники широко применяются в медицине (бальнеотерапия, бальнеология), почему и называются также целебными или лечебными источниками. Нахождение их тесно связано, с одной стороны, с действующими и потухшими вулканами, а с другой, — с наиболее крупными тектоническими трещинами и очень мало зависит от сочетания водопроницаемых и водонепроницаемых пород.

Все вещества, появляющиеся, как таковые, впервые на поверхности земли, а не происходящие от инфильтрации с земной поверхности, называются ювенилевыми, т.е. юные, или девственные, в отличие от вадозных, поверхностных. Можно говорить об ювенилевой угольной кислоте, сернистом газе и т.д. и об ювенилевой воде.

С геологической точки зрения выделяются следующие группы источников:

1. Обыкновенные питьевые воды, вадозного происхождения.
2. Вадозные источники температуры равной средней годовой места и минерализации в зависимости от местного геологического состава.
3. Вадозной циркуляции горячие источники, с значительной разницей высот между областью питания и местами выхода источников — грифонами; обыкновенно слабой минерализации индифферентные воды.
4. Ювенилевые источники различной температуры — от средней годовой места до точки кипения, и различной минерализации.
5. Кипящие источники, гейзеры — составляют переход к вулканам в состоянии спокойной периодической деятельности (стромболеобразной).

Наконец, следует упомянуть о радиоактивности источников, под которой понимают содержание в воде радиоактивных веществ, испускающих потоки материальных веществ, ионизируя воздух. Для изображения степени радиоактивности ее измеряют силою тока, проходящего от рассеивателя через ионизированный воздух. Сила эта

выражается в электростатических единицах, умноженных на 1.000; такая единица Махе обозначается $i \times 10^3$ и относится к 1 литру жидкости.

При эксплуатации минеральных источников приходится, учитывая все геологические данные о их происхождении, устанавливать те или иные округа охраны, в порядке особых горно-санитарных правил. Важным вопросом является и правильный выбор каптажа; каптировать источник значит произвести над ним ряд работ, результаты которых дали бы нам возможность наиболее целесообразно использовать все известные и полезные нам природные индивидуальные особенности и свойства его.

Осадки, отлагаемые источниками.

Минеральные источники, насыщаясь солями на счет растворения и выщелачивания горных пород, с одной стороны, производят в коре



Фиг. 86. — Терраса травертина — отложение минерального источника. Долина Терека. Кавказ. (Фот. П. Двойченко).

земной разнообразны пустоты: от самых маленьких до громадных пещер, а с другой, — переносят растворенные вещества и при благоприятных условиях снова отлагают их, образуя совершенно своеобразные осадки, которые называют туфами; относительные количества материальных веществ, отлагаемых источниками, находятся в прямом отношении к степени их растворимости и участия в составе минеральных источников.

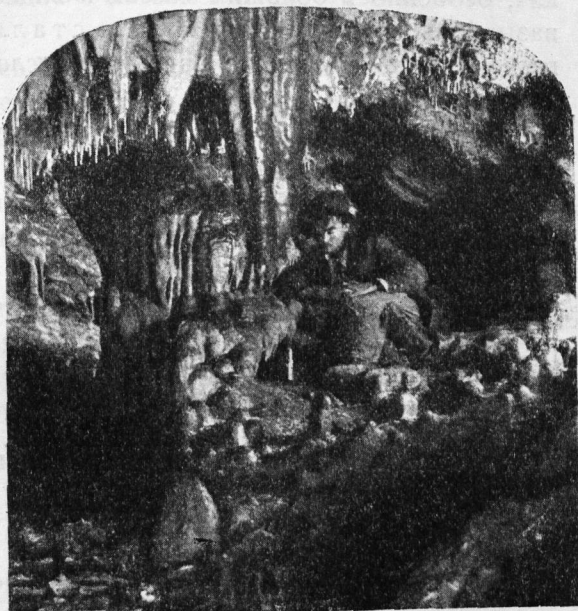
Из всех минеральных веществ, выносимых ключами на поверхность земли, самая важная в экономическом отношении — поваренная соль. Она легче всех других тел растворяется в воде, и потому все ключи, проходящие по соляным слоям, насыщаются ею. По этой причине все сколько-нибудь значительные соленые источники более или менее эксплуатируются промышленниками. Массу соли, которая извергается ежедневно вместе с водою из глубины, считают тысячами тонн.

Особенно большие отложения образуют известковые и кремнистые источники. Углекислый кальций находится почти во всех источниках в разных пропорциях. Уже небольшое количество его делает воду жесткою, вредною для питья. Но многие источники содержат такое обилие углекислого кальция, что осаждением его быстро образуют целые горы; осадки эти называются туфом, или травертином (фиг. 86).

Кремнеземистые источники, или гейзеры, принадлежат к самым замечательным по своим свойствам и массе отлагаемого кремнезема в виде кремнистого туфа, или гейзерита, иногда вместе с опалом.

Кроме известковых туфов с арагонитом, стронцианитом, баритом и пр., кремнистых туфов, или гейзеритов, с опалом, источники отлагают большие массы бурого железняка, имеющего весьма важное практическое значение.

Все описанные ключевые осадки принадлежат к внешним, отлагающимся на поверхности земли; но кроме того существуют еще внутренние, образующиеся внутри земной коры, где они заполняют разнообразные пустоты и представляют большую сложность по составу и структуре. Минеральные источники представляют собою как бы подвижные минеральные жилы, так как в тех и других находятся почти одни и те же химические соединения с тою только раз-



Фиг. 87. — Сталактиты и сталагмиты в пещере Орегон. (С. Америка).

ницею, что количество элементов в источниках будет несколько больше, чем в жилах, потому что жильные породы представляют выделения более устойчивых или менее растворимых соединений, тогда как все легко растворимые уносятся водой, например, щелочи, преобладающие в источниках, почти не встречаются в жилах. Минеральные воды, действуя на горные породы, производят сложные химические процессы, результатом которых являются различные новообразования, замещающие прежние породы или заполняющие пустоты в них.

Подобные же образования наблюдаются в пещерах и старых рудниках, особенно в больших массах в виде облеплений, натечков или, так называемых, сталактитов и сталагмитов (фиг. 87), состоящих из углекислого кальция с окислами железа, а также гипса и некоторых руд.

Подробнее все эти вопросы рассматриваются в руководствах по рудным месторождениям.

В заключение следует упомянуть еще о дендритах, образующихся при тех же процессах отложения растворенных в подземных водах веществ (окислов Fe и Mn), но на плоскостях напластования отдельностей различных горных пород, лучше же всего на светлых (литографских) сланцах, дающих фигуры, похожие на растения.

Размывающая деятельность подземных вод.

Карстовые явления. Пещеры.

На месте вынесенных на поверхность веществ должны образоваться громадные пустоты внутри земной коры, которые дают начало происхождению пещер.

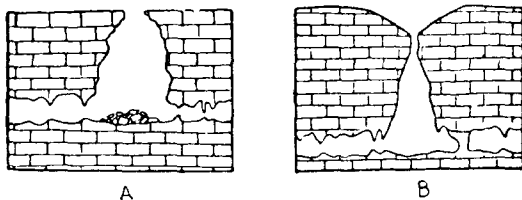
Пещерами называются более или менее обширные пространства внутри земной коры, совершенно пустые или же заполненные отчасти водой, известковым туфом и механическими наносами с различными палеонтологическими остатками. Пещеры издавна привлекали к себе внимание людей. Первобытный, доисторический человек, подобно некоторым животным, пользовался ими, как жилищами, где он располагался со всем своим скарбом. В позднейшие времена таинственность пещер, возбуждая фантазию, порождала почти у всех народов поэтические легенды о них и их обитателях: то о фавнах и силенах, то о драконах и феях, то о коварных и богатых гномах-кобольтах, то, наконец, о злом и грозном Змее-Горыныче. В наше время пещеры представляют громадный научный интерес, с одной стороны, как видные

результаты мощной деятельности подземной воды, с другой — как места, где происходят интересные физические явления, и с третьей — как богатые сокровищницы остатков доисторического человека и окружавшего его мира.

Подземная вода своею деятельностью изменяет до некоторой степени рельеф поверхности на небольших, впрочем, пространствах. С одной стороны, источники, отлагая осадки, нагромождают целые горы, которые уже выше рассмотрены; с другой стороны, выщелачивая породы, подземная вода образует частные понижения или опускания почвы, например, провалы, оползни, обвалы и пр., следствием чего изменяется до некоторой степени не только рельеф, но даже характер залегания пород.

Провалы стоят в тесной связи с пещерами. Где пещеры свободны от каких-либо осадков и особенно от известковых натеков, там стены все более и более разрушаются проточной водой и размеры их увеличиваются. Расширение пещер продолжается постепенно до тех пор, пока потолок не перестанет выдерживать груза лежащих на нем пород и не провалится вместе с ними (фиг. 88).

Если обвал происходит близко от поверхности, то на ней образуются разнообразные углубления, носящие у нас название провалов земляных воронок (фиг. 88).



Фиг. 88. — Образование воронок и провалов: в *А* — обвалом кровли пещеры; в *В* — растворением при карстовом процессе.

Карстовые явления, связанные с распространением на поверхности или на незначительной глубине пород, легко растворимых и проницаемых водою, не имеют широкого, регионального развития в отличие от других форм поверхности, обуславливаемых, например, климатическими причинами. Карстовые процессы, по преимуществу связанные с гипсом, каменной солью и известняками, не ограничены, однако, только распространением этих пород; в Туркестане наблюдаются весьма интересные формы даже глинистого карста, проявление которого вызвано мергелями и гипсоносными глинами.

Основой карстового процесса служит размывающая и растворяющая деятельность воды. Вода, просачивающаяся повсюду равномерно в рыхлых проницаемых породах, среди пород твердых устремляется в определенные места по трещинам или в поверхностные углубления. Если этот процесс происходит среди пород, растворимых и трещиноватых, как известняк и доломит или гипс, вода просачивается книзу

по трещинам, а с поверхности края такого углубления или первоначаль-



Фиг. 89. Карстовое озеро на Яйле. (Крым).

ной трещины постепенно расширяются, и возникает воронкообразная форма углубления, которую в южных славянских землях отмечают названием „доллина“. Вода, собирающаяся по трещинам, на своем пути расширяет, разрушая механически и химически, стены и дно своего ложа; если количество воды, принимающей такое подземное течение, значи-

тельно, как в случае, так называемых, катавотр. понор и т. п. то могут возникнуть глубокие и узкие пропасти, имеющие вид естественных колодцев или шахт. С течением времени от разрушения стенок такие вертикальные углубления преобразуются также в воронки (фиг. 89). Первоначальные трещины, по которым продолжается подземная циркуляция воды, расширяются в пещеры, принимающие вертикальное, горизонтальное или более или менее наклонное положение в зависимости от направления трещин.

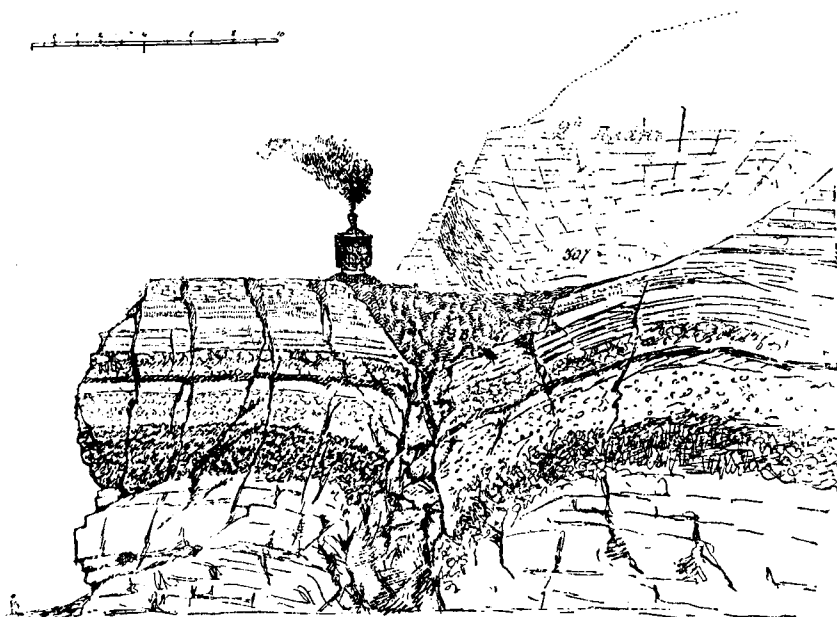
Такие пещеры постепенно расширяются не только от деятельности циркулирующей в них воды, но также от обрушения их по-



Фиг. 90.—Карстовый источник в известняке. Абшир-Фончань. (Фот. Д. Мушкетова).

толка и стен, и наконец, весь свод пещеры может обрушиться от действия тяжести или землетрясения, или может открыться при посте-

пенном размыве сверху, и на поверхности земли образуется снова воронкообразное углубление. Постоянное удаление вещества вдоль некоторой полосы, соответствующей самому обильному току подземных вод, должно иметь своим результатом оседание по этой полосе вышележащих толщ и образование некоторой пологой ложбины среди местности, представлявшей первоначально ровную поверхность; такие ложбины иногда определяют ход поверхностной эрозии (фиг. 91). Многие долины являются таким образом продуктом совместной работы поверх-



Фиг. 91. — Карстовая воронка — провал над гипсами. Уфимская ж. д.

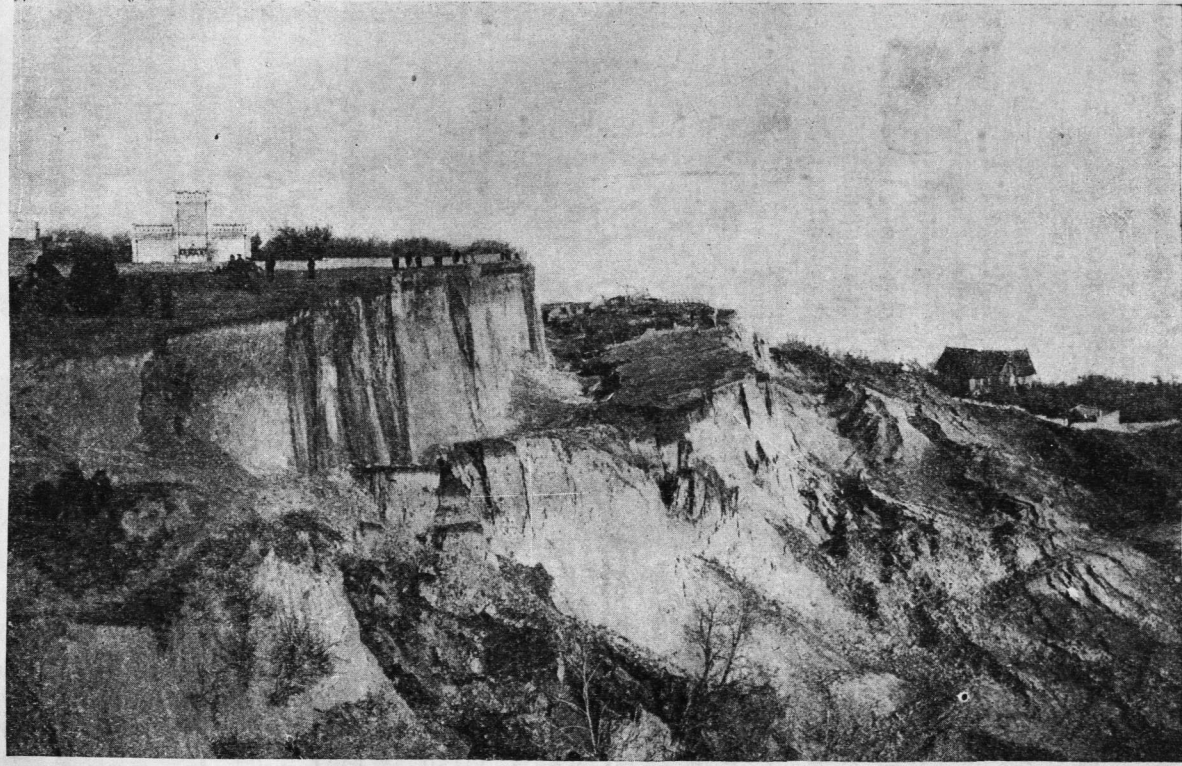
ностных и подземных вод. Для этого процесса предложено название суффозия (подкапывание). Понижение рельефа, вызываемого суффозией, представляет нередкое явление в пределах русской равнины и может удачно использоваться при поисках надежных пунктов для заложения колодцев и буровых скважин.

Карстовые области отличаются безводием и пустынностью, стоящей в зависимости от трудного восстановления растительности, прежде покрывавшей эти области густыми лесами. Термин „Verkarstung“, закарстование, среди австрийских лесничих служит синонимом бесплодия и безлесия.

Наиболее характерным отличием подземных карстовых потоков от поверхностных является то, что первые в своем движении подчиняются закону сообщающихся сосудов, а вторые лишь закону силы тяжести. При прочих равных условиях, развитие карстового процесса зависит, главным образом, от глубины залегания грунтовых вод.

Оползни и обвалы.

Оползнем называют такое явление, когда часть пластов породы отрывается, не опрокидываясь, и сравнительно спокойно сползает вниз по склону к подошве горы (фиг. 92).



Фиг. 92. — Оползень у г. Одессы.

Обвал отличается от оползня тем, что оторвавшаяся масса породы не сползает по склону, а, опрокидываясь, быстро низвергается

к подошве. В горах обвалы часто обуславливаются совместным действием выветривания, землетрясений и размыва. Но в большинстве случаев это явление зависит от размывающей деятельности подземной воды.

Разнообразные обвалы и оползни группируются в следующие категории: 1) Оползни осыпей, 2) Оползни скал, 3) Обвалы осыпей, 4) Обвалы скал, 5) Смешанные обвалы, происходящие от подмыва берегов рекою или морем, т.-е. от внешнего размытия.

При каждом обвале различают следующие части: во-первых, область отделения от основной породы, во-вторых, путь обвала и, в-третьих, площадь отложения оторвавшихся обломков.

Величайший обвал, происшедший в историческую эпоху, — Усойский образовался (вследствие землетрясения) на памирской р. Бартанг в ночь с 5-го на 6-е февраля 1911 г. и сместил массу в шесть миллиардов тонн.

Деятельность проточной воды.

Проточные воды на земной поверхности питаются прежде всего тою частью атмосферных осадков, которая не успела испариться или проникнуть внутрь земной коры, кроме того — водою, происходящею от таяния снега и льда, и, наконец, источниками, выходящими на дневную поверхность после подземной циркуляции. Получая питание на значительной площади, проточные воды появляются сначала в виде бесчисленного множества мелких ручейков, которые, в силу закона тяжести, стремятся из высоколежащих мест в самые низкие. Мелкие ручейки, постепенно соединяясь между собою, образуют небольшие потоки, или речки, а последние, следуя тому же закону, составляют большие потоки или реки. Главная река со всеми составляющими ее притоками называется речной системой, а площадь, занимаемая ею, речным бассейном. Реки, стремясь в самые низменные части земной поверхности, достигают моря или безысточного материкового озера, или же теряются в рыхлой почве, например, в песках, что и дало повод разделить реки на океанические и континентальные. Таким образом, из множества отдельных потоков, в конце концов, получается сравнительно небольшое число главных водяных жил, при посредстве которых атмосферные воды снова возвращаются в свой первоначальный питомник, т.-е. в океан.

Реки, питаясь, главным образом, атмосферою, могут быть рассматриваемы, как продукт климата. При других равных условиях страна будет тем богаче текучими водами, чем обильнее в ней осадки, чем

менее испарение и просачивание в почву, а следовательно, наоборот, в странах мало исследованных, по количеству, величине рек и по периодичности их разлива можно судить о количестве осадков и времени их выпадания, если только реки не питаются таянием снега и льда. В силу такой связи некоторые метеорологи разделяют реки на несколько главных групп в зависимости от климата.

А. Реки получают воду от таяния снега на равнинах и на невысоких горах, до 1.000 м. В чистом виде этот тип не существует, и приближение к нему представляют реки Северной Сибири и Америки.

Б. Реки получают воду от таяния снега в горах; также в чистом виде находятся редко; лучше всего они проявляются в Азии, например, рр. Сыр-дарья, Аму-дарья, Тарим, Верхний Инд и др.

В. Реки, получающие воду от дождей и имеющие половодье в летнее время. Сюда принадлежат реки в странах с тропическими дождями муссонов, например, Ориноко, отчасти Амазонка, Нил, Ганг, Брахмапутра, Голубая река, Амур и др.

Г. Реки, имеющие половодье вследствие таяния снега весной или в начале лета, при чем, однако, значительная часть вод рекам доставляется дождями. Этот тип стран с суровой и с снежной зимой, например, сюда принадлежат Северная и Западная Сибирь, вся европейская часть СССР, Скандинавия, Восточная Германия, северная часть Соединенных Штатов. В этой полосе находится много озер, которые влияют на характер рек. В южном полушарии этот тип не встречается.

Д. Вода доставляется дождями; она выше в холодные месяцы года, но правильное периодическое изменение невелико. Этот тип преобладает в Средней и Западной Европе, например, Везер, Масс, Шельда, Сена, часть Луары, Эльбы, Рейна.

Е. Вода доставляется дождями; она выше в холодное время года, чем летом и разница значительна. Этот тип преобладает в Южной Европе, частью Средней Азии, Персии, Сирии, в Северной Африке, Калифорнии, Западной Австралии.

Ж. Периодически существующие реки или полное их отсутствие в сухих странах с ничтожным количеством атмосферных осадков.

З. Реки заменяются ледниками с их подледниковыми водотоками.

Работа текучей воды хотя и основана на весьма простых законах, но результаты ее весьма разнообразны и зависят от весьма сложных условий, кроющихся как в характере самих потоков, так и в геологическом составе местности и, наконец, в изменениях, которым с течением времени подвергаются те и другие.

В геологическом отношении деятельность проточной воды имеет громадное значение, потому что она обуславливает не только окончательную моделировку рельефа поверхности, но и перемещение громадных масс минерального материала. Если деятельность подземной воды, как мы видели, выражается, главным образом, в химических изменениях пород, то проточные воды на поверхности преимущественно производят механические разрушения; химическое влияние их несравненно меньше механического, которое отличается и силою, и разнообразием.

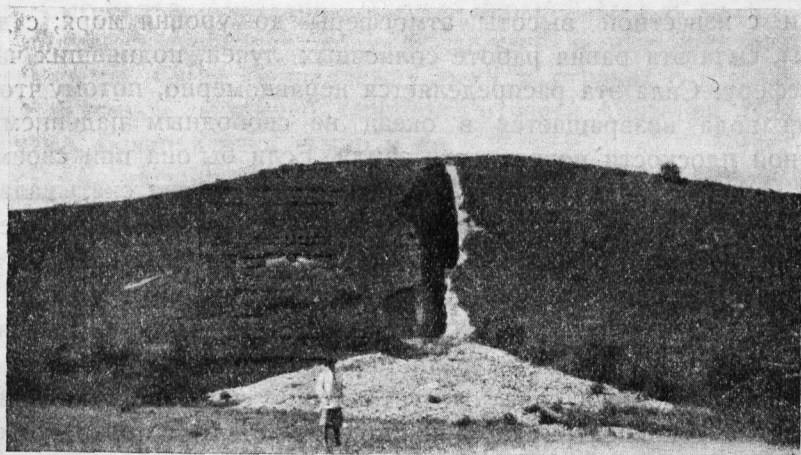
Каждая частица текучей воды, упавшая из атмосферы на поверхность земли, обладает потенциальною силою, которая теоретически эквивалентна работе, производимой этою частицею при свободном падении с известной высоты атмосферы до уровня моря; с другой стороны, сила эта равна работе солнечных лучей, поднявших частицу в атмосферу. Сила эта распределяется неравномерно, потому что атмосферная вода возвращается в океан не свободным падением, а по наклонной плоскости поверхности земли. Если бы она при своем течении не преодолевала никакого сопротивления, то она скатывалась бы равномерно - ускорительно, даже в тех случаях, если бы наклон не изменялся на весьма большом протяжении; но так как она встречает разнообразные сопротивления, на преодоление которых должна затрачивать известную работу, в различных местах разную, в зависимости от падения, то она движется равномерно. При переходе через отвесную стену или обрыв, она следует закону свободного падения тел, и вся работа ее концентрируется при подошве стены; в противном случае работа эта распределяется на большем или меньшем пространстве: в каждом данном месте проточная вода обладает механическою силою, пропорциональною ее массе и квадрату скорости. Если сопротивление встречающихся на пути твердых тел будет меньше ее силы, то тела эти приводятся в движение и уносятся проточной водой до тех пунктов, где уменьшение падения ослабит механическую силу проточной воды; там твердые частицы, сопротивление которых превысит уменьшенную силу воды, осадут на дно; где падение проточной воды, а следовательно, и движение ее, равно нулю, там будут оседать все захваченные на пути твердые частицы, хотя с различною быстротою.

Проточная вода, захватывая твердые частицы, разумеется, затрачивает на перенесение их с одного места на другое некоторую работу и тем самым ослабляет свою силу, но вместе с тем захваченные твердые частицы увеличивают ее разрушительную силу, так как при посредстве их текучая вода может оказывать несравненно большее истирающее влияние на породы; это легко понять из сравнения напора на берега волн чистой воды, или воды с плавающими льди-

нами, или даже деревьями; во втором случае разрушительное действие напора будет несравненно сильнее. При посредстве твердых частиц, как удельно тяжелейших, текучая вода истирает и даже шлифует самые плотные породы и образует еще более оригинальные скалы, нежели, как мы видели, истирающая сила ветра.

Из этого видно, что механическая работа воды весьма разнообразна и может быть подразделена на четыре категории.

1) Разрушение прямым действием текучей воды; например, это отчетливо наблюдается при выпадении каждого дождя на рыхлую почву или в быстрых горных потоках, которые отрывают большие глыбы твердых пород и образуют в них большие или меньшие рытвины.



Фиг. 93. — Недавно возникшая промоина и вынесенный из нее рыхлый материал, отложенный в виде плоского конуса. Пример сильного размывания и отложения с ничтожным расстоянием переноса. Фергана. (Фот. Д. Мушкетова).

2) Перенос разрыхленного материала в виде химически связанных или механически примешанных к текучей воде твердых частиц.

3) Обтачивание и шлифование твердыми частицами дна и боков русла. Оно, кроме того, доставляет воде новый материал для переноса.

4) Отложение унесенных твердых частиц в других местах, более или менее удаленных от места размыва.

Первоначально первый и третий род деятельности воды часто различали и обозначали общим термином *размывания*, или *эрозии*.

Совокупность трех нераздельных стадий — разрушения, переноса и обтачивания, как одного общего процесса, называют *денудацией*.

Смывание.

Процесс смывания зависит прежде всего от количества осадков в данной стране; чем менее осадков, тем смывание менее способствует перемещению рыхлого материала, тем круче могут быть склоны, на которых рыхлый материал продолжает еще оставаться в покое. Наиболее крутые склоны можно наблюдать, следовательно, в пустынях. Естественно, что на смывание оказывает влияние и распределение осадков; чем значительнее масса воды, выпадающая за один раз, тем резче должно проявляться смывание; так, на южной стороне Альп, отличающейся более сильными дождями, смывание сильнее, чем на северной. Также в странах с более значительным рельефом смывание обнаруживается интенсивнее, чем в слабо волнистых странах. Где замечается сильное таяние снегов, там всегда сильнее и смывание; следовательно, времена таяния снега сопровождаются и усилением смывания,—в высоких горах—летом, на низменностях—весною.

Если через P обозначим количество осадков, выпавших на поверхность, а через D количество воды, стекающее рекой, то отношение $D/P = q \times 100$ (т.-е. выраженное в %) называется коэффициентом или фактором стока и в среднем равняется для рек средней Европы 25—27; для Днепра у Киева — 27,3. Эта величина непостоянна, уменьшаясь в сухие и увеличиваясь во влажные года; колебания эти особенно велики в районах, сложенных водонепроницаемыми породами. Для Европы имеются следующие колебания фактора стока:

Количество осадков.	Фактор стока.
400 — 500 м.м	20
500 — 600 „	30
700 — 800 „	40
1000 — 1100 „	68

В зависимости же от времен года, фактор стока:

	Зима.	Весна.	Лето.	Осень.	Год.
В горах Средней Германии . . .	44,4	49,6	13,8	22,7	28,3
На северных склонах Альп . . .	54,4	76,0	42,8	51,9	53,3
Верхний Днепр	28,5	76,2	11,2	11,9	27,3

Горные породы водонепроницаемые должны подвергаться действию смывания сильнее, чем водопроницаемые, легко поглощающие воду. Глинистые породы и массивно-кристаллические сильнее подвергаются смыванию, чем песчаники и известняки, жадно поглощающие воду, выпадающую на их поверхность. Глинистые породы, вовсе не пропускающие воды, теряют при явлении смывания не только часть своей выветрелой, поверхности, но и сами разрушаются дей-

ствием стекающей воды и тем сильнее, чем мягче порода. Растворимые породы относятся к смыванию иначе, чем нерастворимые. Глинистые и иловатые породы при продолжительном выпадении дождя насыщаются водой, превращаются нередко в полужидкую массу и благоприятствуют оползням, давая иногда оплывины.

Растительность в значительной степени предохраняет поверхность земли от смывания, скрепляя рыхлую землю своими корнями, а при сплошном покрове — препятствуя стоку воды и замедляя его. Земля медленно насыщается водою, например, в лесах и на тундрах, и смывания почти не происходит. Временный растительный покров, как травянистый в степях или на пашнях, такого предохранительного влияния уже не оказывает.

Размывание.

На равномерно наклонной поверхности в тончайшем и однородном материале выпадающая дождевая вода распределяется по рывтинам, тесно расположенным, параллельным друг другу и постепенно углубляющимся книзу. Например, на плоских морских берегах, сложенных из однородных рыхлых наносов, расположение рывтин отличается замечательной правильностью; то же в большом виде наблюдается в расположении рывтин, расходящихся лучеобразно от вершины к подошве по склонам некоторых вулканов. Всякая неравномерность в сложении пород, в уклоне склонов или даже в распределении осадков вызывает ту или другую неправильность в характере и распределении дождевых борозд или рывтин. Чем больше препятствий размыванию, тем запутаннее и сложнее распределение и преобразование рывтинок в горизонтальной проекции. Вместе с тем рывтинки изменяют свой вид и в вертикальной проекции. Каждый поток разделяется на несколько частей:

- 1) самая верхняя часть — сборный бассейн, состоящий из множества рывтинок;
- 2) область наибольшего падения, в которой происходит наисильнейшее размытие;
- 3) часть, залегающая между высокими склонами; в ней не происходит ни размывания, ни осаднения. Последнюю часть называют областью стока; этой области иногда совсем нет, но вообще она тем длиннее, чем уклон меньше;
- 4) часть перед выходом долины из гор, в которой осаждаются только крупные осадки;
- 5) область осаднения по выходе из гор. Разумеется, эта часть отсутствует, если потоки начинаются у подошвы склона гор и выносят с собою размытый материал.

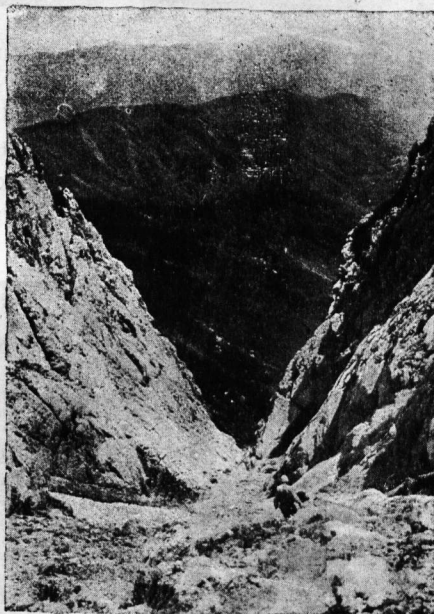
Окончательный профиль долины размыва представляет всегда определенную правильную кривую, а не ломаную линию; отдельные части долины сходятся под углом только тогда, когда еще долина не совершенно сформирована.

Хотя вертикальный размыв образует в сущности рытвину, ширину равною ширине русла, но особенно такая форма долины сохраняется временно и только в некоторых частях ее, потому что атмосферные агенты тотчас преобразовывают склон и придают поперечному разрезу долины размыва форму V (фиг. 94). В области отложения, напротив, вода расширяет бока долины, и поперечный разрез ее представляет форму трапеции. В области питания, наконец, долина получает иногда форму полуворонки или даже более, чем полуворонки.

Процесс размытия в самом чистом виде наблюдается в плоскохолмистых местностях, состоящих из однородных и рыхлых пород, но с теми или другими вариациями; находится на каждом горном склоне. Повсюду можно видеть размытие и отступление к сборному бассейну, углубление рытин, образование воронок, возвышение и перемещение отложений в нижней части потоков.

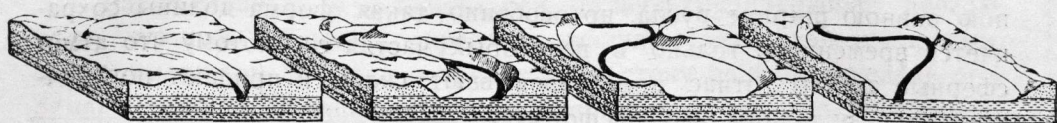
Удлинение потока при помощи размытия происходит отступанием сборного бассейна вверх и успешность этого зависит от крутизны склонов, от количества воды и от интенсивности углубления русла ниже пункта соединения потоков в один главный.

Положение всякой речной системы определяется силой и продолжительностью деятельности рек и суммой препятствий, которые реки должны преодолевать. Одними из таких препятствий являются, как увидим дальше, тектонические причины, которые могут вызвать относительное перемещение отдельных частей речной системы. Различные результаты могут быть получены в зависимости от того, сильнее ли такие перемещения или работа размывания рек. Так как каждое поднятие в пределах речной системы увеличивает падение части реки ниже, то теоретически каждая река в конце концов может пересечь



Фиг. 94. — Характерный эрозионный V-образный профиль ущелья. Фергана.
(Фот. Д. Мушкетова).

всякое вновь возникающее поднятие в пределах речной системы; следовательно, водоразделы всякой речной системы не могут быть подняты выше известного предела как абсолютной, так и относительной высоты, неодинаковой для различных стран в зависимости от распределения сил денудационных и дислокационных, но более значительной



Фиг. 95. — Четыре стадии образования широкой речной долины боковой эрозией.

в странах сухих, чем влажных, — в областях дислоцированных, чем в устойчивых. Области наибольшей дислокации, как наиболее приподнятые, в то же время подвержены и наиболее энергичному размыванию: наибольшие высоты горных хребтов определяют абсолютный

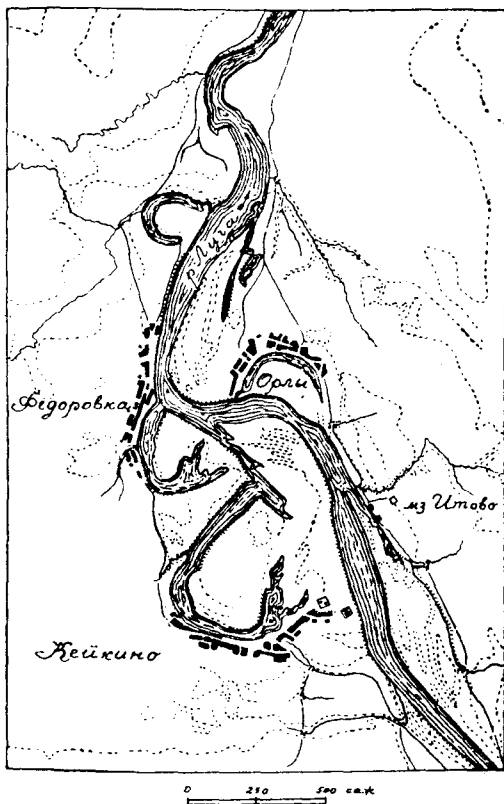


Фиг. 96. — Речные излучины — меандры. (Фот. с аэроплана).

верхний денудационный уровень, выше которого не может подниматься ни одна вершина.

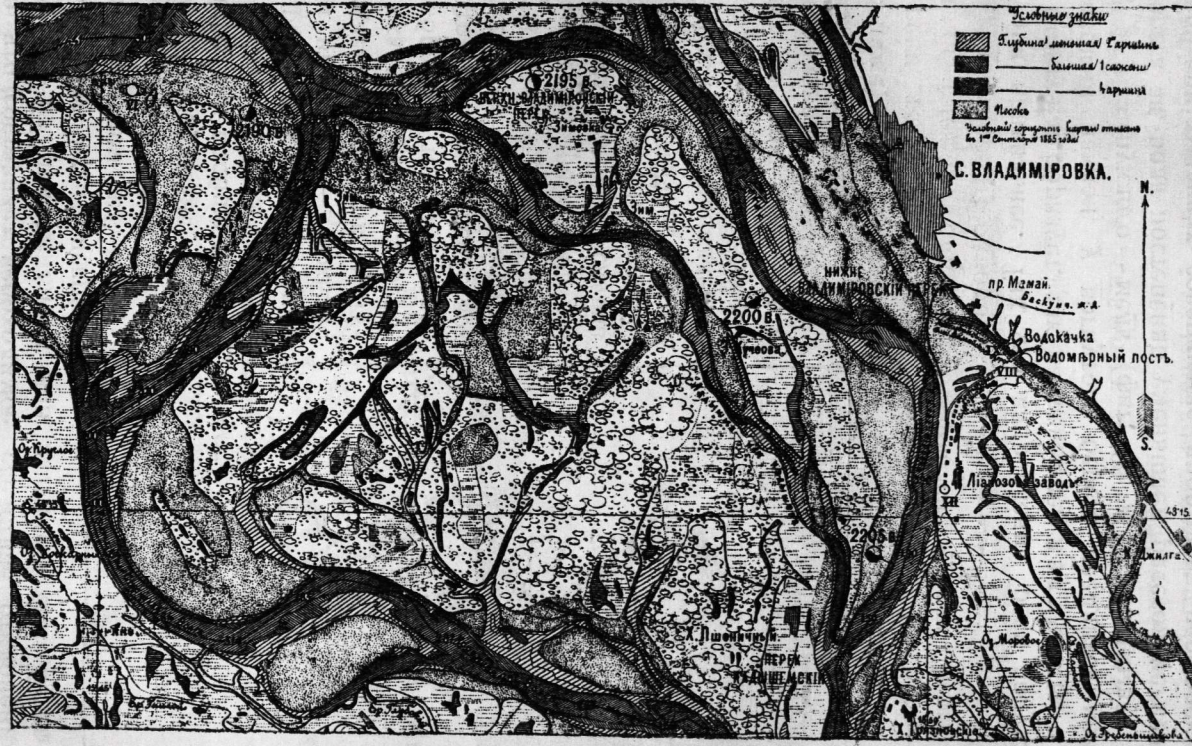
Для всякой реки место впадения ее в другую составляет базис эрозии, спуститься ниже которого она не может; конечным эрозионным базисом всякой системы и всех рек является уровень океана. Всякое изменение этого уровня отражается раньше или позже на всей системе и на водоразделе.

Расширение долины, или боковое размывание, может зависеть не только от состояния продольной профили реки, но также и от неодинакового распределения силы потока на обеих сторонах его русла, что составляет необходимое следствие отклонения направления потока от прямой линии или изогнутости его. Тогда течение вблизи вогнутого берега несравненно сильнее, чем на выступающем или на выпуклом, а следовательно, разрушение пород и истирание или вообще размывание на вогнутом берегу будет сильнее, равно как и углубление русла; на выпуклом — движение воды медленное или при выступающих скалах образуется отраженное, обратное течение, водоворот, который будет способствовать накоплению или отложению осадков. В бурных горных потоках механическая работа на вогнутых берегах особенно сильна и обуславливает происхождение глубоких омутов. Главная размывающая роль здесь принадлежит водоворотам, могущим образоваться как с вертикальной, так и с горизонтальной осью и обуславливающим вытачивание котлов (см. ниже). Чем медленнее течение реки, тем больше будет препятствий, следовательно, и изгибов, а чем породы однороднее, тем они правильнее. Так что направление реки получает змеевидную форму или образует, так называемые, излучины, а русло — неравномерный наклон; у вогнутого берега находится наибольшая глубина, а у выпуклого — мель (фиг. 95 и 96). Подмывая вогнутые части берега *aa*, вода постепенно уменьшает расстояние между ними и, наконец, при разливах совершенно прорывает перешеек, образуя остров среди двух рукавов реки, и вместе с тем выпрямляет свое русло. По новому пути, как по кратчайшему, вода устремляется с большею силою, а старое русло постепенно замирает, оживляясь только во время половодья, и образует слепой рукав, называемый ста-



Фиг. 97.—Старица р. Луги, в области развития сапропелитовой толщи. (По рис. Геккера).

рицею (фиг. 97 и 99). Так как течение в старице медленнее, то в пункте отделения ее от реки нередко накапливаются осадки, приносимые рекою,

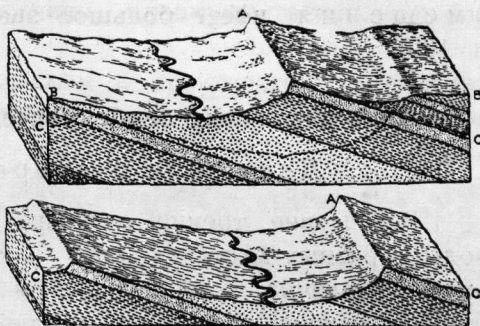


Фиг. 98. — Старицы и блуждающие излучины р. Волги у Владимировки.

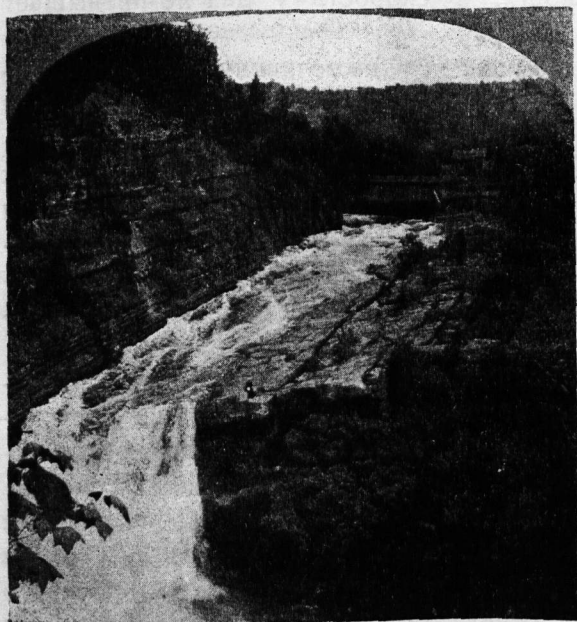
которые слагают плотину, совершенно отгораживающую старицу от реки. Не получая питания или получая его только в ничтожных размерах и временно (в половодье), старицы превращаются в речные

озера. Подобные явления наблюдаются на каждом шагу в реках низменностей, протекающих медленно по рыхлым почвам.

Если река начинает углублять свое русло, и развиваются высокие берега, то излучины теряют свою подвижность и закрепляются в относительно неизменном положении. Такие излучины называются глубокими в отличие от блуждающих. При углублении русла, вогнутый берег подмывается сильнее, чем выпуклый, и русло прижимается к пер-



Фиг. 99. — Боковое перемещение долины и водораздела, образованного твердым пластом А, в условиях моноклиальной свиты с перемежаемостью мягких и твердых горизонтов.



Фиг. 100. — Типичная асимметрическая моноклиальная долина в пологопадающей осадочной свите; река, скатываясь по одному пласту, все более подмывает правый берег, обуславливая этим его крутизну, тогда как уклон левого соответствует углу падения свиты; размыв твердого пласта ложа потока вызывает резкое падение его — водопад. Каатерскиль, штат Нью-Йорк, Сев. Америка.

вому; вследствие этого углубление русла происходит несколько наклонно в сторону вогнутого берега, а не отвесно, и выпуклый берег принимает значительно меньшую крутизну чем, вогнутый. При развитии таких глубоких излучин одновременно происходит как размывание в глубину, так и боковое; это явление возникает повсюду, где эрозионная сила реки не может расходоваться целиком только на размывание в глубину. Подобные условия осуществляются, например, если река протекает по простиранию пологопадающих пластов неодинакового сопротивления размыванию; если слабые слои составляют висячий бок твердых, то река, отклоняясь в сто-

рону слабых слоев, в то же время скользит книзу по поверхности

твердых слоев. Это явление бокового (моноклиального) смещения имеет большое значение в горных областях (фиг. 99 и 100).

Влияние различных особенностей потоков и рек на размывание.

Движение и скорость воды в реках.

Вследствие трения о стенки и дно русла, скорость движения воды в разных местах одного и того же поперечного разреза реки будет различна; вообще вблизи берегов и дна скорость гораздо меньше, нежели в середине; в глубоких частях больше, нежели в мелких. Наименьшая скорость находится вблизи дна, наибольшая—на некоторой глубине от поверхности над самой глубокой ложбиной реки, так называемым, тальвегом. Обыкновенно полагают, что средняя скорость реки составляет, по крайней мере для больших рек, $\frac{4}{5}$ наибольшей скорости у поверхности, а скорость у дна не превышает половины средней скорости.

Средняя скорость воды, помноженная на величину площади поперечного сечения, определяет массу воды, проходящей в секунду, или расход воды.

Если определить на последовательных поперечных профилях места наибольшей скорости воды на поверхности и соединить эти потоки, то получим, так называемый, стержень. Если река изгибается, то изгибается и стержень, но еще круче, приближаясь к вогнутому и удаляясь от выпуклого берега. Скорость течения на поворотах значительно больше, чем на прямых участках.

Движение воды не прямолинейное, а непостоянное, или вращательное. Кроме поступательных водоворотов, замечаются еще постоянные, вызываемые неровностями русла, которые обуславливают постоянные встречные течения.

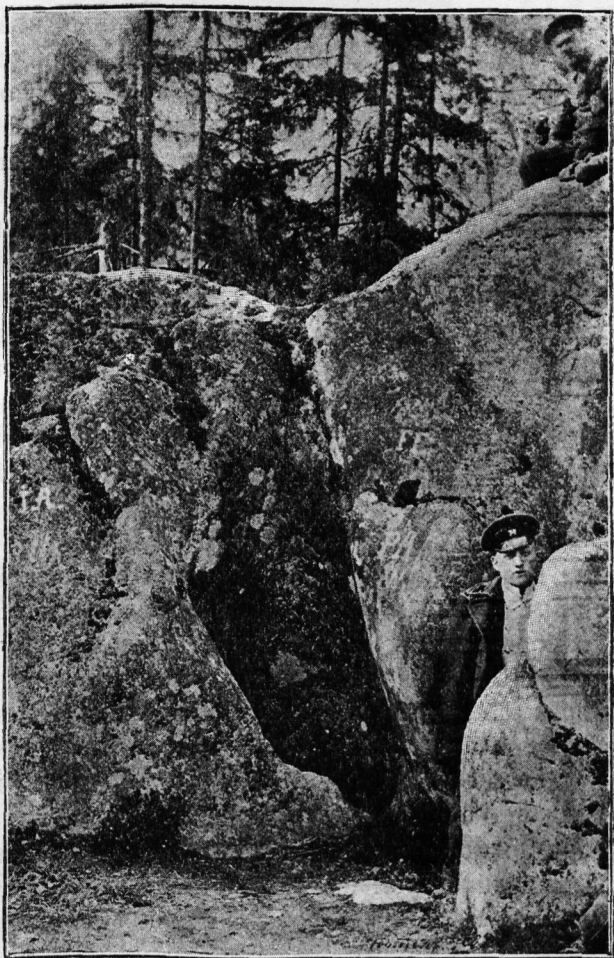
Проточная вода перемещает материал тремя способами: перетаскиванием и перекачиванием по дну реки в взвешенном состоянии и в растворенном. Первого рода материалы представляют речные гальки и щебень, второго — ил и часть песок, третьего — растворенные соли.

Перенос галек и щебня происходит, главным образом, посредством перекачивания; перетаскивание происходит реже. Перекачивание совершается или отдельными гальками, или целой массой их. В последнем случае, обыкновенно только в половодье горных рек, по дну реки катится настоящий поток галек, производящий особый шум при непрестанном ударе камней друг о друга. Обыкновенно более тонкий песчаный материал перемещается подобно галькам, но во время

половодья он взбалтывается и переносится неравномерно целыми „облаками“ в взвешенном состоянии, преимущественно по близости дна.

Много интересных в теоретическом и практическом отношении вопросов связано с изучением процесса обтачивания и шлифования как русла, так и самого переносимого материала, валунов и галек, в зависимости от силы течения и материала. Помимо постепенного округления галек, в зависимости от пройденного ими пути, уменьшается и общая их величина. Взаимный удар валунов и галек оставляет на них своеобразные шрамы, а так как гальки из более слабых пород таким образом истираются скорее, чем из твердых, то в нижнем течении реки они могут совершенно исчезнуть, и вообще, следовательно, состав галек в разных частях долин будет различным, все более однообразным сверху вниз. Изучение формы и расположения галек на дне потока важно для точного изучения древних речных отложений, необходимого иногда при разведках россыпей золота и платины. С другой стороны, точные

данные по переносу как грубого, так и мелкого материала необходимы при проектировании водохранилищ и каналов искусственного орошения. В некоторых реках громадные массы растительного материала временно забивают русло, а на севере (Сибири) ту же роль играет лес; в обоих случаях внезапные прорывы препятствий чрезвычайно усиливают переносящую работу реки.



Фиг. 101. — Исполиновый котел на Иматре.

Частицы ила переносятся в взвешенном состоянии, поддерживаясь особенно долго в воде восходящими водоворотами; чем сильнее такие водовороты, тем крупнее материал, который может оставаться взвешенным; следовательно, и этот материал распределяется в воде неравномерно, так же, как и наиболее крупный галечниковый, в зависимости от изменения скорости течения. Совершенно равномерно переносится только материал, растворенный в воде.

Наклон или падение потока, увеличивая скорость движения, влияет на интенсивность механической работы потоков. Вода легко стекает уже по склонам в $1/10000$, т.-е. 20", но для многих рек, особенно в низовьях, склоны еще меньше. При увеличивающихся склонах потоки сносят более крупные гальки, которые до того залежали на дне неподвижно. Самый большой механический эффект получается при перпендикулярном падении, например, в водопадах. Свободно падающая вода, встречая на пути обломки твердых пород, приводит их во вращательное движение и постепенно сверлит ими дно. Смотря по относительной твердости пород, по продолжительности сверления, результатом такого действия в разных местах на дне происходят большей или меньшей величины правильные или расширяющиеся книзу цилиндрические углубления, называемые исполинскими котлами (фиг. 101).

Количество воды в реке, или дебет, имеет большое значение для механической работы потока. Если две реки протекают по одним и тем же породам, то, разумеется, скорее углубит свое ложе та, которая многоводнее; это на каждом шагу видно на горных потоках при сравнении главной долины с боковыми. Но количество воды в реках есть величина периодически изменяющаяся, как зависящая от климата. При увеличении воды в реке вдвое, размывающая и переносящая деятельность возрастает больше, чем вдвое. Реки, в которых количество воды периодически значительно увеличивается, производят гораздо большую работу во всех отношениях, нежели реки с постоянным количеством воды; из этого следует, что русло реки формируется согласно с работою воды во время половодья.

Влияние геологического строения на размывание.

Работа потоков не происходит в однородной среде. Все потоки, а особенно значительной величины, проходят по весьма разнообразным породам, залегающим также весьма разнообразно. Для механической силы воды эти различия представляют неодинаковые сопротивления и обуславливают отклонение от нормальных форм размывания. В породах рыхлых и однородных размывание идет быстрее и равномернее, чем в породах однородных, но твердых; с другой

стороны, в горизонтально напластованных — размывание производит долины, отличающиеся от долин размывания в породах складчатых или сдвинутых; последние более разнообразны по своей форме (фиг. 102).

Размывание в массивных, горизонтальных или мало наклонных породах. В породах однородных, массивных или пластовых, но залегающих горизонтально или мало нарушенных, формы размывания уклоняются незначительно от нормальных.

Долины, глубоко прорезывая ровное плоскогорье, могут превратить его в богато расчлененную горную страну (фиг. 102, 103).

Большую частью низменности, особенно состоящие из рыхлых пород и питающиеся только периодически водою, покрываются сетью рывтин, разнообразно разветвляющихся. В этом отношении типичными странами можно назвать Европейскую часть СССР и Туранскую низменность. Рывтины размытия с крутыми отвесными склонами называют у нас оврагами.

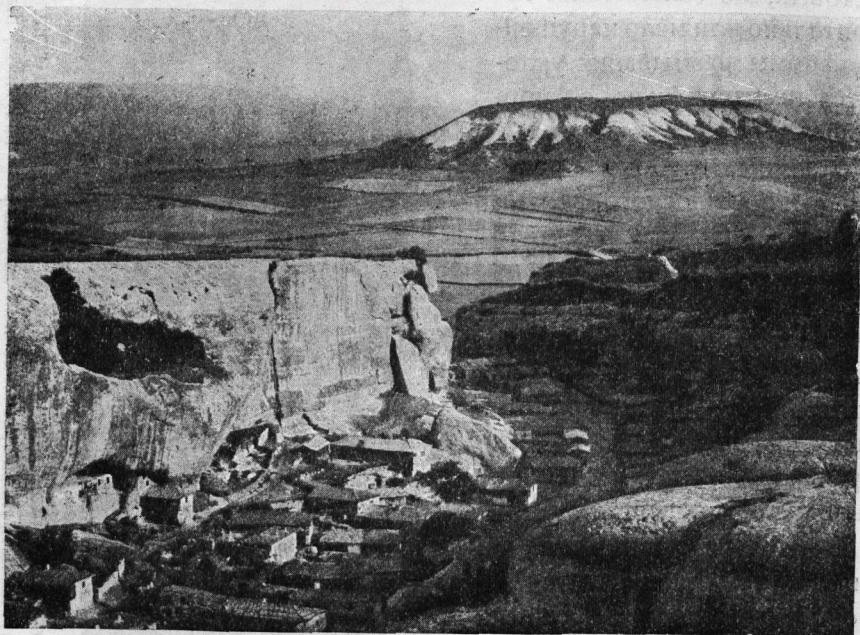
Размывание в породах с нарушенным пластованием производит более разнообразные формы. Это разнообразие зависит, во-первых, от сочетания пластов, характера их дислокации, (см. стр. 309 и след.), а во-вторых, от отношения между направлением потока и простиранием пород; в отношении направлений потока и простирания пород можно различить три случая: 1) поток направляется параллельно простиранию — долина продольная (фиг. 99 и 100)



Фиг. 102. — Интенсивный однообразный размыв и выветривание мощных песчано-глинистых отложений, образующий характерный полупустынный, сильно расчлененный ландшафт — bad lands; выделяются отдельные более твердые пласты. На заднем плане совершенно иные, скалистые формы более плотных и устойчивых пород. Китайский Туркестан — Кашгария. (Фот. М. Васильевского).

или 2) — перпендикулярно — долина поперечная (фиг. 105), или, наконец, 3) — диагонально под каким-нибудь углом.

Что касается боковых долин, то они в большинстве случаев соответствуют или более мягким пластам, или же гребням антиклинальных складок, и, значит, образуют антиклинальные долины, в противоположность образующимся на почве синклинальных складок и проложившим свое ложе на рубеже кристаллических пород и прилегающих к ним осадочных складчатых пород.



Фиг. 103. — Глубокий размыв пологопадающей свиты известняков, создавший совместно с выветриванием широкую долину (использованную деревней Черкес — Кермень, близ Бахчисарая, Крым). На заднем плане гора — останец, свидетель той-же свиты с правильным размывом оврагами склонов.

Синклинальные долины являются более устойчивыми, чем антиклинальные, благодаря чему с течением времени, при общей денудации страны, происходит, так называемое, обращение рельефа, т.-е. возвышенности оказываются сложенными синклиналями, а долины проходят в антиклиналях; хорошим примером может служить сильно размывтая область Донецкого края (фиг. 106).

Кроме тех изменений, которые претерпевают потоки, благодаря своей собственной деятельности, при тех или других условиях, рассмотренных выше, они подвергаются еще внешним влияниям, несколько не зависящим от свойства и характера деятельности пото-

ков. К этим факторам относятся: дислокация, происходящая подно-



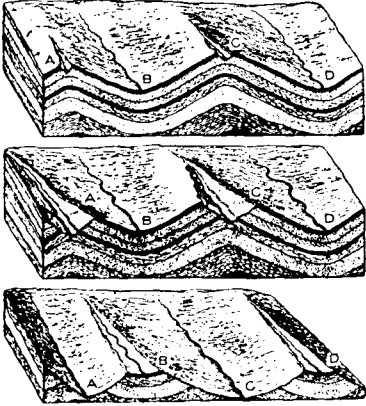
Фиг. 104. — Молодая эрозия в горизонтальной свите (конгломератов); водопад, вызываемый наличием твердого пласта — тип Ниагары. Туркестан.



Фиг. 105. — Река (Сатка), пересекающая вкрест (поперечной долиной) свиту, пологопадающих (обратно, т.е. по направлению к верховью реки) пластов, головы которых образуют ряд порогов. Окрестности Саткинского завода, Урал.

временно с деятельностью потоков или после сформирования их и изменения климата.

Дислокация земной коры, как это объяснено в главе третьей, есть результат стяжения коры вследствие уменьшения объема земного шара. На поверхности земли она обнаруживается в образовании складок, или пликативных гор, и в образовании разнообразных сдвигов, или дизъюнктивных гор. Самые высокие из современных складчатых, или пликативных, кражей принадлежат к самым новым. Многие из них гораздо моложе, нежели прорезывающие их долины размытия, или одновременны с ними. Очевидно, при образовании складок прежде существовавшие потоки должны были претерпевать те или другие изменения. Положим, что горизонтальные или мало наклонные пласты, размываемые потоками, подвергаются боковому давлению и образуют складки, простирающиеся перпендикулярно к направлению потока, то очевидно, что каждая складка будет представлять водораздел, которым новые потоки должны отклониться и изменить свое направление, если только они недостаточно сильны, чтобы прорезать эти поперечные водоразделы. В природе наблюдаются три случая. Во-первых, бывает, что река не только одну, но целую систему параллельных складок пересекает поперек, нисколько не изменяя своего прежнего направления. Гораздо чаще встречается второй случай, когда река отклоняется образующейся складкою, направляется по продольной долине между двумя складками, где соединяется с другими такими же отклоненными реками, значительно увеличивает



Фиг. 106. — Процесс обращения складчатого рельефа речной эрозией. В начальной стадии (вверху) рельеф соответствует тектонике и главные долины занимают синклинали, в конечной же обратно-главные долины антиклинальные, а остатки синклиналей слагают возвышенности.

свою силу и затем уже в каком-нибудь месте прорезывает складку. Наконец, третий случай заключается в том, что отклоненная река не прорезывает складки, а течет по продольной долине и размывает ее.

Влияние перемены климата на размывающую деятельность воды очевидно уже из различного влияния времен года. Количество воды и падение составляют главные факторы размывания: с увеличением или уменьшением одного из них, размывание усиливается или ослабевает. Подобно тому, как в продолжение одного года климат большинства местностей периодически изменяется, так он может изменяться в продолжение долгого периода времени. Доказательством тому служит то обстоятельство, что нет ни одной страны на земной поверхности, в которой бы климат не изменился в послед-

ний геологический период, хотя для исторического периода это доказать трудно. Изменение климата может произойти от разных причин: от космических и теллурических; например, наступание и исчезновение ледникового периода вероятно стоят в связи с изменениями элементов движения земного шара и в особенности эксцентриситета земной орбиты; в странах влажных может произойти сухой климат вследствие поднятия горных кряжей на стороне, откуда данная область получала влажные ветры; то же самое произведет возрастание материка в этом направлении; обратные процессы в состоянии из сухого климата сделать влажный. Изменение направлений морских течений также оказывает громадное влияние на климат; для убеждения в этом достаточно вспомнить влияние Гольфстрема на климат Европы. Даже человек, истребляя или насаждая леса, устраивая каналы, искусственное орошение и пр., может оказать влияние на климат страны.

При осушении страны многие реки исчезают, и образовавшиеся ущелья остаются сухими; другие, уменьшаясь, замедляют свою размывающую деятельность, не могут преодолевать препятствия и производят большие отложения; река мелеет, покрывается песчаными островами, не достигает прежнего устья в море, часто разливается в материковые озера. Озера, благодаря усиливающемуся испарению, из пресных превращаются в соленые и лишаются истоков. Ветер переносит мелкие частицы и, производя на поверхности обширные эоловые отложения, совершенно изменяет физиономию страны.

В обратном случае, т.-е. при перемене сухого климата на влажный, озера снова опресняются, появляется много новых источников, богатая растительность, сухие русла наполняются, превращаются в реки, которые прорезывают рыхлые эоловые отложения, сносят огромное количество осадков к морю и производят осадки, увеличивающие размеры материка. Уменьшение температуры и испарения, увеличение осадков способствуют возрастанию ледников, которые усиливают деятельность воды; вместо мелкого материала многоводные быстрые потоки переносят гальки, валуны, нагромождают их в разных местах своего течения и образуют из них речные террасы. Все эти перемены оставляют такие резкие следы в строении долин, что по ним можно проследить историю их. Между ними особенно важное значение имеют террасы, о которых подробнее скажем ниже.

Отложение.

Размывая и перенося размытый материал, проточные воды отлагают его при всяком удобном случае, например, при уменьшении падения, скорости течения, количества воды, при заворотах и пр., но главным образом, в устьях, где прекращается течение.

Все эти осадки, производимые современными текучими водами на поверхности земли, называются аллювиальными наносами.

Аллювиальные наносы отлагаются по всей длине потока — от верховьев до устья, но характер их в разных местах различный. Одни из них, свойственные горным потокам, представляют беспорядочные накопления из больших камней, обыкновенно в виде конуса, без всяких признаков слоистости; это, так называемые, конические наносы; другие отлагаются в самом русле реки или у берегов, как-то: мели из песка и гравия, речные острова, береговые плотины и террасы; они состоят из мелкого материала и обладают хотя неправильную, но ясную слоистостью, причем им свойственна косая слоистость. Они развиты в среднем и нижнем течении реки. Третьи отлагаются в озерных или морских устьях рек, состоят из весьма мелких частиц и обладают более правильной слоистостью; они занимают часто обширные площади и называются дельтами. Дельты являются в сущности теми же коническими наносами, лишь больших размеров и из более обработанного и отсортированного материала (см. стр. 218).



Фиг. 107. — Грубые малосортированные выносы потоков вдоль подножия большого хребта, в дальнейшем дислоцированные и круто поставленные (падение от левого края рисунка к правому). (Аргентинские Анды).

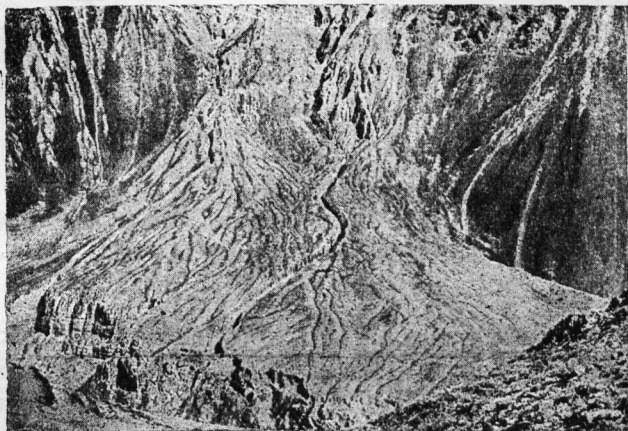
В зависимости от местоположения, т.-е. в русле реки или в озерных или морских устьях, наносы эти можно разделить еще на речные, озерные и смешанные, т.-е. пресноводно-морские.

В горных областях нередко можно видеть русла, в обыкновенное время сухие или с слабой струей воды, но после каждого ливня или после быстрого таяния снега в вершинах обнаруживающие значительный подъем воды, низвергающейся с такой стремительностью, что только одним движением воздуха впереди такого потока иногда срывает мосты. При исключительных условиях, например, среди твердых скалистых горных пород, такие внезапные потоки обнаруживаются только подъемом воды без перемещения и отложения масс щебня; такие потоки назы-

вают бурными потоками. Исключительно те из таких внезапных потоков, которые несут огромное количество щебня и часто преобразуются в настоящие грязевые потоки, называют мурами в Тироле. У нас на Кавказе и Туркестане такие бурные потоки принято называть селями.

Некоторые реки, перенося большое количество минерального материала и подвергаясь сильным колебаниям в дебете, при спаде воды образуют большие накопления на дне и вдоль своих берегов. Вследствие этого, с одной стороны, русло их постепенно возвышается,

а с другой, берега также возвышаются, так что, в конце концов, река течет среди каменных валов, нагроможденных ею же; например, это наблюдается в среднем течении Терека. Но гораздо чаще подобные явления происходят в низовьях рек вблизи устья, где скорость течения уменьшается до минимума; так как во время половодья вода, выходя из берегов и разливаясь по соседним равнинам, отлагает на них свои минеральные примеси, то вследствие



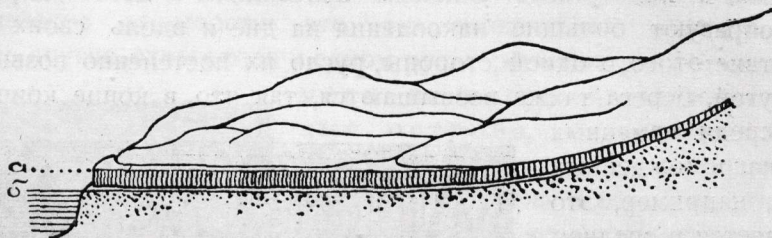
Фиг. 108. — Два соединившихся конуса выносов у подножия крутого склона, отклоняющие главную реку. Туркестан.

того не только русло реки, но вся долина разлива постепенно возвышается, а берега представляют как бы естественную плотину.

Аллювиальные отложения в русле и по берегам потоков по своему характеру резко отличаются от конических выносов уже тем, что состоят из измельченного материала и обладают некоторою слоистостью. Находясь в зависимости от постоянных изменений в силе потока, они не представляют правильных и мощных пластов на подобие осадков моря, а, напротив, отличаются тонкою косою слоистостью, часто перемежаемостью и выклиниванием на небольших расстояниях; характер пластования отличает их, с одной стороны, от речных неслоистых накоплений, а с другой — от одновременных элювиальных отложений. Что касается литологических качеств их, то в этом отношении они зависят прежде всего от состава размываемых пород и потому, разумеется, весьма разнообразны, но преобладают пески и глины.

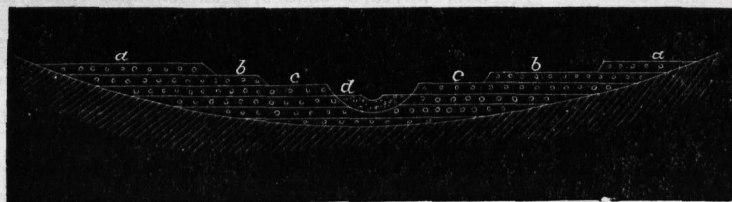
Речные террасы.

Отложения, производимые потоками, имеют для нас особенно важное значение потому, что представляют прочные признаки, которые вместе с формами размытия свидетельствуют о переменах, переживаемых потоками в зависимости от вышеуказанных изменений дислокации и климата, а следовательно, наоборот, те же признаки



Фиг. 109. — Продольный разрез ложа реки, выработавшей профиль равновесия применительно к базису *a* и потом выработавшей новый профиль равновесия применительно к понизившемуся базису *b*. Прежнее дно долины сохранилось в виде террасы, поднимающейся над современным уровнем реки, при чем, чем выше, тем ближе к ее устью.
(По А. Павлову).

помогают восстановить историю физических изменений данной местности. Многие реки отличаются большою древностью; в долгий период существования их, разумеется, физические перемены происходили неоднократно и оставили свои следы в форме и отложениях речных долин. Следы эти, главным образом, выражаются в различных уступах,



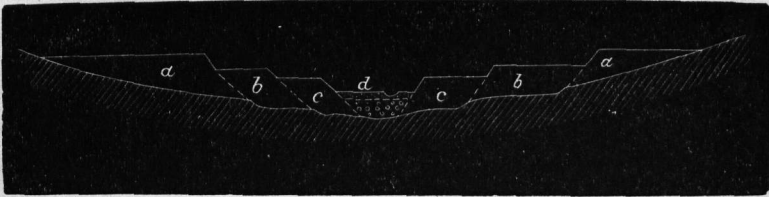
Фиг. 110.

которые наблюдаются как на дне долин; так и в особенности на склонах, придавая им лестницеобразный вид. Уступы эти известны под общим названием речных террас (фиг. 109).

Речные террасы могут быть разделены на две категории. Одни, — простирающиеся поперек долины и обнаруживающиеся в продольной профили ее, — называются поперечными террасами; другие, которые простираются вдоль долины, по склонам ее и видны в поперечной профили, называются продольными террасами (фиг. 110 и 111). Поперечные террасы притоков часто представляют только

часть продольных террас главной долины. Те и другие могут состоять из коренных пород, размываемых рекой, или, же из наносов, отложенных самой рекой и впоследствии ею же размытых; поэтому первые называются террасами размытия или, правильнее, коренными, а вторые — террасами аллювиальными или наносными (фиг. 110, 111, 112).

Поперечные террасы, или собственно пороги, как уступы в почве, бывают разнообразной величины и падения; они то круто, почти вертикально, обрываются, то так полого, что присутствие их узнается только по быстринам в реке. Они находятся как в горных ручьях, так и в больших реках и происходят или вследствие

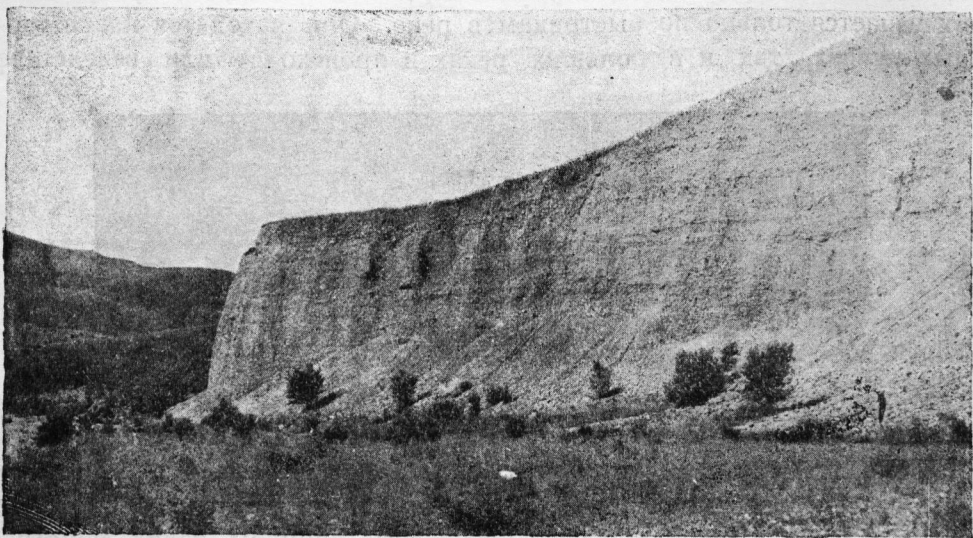


Фиг. 111.

тектонических причин, или вследствие накопления. Между первыми различают коренные террасы в горизонтальных и мало наклоненных породах при переходе потоков из одних образований в другие, или при встрече трещин, например, водопады Ниагары, Наровы, Виктории на Замбези и пр. представляют прекрасные примеры таких порогов; в нарушенных породах подобные же террасы происходят вследствие неравномерного размывания различных пород (фиг. 100, 104, 105). Более твердые породы задерживают размывание и образуют пороги. Вследствие этого долины выше порогов расширяются, а на месте порогов впоследствии образуется ущелье, на склонах которого нередко видны остатки бывшей плотины. В поперечных долинах Гималай, Тянь-Шаня это явление очень часто наблюдается.

Террасы продольные представляют собой остатки прежних уровней дна долины, о чем свидетельствуют слагающие их (в аллювиальных) наносы или лежащие иногда лишь тонким слоем валуны и гальки (на коренных), и происходят вследствие изменения в силе деятельности воды, обуславливаемой, в свою очередь, изменением климата или дислокацией. Если размыв действует спокойно, то расширяет почву долины, заноса ее постепенно аллювием; если же затем увеличивается масса воды, или происходит нарушение кривой равновесия реки, то она углубляет свое ложе, остатки которого образуют террасы. Самое изменение равновесия потока может быть вызвано

двумя причинами: опусканием базиса эрозии системы, т. е. понижением уровня моря или другого приемника реки как в силу тектонического опускания, так и в силу климатических причин (фиг. 102), и поднятием истоков реки, т. е. соответственной горной системы. Иногда обе причины могут действовать вместе. При первой причине террасы расходятся к устью, т. е. вертикальные расстояния между ними увеличиваются, при второй—обратно: они расходятся от устья к истокам, а при действии обеих—равномерно остаются параллельными по всей длине



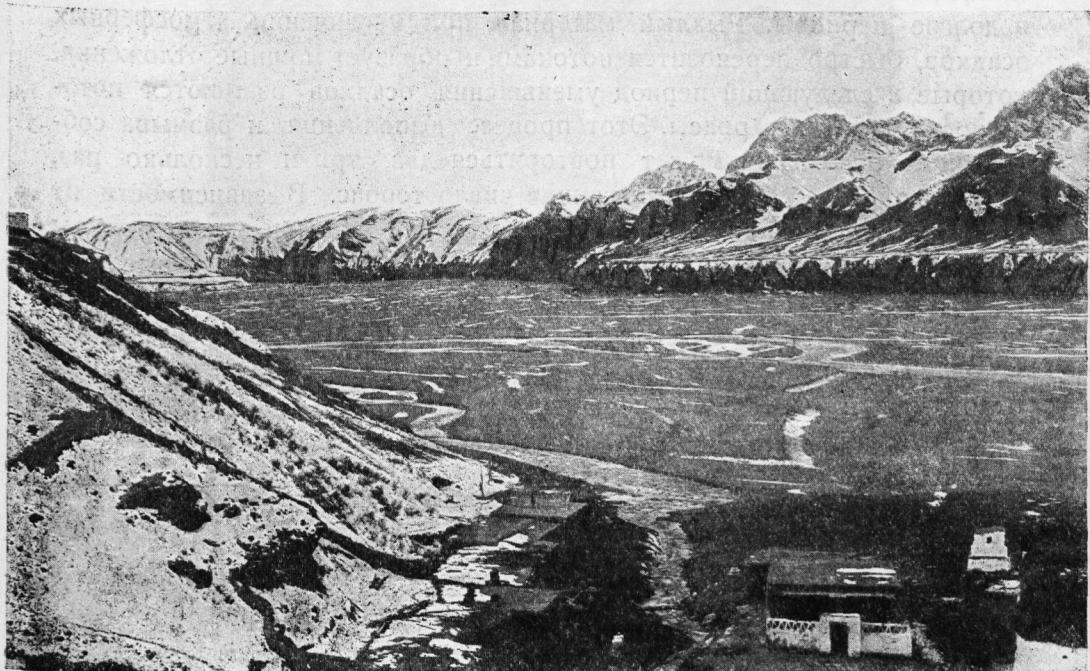
Фиг. 112. — Разрез аллювиальной речной террасы; видно горизонтальное расположение материала, большие осыпи у подножья, ровная поверхность верхней и нижней террасы, заросшей травой; для масштаба справа человек. Р. Тентяк-Сай, выше Базар-Кургана Фергана. (Фот. Д. Мушкетова).

реки. Несомненна связь террас с периодами и стадиями оледенения соответственных горных стран, и с этой точки зрения их изучение также весьма плодотворно. Со временем долина расширяется и террасы часто смываются, чему также способствует выветривание; вследствие этого нередко на склонах вместо сплошных террас находятся только их обрывки. Самые верхние из них—более древние, а потому дольше подвергавшиеся разрушению, менее ясные; нижние—самые новые и наиболее отчетливые.

Боковые долины, конечно, также принимают участие в этих изменениях главной долины, и террасы их соответствуют друг другу, но часто число и высота залегания их уклоняются от террас главной долины.

Простейший тип представляют террасы разлива—пойменные.

В узких горных долинах и ущельях находятся только маленькие остатки террас, тогда как в ровных или плоско-холмистых странах они достигают огромной ширины, имеют ровную поверхность и круто обрываются к реке, резко отделяясь от новейших аллювиальных осадков. Иногда находится несколько таких террас, возвышающихся одна над другой, различной высоты, ясности и древности образования (фиг. 112 и 113).



Фиг. 113. — Сильно выработанная, древняя долина, заполненная мощными отложениями, по которым извиваются прихотливо меняющиеся современные русла. На заднем плане видны две отчетливые коренные древние речные террасы. Река Кизил-су, восточная часть Алая, у поста Иркештам на границе русского и китайского Туркестана. (Фот. М. Васильевского).

Во всяком случае, каждая из террас указывает или на последовательную смену периода размыва с периодом отложения, или же на усиление размыва. Причина отложений может заключаться или в уменьшении живой силы реки, или в чрезмерном избытке осадков. При дальнейшем усилении размытия в первом случае образуется продольная терраса с определенным уклоном, соответствующим уклону долины; во втором случае произойдет широкая озерная терраса с горизонтальной поверхностью; например, если река встречает задержку в размытии, то перед порогом образует озерное

расширение, которое быстро заполнится осадками; при прорыве порога русло реки углубится, озеро уничтожится, и на месте его останется бассейновидная площадь образовавшихся осадков, которые, будучи промыты, представят террасы. Увеличение приноса может быть произведено также быстрым таянием снега, льда, например, при наступлении извержений вулканов, покрытых снегом, и пр. Но то же самое происходит от климатических изменений в долгие периоды. Рыхлый материал, при увеличении атмосферных осадков, быстро переносится потоками и образует мощные отложения, которые в следующий период уменьшения осадков размоются потоками и образуют террасы. Этот процесс выполнения и размыва собственных отложений может повториться два, три и несколько раз, и тогда образуется соответственное число террас. В зависимости от порядка образования аллювиальных террас различают террасы вложенные (фиг. 111) и наложенные (фиг. 110). Первые свидетельствуют о многократном размыве до коренного ложа с последовавшим выполнением его, вторые же — лишь о последовательном врезании реки в одну толщу аллювия, т. е. об одном периоде отложения и нескольких периодах размыва. Пользуясь комбинацией всех этих признаков, можно точно устанавливать историю развития долины.

Д е л ь т ы.

Все, что не успело отложиться на пути течения реки, проносится ею к устью, где вследствие совершенной остановки течений осаждается даже самая мельчайшая муть.

Отложения эти отличаются наиболее развитою слоистостью и достигают громадного развития как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Только немногие реки не доходят до какого-нибудь бассейна, а, так сказать, теряются в песках пустынь или же исчезают в трещинах, как выше указано. Конуса выносов таких рек представляют собой в сущности континентальные дельты.

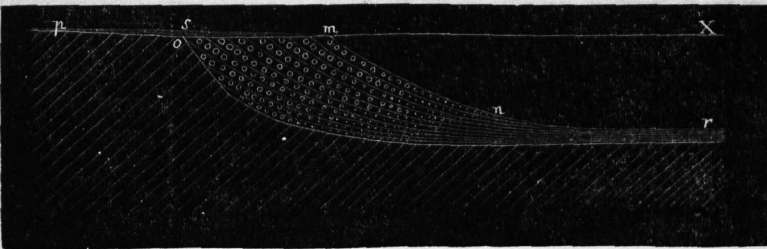
Озерные дельты. При впадении реки в озеро прежде всего образуется конус в роде осыпи или устьевго наноса в горах, но отличающийся только размерами и, главное, слоистостью (фиг. 114 и 115). Крупные материалы осаждаются у самого берега, а чем мельче, тем дальше, и самая тонкая муть отлагается только там, где уже влияние течения совершенно прекращается. Валуны и крупные гальки отлагаются слоями, наклоненными согласно с уклоном дна озера до 30° и даже 35°, но по мере приближения к середине слои выпрямляются, пока, наконец, не сделаются горизонтальными. Слоистость, резко проявляющаяся в верхних частях накоплений, в нижних едва заметна.

В зависимости от изменений силы потоков, слои представляют перемежаемость крупных галек с мелким песком. Поверхность этих накоплений совершенно ровная и возрастает насчет поверх-



Фиг. 114. — Образование дельты выносами ледниковой реки Кандер, мутное течение которой видно еще и в озере (справа). Края дельты частью снова размываются прибоем озера. Швейцария. (Фотография с аэроплана)

ности озера как в длину, так и в ширину; чрез некоторое время река протекает уже по ровной поверхности собственных отложений и потому начинает осаждать осадки горизонтальными слоями



Фиг. 115. Вертикальный разрез дельты.

располагающимися несогласно на головах нижних слоев; при этом река разветвляется на подобие того, как это происходит в морских дельтах. Первоначальный конус, постепенно возрастая, может увеличиться до таких размеров, что заполнит все озеро, на месте которого образуется аллювиальная равнина. Этот процесс превращения горных озер в аллювиальные равнины встречается почти

в каждой поперечной горной долине, проложившей свое русло чрез породы различной твердости и вкрест их простираясь.

Морские дельты. Отложения в сборном бассейне, у подножия гор, в русле потоков и в озерах, хотя достигают значительных



Фиг. 116. — Дельта Волги.

размеров, но далеко уступают тем обширным, мощным толщам, которые отлагаются в морских устьях рек, образуя бары и в особенности дельты. Дельты занимают обширные пространства и, находясь в постоянном возрастании, оказывают большое влияние на изменение в очертании материков. Многие низменности в несколько тысяч квадратных миль площадью образованы исключительно наносами рек у устьев на месте бывшего глубокого моря. Дельты служат лучшим указателем мощной деятельности проточных вод

на суше; тем более, что дельтовые отложения, как они ни громадны, не вмещают в себе всего разрушенного и перенесенного материала, потому что часть его, как мы видели, не доходит до устья, а другая, в виде мельчайшей мути, уносится волнами моря и отлагается на дне его вдали от материков.

В морских устьях отлагаются все принесенные частицы, не исключая самых тонких, и притом несравненно скорее, нежели в устьях пресноводных — озерных.

Разумеется, обширность дельтовых отложений и их возрастание зависят прежде всего от количества приносимого материала. Реки приносят в море как химически связанные части, так и механически примешанный материал. Первые для дельтовых отложений играют менее важную роль, потому что большую часть уносятся в море. Количество их увеличивается во время засухи и уменьшается в половодье.

Древность дельт. Накопление осадков, которое мы называем дельтовым образованием, не ограничивается только современною нам эпохою, но оно началось с тех пор, как началась деятельность проточной воды; следовательно, дельтовые образования находятся и в более древних формациях; осадки, слагающие Суэцкий перешеек, образованы Нилом и представляют дельтовые отложения. Что там уже окончилось, то происходит в настоящее время при устье Амура, заполняющего Татарский пролив, отделяющий остров Сахалин от материка.

Условия географического распределения дельт. Хотя все реки, достигающие моря, приносят то или другое количество осадков, отлагающихся при устье, но далеко не все образуют дельты. Многие из них имеют воронкообразные устья, или эстуарии. В настоящее время известно 145 больших речных систем, из которых только 70 имеют морские дельты, свойственные более значительным рекам.

Условия происхождения дельт весьма разнообразны и неодинаковы в разных частных случаях. К условиям положительным, т. е. способствующим образованию дельт, принадлежит: небольшая глубина моря у устья, спокойное состояние моря, т. е. отсутствие приливов, отливов и морских течений, большое падение реки в низовьях, обилие осадков и поднятие берегов. К отрицательным условиям принадлежат: большая глубина моря, приливы, отливы и морские течения, озера в низовьях рек, ничтожное падение, бедность осадками и опускание берегов. Только сумма этих факторов и их взаимное сочетание в каждом

частном случае может объяснить появление или отсутствие дельт, но ни один из них не составляет единственной причины географического распределения дельт.

Реки имеют громадное значение как в истории земли, так и в истории человечества. Они распределяют равномерным образом по земной поверхности воду, падающую из атмосферы или образующуюся от таяния снегов, и таким образом увлажняют все пространство бассейна с помощью своих бесчисленных разветвлений. Бесконечно расчлняя рельеф земной поверхности, потоки, вместе с выветриванием, неустанно понижают первозданные горы. Они раздробляют каменные массы на мелкие части и разносят их на огромные пространства, образуя безжизненные каменные поля или плодородные равнины. От этих процессов некоторые вершины, например, в Альпах понизились уже на 1.000 м, а в Северной Америке на западной горной окраине понижение от размыва достигает до 6.000 м и даже до 12.000 м. Наконец, потоки уравнивают климат: реки, текущие с юга, согревают северные страны, а реки, направляющиеся с севера, умеряют зной жаркого пояса. Но роль рек, этих могучих работников, не ограничивается перемещением вод, осадков и климатов — они несут в своих волнах историю и жизнь народов.

Циклы эрозии. Совокупность условий генетических и пассивных тектонических значительно осложняет нормальную работу размывания, определяя в то же время главные черты гидрографической сети страны, но она не изменяет ни общего хода этого денудационного процесса (эрозии), ни его конечной цели. Различные условия, в которых проходит в разное время такой процесс эрозии, позволяют только выделить его отдельные фазы, более продолжительные или лучше отмеченные. Последовательность таких фаз для гидрографической сети каждой страны принято называть циклом эрозии или циклом жизни, желая показать, что эволюция гидрографической сети обнимает последовательность фаз, в которых можно отличать различные периоды возраста от детства до дряхлости.

Период детства гидрографической сети характеризуется, в особенности в областях с недостаточно ясно выраженной структурой поверхности, слабым сосредоточением процессов смывания, многочисленностью потоков воды, собирающихся в озера, следовательно, со значительным испарением и общим расходом рек, значительно меньшим количеством атмосферных осадков в пределах бассейна. Главные реки следуют наиболее естественным уклонам поверхности и соответственно препятствиям, которые они встречают при работе углубления своих русел. Количество перемещаемого реками материала не может быть значительным, так как он доста-

вляется с поверхности склонов еще слабо намеченной гидрографической сети.

В период юности сеть дренажа все более разрастается, все более приспособляясь к быстрому стоку выпадающих дождевых вод. Многочисленные борозды уже достигают до структурной поверхности коренных пород и способствуют более полному собиранию выпадающих атмосферных осадков, раскрывая водоносные горизонты. Озера все более соединяются в первичную сеть, часто при посредстве порогов и водопадов самого нового образования. Крутые склоны долин, сосредоточившихся согласно главным уклонам, доставляют все возрастающее количество материала, который воды должны переместить. Обозначаются и продолжают развиваться реки, подчиненные соответственно более быстрому стоку дождевых вод; увеличивается значительно и количество материала, переносимого реками.

С наступлением периода зрелости сети рельеф сохраняет еще черты той резкости, которую он приобрел в предшествующем периоде, но начинают изменяться детали. Все притоки и разветвления речной системы уже определены и в значительной части бассейна работа углубления русел почти закончена, и они доведены до кривой нормального падения. Положение русел совершенно приспособлено к структурным линиям области, благодаря непрерывному и тонкому процессу естественного подбора, следствием которого участки гидрографической сети, лучше всего согласованные с структурными линиями, только и сохраняются, в то время, как остальные атрофируются или исчезают. Стремительность юности уступает место состоянию равновесия; если разветвления верхнего течения, где обратно идущее размывание еще не закончилось, и позволяют еще видеть характерные черты юности, то в нижнем течении начинают обнаруживаться признаки старости. В этом периоде и можно в каждом потоке различить те три участка, о которых не раз упоминалось раньше, именно, верхнее, среднее и нижнее течение. Состояние зрелости гидрографической сети наступает лишь после того, как не только отдельные реки бассейна достигают состояния равновесия, но когда вся система получает постоянную профиль, следовательно, когда исчезнут частные промежуточные базисы эрозии, когда не останется более ни областей, лишенных стока, ни площадей, еще не захваченных общей гидрографической сетью. Топографическая поверхность продолжает, конечно, изменяться; склоны и водоразделы понижаются, но положение русла остается неизменным; страна понижается, как одно целое, сохраняя, однако, тот же самый рисунок.

Такое состояние зрелости характеризуется также тем, что только тогда во всей полноте проявляются все функции гидрографи-

ческой сети страны. Часть атмосферных осадков, терявшихся для речной системы в предшествующие периоды через испарение благодаря затруднению стока озер, значительно теперь сокращается, вся масса выпадающих осадков собирается к рекам; степень дренажа страны и вместе с тем перенос реками рыхлого материала достигают своего максимума.

Старость гидрографической сети выражается в общем изнеможении всех ее форм и функций как в отношении силы, так и разнообразия. Такое состояние неизбежно наступает, как следствие предшествующего состояния равновесия. При непрерывном понижении страны, даже при том же количестве атмосферных осадков, смывание становится слабее, оно сменяется намывом, продолжающим видоизменять склоны и водоразделы, которые принимают все более выпуклые формы, и рельеф упрощается. Углубления русел не происходит, и в нижнем течении начинает заметно преобладать отложение. Главные реки продолжают слабеть, в особенности в области нижнего течения, где они под влиянием самых слабых препятствий начинают описывать излучины. Область отложения все расширяется; после каждого половодья положение русла может резко меняться.

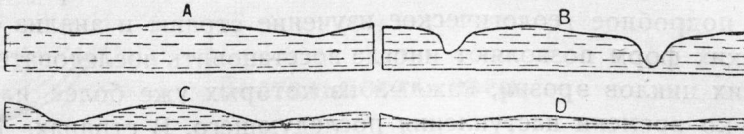
Изменение климата в сухой и усиление золотых процессов являются сами собой, как конечный результат совершенного изменения рельефа. Блуждание рек при постепенном удлинении их низовий может повести к совершенному засорению устьев: бассейн переходит в состояние лишенного стока.

Когда жизненный цикл близок к своему завершению, бассейн такой гидрографической сети должен иметь самый слабый рельеф. При всем упрощении рельефа равнинные пространства возникают тем не менее только в местах слияния рек; сохраняется не только медленный подъем к вершинам гидрографической системы, но и слабые неровности, как следствие неодинаковой твердости пород. Для обозначения таких пространств предложено название пенеплен, т.е. почти-равнин. Средняя высота таких пенеплен определяется высотой базиса их эрозии. Они кажутся почти выравненными до их базиса эрозии, и поэтому часто говорят о таких равнинах, что они сnivelлированы (фиг. 117 и 118).

К категории пенеплен можно отнести Финляндию с прилежащими частями СССР, также как Канаду и многие части Азии; эти участки земной коры, представляющие сушу с древнейших геологических времен, представляют резкий контраст между простотой топографической поверхности и сложностью их геологического строения. Конечно, трудно судить, принимали ли участие только эрозия в первоначальном выравнивании этих стран, тем более, что последующая деятельность ледников придала им особенные черты.

Можно сказать, что до наступления ледникового периода и вся поверхность Европейской части СССР достигла состояния почти-равнины.

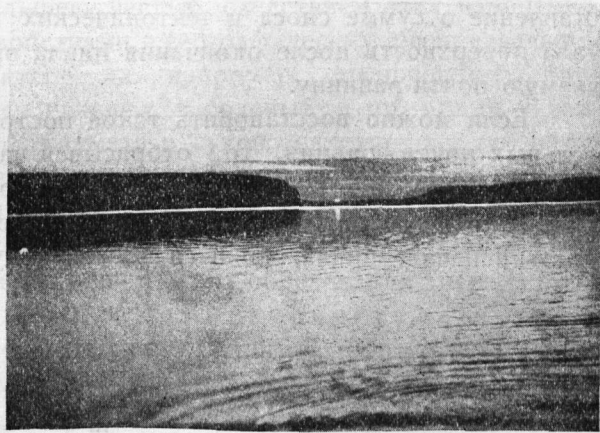
Одним из признаков глубокой эрозионной денудации складчатых областей может служить образование рельефа обратного пере-



Фиг. 117. — Последовательное преобразование денудацией поверхности однородного строения через стадии молодости (B), зрелости (C) и старости (D) — пенеплен.

вичному, когда первичные депрессии оказываются на водоразделах и обратно, как это обнаружено в Пенсильвании и Аппалахской системе, в Донецком крыже и других местах (фиг. 106).

Активное влияние тектонических причин выражается в нарушении состояния равновесия гидрографической системы данной области, т.е. в изменении отношения, уже установившегося между топографической поверхностью и базисом эрозии. Следствием такого нарушения является и изменение гидрографической сети; говорят, что деятельность проточных вод вступает в новый цикл эрозии.



Фиг. 118. — Поверхность древней пенеплен, пересекаемая широкой долиной р. Лены, выше Олекминска. (Фот. Д. Мушкетова).

Последовательность циклов эрозии. Все перемещения в земной коре при первом своем возникновении начинают уже так или иначе оказывать свое влияние на деятельность проточных вод. Сколько раз в течение таких изменений испытывает превратности и гидрографическая сеть страны? В какой степени такие последовательные ее изменения могли быть согласными или несогласными? Какие следы их могут быть восстановлены в окончательном резуль-

тате? Таковы вопросы, разрешение которых крайне трудно и, быть может, нередко невозможно за недостатком материала, которым мы можем располагать. Приложение указанных соображений о влиянии различных причин на моделировку форм земной поверхности к отдельным случаям требует необыкновенно осторожного отношения по причине неизбежной сложности таких явлений в природе. Тем не менее подробное геологическое изучение страны и анализ ее топографических форм позволяют иногда восстановить последовательность нескольких циклов эрозии, каждый из которых уже более или менее развился ко времени наступления последующего. В странах, не подвергавшихся сильной складчатости, такие циклы эрозии могли довести свою задачу моделировки страны до состояния почти-равнин, и иногда удается доказать существование остатков таких денудационных поверхностей среди топографических форм страны, а по взаимному их отношению восстановить последовательность циклов эрозии. Доказав существование таких остатков прежней почти-равнины и соединяя кривыми точки ее поверхности, имеющие одинаковую абсолютную высоту, можно получить приблизительное представление о сумме сноса и тектонических изменений, которые испытала поверхность после окончания цикла эрозии, давшего рассматриваемую почти-равнину.

Если можно восстановить такое построение для двух последовательных почти-равнин, то, отбрасывая часть изменений, общую для обеих, можно понять по крайней мере в общих чертах сумму дислокаций, которым подвергалась более древняя денудационная поверхность в начале цикла, давшего последующую поверхность

Деятельность озер.

Озером называют всякое замкнутое со всех сторон углубление на поверхности земли, заполненное водою и не имеющее непосредственного сообщения с морем. Изучение озер, начавшееся сравнительно недавно, за последнее время выделилось в большой отдел физической географии — лимнологию.

Геологическая роль озер несравненно ограниченнее, нежели проточных вод; тем не менее изучение ее имеет большое значение для выяснения физических изменений, происходящих на поверхности земли. Озера, являясь большею частью следствием этих изменений, могут, наоборот, своими свойствами и географическим распределением свидетельствовать о характере их, например, превращение проточных озер в непроточные, пресных в соленые и пр. прямо указывает на перемену влажного климата в сухой; нахождение, так называемых, реликтовых озер на большой абсолютной высоте может свидетельствовать о громадных тектонических процессах и т. д. Но, кроме того, озера для нас важны по своим осадкам, изучение которых разъясняет происхождение аналогичных образований древних эпох.

Озерные осадки разделяются на механические и химические. Химические отложения, как, например, образование гипса, каменной соли, глауберита и пр., кроме геологического, имеют громадное экономическое значение; так называемые, соленые озера представляют главные источники для добычи поваренной соли, глауберита, буры и пр.

При рассмотрении происхождения озер, или генезиса их, нужно решить два вопроса: во-первых, о причине образования углубления, составляющего ложе озера, а во-вторых, об источниках воды, питающих озеро; новейшие разделения озер основываются на этих двух главных факторах без отношения к величине, глубине, свойствам воды озера и пр.

Озера, подобно островам, могут быть разделены на материковые и морские. Это деление основано на первоначальном источнике питания, т. е. образовалось ли озеро насчет атмосферной

или материковой воды или же насчет морской воды и представляет только отрывок моря. В некоторых случаях эти два рода озер легко отличить; но часто признаки эти так сглаживаются в последующей жизни озера, что отличить материковое озеро от морского бывает затруднительно. Это происходит от того, что после образования озера дальнейшее существование его зависит от климатических условий; соленое морское озеро может превратиться в пресноводное и лишиться всех представителей морской фауны и, наоборот, пресноводное материковое озеро может сделаться соленым и даже иногда населиться представителями морской фауны. Кроме того, между чисто морскими и материковыми озерами существуют переходные типы, образовавшиеся отчасти на счет морской воды, а отчасти на счет материковой, например, многие прибрежные озера; в таком случае разделение их становится еще более затруднительным. Несравненно легче разделять озера по способу происхождения их котловин.

Как ни разнообразны способы происхождения котловин морских и материковых озер, тем не менее все они могут быть разделены на две категории. Одни котловины или, вообще говоря, озерные углубления образовались вследствие тектонических процессов или вообще вследствие изменения в залегании пород, например, складчатости, сдвигов, сбросов, провалов, или сноса пород, например, от размыва водой, льдом и пр. Другие же обусловлены накоплением нового материала и образованием из него плотин или запруд, которые могут быть прямолинейны, как, например, береговые валы, дюны и пр. на берегах моря, или полукруглые, как, например, многие морены, или же, наконец, совершенно кольцеобразные, как, например, кратерные углубления.

В силу двойного способа образования котловин, все озера как морские, так и материковые можно разделить на озера котловинные, между которыми громадное большинство собственно тектонических озер, и озера плотинные, т. е. происходящие от запруд. Различие их видно на схематических профилях: на фиг. 119В изображен профиль котловинного озера, а на фиг. 118А — профиль плотинного озера.

Вместе с тем еще лучше можно все озера разделить в зависимости от двух главных категорий геологических агентов — сил внешних (экзогенных) и сил внутренних (эндогенных), их создавших, на два класса;

1. Озера экзогенного происхождения —
 - а) плотинные,
 - б) котловинные (эрозионные).
2. Озера эндогенного происхождения —
дислокационные.

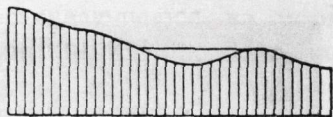
Озера экзогенного происхождения.

Плотинные озера. К плотинным озерам принадлежат как чисто материковые, так морские и смешанные; первые особенно распространены в ледниковых и вулканических областях, а два последних — на окраинах континентов или в береговой полосе, особенно в устьях рек и среди дюн. Озера эти разделяются на столько же разновидностей, сколько существует родов запруд. Главнейшие из них следующие:

1) Озера ледниковые, происходящие вследствие запруды стоячей воды возрастающим ледником; они находятся или на самом леднике, при встрече бокового ледника с главным, — но в этом случае никогда не достигают больших размеров, — или же сбоку ледника, при запираании им каких-нибудь боковых ущелий проточными водами.



А



Б

Фиг. 119.

2) Лавинные озера еще менее долговечны, нежели предыдущие; они происходят от случайных запруд, производимых снеговыми или ледяными завалами.



Фиг. 120. — Нижний конец плотинного озера, подпруженного валом, образованным большим обвалом левого склона, на котором видна большая воронка срыва (светлые обрывы), высотой до 300 метров. Р. Кара-су, приток Нарына, С. В. Фергана. (Фот. Д. Мушкетова).

3) Озера, происходящие от обвалов осыпей или скал, отличаются большим постоянством (фиг. 120); громадное

Сарезское озеро на Памире, образованное Усойским обвалом в 1911г., все еще увеличивается, достигая уже 80 км длины и до 400 м глубины.

4) Озера, происходящие от конических наносов в боковых горных потоках, еще более постоянны и достигают до 1 кв. км. Они весьма часты во всех горных краях. Иногда большие накопления наносов боковыми притоками запруджают озеро в главной долине, но иногда происходит обратный процесс, т. е. главная долина своими наносами запирает боковые ручьи и превращает их в озера. К этой категории можно отнести мелкие озера, образующиеся из стариц, например, в долинах наших рек: Волги, Воронежа, Оки, Дона



Фиг. 121. — Выход реки из древней морены, подпрудившей озеро. Р. Тегермач, Алайский хребет. (Фот. Д. Наливкина).

и пр. Подобные же озера находятся во внутренних континентальных областях, где реки не доходят до моря и разливаются в озера от запруд, образованных собственными осадками или летучими песками, например, озеро Саумалькуль в устье р. Чу, Лоб-нор в устье Тарима и прочее.

5) Моренные озера, т. е. происходящие от запруд ледниковыми моренами, современными или древними, боковыми или конечными. Очевидно, распространение этих озер связано с развитием ледников современных или древних. Сюда принадлежит много новых и древних озер в Тянь-шане, в Скандинавии и Альпах; многие северо-германские озера причисляются к тому же типу. Большие канадские озера также обусловлены запрудой ледниковыми наносами (фиг. 119 А и 121).

В некоторых случаях запруда вся сложена рыхлым моренным материалом, в других же лишь тонким слоем его, лежащим на моренном пороге уступа („ригеля“). Установление того или иного сложения запруды (иногда необходимо бурение) весьма важно во всех случаях практического ее использования.

6) Вулканические озера, т. е. подпруженные или застывшим потоком лавы, или поднявшимся рядом вулканов (о. Киву в зоне большого африканского грабена), или заполнившие кратеры потухших вулканов (например, озера: Неми, Альбано, Гокча и др.), и, так назы-

ваемые, маары. Вероятно, к этому типу относятся крупные и мелкие озера Камчатки, как Кроноцкое, Курильское и др.

Все до сих пор рассмотренные типы озер принадлежат к материковым.

Но следующие принадлежат большею частью или к смешанным, или к морским, так как образуются из запруд в береговой полосе моря и известны под общим названием береговых озер. Они представляют переходный тип от чисто материковых озер к морским бухтам, и, смотря по своему положению, приближаются то к одним то к другим. К ним принадлежат:

7) Дюновые озера, обусловленные запрудами дюн; они располагаются в котловинах между дюнами и питаются отчасти атмосферными осадками, а отчасти водою, просачивающеюся из моря; качество воды их весьма разнообразно в зависимости от преобладания того или другого источника питания. Они имеют, как выше описано, большею частью овально-эллиптическую форму и длиною осью располагаются параллельно прилегающему берегу. Таких озер много по берегам Франции, на атлантическом берегу между Гаронною и Пиренеями, по берегам Средиземного моря между Пиренеями и Роной, по берегам Немецкого моря и пр. К ним же должны быть отнесены мелкие озера, большею частью превратившиеся в болота, по берегам Балтийского моря и часть озер по восточному побережью Арала и Каспия.

8) Дельтовые озера происходят от запруд речными осадками и питаются речной или морской водою; поэтому они представляют всевозможные переходы от материковых к морским озерам. Они развиты почти в каждой морской дельте. Для примера приведем озера в дельте Аму-дарьи и Дуная, где одни озера имеют материковый характер, другие только-что отделились от моря наносами реки, третьи сохраняют еще характер лимана; то же и в дельте Волги у Астрахани береговые озера или ильмени, с одной стороны, питаются материковыми ручьями, называемыми ериками, а с другой — водою Каспия; поэтому состав воды в них резко изменяется в зависимости от ветров и половодья. Во время половодья они опресняются; при морских ветрах, называемых на месте моряной, напротив, вода их становится солонее. Даже в историческое время, благодаря дельтовым запрудам, некоторые морские бухты превратились в озера, например, озеро Лох-эве в Шотландии, озеро Акис на малоазиатском берегу; гавани у Смирны предостоят та же участь.

9) Озера, происходящие от запруд береговым валом, стоят весьма близко к дельтовым и часто находятся вместе, например, озеро Палеостон у Попи близ устья Риона, но образуются

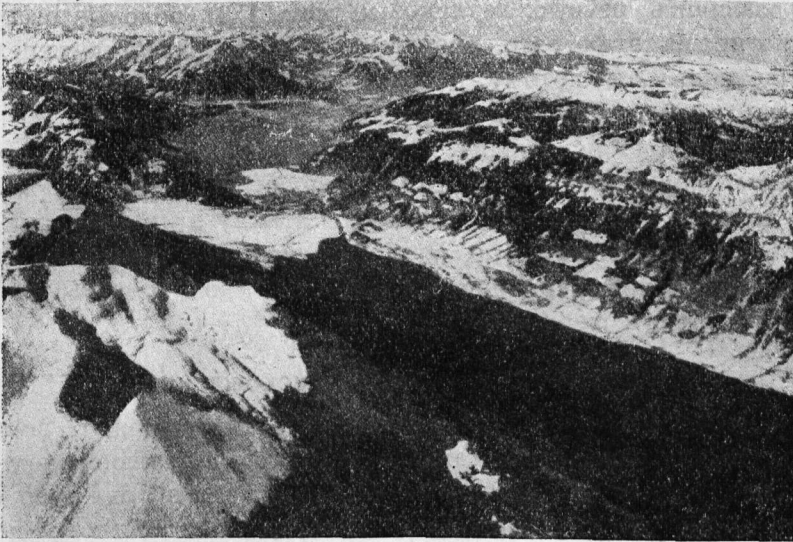
и самостоятельно, например, озера по побережью Крыма, где встречаются все разновидности, начиная от засух, солончаков и кончая солеными озерами и лиманами. Они образуются из каждой бухтообразной вырезки, произведенной морем или устьем впадающего



Фиг. 122.

оврага. Береговое течение и прибой волн, встречая какую бы то ни было бухту, уменьшают свою силу и отлагают передвигаемые ими минеральные вещества на внешней окраине бухты (см. след. главу). Эти накопления, возрастая, образуют вал из песку, галек, раковин, называемый у нас пересыпью. Пересыпь, отделяя бухту от моря, превращает ее в озеро. Разумеется, это превращение делается постепенно. Сначала суживается вход в бухту, так что образуется только мелкий проток, соединяющий ее с морем, например, в таком состоянии находится

залив Кара-буغاز на Каспии (фиг. 122); дальнейшую стадию представляют некоторые лиманы Одессы, в которые вода входит узкими протоками, называемыми проранами или гирлами, и то не всегда. Далее все прораны и пересыпи закрываются, и морская вода входит в отделяющуюся бухту только во время сильных бурь, перекачивая волны через пересыпь, например, Гнилое море или Сасык в Крыму. Наконец, пересыпь настолько возрастает, что даже во время бурь волны не перекачиваются через нее, и тогда бухта совершенно превращается в озеро, например, озеро Майнак и знаменитое лечебное



Фиг. 123. — Древняя ледниковая корытообразная долина, заполненная озером, впоследствии разделенным дельтой бокового притока на два озера (Бриенцское впереди и Тунское сзади), соединяющиеся лишь узким протоком; на дельте г. Интерлакен. Швейцария. (Фотография с аэроплана).

озеро Саки у г. Евпатории или Суджанская грязевая лагуна около г. Новороссийска.

Дальнейшая судьба озер зависит от климатических условий. Если испарение превышает осадки, то уровень таких озер понижается, становится ниже уровня моря, и если озеро не получает питания, то высыхает в засуху и солонец. Но обыкновенно озера эти, понизив уровень, питаются все-таки морской водой, просачивающейся через пересыпь, например, это доказано для одесских пересыпей и озера Саки, которое лежит на 1 м ниже уровня моря. К этому типу озер принадлежат многие из озер Керченских, Кинбурнских, Евпаторийских, Одесских и пр.; их считают сотнями; все эти озера производят

отложение солей, имеющих весьма важное промышленное значение. Геническое озеро и восточная часть Сиваша, или Гнилого моря, отделены от Азовского, повидимому, тем же самым процессом, а Арабатская стрелка есть не что иное, как громадная пересыпь, образованная восточными ветрами и производимыми ими течениями.

Котловинные озера. 10) Озера эрозионные, происходящие в котловинах размыва. Выше мы видели, что выветривание, — механическая деятельность ветра и воды, — может производить углубления на поверхности, которые заполняются водой и превращаются в озера.

В зависимости от агентов эрозии, создавших эти углубления, можно различить речные, ледниковые (фиг. 123), эоловые озера.

Многие из этих озер представляют, так сказать, переходный тип к плотинным, и потому нередко весьма трудно отделить их от плотинных, особенно, если дело касается единичных озер.

11) Озера, происходящие от провалов. Образование провалов и примеры происходящих при этом озер были изложены уже выше, в главе о подземной деятельности воды. Между этими озерами встречаются часто, так называемые, периодические, которые, в зависимости от подземных токов, периодически изменяют свой уровень, то наполняются, то почти совершенно иссякают.

Озера эндогенного происхождения.

Дислокационные озера. Сюда принадлежат, во-первых, озера опускания, вследствие сдвигов и сбросов (дизъюнктивно-дислокационные). Самым замечательным примером этого рода озер служит Мертвое море, которое вместе с Тивериадским озером, долиною Иордана, вадии Арабах и заливом Акабах лежит на одной огромной трещине сброса. К этой категории относятся, например, Байкал, вероятно также Телецкое озеро на Алтае и многие другие.

К дислокационным озерам принадлежат также озера, обусловленные складчатостью (складчато-дислокационные).

Рельеф дна Онежского озера стоит в полной аналогии с общей орографией Олонецкого края, находясь, подобно многим Финляндским и Шведским озерам, в прямой зависимости от тектонических причин, гораздо более, нежели от выпахивающей деятельности древних ледников (вытянутые с СЗ на ЮВ ложбины дна в Кондопожской, Лижемской и Петрозаводской губах).

Особенно важное значение имеют морские дислокационные озера, к которым принадлежат многие из самых обширных озер суши.

Если море отступает, понижается, или, все равно, происходит поднятие материка, то выступающие, возвышенные части неровного

морского дна превращаются в материк, а разнообразные большие и маленькие углубления, заполненные соленой морской водой, образуют озера, которые, или, испаряясь, высыхают, или заносятся осадками, или же, наконец, прорыв себе канал, существуют неопределенно долгое время. Морская фауна в них изменяется, смотря по увеличению или уменьшению солености воды. Отдельные формы вымирают, другие, изменяясь, приспособляются к новой среде, но только весьма немногие переносят полное опреснение.

Все эти озера находятся в разных периодах усыхания. Некоторые из них уже исчезли, и на месте их находятся только низменные



Фиг. 124. — Полигональное растрескивание такырного ила (Мангизлак. По Н. Андрусову).

солончаковые котловины, например, котловины низменности в Туранской, залегающие ниже уровня Каспия, называемые такырами, хаками и шорами, да и само озеро Сары-камыш уже почти превратилось в такую котловину. Другие заметно уменьшаются (фиг. 124).

Не только озера низменности, но и многие горные озера в Тяньшане и Алтае несут ясные признаки усыхания. То же наблюдается и на других материках: Австралии, Африке, Сев. и Ю. Америке, особенно в великом бассейне соленых озер между Сьерра Невадой и Скалистыми горами, где нередко на крутых берегах озер отчетливо проявляются террасы усыхания.

Благодаря осушению, следовательно, концентрации солей, большинство этих озер имеют горько-соленую воду; многие же до того концентрировались, что выделяют самосадочную соль; таких озер в одной Астраханской губернии насчитывают до 2.000.

Состав озерной воды и некоторые ее физические свойства.

Озерные отложения по способу их происхождения могут быть разделены на две группы: механические и химические отложения.

Первые обязаны своим происхождением притокам озер, т. е. рекам; они рассмотрены нами в предыдущей главе, и потому нет надобности больше останавливаться на них; заметим только, что, заполняя озера, они изменяют его уровень, глубину и могут даже совершенно уничтожить озеро без отношения к климату и дислокации. Эти изменения уровня отличаются от изменений уровня, производимых климатом, тем, что всегда имеют частный характер, не распространяющийся на все озера данной области, как это бывает при изменении климата. Кроме того, нужно отличать периодические колебания уровня озер в зависимости, во-первых, от периодичности питания, как выше указано, а также, во-вторых, от давления атмосферы, на подобие колебаний барометра, — сейши.

Отложения химические исключительно обуславливаются составом озерной воды и имеют, как выше замечено, не только геологическое, но и большое экономическое значение. Вода озер содержит в растворе различные посторонние вещества, качество и количество которых зависят частью от состава воды, питающей озеро, частью от свойства пород озерного бассейна и, наконец, частью от отношения испарения, или расхода к прибыли, т. е. питанию. Отсюда понятно, что почти все проточные озера, получающие обильное питание, имеют воду пресную, с постоянною температурою у дна около 4° Ц.

Пресные озера богаты механическими осадками, а химически-растворенные вещества уносятся из них истоками, тогда как в озерах без истока, или непроточных, где протекающая вода уходит только путем испарения, количество химически-растворенных веществ должно постепенно увеличиваться, концентрироваться; поэтому вода таких озер становится соленою, негодною к употреблению, и сами озера называются соляными.

Количество солей в некоторых озерах в 10 раз больше, нежели в открытом океане, где соленость редко превосходит 3,5‰.

Но не только в различных озерах, но даже в разных местах одного и того же озера количество солей неодинаково. В Мертвом море количество солей варьирует от 19‰ до 25‰ на 100 ч. воды.

Что касается качества солей, то хотя они в этом отношении весьма разнообразны, тем не менее преобладающими являются поваренная соль, гипс и сода.

В зависимости от тех или других составных частей из всех озер выделяют три главных группы: собственно соленые, натровые, или, лучше, содовые, и борные.

Соленые озера по многочисленности и величине занимают первое место; за ними следуют содовые и только редко попадаются борные.

Содовые озера отличаются содержанием углекислого натра, который, впрочем, всегда находится вместе с сернокислыми солями натрия. Чистые содовые озера встречаются сравнительно редко. Кроме мексиканских и венгерских, озера эти известны в Неваде, особенно озеро Карсон, лежащее на высоте 4,055 ф.; на плоских берегах его отлагается трона и гайлюссит.

Озера, отлагающие буру, еще реже. Они находятся на возвышенностях Тибета и Непала, где нередко отложение буры (тинкал) тесно связано с каменной солью.

К северу от С. Франциско береговые озера отлагают вместе с бурой и поваренную соль. Кристаллы буры достигают до 2—3 дюймов в диаметре.

Все эти озера как содовые, так и борные, тесно связаны с горячими источниками и почти исключительно питаются ими.

Деятельность моря.

Механическая деятельность прибоя волн и течений.

Интенсивность и характер деятельности прибоя волн зависит от многочисленных факторов, неодинаковых для различных берегов и даже изменяющихся на одном и том же берегу в разные периоды времени. Факторы эти кроются, во-первых, в разнообразии физических свойств моря и атмосферы, во-вторых, в продолжительности времени действия прибоя волн, в-третьих, в разнообразии оро-геологического характера берегов, и в-четвертых, нако-



Фиг. 125. — Морской прибой у пологого берега; сбегающая с песчаного пляжа обратная волна; сзади видна следующая, набегающая переламавающимся гребнем.

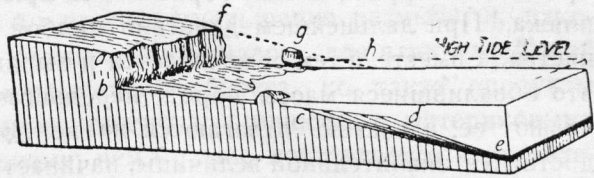
нец, в присутствии или отсутствии поднятий или опусканий берегов, которые могут совершенно изменить направление и размеры деятельности прибоя волн.

Что касается первой группы факторов (температура, соленость, движения моря, ветры, сила их пр.), то заметим только, что неравномерное распределение их несомненно оказывает значительное изменение в ме-

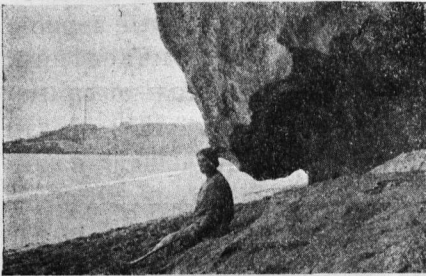
ханической деятельности прибоя волн; в морях без приливов конфигурация размываемого берега резко отличается от конфигурации, происходящей на берегах морей с приливами; отношение направления господствующих ветров к приливным волнам в одних случаях может увеличить силу прибоя, — если направление тех и других совпадают, — а в других, наоборот, может уменьшить, — если направления их противоположны; характер выветривания береговых пород в одних случаях помогает разрушению от прибоя волн, а в других, напротив, отложению. Низкая температура, обуславливая накопление льдов, помо-

гает механическому разрушению; высокая, напротив, способствует развитию морских организмов, иногда задерживает разрушение и т. д.

Относительно времени можно сказать, что чем продолжительнее действует прибой волн, тем разнообразнее результаты его. На неподвижных берегах, т. е. не испытывающих ни поднятий, ни опусканий самое разрушительное действие волн по истечении значительного



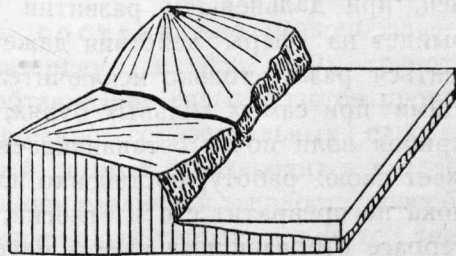
Фиг. 126. — Морское побережье: *a, b* — береговой уступ с прибойной террасой *b, c*, подводным шлейфом отложения *c, d, e*; *f, g, h* — линия первоначальной поверхности берега до размыва, и *g* — его останец свидетель (ср. фиг. 127).



Фиг. 127. — Прибойное горло. Биариц. Атлантический океан. (Фот. Д. Мушкетова).

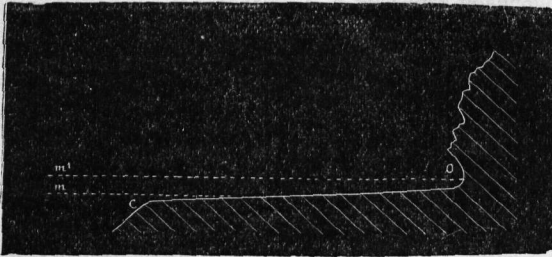
времени превращается в созидательное, т. е. вместо энергичного размыва тот же прибой производит осадки. На берегах опускающихся площадь размыва значительно увеличивается, а на берегах поднимающихся уменьшается. Чтобы уяснить самый процесс действия прибой волн на неподвижные берега в течение неопределенного долгого периода времени рассмотрим ближе характер его. Положим, что прибой действует на крутой или даже отвесный берег; тогда волны, ударяясь о скалы и постепенно подмывая или подтачивая их снизу, образуют углубление или жолоб на высоте постоянного прибоя

(фиг. 126 и 127). При дальнейшем увеличении жолоба нависшие скалы обрушаются и тем скорее, чем они рыхлее или трещиноватее. Присутствие больших трещин в береговых породах не только помогает разрушению, но обуславливает собою некоторые оригинальные явления, как, например, приливные колодцы, береговые фонтаны и пр. Через некоторое время, продолжительность которого зависит от геологического строения берега, прибой образует на берегу один или, при участии приливов, два уступа (фиг. 128—131), при чем со представляет волнопробойную террасу размыва. При быстром подмыве берега



Фиг. 128. — Висячая долинка, образованная быстрым подмывом берега морем.

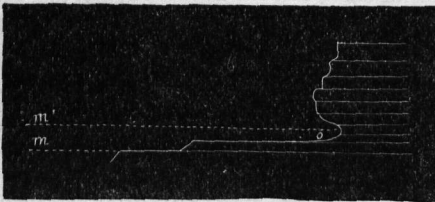
морем, может получиться крутой волноприбойный уступ, с которого будут спадать устья рек, не успевших приспособить свое течение. Волноприбойная терраса между горизонтами прилива и отлива носит название пляжа. При дальнейшем действии прибоя терраса со еще более удлиняется, а вместе с тем сглаживается и выравнивается (фиг. 128), потому что обвалившиеся массы пород, передвигаемые волнами, частью обтачивают ее, а частью отлагаются на ней. Волноприбойная терраса ос, достигнув значительной величины, начинает оказывать серьезное сопротивление напору волн, разрушительная сила которых постепенно осла-



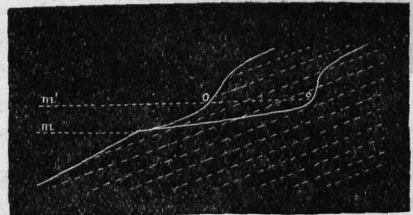
Фиг. 129.

бекает вследствие влияния трения; чем длиннее эта терраса, тем волны больше тратят своей силы, тем больше ослабевают они при подходе к обрывистому берегу. Вследствие этого очевидно, что через некоторый период времени, при известной

длине и ширине террасы, до жолоба о будут доходить только самые высокие приливные волны, следовательно, возрастание жолоба и разрушение берега замедляется сравнительно с первоначальным, нако-



Фиг. 130.



Фиг. 131.

нец, при дальнейшем развитии террасы крутой берег совершенно выйдет из сферы действия даже высших приливов и будет разрушаться разве только исключительно большими волнами, происходящими при самых сильных бурях; в этой стадии разрушение берега от прибоя волн почти останавливается; только выветривание продолжает свою работу, постепенно сглаживая крутой берег до тех пор, пока не превратит его в отлогий; в то же время на волноприбойной террасе оторвавшиеся глыбы перетираются, сортируются и отлагаются в виде более или менее ровного слоя галек и песка, утолщающегося только на границе прибоя и представляющего самую верную защиту от дальнейшего разрушения берега. В конце концов, крутой или отвесный берег получает совершенно другую форму, таким путем образуются висячие долинки морских побережий (фиг. 128), характери-

зующиеся не разрушением, а накоплением осадков. Этот процесс отложения в сущности начинается еще в первую стадию развития волноприбойной террасы и продолжается во все время образования ее, постепенно усиливаясь как бы на счет уменьшения размыва, и, наконец, совершенно заменяет размыв. Материалом для этих отложений служат не только продукты разрушения берега, но также продукты выветривания его и особенно продукты, приносимые материковыми потоками и морскими течениями; чем больше доставляется этих материалов, тем самые накопления возрастают быстрее, тем меньше образуется волноприбойная терраса и тем скорее, следовательно, наступает смена процесса разрушения процессом созидания. Кроме защищающего влияния, те же накопления, особенно при начале образования, действуют обратно, т.-е. помогают размыву, усиливая обтачивание и шлифование берега и производя тем особые формы размыва, как, например, береговые исполиновые котлы, пещеры и проч., но о них скажем ниже, а теперь рассмотрим третью группу факторов, изменяющих направление и интенсивность механической деятельности прибоя волн, именно оро-топографический характер и геологический состав берегов.

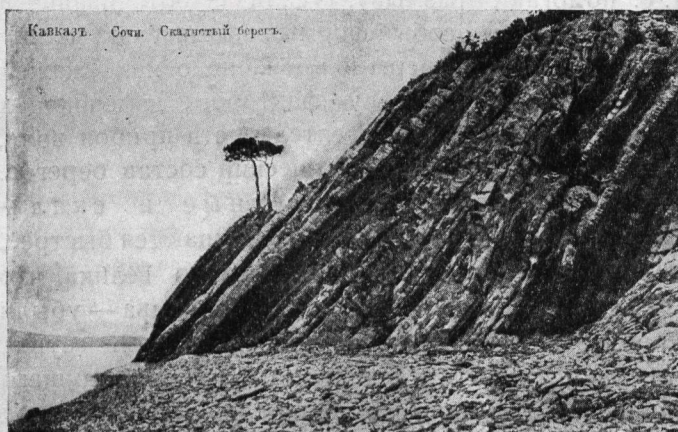
Давно уже замечено, что высокие, отвесные и скалистые берега, при всех других равных условиях, разрушаются быстрее, нежели плоские и неизменные. Разница эта настолько велика, что первые большею частью представляют области размыва — убыли суши, а вторые, напротив, — области отложения, прибыли суши. Такое влияние орографии берегов понятно из предыдущего изложения, т.-е. на низменных берегах, спускающихся постепенно под уровень воды, удар волн ослабляется вследствие трения о дно. С другой стороны, чем берег расчлененнее, иззубреннее, тем он представляет большую поверхность для нападения волн, тем, следовательно, он быстрее разрушается, чем прямолинейные, не имеющие горизонтального расчленения берега.

Влияние геологического состава еще разнообразнее. Если пласты падают от моря к материку (см. фиг. 129), то подмытые части обрушаются легче и обтачивание голов пластов происходит энергичнее, нежели в совершенно горизонтальных пластах (фиг. 130), где, напротив, энергичный размыв происходит в начале; горизонтальные пласты, особенно, если они различной твердости, способствуют быстрому возрастанию волноприбойных террас, а, вместе с тем, ослаблению размыва; обтачивание поверхности однородного пласта, образующего террасу, гораздо труднее, нежели голов разнородных пластов. Кроме того, горизонтальное пластование способствует образованию не только одной или двух террас, но целого ряда их, особенно, если величина приливо-отливных волн варьирует в больших пределах.

Еще большую устойчивость обнаруживают пласты, падающие по направлению к морю, и чем меньше угол падения, тем больше их сопротивление размыву (фиг. 130 и 131). На таких берегах волны, взбираясь вверх по падению, скользят по однородной плоскости напластования, теряют свою силу от трения и производят только слабый размыв; подмытые пласты настолько устойчивы, что обрушаются редко; волноприбойная терраса возрастает весьма медленно и редко достигает значительной величины.

Если свита пластов разнородной твердости с падением к материку омывается морем с двух сторон, из которых одна параллельна простиранию, а другая перпендикулярна к первой, то результат размыва будет различный на обеих сторонах. Берег, направление которого

совпадает с простиранием пластов, остается прямолинейным, но перпендикулярный к нему получит сложное расчленение; мягкие пласты размоются скорее и на месте их образуются бухты, а твердые выступят в виде мысов; впоследствии бухты заполнятся береговыми осадками, и берег снова выровняется.

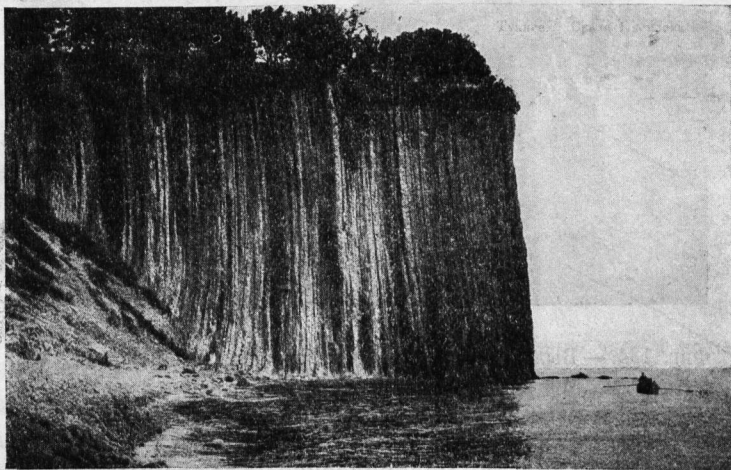


Фиг. 132. — Пример коренного берега, сложенного пластами, падающими в сторону моря. Сочи.

Прибой волн быстрее разрушает мягкие или рыхлые породы нежели твердые или массивные: в то время как, например, рыхлые вулканические туфы, известковистые песчаники и пр. совершенно разрушаются, смываются под напором волн, массивные граниты, базальты и пр. обнаруживают только едва заметные следы действия их. Вследствие этого на спокойных, даже прямолинейных берегах, но сложенных или из пластов различной твердости, как в предыдущем случае, или, еще лучше, из разнородных осадочных и массивно-кристаллических пород, по прошествии уже небольшого периода времени, появляются выступающие массы из твердых пород и бухты, врезающиеся в мягкие породы. Чем больший период времени действует прибой, тем иззубренность или горизонтальное расчленение берега становится сложнее и больше, хотя, в конце концов, с наступлением периода отложения иззубренность берега снова сглаживается.

Выступающие мысы под влиянием напора волн с течением времени разрываются на несколько частей, отделяются от материка и образуют мелкие прибрежные острова, которые при дальнейшем размыве нередко превращаются в подводные скалы или шхеры, например, на южном берегу Крыма у Гурзуфа, Судака и пр. (фиг. 133 и 134).

Волны разрушают берега не только одним напором, но употребляют для истирания и подтачивания их валуны и гальки более твердых пород, обрушившихся от размыва и перекатываемых по дну. При помощи таких валунов волны производят нечто вроде бурения

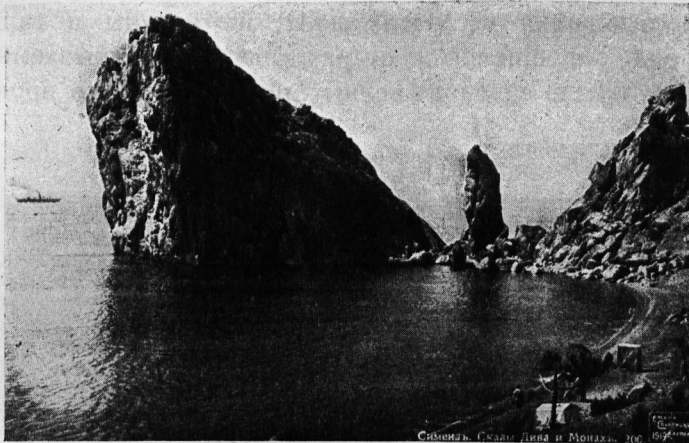


Фиг. 133. — Морской берег, сложенный вертикально стоящими пластами; смытая часть мыса продолжается в море выступающей грядой рифов. Головы пластов срезаны ровной поверхностью древней морской террасы, на которой образовался растительный покров. Скала Кисилева у Туапсе, на Черноморском побережье Кавказа.

в более слабых местах скал и образуют совершенно такие же испололиновые котлы, как и проточная вода при крутом падении, но только не вертикальные, а горизонтальные и наклонные, в роде эоловых котлов, но отличающихся от эоловых большими размерами.

Плоские берега также подвергаются размыванию морем, как это доказывает история немецких и английских берегов Немецкого моря, но прибой проявляет здесь свою разрушающую силу не постоянно, а когда море заполняет обширные пространства, например, на низменных берегах Голландии, Фрисландии, Шлезвига и Ютландии, где, вероятно, главная причина кроется в опускании этих берегов. В последние шестнадцать столетий население этих берегов нередко страдало от страшных наводнений, от которых гибли сотни тысяч

народа. Около половины XII ст. катастрофическое наводнение превратило озеро Флево в залив, который в 1225 г. значительно увеличился и образовал обширный Зюдерзее. В 1277 году увеличился залив Долларт и пр. В 1825 г. море прорвало весь полуостров Ютландии проливом Лимфиорд.



Фиг. 134. — Выдающийся в море береговой известняковый утес („Дива“ и „Монах“) и образованный его влиянием на береговое течение намывной берег — пляж Симеиз. Крым.

На плоских берегах механическая работа моря существенно изменяет свой характер из разрушительной в созидющую.

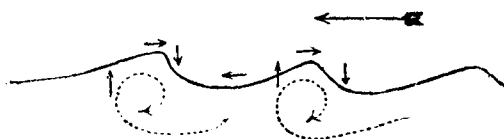
Намывание.

Разрушительная деятельность моря с первого взгляда кажется преобладающею, но на самом деле, как уже замечено выше, она составляет только часть работы волн; другая же часть заключается в созидании. Процесс созидания начинается на самом месте разрушения, а потому каждая волна исполняет двойную работу: подтачивая скалистые выступы, она уносит обломки и тотчас же отлагает их на соседних берегах; в одно и то же время она заставляет мыс отступать внутрь материка и выдвигает берега бухты в море или, все равно, срывает выступы суши и отделяет или засыпает бухты. Благодаря такой двоякой деятельности прибоя, береговая линия постепенно изменяется; каковы-бы ни были первоначальные ее очертания, мало-по-малу она стремится приобрести нормальную форму, состоящую из ряда углублений с незначительной вогнутостью, перемежающихся с такими же плоскими выступами; кривую эту сравнивают с слаботяннутою цепью, поддерживаемою на некоторых расстояниях; изгибы

волн, которые, созидая подобные берега, как бы отпечатывают на них правильность своих очертаний. Чем глубже первоначальный залив, тем большую изогнутость принимают волны при движении в нем и тем значительнее изгиб береговой линии и наоборот.

Чтобы выяснить образование намывных берегов и вместе с тем определить характер и форму волноприбойных отложений, рассмотрим подробнее самый процесс намывания. Наблюдая прибой во время сильного волнения, нетрудно заметить, что за движением волн следуют и рыхлые продукты разрушения, тем крупнее, чем сильнее прибой. Волны, одна за другой набегают на берег, постепенно вздымаются по мере приближения к нему и на некоторой определенной линии вспениваются и опрокидываются, а масса воды, составлявшая волну, приобретает поступательное движение и несется более или менее толстым слоем вперед и вверх,

взбираясь на полого-поднимающийся берег; при таком подъеме, очевидно, движение воды постепенно замедляется и, наконец, совершенно прекратится, когда энергия надвигающегося слоя израсходуется на преодоление сопротивления самого берега, на трение



Фиг. 135. — Движение частиц воды в морских волнах.

о его поверхность, на противодействие воздуха и собственной тяжести. Достигнув известной границы, наступающий водяной слой на мгновение останавливается, и затем, подчиняясь действию тяжести, получает обратное, постепенно ускоряющееся движение, т.е. сливается с пологого склона к подножию следующей наступающей волны, образуя, так называемое, *отливное течение* (фиг. 125). Отливное течение, вначале тихое, достигает в конце значительной скорости и тем большей, чем круче наклон берега (фиг. 135). Очевидно, что при существовании двух противоположных течений количество намываемого материала будет зависеть от отношения скоростей обоих течений; при равномерности их, песчинки и гальки, следуя за движением воды, будут катиться вверх и вниз; на крутых склонах, где скорость отливного течения превышает скорость наступающей волны, будет преобладать *смывание*, а на пологих берегах, наоборот — *намывание*, потому что скорость отливного течения меньше, и оно не в состоянии уносить обратно материал, приносимый наступающей водой. Наблюдения и опыты показывают, что этот последний случай происходит преимущественно только на крайне пологих берегах, склон которых составляет с горизонтом угол от 2° до 10° , в зависимости от крупности отлагаемого материала; чем мельче песок, тем

меньше этот угол. На подобных берегах приливная волна имеет еще ту характерную особенность, что в самой верхней части склона, куда доносятся последний всплеск набегающей волны, происходит моментальное всасывание песком воды, образующей тут обыкновенно тонкий слой, так что отливное течение начинается не от той линии, до которой доходит вода при поступательном движении, но немного отступая. Полоса, где происходит всасывание, легко определяется по матовой поверхности тускнеющего песка; ширина ее весьма разнообразна и находится в зависимости от наклона берега и силы волнения. На этой-то полосе, не имеющей отливного течения, разумеется, могут отлагаться не только крупные гальки, но и самые мелкие песчинки; впрочем, более крупный гравий может осаждаться по склону и несколько ниже той линии, откуда начинается отливное течение, так как вначале оно имеет незначительную скорость.

Вследствие разной крупности отлагающихся осадков, наклон в разных местах одного и того же склона несколько изменяется. Но, вообще, в природе намывные берега тем положе, чем сильнее прибой, а так как сила его изменяется в зависимости от силы ветра, то и наклон намывного берега варьирует в небольших пределах. Результатом намыва, производимого прибоем волн на плоских берегах, появляется слой из песка, галек и валунов, утолщающийся вверху и оканчивающийся выше уровня воды небольшою, более или менее правильною грядою, которую обыкновенно называют береговым валом. Береговые валы тем больше, чем сильнее волнение, образующее их; на пологом склоне большого берегового вала нередко налегают маленькие, второстепенные грядки, соответствующие более слабым волнениям; наименьшая из них находится в самой нижней части склона и соответствует самому слабому волнению. Совокупность грядок придает намывному берегу ступенчатый вид. Склон берегового вала, обращенный к морю, имеет небольшую вогнутость, которая повторяется и на вгостепенных грядах.

Высота намывных отложений над уровнем моря весьма небольшая и зависит от высоты волн прибоя и от крупности материала. На берегах Балтийского моря наибольшая высота даже береговых валов не превосходит $1\frac{1}{2}$ м над поверхностью берега и $2\frac{1}{2}$ м над уровнем моря; при этом, чем мельче материал, слагающий их, тем высота меньше.

Ширина намывного берега зависит, главным образом, от отношения направления надвигающихся волн и простирания берега. Если волны набегают перпендикулярно к берегу, то намывная полоса получается шире, нежели в том случае, когда они ударяют под каким-либо острым углом. Если же волны идут параллельно берегу, то на-

мывания почти не происходит, а минеральный материал движется вдоль берега до тех пор, пока не встретит благоприятный для отложения берег. Так как простираение берега и направление волн разнообразно изменяются, особенно на извилистых берегах, то ширина намывного берега весьма непостоянна и изменяется на небольших расстояниях. Волны, идущие в открытом море перпендикулярно к береговой линии, на пляже всегда оказываются косыми, так как, благодаря трению нижних слоев воды о поверхность затопляемой части береговой зоны, участки этих волн, ближайšie к берегу, отстают в своем движении, и гребень волны превращается в кривую, выпуклую в сторону берега. Следовательно, те части волн, которые образуют береговой прибой и обуславливают механическую работу на пляже, всегда будут направлены под углом не только меньшим, чем 90° , но, вероятно, даже меньшим, чем 60° .

Имея это основное положение, можно прийти к весьма важным выводам, что перемещение валунов, гальки, гравия и крупного песка параллельно берегу, и обусловленное волнами, набегаящими под косым углом, происходит по зигзагообразной линии, слагающейся из частей попеременно перпендикулярных гребню волны и береговой линии, причем величина этого перемещения зависит: а) от направления ветра, б) от силы ветра и с) от угла уклона части пляжа, по которой происходит перемещение. При этом выдающиеся в море мысы, в зависимости от преобладания тех или других ветров, или играют роль барьера, препятствующего дальнейшему перемещению материала вдоль берега и обуславливающего его скопление в обеих бухтах у основания мыса, или же лишь замедляют перемещение, также обуславливая засорение бухт, но более медленно. Глубокая бухта при той же комбинации ветров является более серьезным барьером, чем мыс, и прерывает передвижение материала вдоль берега, поглощая этот материал, но благодаря этому поглощению ее роль является только временной.

Пляж нельзя смешивать с волноприбойной террасой: первый — результат отлагающей работы моря, а вторая — результат разрушения прибоем. Например, на побережье Черного моря между Туапсе и Сухумом пляжа собственно нет. При постепенном переходе параллельного направления к перпендикулярному, например, на плоско-вогнутых берегах, намывная полоса будет постепенно из узкой переходить в широкую, т.е. расширяться от первого ко второму, где и достигает наибольшей ширины. Если берег сильно иззубрен, имеет много вдающихся в материк бухт, то при надвигании волн сила их претерпевает значительное ослабление при встрече со спокойными бассейнами бухт; вследствие этого нанос, передвигаемый вдоль берега или

прямо надвигаемый на берег в местах ослабления или уменьшения силы волн, будет обильно отлагаться на границе встречи волн с бухтой, на подобие того, как это происходит при замедлении течения в потоках при впадении их в озеро или море. Результатом этого процесса с одного или двух краев бухты выдвигаются низкие намывные косы, свободные концы которых постепенно сближаются. Сомкнувшись на полдороге между двумя мысами, ограничивающими бухту, косы эти сливаются в большую дугу круга, обращенную вогнутой стороной к морю, а выпуклою — к старому берегу бухты. Эти песчаные косы, отделяющие бухты и превращающие их в лагуны, называют плотинами, нерунгами, лидо; у нас — стрелками и пересыпями, а на севере — кошками. В сущности, они представляют те же береговые валы и имеют те же особенности, которые описаны выше. Большею частью они состоят из мелкого песка, но бывают также из гравия, галек и даже валунов. Свободно выступающие в море косы называют загибы или пойнт; под уровнем моря они часто продолжают в виде плоских банок, очень опасных для судов, огибающих такие косы.

Профиль песчаного пляжа определяется условием, что в каждой точке существует равновесие между силой тяжести, вызывающей возвратную волну, увлекающую песок книзу, и работой восходящей волны, снова перемещающей этот песок кверху.

Вследствие постоянного перемещения вверх и вниз песок пляжа приобретает замечательное однообразие зерна и отличается округленностью; материал более тонкий, поддерживаемый волнующейся водой постоянно в взвешенном состоянии, остается более или менее угловатым, так как он избегает такого трения. По опытам в таком состоянии находятся зерна кварца, имеющие в диаметре менее $\frac{1}{10}$ мм. Этот материал уже не отлагается у самого берега, а несколько дальше, где движение волн сосредоточивается на поверхности воды; падая на дно только под влиянием силы тяжести, когда вода приходит в спокойное состояние, этот материал отлагается уже в виде осадков. Эти условия отложения на пляже и непосредственно около него определяют замечательную однородность песчаных морских образований, в которых в то же время часто можно видеть кварцевый песок из элементов то округленных, то угловатых.

Такие условия обычны на берегах, где высота приливов не подвергается значительным изменениям, где, следовательно, и высота наивысшего действия волны остается более или менее постоянной. В противном случае отложения на пляже подвергаются частой переработке; правильная последовательность материала различной крупности нарушается тогда перемежающимися слоями тонкого песка

и гальки, иногда даже валунов. Склон из галечных отложений обыкновенно представляет две террасы, соответствующие высоким водам прилива обыкновенного и во время равноденствия.

Механическая обработка отложений пляжа вызывает часто правильную сортировку материала по удельному весу. Часть этих осадков выше линии прилива, как следствие деятельности прибойных волн бурь, наложена чрезвычайно правильно; наоборот, собственно отложения пляжа, т.-е. ниже линии прилива, обнаруживают правильную



Фиг. 136.

слоистость, параллельную склонам пляжа, которые изменяют наклон от 2 до 8° при слабых приливах и до 15 — 20° при сильных, когда изменяется и самый характер слагающего материала. На отложениях пляжа часто можно видеть следы струйчатости, т.-е. бороздки, соединяющиеся под острым углом, обращенным к морю; они возникают вследствие каких-нибудь препятствий при стоке возвратной волны. Обломки раковин и различные выбросы моря являются характерными для отложения пляжа. В нижней части пляжа часто образуются незначительные выпуклости, так называемая рябь, или волноприбойные знаки (фиг. 136). Образование их объясняют тем, что волна перемещает перед собою песок до некоторой высоты, дальше которой сила ее теряется, и она скатывается через гребень такого песчаного валика. Вода, испытывая различные вибрации при распространении каждой волны, и оставляет такие нежные следы своего колебания. Кроме того, харак-

терно для отложений пляжа наличие трещин усыхания в глинистом материале и типичная прибрежная фауна с толстыми раковинами.

Отложения пляжа, конечно, трудно разграничить от тех, которые отлагаются исключительно под влиянием силы тяжести из взвешенного состояния, увлекаемые волнующейся водой. Отложения пляжа или приливо-отливной полосы составляют переход к осадкам прибрежной ступени, или шельфа.

Осадки мелководного и более глубокого моря, полупелагические.

1) Осадки континентальной зоны — „шельфа“.

Материал, поддерживаемый волнующимся морем в взвешенном состоянии, состоит из обломков различных минералов, преимущественно кварцевых, диаметр которых менее 0,1 мм, и тонкого ила, происходящего от истирания более мягких пород, глинистых или известняковых. Этот материал имеет качественное сходство с вышеописанными береговыми отложениями и состоит из разрушенных и снесенных частей береговых пород и вообще суши. Даже наиболее тонкий материал не может перемещаться бесконечно в прибрежной полосе моря; и он подвергался фильтрации, под влиянием которой начинает отлагаться в зоне непосредственно за пляжем, где волнение моря сосредоточивается более лишь около поверхности.

Эти отложения образуют вокруг материков и островов непрерывный пояс средней ширины около 250 км с глубинами от 20 до 200 м; местами эта ширина меньше, местами больше. Рихтгофен называл эту полосу континентальной зоной морского дна. Она не только окаймляет берега материков и островов, но и включает все внутренние и краевые моря. По своим петрографическим свойствам эта континентальная полоса характеризуется песчаными и глинистыми осадками, правильной слоистостью, изменчивостью состава и зависимостью от приливов и волнений. В пределах этой зоны есть места, где вовсе не отлагается осадков.

На поверхности осадков под влиянием вибрации волн до глубины 100 и 150 м должны возникать следы ряби. Слои получают наклон, если течения приливо-отливные достигают достаточной силы; в таких случаях осадки продолжают отлагаться горизонтально только в периоды относительного покоя, во время окончания прилива и отлива, а в промежуточное время слои отлагаются несколько наклонно и тем более, чем сильнее противное течение. Таким образом возникают перемежающиеся слои то горизонтальные, то с наклонной слоеватостью. Вообще же самая слоистость осадков, т.-е. ясное появление плоскостей напластования, может обнаружиться только в тех случаях, когда

движение воды подвергается частым изменениям. Плоскости напластования среди песка совершенно однородного зерна свидетельствуют о временном перерыве в процессе отложения, т.е. об отсутствии отлагающегося материала. Если происходят более сильные колебания в напряженности волнения, изменяется перемещающая сила, и следовательно, пески могут отлагаться поочередно с гравием или галечником. Если не происходит перерыва в отложении, осадки опускаются на дно непрерывно, подобно отложению их химического раствора.

Возможно, что более тонкие илистые частицы, первоначально рассеянные среди песчаных, могут сосредоточиваться в небольшие клочковатые массы, оседающие только необыкновенно медленно.

Совершенно неслоистые образования в песчаной зоне получают также при участии плавающего льда, когда на дне моря отлагается материал ледникового происхождения, например, в Атлантическом океане у Нью-Фаундлэнда.

2) Континентальная зона илов полупелагических отложений. С удалением от берегов составные части песчаной зоны постепенно уменьшаются, а самые отложения становятся петрографически однообразнее, и, наконец, на глубинах более 200 м, т.е. вне сферы действия волн, песчаная зона сменяется зоной континентальных илов, которая хотя также принадлежит к прибрежным отложениям материкового происхождения, но представляет осадок континентального материала в области вообще более глубокого моря—от 200 м до 4000 м глубины. Во всех отложениях этой категории находят обломки минералов диаметром максимум 0,5 мм и преимущественно кварца, реже слюды, полевого шпата, авгита или роговой обманки.

Континентальные илы занимают особенно обширные пространства дна в арктических морях, часто приближаясь совсем близко к берегам и оттесняя песчаную зону до самой узкой полосы. Так, они преобладают в морях Баффиновом и Гудзоновом и в многочисленных проливах арктических стран. Это понятно, так как в арктических морях волнение остается наименее напряженным, вследствие значительного ледяного покрова в течение продолжительных периодов; также береговая линия долго остается окаймленной льдами, и деятельность изгибов гораздо слабее. Ледники арктических стран доставляют огромные количества тонкого илистого материала, а остатки организмов, именно диатомовых, преобладающих в этих водах, доставляют кремнистые элементы, которые почти не изменяют общего характера илистых осадков арктических морей.

Среди илов различают:

Синеватый ил имеет самое обширное распространение и характеризуется темно-синим цветом, часто переходящим почти

в черный, подобный цвету грифельных сланцев; только в редких случаях, вследствие разложения органическими веществами, он принимает с поверхности красноватый оттенок; в сухом состоянии он становится сероватым; часто он издает запах сероводорода и никогда не обладает плотностью и пластичностью глины. Голубая окраска происходит или от органических веществ, или от тонко раздробленного пирита. Сложение его чрезвычайно тонкозернистое: иногда 80% его массы образуют обломки минералов диаметром от 0,02 до 0,05 мм и лишь редко до 0,5 и более. Между ними главную роль играют зерна кварца и глауконита. Известковые осадки организмов также входят в состав ила и даже достигают 50% всей массы его. В центральных частях более глубоких областей примешиваются пелагические фораминиферы, кораллы, губки, обломки диатомей и скелеты радиолярий. Вообще можно сказать, что с приближением к берегам исчезают даже следы пелагической фауны, но зато появляются представители береговой фауны, причем сложение ила становится крупнозернистое. В полярных областях, где иногда айсберги, растаивая, оставляют ледниковый материал, синеватый ил принимает сероватый цвет (см. стр. 265); эта серая глина отличается присутствием крупных зерен кварца, галек и валунов; здесь, следовательно, теряется петрографическая разница между прибрежными и более глубоководными терригенными отложениями.

Зеленоватый ил и песок по своему сложению, распространению, сероводородному запаху, содержанию организмов и пр. почти во всем подобен синеватому илу, но отличается от него, главным образом, обильным содержанием глауконита (водный силикат железа и калия), который находится или в отдельных зернах, или массами, сцементированными буроватым глинистым веществом, заключающим зерна кварца, полевых шпатов, фосфорнокислого кальция и др. более или менее измененных минералов. Иногда глауконит выполняет раковины фораминифер.

Красноватый ил местами заменяет синеватый ил, например, у берегов Бразилии, где материковые потоки сносят огромное количество железистых веществ.

Вулканический ил и песок, являясь также видоизменением синеватого ила, образует прибрежный осадок вокруг вулканических островов; он черного или серовато-черного цвета; в сухом виде редко представляет связанную массу. Состоит или из обломков вулканических пород, или из зерен минералов, входящих в состав этих пород.

Коралловый ил состоит из 70—90% углекислого кальция в виде осколков кораллов, известковых водорослей, фораминифер,

серпуть, моллюсков и др. В иле преобладает аморфное меловое вещество, которое обуславливает пластичность ила. Величина наиболее крупных известковых зерен от 1 до 2 мм и только изредка попадаются большие куски кораллов; остатки кремнистых организмов составляют не более 2—3% всей массы. Коралловый ил обыкновенно белого, но иногда красноватого цвета.

В некоторых местах преобладают скопления известковых водорослей—кораллин и тогда эти отложения называют **к о р а л л и н о в ы м и л о м**.

Глубоководные или пелагические отложения.

Прибрежные отложения глубокого моря не распространяются от берегов суши дальше, чем 200—300 км. В Тихом океане есть области, где на протяжении 9.000 км нет никакой земли; в Атлантическом океане можно не встретить земли на протяжении до 4.000 км. Осадки, которые отлагаются на дне таких океанических пространств (от 700, 900 и почти до 10.000 м), не могут зависеть ни от движения волн, вообще от механической работы моря на берега суши, ни от деятельности рек. Две категории осадков встречаются на дне таких открытых океанических пространств. Одни из них органического происхождения и представляют скопления твердых остатков организмов, обитавших как на поверхности, так и на дне моря. Эти осадки представляют органический ил (глобигериновый, птероподовый, диатомеевый и радиоляриевый) и неорганический ил, или, так называемую, красную глину глубокого моря. Параллельно с этим все глубоководные осадки делятся на богатые известью и бедные ею.

Глобигериновый ил. Этим именем называют наиболее распространенный пелагический осадок, содержащий от 30% до 95% CaCO_3 и состоящий, главным образом, из скопления известковых раковин мельчайших пелагических фораминифер. Цвет его молочно-белый, желтоватый, буроватый или розоватый; различные оттенки зависят от большей или меньшей примеси окислов железа и марганца. Необыкновенно мелкие фораминиферы, достигающие видимой величины только под тропиками, обуславливают тонкозернистое сложение его и пылеобразный вид в сухом состоянии. Кроме углекислого кальция, он содержит еще фосфорнокислый и сернокислый кальций, карбонат магния, закиси железа, окись марганца и железа и глинистые частицы. В буроватом нерастворимом остатке замечаются кусочки лапиллей, вулканического пепла, стекла и разложившегося палагонита; местами эти вещества скопляются в большом количестве. Зерна отдельных минералов, не более 0,08 мм в диаметре, чаще всего принадлежат плагиоклазу, авгиту, перидоту, роговой обманке и магнит-

ному железняку; кварц попадает сравнительно редко. Кроме того, почти всегда примешиваются кремнистые организмы — диатомеи и радиолярии, достигающие местами 20% всей массы глобигеринового ила, также — аморфное вещество, напоминающее глину с примесью окиси марганца и железа, и различные известковые стяжения.

Птероподовый ил отличается от предыдущего только тем, что в нем вместе с фораминиферами находится огромное количество остатков пелагических птеропод и гетеропод крылоногих и килевоногих моллюсков; кроме того, по своему гораздо меньшему распространению он представляет переход к прибрежным отложениям, поэтому и минеральные зерна в нем разнообразнее, нежели в глобигериновом иле.

Диатомеевый ил — соломенно-желтого цвета различных оттенков, состоит из скоплений диатомей и других кремнистых организмов (до 50%); в сухом виде он похож на нежную кремневую муку и содержит лишь до 20% CaCO_3 в виде раковин глобигерин, осколков эхинодерм и др. организмов; иногда включает кусочки разложившихся вулканических пород и минералов, занесенных ветром и плавающими льдами. Диатомеевый ил залегает на глубинах в 5 — 6.000 м преимущественно в южных полярных областях.

Радиоляриевый ил местами находится с предыдущими и попадает даже, как подчиненный элемент, в прибрежных отложениях, но в центральных частях Тихого океана образует самостоятельное отложение, состоящее из кремнистых панцирей радиолярий с примесью окислов железа и марганца, зерен вулканического пепла, частью глины и углекислого кальция в виде пелагических раковин — до 20%; при содержании радиолярий менее 20% он переходит в красную глину, глину глубокого моря. Красная глина представляет самый распространенный осадок в глубоких частях современных морей; можно даже сказать, что она занимает всю пелагическую область океанов и достигает величайших глубин, где не появляется ни один из вышепоименованных осадков. С другой стороны, она не находится ни в прибрежном поясе, ни во внутренних, ни в краевых морях. По своим петрографическим качествам она, с одной стороны, представляет не что иное, как нерастворимый остаток органического ила, а с другой — в некоторых случаях является самостоятельным образованием; лучшей областью для исследования ее считают центральную часть Тихого океана. Оттенки красноватого цвета ее зависят от большей или меньшей примеси окислов железа и марганца. Она однородного весьма мелкозернистого сложения; отдельные зерна редко превышают 0,05 мм в диаметре и различаются только под микроскопом; она обладает пластичностью; в сухом со-

стоянии тверда и на плоскостях разрезов блестит; в воде распускается легко; при всем том она не представляет чистой глины уже потому, что перед паяльной трубкой она дает магнитный черный королек. Минеральные зерна, примешанные к ней, в громадном большинстве случаев вулканического происхождения и только местами попадаются зерна материковых пород, принесенные или плавающими льдами, или же ветром. Анализ красной глины: 54% SiO_2 , 16% Al_2O_3 , 8,5% Fe_2O_3 , 1,5 Mn_2O_3 , 3 MgO , 2 CaO , 2 Na_2O , 3 K_2O , 7 H_2O , и части Ti , Cr , Ni , Co , Sr , Ba , Cu , As и др. В ней весьма часто, если только не всегда, находятся зерна и даже желваки иногда почковатого сложения окислов железа и марганца; кристаллы и кристаллические сростки цеолитов и металлические или силикатовые шарики, вероятно, космического происхождения, т.-е. представляют метеорную пыль.

Из органических остатков в красной глине чаще других попадают кремнистые радиолярии и диатомеи; известковые же находятся только в верхних частях глины и на меньших глубинах; кости кита и зубы акулы попадают нередко, облеченные корою из окислов железа и марганца. Кроме того, наблюдается еще аморфное вещество, которое вместе с глиной составляет до 50% всей массы красной глины.

Необходимо заметить, что красная глина образует, повидимому, только тонкий покров на дне океанов. На это указывает распространенность на ее поверхности остатков, которые в других отложениях встречаются гораздо реже. Так, одним опусканием драги, на глубине 42,0 м к югу от Маркизских островов, было добыто более ста зубов акул и до сорока слуховых костей китовых, причем снаряд проник в глубину не более, как на 3—4 см. Одни из этих костей были покрыты инкрустацией до 2½ см окислами марганца, а другие были совершенно чисты. Зубы акул напоминают формы вымершие. Следовательно, на этих исключительных глубинах накопление органических остатков происходило в течение различных эпох, и смешанные таким образом остатки не могли быть совершенно покрыты отложениями.

Образование органического глубоководного ила происходит гораздо медленнее, чем континентального, но несравненно быстрее, чем красной глины.

Попытки найти в древних геологических образованиях аналогов красной глины глубокого моря пока являются неудовлетворительными, и даже высказано предположение о том, что в прежние эпохи она вообще не могла образоваться.

Разнообразие материала морских отложений. Следующие девять групп продуктов входят в состав осадков моря:

1) Продукты смыва материков и континентальных островов; речные механические наносы.

- 2) Продукты, приносимые реками, химически растворенные.
- 3) Продукты вулканических извержений.
- 4) Атмосферная пыль.
- 5) Ледниковый нанос, разносимый плавающими ледяными горами.
- 6) Продукты смыва коралловых островов.
- 7) Известковые и кремнистые выделения плавающих организмов.
- 8) Выделения или скопления организмов, живущих на дне моря.
- 9) Космическая пыль.

Следовательно, морские отложения могут быть механического, химического или органического происхождения. Все эти роды продуктов находятся или отдельно, или, что чаще, совместно; они свойственны как прибрежным, так и пелагическим отложениям, но далеко не в одинаковой степени; в первых развиты главным образом механические продукты и отчасти органические; во вторых же — преимущественно органические, частью механические и химические продукты. На качества и природу прибрежных отложений оказывают влияние не столько условия глубины, сколько расстояние от берегов и степень наклона берега.

Разнообразие одновременных морских отложений. Литологические карты дна морей, например, Балтийского (фиг. 137) и Каспийского, наглядно показывают петрографическое разнообразие песчаной зоны, зависящей от петрографического характера береговых пород; карты распространения пелагических осадков обнаруживают не меньшее разнообразие осадков, которые отлагаются в одно и то же время различных пространств дна океанов. Организмы, населяющие моря, по крайней мере пелагические, различаются по областям, в зависимости от внешних физических условий; следовательно, ни различие в петрографическом характере, ни полное несходство органических остатков, т. е. различие фауны, не может свидетельствовать против одновременности отложений, заключающих такие остатки. Такое заключение тем надежнее, чем ближе к современной нам эпохе время отложения рассматриваемых слоев. Необходимо отметить также незначительное распространение прибрежных отложений сравнительно с глубоководными и медленность накопления даже первых около берегов, не испытывающих каких-либо колебаний.

На дне морей могут быть пространства, на которых не происходит никакого отложения, или вследствие сильных течений, например, в Ламанше, или при условиях значительной глубины и удаления от берегов, когда накопление таких осадков, как красной глины, происходит невероятно медленно. Следовательно, отсутствие в серии каких-либо отложений одного из определенных горизонтов отнюдь не может быть истолковываемо, как доказательство

наоборот — отложения могут отсутствовать, потому что море в этом месте было слишком глубоким.

Подобно современным отложениям на дне моря пласты осадочных пород подвержены значительным изменениям по простиранию как вдоль берега, так и вкрест его. Образование однообразных мощных и непрерывных терригеновых отложений может происходить только в морях сравнительно узких и вдоль берегов, подвергающихся частым вертикальным колебаниям.

Распространенность терригеновых отложений среди геологических образований. Геологические образования минувших периодов, наблюдаемые теперь в виде горных пород, имеют своих аналогов среди почти всех терригеновых осадков. Среди этих пород можно указать только немногие, которые можно было бы отнести к пелагическим осадкам органического происхождения, и вовсе нет пород, которые можно было бы признать за отложения красной глины глубокого моря. Песчаники, конгломераты и известняки — коралловые, устричные, гиппуритовые, нуммулитовые, неринеевые, орбитулиновые, можно признать за отложение верхнего пояса прибрежных образований, иногда типичного пляжа, т. е. отлогого берега, иногда более крутого. Косая слоеватость, волноприбойные знаки, следы струйчатости, трещины высыхания и следы, оставляемые конечностями сухопутных животных, являются надежными и частными признаками образования этих отложений в поясе приливо-отлива. Своеобразная фауна характеризует, как увидим дальше, эти образования.

Тонкозернистые песчаники, глины, мергеля и известняки — криноидеевые, брахиоподовые, с губками, должны быть отнесены к отложениям песчаной зоны. Тонкозернистость, значительная примесь глинистых частиц, правильная слоистость, более редкие следы ряби могут служить доказательством их отложения в пределах двухсотметровой глубины моря.

Постоянство материковых массивов и океанических впадин. Факт смены одних осадков другими, и притом несколько раз в одном и том же месте, с несомненностью доказывает многократные колебания уровня, а следовательно, изменение отношения площадей суши и моря. С другой стороны, только этими колебаниями и возможно объяснить не только перемежаемость осадков более глубокого моря с мелководными, но также громадную мощность осадочных образований, которая была бы непонятна, несмотря даже на обильный материал, служащий для образования прибрежных отложений.

Что же касается пелагических глин, то присутствие аналогичных им отложений среди осадочных систем материков еще не доказано

с несомненностью. Если упомянутые пелагические осадки действительно не принимают участия в строении суши, то очевидно, во-первых, материка никогда не составляли дна пелагического моря, во-вторых, разделение океанов и материков определилось в главных чертах в самую глубокую древность — в начале геологических периодов, и, в третьих, изменение площадей воды и суши, происходившее в разные геологические эпохи, не исключая и современной, совершались только в известных пределах, большею частью не переходящих границы распространения прибрежных отложений и никогда не достигавших больших пелагических областей с красною глиною глубокого моря. Этот предельный пояс изменений называют областью, или поверхностью, перемещения; она занимает около $\frac{2}{8}$ поверхности земли.

Пелагические глины могут свидетельствовать о чрезвычайно большой древности океанических бассейнов.

Химическая деятельность моря.

Океаны получают ежегодно посредством рек около 5 куб. км растворенных веществ. В этом количестве карбонаты кальция и магния составляют половину, SiO_2 — одну десятую, а сернокислые соли Ca, Na и K другую десятую часть. Очевидно, что приток пресной воды должен был бы постепенно довести состав воды океанов до степени солености, непригодной для жизни населяющих море организмов; известное вам постоянство состава воды океанов поддерживается процессами жизнедеятельности организмов и химическими процессами. На первом месте необходимо указать влияние изменения концентрации и температуры, т. е. процесса выпаривания при испарении воды.

Испарение морской воды. Когда под влиянием каких-нибудь особенных условий морская вода подвергается сильному испарению, при чем приток свежей воды не восполняет такой убыли, изменяются условия концентрации солей, и некоторые из них начинают выпадать. Последовательность осаждения солей находится в обратном отношении к степени их растворимости; первым выпадает вообще сернокислый кальций, затем отлагается хлористый натрий, а маточный раствор остается насыщенным сернокислыми и хлористыми соединениями магния и калия. Извлечение поваренной соли из морской воды на низменных берегах южных морей, Средиземного, Атлантического океана, во многих местах Тихого океана, посредством выпаривания морской воды в ряде сообщающихся плоских бассейнов, представляет такой процесс, доводимый только до получения рассола магниальных и калийных солей. Раньше поваренной соли и частью вместе с нею выделяется обыкновенно незначительное количество

гипса, т.е. водного сернокислого кальция; после выделения части NaCl , не более половины, начинает отлагаться NaCl с примесью MgSO_4 ; при дальнейшем испарении выделяются хлористые калий и магний, дающие двойную соль KCl , MgCl_2 , BH_2O , или карналлит, а в маточном рассоле остается еще значительное количество MgCl_2 и других солей. Естественным путем такие процессы осаждения происходят в лиманах и озерах морского происхождения.

Залежи каменной соли. Каменная соль встречается во всех отложениях от древнейших до современных; обыкновенно она сопровождается гипсом или чаще ангидритом, а нередко также доломитом. Необходимым условием для нахождения каменной соли в ряду осадочных образований является покрытие ее слоев водонепроницаемыми пластами глины. Без такой крышки залежи соли при ее легкой растворимости в воде не могли бы сохраняться до наших дней в течение многих геологических периодов. Действительно, большая часть известных нам крупных залежей покрыта такими глинами, предохраняющими их от действия подземных вод. Если каменная соль отложилась из морской воды, то в лежащем боку залежи всегда нужно предполагать пласт гипса. Раз отложились гипс и соль, то из той же воды отложения гипса последовать не может. Верхний пласт гипса может быть отложен при новом только притоке морской воды. Если мы встречаем, как это часто наблюдается, гипс или ангидрит висячем боку соленосной толщи, то необходимо предполагать, что морская вода отхлынула прежде, чем могло начаться отложение соли. Морская вода заключает NaCl в 16,4 раза более, чем CaSO_4 ; отношение количеств этих двух солей в соленосных залежах часто однако далеко не соответствует относительному содержанию их в морской воде; следовательно, должны быть условия, благоприятствующие отложению гипса более, чем соли.

Морская вода, заключающая в растворе достаточное количество углекислого кальция, может при быстром испарении способствовать цементации обломочного материала. Этот химический процесс происходит отнюдь не исключительно в теплых морях, так он наблюдается даже на пляже у Фолькстона в Англии, но преобладает около берегов, богатых известняковыми породами, в особенности около коралловых островов.

Химическая деятельность моря на значительных глубинах выражается в известном уже нам образовании красной глины глубокого моря и сопровождающих ее образований, как цеолиты и марганцевые конкреции.

Деятельность льда.

Деятельность льда имеет громадное геологическое значение как потому, что производит совершенно оригинальные отложения, изменяет рельеф земной поверхности, придавая ей своеобразный ледниковый ландшафт, так и потому в особенности, что деятельность эта объясняет многие аномалии в водных осадках и положительнее, чем что-либо другое, определяет частные и общие климатические изменения; следовательно, изучение деятельности льда, как геологического агента, приводит не только к более полному познанию современного состояния земной поверхности, но также к более совершенному выяснению истории тех изменений, которые переживала она в разные периоды своего существования. Важное геологическое значение деятельности льда вызвало такую обширную литературу о ледниковых явлениях — современных и древних, что давно уже этот отдел геологии выделяют в самостоятельную ветвь науки под именем „ледниковой геологии“, или гляциологии.

Лед может происходить или вследствие прямого замерзания воды при температуре ниже 0, или же вследствие преобразований снега отчасти под влиянием проникания замерзающей воды, но главным образом под влиянием давления. Разные виды льда, происшедшие тем или другим способом, отличаются друг от друга как характером скопления, мощностью, так частью и структурой; отсюда и физико-геологическое значение их далеко не одинаково. Лед, происходящий от непосредственного замерзания воды, можно разделить на несколько разновидностей, а именно: почвенный лед, речной лед, озерной лед и морской лед; из них первый образуется внутри земной коры из воды, проникающей и циркулирующей в горных породах, а остальные — на поверхности земли из воды: рек, озер и морей.

Лед, происходящий от преобразования снега, особенно под влиянием давления, образует на суше ледяные покровы и потоки или ледники, или глетчеры.

Почвенный лед.

Под этим названием обыкновенно соединяют лед, образовавшийся тем или другим способом в верхней части земной коры или, по крайней мере, наблюдаемый нами под или среди других геологических образований (фиг. 138).



Фиг. 138. — Обнажение почвенного льда, 12 м мощностью, подмытого лаводком на левом берегу р. Витим. (По А. Львову).

С одной стороны, мы имеем почвенный лед, как часть вечно мерзлой почвы, образовавшуюся на счет воды, циркулировавшей в верхних горизонтах. Другой вид почвенного льда представляют те значительные массы чистого льда, например, на Новосибирских островах, которые были названы окаменелым или ископаемым льдом. Такого рода лед, как остаток минувшей эпохи, известен во многих местах Аляски, а в Сибири обратил на себя внимание благодаря открытию трупа мамонта в таком льде по р. Березовке (прав. притоку р. Колымы).

Речной и озерной лед.

Образование льда. На поверхности рек и озер лед образуется при понижении температуры тем легче и скорее, чем чище вода и чем она спокойнее. В глубоких озерах, как указано выше, резкие колебания температуры происходят только в верхних слоях, тогда как у дна господствует более или менее постоянная температура около 4° — 5° Ц, следовательно, лед образует только наружную кору озера. Мелкие же озера промерзают до дна. Точка замерзания соленых озер находится в прямой зависимости от процентного содержания соли, т.-е. точка замерзания пропорциональна крепости раствора: чем больше солей, тем она ниже. Толщина ледяной коры различна, и в Сибири достигает до 1 и даже 2,5 метра.

Правильное шестовато-агрегатное строение речного и озерного льда нарушается отчасти примесью, так называемого, грунтового или донного льда, который образуется на дне водоемов. Этот лед облекает гальку, мелкие камушки и песчинки и, достигнув некоторой толщины, поднимается вверх, увлекая с собою много минеральных частиц, перенося их на значительные расстояния и отлагая там.

Лед на поверхности озер и рек проявляется периодически и держится неодинаково продолжительно под различными широтами в зави-

симости от климатических особенностей местности; явление это называют вскрытием и замерзанием материковых вод.

Деятельность речного льда яснее всего проявляется в высших широтах северного полушария, особенно на больших реках, протекающих с юга на север, например, Иртыш, Обь, Енисей, Лена и др. В верховьях таких рек лед вскрывается прежде, чем в низовьях; вскрывшийся лед, уносясь течением, встречает преграду от нетронутого ледяного покрова и скопляется большими массами, которые разрушают и шлифуют береговые скалы, вытачивают борозды в них, переносят большие глыбы камней и производят из них накопления на берегах в виде значительных гряд. О силе напора льдин свидетельствуют многочисленные повреждения или даже разрушения, наблюдаемые на многих мостах почти каждую весну.

Кроме шлифовки, полировки, борозд и желобов, речной лед, при некоторых благоприятных условиях, производит еще особого рода накопления по берегам рек, называемые в Сибири кекурами и коргами. К следствиям деятельности льда на сибирских реках относятся и, так называемые, „опечки“ — подводные бугры наносного материала, расположенные вдоль берега реки, обязанные своим образованием вырывающей работе донного льда на пространствах между такими буграми.

К своеобразным явлениям замерзания рек относятся „наледи“, или по-якутски „тарыны“; так называют на северо-востоке Сибири, в Якутской и Приморской областях, внезапное появление в речных долинах зимою, часто во время самых сильных морозов, воды, затопляющей покрытые льдом русла и нередко распространяющейся во всю ширину долины. Медленно выбиваясь из-под льда по берегам речки или на почве речной долины и постепенно замерзая на воздухе, вода образует в таких местах значительные, до нескольких саженей толщиною, ледяные поляны, нередко сохраняющиеся в течение всего лета.

Мокрая, нередко совершенно тонкая, поверхность наледей делает трудно проходимыми зимою иные участки речных долин; внезапное появление и разрастание наледей часто служит сильным препятствием при разведках на золото. Наледь представляет сначала неровное бугристое ледяное поле; из отдельных ледяных бугров вода начинает выливаться быстрее, заполняет все неровности между отдельными буграми и превращает бугристую ледяную поверхность в гладкое ледяное поле. Отдельные вздутия, бугры появляются и после того, как поверхность наледи выравнивается; такие бугры представляют вздутия льда толщиною до 1 м, как видно по трещинам, появляющимся часто в их вершинах под влиянием расширения воды, замерзающей на некоторой глубине среди льда.

Причиной образования наледей считают стеснение течения реки или потока, вызываемое уменьшением необходимого для данного количества воды живого сечения. Под влиянием морозов ледяной покров, примерзший к берегам, увеличивается в своей толщине сверху вниз насчет русла реки; вода, не помещаясь более в русле, распространяется по верхним слоям рыхлых речных отложений, происходит подъем грунтовой воды в долине. Переполнив наносы, вода выступает на поверхность в тех местах долины, которые не промерзли благодаря своей первоначальной сухости или благодаря защите снежных покровов.

Морской лед.

В открытых морях находятся два рода льда: один образуется от непосредственного замерзания морской воды, а другой приносится с материков; первый является в виде низких и обширных ледяных покровов, или ледяных полей, а другой — в виде высоких отдельных пловучих ледяных гор, весьма разнообразной и нередко фантастической формы.

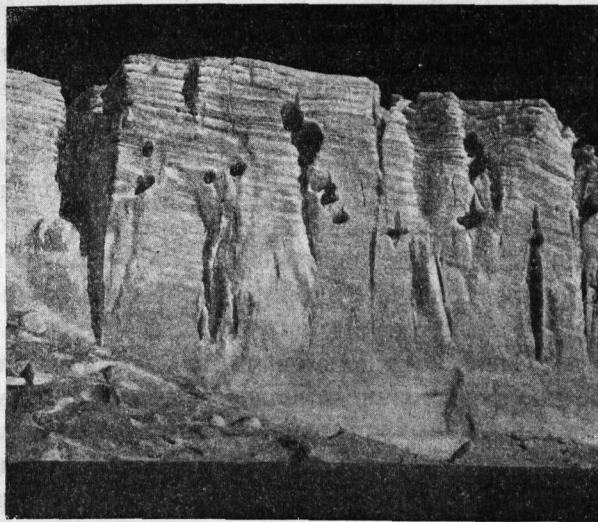
Морская вода, как содержащая соли, замерзает только при $-2\frac{1}{2}^{\circ}$ Ц. На дне мелких морей образуется, так же, как в озерах и реках, донный лед, который, захватывая минеральные частицы дна, поднимает их на поверхность и при движении переносит на большое расстояние; при растаивании он снова отлагает их на дно моря. На льдинах же переносятся иногда огромные камни, которые, выбрасываясь во время бурь вместе со льдом, образуют на берегах большие скопления.

Совершенно другой характер имеют собственно ледяные горы, или айсберги, которые образуются не в море, а на материке и представляют не что иное, как обломки ледников, иногда целых ледниковых подножий антарктических стран, спускающихся местами к уровню моря. Они резко отличаются от ледяных полей не только внутреннею структурою льда, полным отсутствием солей, но даже внешнею формою, которая бывает у них чрезвычайно разнообразна и красива. Если морской лед по своему строению не отличается от речного или озерного, за исключением только содержания солей, т.-е. представляет агрегат шестоватых кристаллов, вытянутых длинною осью перпендикулярно к поверхности замерзания, то лед айсбергов ничем не отличается от ледникового льда, т.-е. представляет зернистый лед.

Айсберги местами скопляются в огромном количестве, местами же являются поодиночке. Из всех пловучих льдов айсберги достигают самых низших широт. Гонимые холодными полярными течениями,

они проходят даже Гольфстрем и доходят — в западной половине Атлантического океана — до 38° с. ш., т.-е. до параллели Испании и Сицилии и даже до о-ва Кубы. Главные месторождения айсбергов находятся на Новой Земле, Ян-Майене, на земле Франца-Иосифа, Шпицбергене, Гренландии, отчасти на Аляске и южном конце Южной Америки, где громадные ледники спускаются к морю (см. дальше) и, обрываясь на нижних концах, образуют айсберги. Величина айсбергов достигает 50.000.000 куб. м (фиг. 139).

Ледяные горы несут в себе много минерального материала, количество которого доходит до нескольких миллионов пудов. При растаивании обломочный материал опускается на дно. Если эти осадки попадают в глубокие части океана, то, очевидно, они нарушают однородный состав мелкозернистых глубоководных отложений и обуславливают появление в них галек и валунов, свойственных прибрежным отложениям. Кроме того, айсберги, встречая на пути мели, могут истирать, сглаживать, шлифовать и даже производить борозды и желоба на поверхности их, подобно речным льдинам.



Фиг. 139. — Айсберг — плывущая ледяная гора в 40 м. высотой.

С н е г.

Снег, выпадающий из атмосферы, образует на поверхности суши снеговой покров, величина и продолжительность которого находятся в зависимости от климатических условий и орографии каждой данной местности. На низких равнинах средних широт снеговой покров появляется только зимой, а летом исчезает, тогда как в холодных странах высших широт количество летней теплоты недостаточно для растаивания снега, накапливающегося за зиму, и потому снеговой покров становится постоянным и с каждым годом увеличивается. Так как температура уменьшается не только от экватора к полюсам, но также с высотой, то, следовательно, постоянные снеговые покровы могут образоваться во всех широтах, но на различной высоте. Площади,

занятые постоянными снеговыми покровами, называют снеговыми областями, а нижнюю границу их, отделяющую от областей бесснежных или с периодическими снеговыми покровами, называют снеговой линией или снеговой границей, — то же линия постоянного снега или, как прежде называли, „линия вечного снега“, что не верно, так как вечных снегов нет, снег постоянно переменяется. Следовательно, снеговая линия — высший предел, до которого в горах летом отступает снег; выше этой линии преобладает избыток снега; ниже, наоборот, теплота имеет перевес. Прежде полагали, что высота снеговой линии определяется положением летней изотермы 0° Ц, но это совершенно неверно. В экваториальных областях, где нет резкой разницы во временах года, снеговая линия проявляется отчетливо; вообще же положение, или высота, ее зависит от весьма сложных условий и не отличается постоянством, особенно в средних и высших широтах, почему и определение ее довольно затруднительно. Кроме средней годовой температуры, на высоту снеговой линии оказывают влияние: ветры, орография гор, положение склонов по отношению к лучам солнца, годовое количество выпадающего снега и высота летней температуры.

Снег, накапливающийся в высоких областях, не остается на них вечно, а постоянно сменяется; под влиянием давления, производимого новыми слоями, старые подвигаются вниз, в область высшей температуры, где превращаются в воду. Это движение снега сверху вниз совершается двояким способом: 1) с крутых гребней и склонов он периодически, в виде оползней или обвалов, низвергается с громадною быстротою и большими массами, которые называют лавинами; 2) из котловин в снеговых областях, превратившись в лед, он вытекает медленно и спускается вниз по долине незаметным, но постоянным движением, в виде ледяных потоков, которые называют ледниками, или глетчерами.

Деятельность лавин имеет несравненно меньшее физико-геологическое значение, нежели деятельность ледников.

Лавины, как уже сказано, представляют падающие массы снега, аналогичные обвалам; их сборная область, или область питания, находится преимущественно на горах с ровною обширною вершиною и с крутыми склонами выше предела лесной растительности. Их путь обозначается рытвинами наподобие рытвин при образовании осыпей выветривания. Их область отложения обозначается скоплением снега, называемым лавинным конусом, аналогичным коническим осыпям. Низвергаясь с высоких склонов, лавины в Альпах достигают низких населенных частей долин, а в Скандинавии — даже до фиордов.

Лавины, происходящие от снеговых залежей и навесов, образующихся под защитой скал, захватывают с собою массу продуктов выветривания — от мелкого щебня до больших камней, а также стволы деревьев и даже трупы животных. Чем больше этих обломков, тем неправильнее движение лавин, а чем меньше, тем больше движение их приближается к течению; так что чистые лавины представляют периодические снеговые потоки.

Между лавинами различают: зимние лавины (их называют также пылеобразными лавинами), весенние лавины, ледниковые лавины и градовые лавины. Последние два рода лавин происходят весьма редко и представляют явление, связанное с периодами возрастания ледников или с обильным выпадением града в горах.

Л е д н и к и.

Формы ледников или типы оледенения.

Альпийский тип. Где в высоких расчлененных горах верховья долин, поднимаясь в снеговую область, образуют обширные котловины, или цирки, там скопляется крупно-зернистый снег, или фирн, в виде как бы обособленного бассейна (фиг. 140). Эти фирновые бассейны, или просто снежники, бывают простые, обставленные крутосклонными, зубчатыми гребнями и высокими вершинами, или же разветвленные, т.-е. имеющие несколько второстепенных ветвей. Фирновый бассейн, или снежник, представляет собственно область питания, а ледяной поток, выходящий из фирнового бассейна и составляющий собственно ледник, называется областью стока. Таким образом, каждый ледник состоит из двух частей: фирнового бассейна, или снежника, т.-е. области питания, и ледяного потока (языка), или ледника, т.-е. области стока. Первая лежит выше снеговой линии, вторая — ниже; граница, разделяющая их, называется фирновой линией. В области питания различают фирновые склоны и фирновую мульду; фирн, стекая с крутых склонов, питает мульду, из которой вытекает ледник. Маленькие ледники питаются обыкновенно из простого фирнового бассейна.

Весьма часто ледники, выходящие из различных фирновых бассейнов, в нижних частях главной долины соединяются и образуют один главный ледяной поток, по отношению к которому остальные будут притоками наподобие притоков большой реки. В этом отношении ледники можно разделить на простые, не имеющие боковых притоков, двойные, состоящие из двух отдельных ветвей, и сложные, составляющиеся из многих отдельных ледников. По положению в долинах или по развитию ледяного языка различают ледники: пер-

вого порядка, или долинные ледники, которые, выходя из области питания, заполняют собою долину и опускаются по ней; ледники второго порядка, или висячие ледники, обладают мало развитым языком и всею массою, так сказать, прикреплены к крутому склону и висят на нем, не доходя до дна долины, или же доходят, но по дну долины не спускаются (фиг. 141). Если такие ледники находятся на двух противоположных склонах и соединяются на гребне, их называют переметными ледниками. Разумеется,



Фиг. 140. — Главная вершина Тянь-шаня, гора Хан-тенгри, высотой 7200 метров, покрытая снегом, фирном и льдом.

резкого разделения между теми и другими не существует, так как они связываются целым рядом переходных форм. Того и другого характера ледники нередко спускаются с одной центральной горной группы, расходясь лучеобразно во все стороны, напр., в Альпах на Монблане, на Кавказе — Эльбрусе, Казбеке, в Тянь-шане на Хан-тенгри, Зеравшане и проч.

Среди ледников второго порядка различают, кроме висячих, еще:

Мульдовые, или ледники кар, расположенные в глубоком расширении, ограниченном склонами гор; такие кары, часто расположенные целым рядом вдоль гребня гор, непосредственно не выходят

в долину, над которой они лежат. Обыкновенно такие ледники спускаются ниже снеговой линии очень незначительно.

Под именем кар в Альпах понимают вогнутые или полые формы рельефа, обыкновенно вблизи и выше снеговой линии, отличающиеся от обыкновенных воронкообразных сборных бассейнов долин размытая тем, что они имеют плоское, сглаженное дно и окружены крутыми острыми гребнями. Эти полуамфитеатры представляют выемки, значительно уменьшающие объем гор. Такие кары, служившие ложем бывших снежников, чаще и типичнее проявляются там, где ледники исчезли.

Ледники ущелий в более глубоких и узких ущельях, ограниченных стеннообразными склонами.



Фиг. 141. — Тип долинного ледника и висячих на крутом склоне (левая сторона рисунка). Ледник Дых-су в долине р. Черек, (Сванетия).

В русском языке до сих пор нет точных выражений для различных вогнутых форм, различаемых в Альпах, и вследствие этого нет еще выработанной классификации ледников. Это обязывает путешественников и исследователей возможно точнее описывать конфигурации долин и ущелий, занятых ледниками, чтобы пополнять материал для такой классификации.

Повсюду, где продолжительное время скопляется снег, там происходит и образование льда, различной является только глубина, на которой происходит такой переход. Но не везде лед проникает из области постоянного снега, где он постоянно находится на известной глубине, в область ниже снеговой линии; последнее зависит уже от соответствующих орографических условий. Мы имеем в таком случае толщу льда под снежным покровом, которая от этого покрова не обособляется вовсе. Такую форму льда называют фирновым ледником.

С горных гребней, покрытых фирновыми ледниками, убыль льда происходит путем обвалов с крутых скал вершин. Если такие обвалы происходят постоянно в сторону какой-нибудь ложбины, то глыбы льда, снова смерзаясь на ее почве, образуют еще одну форму ледяных образований, которую называют возрожденными ледниками.

Тип внутренних или материковых ледниковых покровов. Совершенно другой тип оледенения мы видим в полярных областях и в Скандинавии. Обширные плоскогорья, как в Скандинавии, или целый континент, как в Гренландии, поднимаются там выше снеговой линии, и целые обширные пространства с незначительным уклоном поверхности погребены под непрерывным ледяным покровом. В такой массе льда обнаруживается медленное движение к его окраинам, где лед стекает по отдельным руслам, узким сравнительно с громадной площадью всего покрова. В каждом из таких русел заключен нередко мощный ледниковый поток, но место перехода области питания в ледниковый язык совершенно покрыто толщами снега и недоступно непосредственным наблюдениям. От одной области питания расходится много долинных ледников; область питания имеет всегда выпуклую поверхность, а не мульдообразную и вдавленную, как в альпийском типе.

Как в Норвегии, так и в Гренландии, и в особенности на островах арктического пояса, например, на Шпицбергене, рядом с оледенением этого типа можно видеть и ледники альпийского характера как долинные, так и мульдовые, имеющие каждый отдельную область питания.

Тип ледника Маляспина (ледник подножия). Они образуют как бы подножие гор, вследствие соединения и слияния в одно ледниковое поле отдельных ледников, выходящих из одного хребта.

Образование ледников.

Снег высоких гор, сухой и порошковатый, мощностью иногда до 100 м, под влиянием лучей солнца оплавляется и превращается в зернистый снег, или фирн; последний, цементируясь замерзающей водою, дает фирновый лед, который под влиянием давления уплотняется воздухом и постепенно переходит в плотный ледниковый лед прекрасного голубого цвета. Фирн можно сравнить с песком, фирновый лед — с конгломератом, а ледниковый лед представляет зернисто-кристаллический агрегат льда. При этом превращении значительно возрастает плотность: так, кубический метр свежего снега весит 85 кг, тогда как кубический метр фирнового льда — от 500 до 600 кг, а ледникового льда — от 900 до 960 кг.

Чем ниже спускаются фирновые поля, тем фирн крупно-зернистее (зерна его достигают величины гороха или ореха) и, наоборот, на самых высоких местах он мелко-зернистый; поэтому отличают — высокий фирн и низкий фирн.

Снег и фирн, опускаясь книзу, обеспечивают питание ледников. В горах альпийского типа редко снег в этом движении следует по отлогому склону; обыкновенно очертания скал неправильны, склоны крутые; первый же утес на пути движения снега разбивает его на отдельные глыбы, падающие на поверхность фирнового поля, расположенного ниже. Если фирновое поле имеет вид цирка, питающего ледник, то снег, выпадающий на склонах, быстро сползает книзу и образует кругом цирка крутой склон, более прочный, чем верхний снег, но менее плотный, чем фирн внизу. Нижняя часть такого склона, опирающаяся на фирновое поле ледника, постепенно опускается вместе с его поверхностью; верхняя часть, плотно покрывающая поверхность окружающих скал, задерживается при этом вследствие трения, и возникает разрыв в этой массе, дающий трещины по краям фирнового поля. Такие трещины часто перекрыты снеговыми мостами, которыми обыкновенно и пользуются при восхождениях, чтобы перейти с поверхности фирнового поля на окружающие скалы (фиг. 142). Эти трещины не долговечны; они заполняются первым же снежным обвалом сверху и затем снова возникают. Краевые трещины являются главным фактором разрастания и цирков, благодаря сильным процессам выветривания, которым они способствуют. Разрушение в них идет сверху вниз в противоположность явлениям в краевых трещинах, кое-где не стены покрыты льдом, а лишь плоское дно.

Поверхность фирновых полей на плоскогорьях, например, ледников скандинавских и исландских, ровная и однообразная, слегка волнистая, выпуклая; трещины появляются очень редко.

Под влиянием постоянного движения и давления, фирновый лед постепенно переходит в ледниковый, так что границу между ними определить трудно, — она далеко не такая ясная, как между фирном и фирновым льдом.

Сущность преобразования фирна и фирнового льда в ледниковый состоит в том, что округленные фирновые зерна, заключенные в мутный



Фиг. 142. — Переход через краевую трещину по снеговому мосту.

ледяной цемент, постепенно уменьшаются и, наконец, совершенно исчезают, находящийся в них воздух концентрируется в отдельные пузырьки, вследствие чего лед делается прозрачным, с сетью капиллярных трещин, которые разбивают лед на угловатые кусочки, называемые глетчерными, или ледниковыми, зернами.

Все наблюдения приводят к заключению, что температура внутри ледника остается постоянною — около 0° .

Движение ледников.

Ледники, спускаясь гораздо ниже снеговой линии, подвергаются сильному таянию, и потому казалось бы, что нижние концы их должны исчезать; однако, напротив, во многих местах ледники, несмотря на таяние, увеличиваются и удлиняются до того, что достигают самых глубоких долин, следовательно, существует процесс, который, так сказать, восполняет постоянную убыль от таяния; этот процесс — непрерывное поступательное движение ледника.

Непосредственные измерения ледника показывают, что скорость движения весьма разнообразна у различных ледников: в Альпийских, Норвежских, Кавказских, Тянь-шаньских и в окраинах Гренландских величина перемещения части,двигающейся с наибольшей скоростью, колеблется от 0,1 м до 0,3 и даже 0,4 м в сутки, следовательно, в год — от 40 до 100 м; большую скорость имеют только немногие мощные ледники. В Гималае у больших ледников скорость возрастает до 2 и даже 3,7 м (в год от 700 до 1.300), а в Гренландии некоторые ледники имеют громадную скорость, например, от 5 до 20 м (в год от 1.000 до 7.000 м).

Скорость зависит от величины ледника, от количества осадков в области питания и топографических условий ледниковой области.

Вследствие трения о бока ложа, в каждом леднике скорость движения в середине гораздо больше, нежели у краев, и эта разница тем значительнее, чем больше скорость движения ледника.

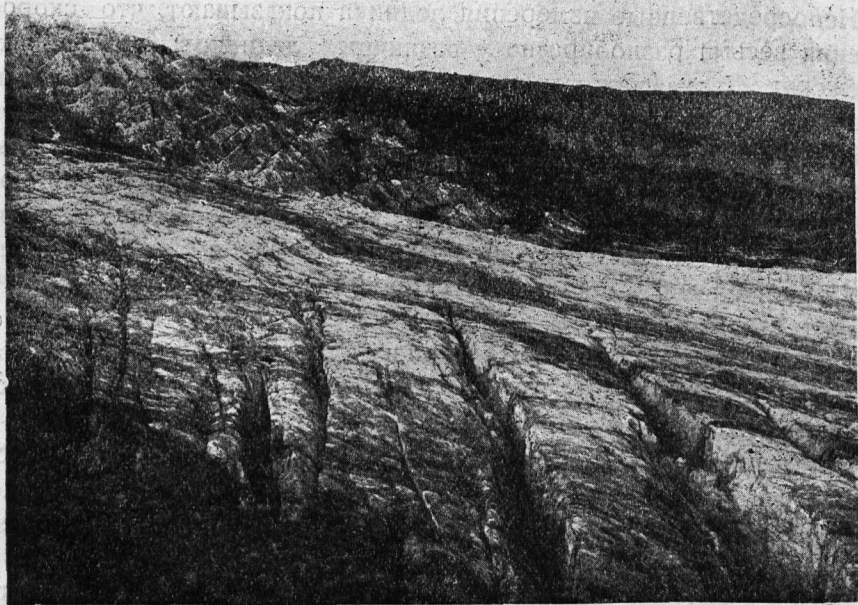
Движение составляет главнейшее свойство ледников, которым обусловливается не только их наружный вид, интенсивность их деятельности, но даже внутренняя структура льда. Ледники, вследствие движения, разбиваются многочисленными трещинами, располагающимися или поодиночке, параллельно друг другу, или целыми группами, пучками, беспорядочно перепутываясь между собою. Количество их местами бывает так велико, что ледник как бы совершенно утрачивает цельность и представляет груды ледяных глыб, наваленных без всякого порядка.

Трещины.

Если обратить внимание на изогнутые линии камней, первоначально расположенных на поверхности ледника по прямой линии, то не трудно заметить, что расстояние между ними с течением времени изменяется неравномерно. Наблюдениями установлено было, что в то время, как в середине ледника удлинение отдельных участков

не превосходит 2—3 м, на краю ледника в течение пяти лет первоначальные расстояния увеличились почти вдвое.

Если представим себе ледник, состоящий из ряда пластин, перпендикулярных к его оси, то не трудно понять, что вследствие давления при движении массы льда такие пластины должны подвергаться расплющиванию. Кроме силы давления, производящей эту работу, необходимо должна проявляться и сила растяжения в направлениях, по которым происходит вытягивание пластин. Силы растяжения



Фиг. 143. — Поверхность ледника (Ортвери) с краевыми поперечными трещинами на переднем плане и ледопадом на заднем. Ц. Кавказ.

направлены от края ледника вниз к его оси, следовательно, трещины должны быть направлены от края к оси вверх; это, так называемые, краевые трещины.

Трещины суживаются книзу вследствие меньшего вытягивания льда на глубине; по мере расширения трещин, увеличивается и их глубина; трещины до дна обыкновенно находятся у самого края ледника. Краевые трещины на больших ледниках не протягиваются дальше $\frac{1}{10}$ ширины ледника, и гораздо значительнее в верхней части ледника; в маленьких ледниках трещины распространяются гораздо дальше.

Вследствие постоянного движения, краевые трещины, разумеется, не могут сохранить надолго свое положение, и, благодаря большой скорости середины, угол наклона их—около 45° —к краю постепенно

изменяется, а потому в действительности 45° наблюдается очень редко; трещины перемещаются в положение перпендикулярное к берегу, а затем наклоняются в обратную сторону, т.-е. вниз по направлению движения. В этом положении максимальное вытягивание уже не действует, а потому трещины не расширяются, а, напротив, под влиянием давления суживаются и, наконец, закрываются. Иногда закрытие их происходит неравномерно по длине одной и той же трещины, и тогда получается ряд ям или воронок.

На ледниках равномерной и достаточной ширины, одинаково повсюду наклонных и более или менее прямолинейных, трещины появляются только вдоль краев ледника. Обыкновенно же ложе ледников представляет уступы, долина его изогнута, и следовательно, развиваются силы растяжения и в других местах.

Проходя через неровности, где ложе сразу становится крутым, лед перегибается и, под влиянием развивающегося продольного вытягивания, раскалывается по всей толщине множеством трещин, которые тем многочисленнее и шире, чем сильнее перегиб ложа. Это трещины поперечные.

Подобно тому, как река, пройдя водопады и пороги, обыкновенно разливается по широкому и спокойному руслу, так и ледник, пройдя через выпуклости или уступы, снова сглаживается; поперечные трещины суживаются и, наконец, закрываются. Если на пути встречается вторая выпуклость или терраса, то ледник снова образует каскад трещин, которые на ровном месте опять исчезают, и т. д. Бесчисленные глыбы, на которые разбивается при этом ледник, в Альпах называют сэраками. Поперечные трещины редко разбивают ледник во всю ширину; часто они соединяются с краевыми и образуют род дуг, выпуклых в сторону течения.

Продольные трещины, в противоположность поперечным, образуются от продольных неровностей дна и особенно при выходе ледника из сужения в расширение или на конце, при чем параллельные трещины расходятся веерообразно, а, соединяясь с краевыми, представляют лучистые, или радиальные, трещины.

Причины и следствия убыли ледников.

Каждый ледник находится под непрерывным влиянием агентов плавления или таяния, которые действуют, а следовательно, и уменьшают его со всех сторон: сверху, снизу и внутри. Ледники, спускающиеся к морю, убывают сверх того образованием айсбергов, т.-е. отрыванием нижних концов.

Сообразно с распределением агентов плавления, — сверху, снизу и внутри, — общую убыль ледника можно разделить на три категории:

1 — верхнюю убыль, 2 — нижнюю убыль и 3 — внутреннюю убыль; все они зависят от различных агентов.

Верхняя убыль (абляция) зависит от непосредственного действия лучей солнца, от нагретого воздуха, теплоты, отражаемой скалами, от сырого воздуха и дождя и достигает от 1 до 6 метров в год (в Альпах). Особая форма абляции — „снег кающихся“, в тропиках обязанный своим происхождением непрерывному сильному действию солнца в течение целого года. Нижняя убыль — от боковых ручьев, стекающих со склонов долин, от поддонных ручьев, от теплого воз-



Фиг. 144. — Ледниковый ручей, вытекающий из грота ледника; справа и слева рыхлые морены. Ледник Мушкетова в бассейне р. Мук-су; Сев. Зап. Памир. (Фот. Н. Корженевского).

духа, проникающего через ледниковые пещеры и трещины к нижней поверхности ледника, и, главное, от внутренней теплоты земного шара. Внутренняя убыль — от теплого воздуха и воды, циркулирующей по капиллярным трещинам ледника, и от давления. Следствием убыли являются различные элементы на ледниках, как-то: каменные валы и конусы, ледниковые столы,

стаканы, пещеры, ворота и, наконец, многочисленные ледниковые ручьи, создающие ледниковые котлы и мельницы.

Поверхностные воды ледника и со склонов, попадая под ледник, образуют там целую сеть каналов. Только при оконечности ледника, где разрушение его происходит наиболее интенсивно, ледниковые ручьи образуют высокие полости, так называемые, ледниковые ворота. Из ледников менее значительных ручьи вытекают из-под льда отдельными потоками, образующими одно русло уже ниже, или же подледниковая река вытекает одним широким и мелким руслом. В мощных ледниках можно видеть несколько ворот, ведущих в обширные туннели (фиг. 144).

Отдельные, редко рассеянные большие камни на поверхности ледника точно также защищают лед от убыли; окружающая чистая

поверхность постепенно понижается от верхней убыли, оставляя род ледяного столба с большим камнем на вершине; эти как бы колонны, увенчанные капителью, называются ледниковыми столами. Высота ледниковых столов доходит до 4 м и редко более.

Противоположный результат получится, если вместо больших камней на поверхности ледника находятся мелкие гальки, особенно черного цвета, или несплошной песчаный покров, или же космическая пыль. В этих случаях, благодаря значительной лучепоглощательной способности и быстрому прогреванию мелких камушков или песчинок, лед под ними будет плавиться гораздо скорее, нежели на окружающей поверхности, и они будут постепенно опускаться в образованные ими самими углубления, которые можно было бы назвать ледниковыми стаканами. Местами их так много, что поверхность ледника представляет вид сита или решета. Каждый стакан имеет на дне камушек или песчинку; днем они приблизительно до половины наполнены водою, которая ночью превращается в лед, отличающийся от ледникового своею структурою.

Механическая деятельность ледников.

Ледники походят на реки не только движением, но также и характером своей механической деятельности. Как водяные, так и ледниковые потоки разрушают минеральный материал, переносят его, шлифуют и отлагают в новых местах, так что процессы, рассмотренные нами при описании деятельности воды и воздуха, в сущности повторяются и в ледниках, но, разумеется, с совершенно другою напряженностью, а значит и с другими результатами. Следовательно, в механической деятельности ледников, так же, как и в деятельности воды, можно выделить такие процессы: разрушения, перенесения, шлифования и отложения. Первые три в их совокупности получают общее название — выпахивания, подобно тому, как мы различали размывание, абразию и развевание для деятельности проточной воды, моря и ветра.

Изучение механической деятельности ледников и ее разнообразных следствий на земной поверхности, интересное само по себе, имеет громадное физико-геологическое значение в том отношении, что выясняет признаки, по которым возможно определить развитие древних, давно исчезнувших отдельных ледников или обширных ледяных покровов; констатирование же последних приводит к познанию крупнейших физико-географических изменений, пережитых землею.

Геологическая роль ледников осложняется несколько и тем обстоятельством, что одновременно с механической работой собственно льда мы имеем здесь и работу подледниковых вод, которая в конечном результате дает отложения, тесно связанные с отложениями собственно ледников.

Морены.

Хотя ледники, подобно рекам, увлекают с собою массу разных обломков, которые, достигнув конца ледника, отлагаются, тем не менее происхождение этих обломков, характер и распределение их на леднике и, наконец, способ перенесения и отложения совершенно другие, нежели в реках.

Принято называть моренами весь тот материал, который как переносится на леднике, в самой массе его и под ним, так и отлагается в зависимости от движения ледника и его таяния. Следовательно, нужно различать две группы морен: перемещаемые и отложенные, которые классифицируют с различных точек зрения.

Нужно различать морены:

- а) поверхностные, или верхние,
- б) внутренние,
- с) нижние.

Поверхностные морены, возникающие на счет материала, падающего со склонов ледникового языка, представляют прежде всего, так называемые, боковые морены. Под этим названием понимают каменные валы, протягивающиеся вдоль ледника по краям его. Происхождение их понятно: так как на одном и том же выветривающемся склоне происходит много осыпей одновременно, и все они подвигаются, то, очевидно, в конце концов, отдельные осыпи сольются и образуют один непрерывный боковой вал, который остается параллельным краю ледника до тех пор, пока изменение очертаний долины не вызовет его смещения с материалом, выступающим из-под ледника, или он не разрушится действием ледниковых ручьев. Форма и размеры боковых морен зависят исключительно от формы склонов ледниковой долины.

Боковые морены той или другой величины составляют необходимую принадлежность каждого ледника; они состоят из валунов самого разнообразного размера и формы, какие только доставляются осыпями. Они располагаются совершенно беспорядочно, без всяких признаков слоистости. Количество их меняется в разных частях боковой морены, потому что осыпи образуются неодинаковой величины в разных частях склона и в разное время; этим объясняется зигзагообразный, волнистый гребень боковой морены, который представляет ряд конических возвышений большей или меньшей величины. Валы боковой морены, подвигаясь вместе с ледником к нижнему концу, не претерпевают никакого изменения в своей форме, т.-е. остаются такими же свежими остроугольными, как и в начале.

Вследствие убыли, как сказано раньше, высота боковых морен различна и достигает 100 м, но чаще от 10 до 20 м. Если сходятся

два равной величины ледника, то прилегающие боковые морены их, т.е. левая боковая морена правого ледника и правая боковая левого ледника, сливаются в одну и образуют каменный вал, который на соединенном леднике, при дальнейшем движении его, располагается не у краев, а по середине ледника или близко к середине. Если ледник составляется из нескольких рукавов или притоков, то по середине его образуется несколько параллельных каменных валов, которые, в отличие от боковых морен, называют срединными моренами (фиг. 145).

Количество срединных морен определяется числом рукавов ледника; если последних n , то срединных морен на главном леднике будет $n - 1$; следовательно, наоборот, по числу срединных морен возможно определить число рукавов: $n + 1$.

Материал их имеет такой же характер, как и боковых морен, т.е. представляет остроугольные валуны самых разнообразных размеров и состава. Залегание валунов такое же беспорядочное, без всяких признаков слоистости, как и в боковых моренах. Петрографический состав их, разу-



Фиг. 145. — Срединная морена с расположившимся на ней лагерем экспедиции, на поверхности громадного пологого ледника Семенова в Ц. Тянь-шане.

меется, зависит от пород, слагающих ледниковую долину: чем разнообразнее породы склонов, тем разнообразнее природа моренных валунов, и наоборот. Нередко срединные морены образуются самостоятельно, т.е. не происходят от боковых; это бывает в тех случаях, когда изолированные скалы выступают среди ледника.

Нижней мореной следует называть всю совокупность материала, перемещаемого ледником при его дне. Этот материал доставляется подледниковым выветриванием и выветриванием склонов фирнового поля, преимущественно через краевую трещину фирнового цирка. Нельзя представлять себе эту морену в виде сплошного покрова обломков между льдом и его ложем; рядом с незначительными скоплениями щебня и валунов должны быть пространства между льдом и постелью ледника, совершенно свободные от каких-либо обломков. Обломки

и щебень переполняют также и нижнюю поверхность самого льда; отдельные более крупные камни выдаются из льда своими ребрами и углами, которыми они измельчают, бороздят и шлифуют поверхность ложа и других камней нижней морены.

Нижняя морена лучше всего обнаруживается в ледниках Гренландии и других арктических стран. На окраинах полярных ледников нижние слои льда часто приподняты кверху. При этом материал внутренних и нижних морен перемещается к поверхности действительным движением вверх, а там, где поднимающиеся таким образом слои выходят на поверхность, возникают одна или целая серия конечных морен. Что материал этих морен принадлежал нижней морене, подтверждается изборозженностью валунов и их природой. Такое поднятие слоев льда замечается также и по боковым краям ледников, вызывая образование краевых морен, а нередко и вдоль середины ледников, при чем возникает на его поверхности срединная морена.

Нижние слои, обремененные большим количеством такого материала, почти совершенно теряют подвижность, и покрывающие их ледяные слои могут перемещаться поверх нижних слоев, как по ледяному ложу. Если ледник оканчивается крутым обрывом, то вследствие замедления в движении нижней части от трения о ложе и накопления в ней обломочного материала, верхние части могут выдвигаться карнизом. Время от времени такие массы обламываются и падают, образуя груды обломков; если давление ледника не может сдвинуть вперед такой разломанной массы, он начинает переходить через нее, как через всякое другое препятствие; следовательно, верхние части ледника становятся основанием, а нижние перемещаются поверх его. При непрерывном продолжении такого процесса ледник подвигается вперед как бы перекатыванием, и расположение материала нижней морены в виде слоев становится понятным; для объяснения присутствия развитых нижних морен в значительном расстоянии от оконечности ледников, необходимо предполагать, что каждая из таких морен когда-то была при оконечности ледника, который с тех пор переместился значительно вперед таким перекатывающимся движением или рядом последовательных надвигов.

Отложенные морены.

Весь материал, который так или иначе перемещается ледником, отлагается, как только истощаются средства передвижения. В зависимости от положения таких морен, их можно разделить на:

а) Морены валообразные и б) основную или поддонную морену.

Если ледник находится в неизменном, как говорят, стационарном состоянии, перемещаемый им материал отлагается только по краям ледника, где убыль превышает питание. Там смешивается материал морен поверхностных, внутренних и нижней, и образуется валообразное накопление щебня, валунов и остроугольных обломков, окаймляющее окраину ледника; такое накопление называют краевой или конечной мореной.

В зависимости от ее положения около конечности ледника или около боковых краев, различают передовую морену и береговую.

Если ледник сокращается, отложения моренного материала принимают иной вид. Материал нижней морены распределяется разнообразным покровом впереди отступающего ледника вследствие его таяния, частью же он отлагается и под самым льдом в течение всей жизни ледника; ледник оставляет в этом случае, так называемую, основную или поддонную морену. Материал морен боковых, средних и внутренних ясно обозначается поверх такого покрова в виде продольных валов, которые и предлагают называть продольными моренами. Впереди ледника, отступавшего в течение продолжительного времени, можно всегда видеть такой щебнево-валунный покров, окаймляющий оконечность и края ледника и постепенно суживающийся кверху; ледниковый ручей вьется по такому щебневому ложу, пределы которого, следовательно, и пределы наибольшего прежнего распространения ледника, легко проследить по относительно более бедной растительности такого покрова.

Если ледник наступает, то впереди его образуется только незначительное накопление материала, передвигаемое под напором льда, который распространяется поверх материала, отложенного раньше. Этот материал присоединяется к нижней морене, которая этим путем может получить приращение на счет обломков преимущественно из поверхностных морен. Правильное расположение материала продольных морен при этом уничтожается; они смешиваются с другими отложениями и затем при последующем стационарном состоянии ледника идут на образование новых конечных морен. Если ледник на своем конце значительных размеров, он может передвигать перед собой крупные беспорядочные нагромождения моренного материала, возрастающие по мере наступания ледника; он работает при этом подобно плугу. Если ледник наступает очень быстро, таких нагромождений может и не быть; он тогда слабее нарушает первоначальное расположение материала, поверх которого распространяется. Чем больше мощность наступающего ледника при его оконечности, тем скорее он увлекает в своем движении части раньше оставленной основной морены.

Наступающий ледник смещает как своей свободной оконечностью, так и в особенности на своей нижней стороне материал, расположенный впереди ледника; вниз по долине до пределов наибольшего распространения ледника перемещаются как раньше оставленные основная и конечная морены, так и все продукты выветривания, успевшие со склонов присоединиться к моренному материалу.

Основная морена постепенно подвигается к конечной морене наибольшего распространения ледника, и его оконечность оказывается расположенной в мульдообразном понижении, ограничиваемом снизу конечной мореной, а сверху постепенно переходящем в более наклон-



Фиг. 146. — Древняя конечная морена, оставленная отступившим ледником, в долине р. Гунт у Ванч-Кала в Шугане. (Фот. Д. Наливкина).

ное ложе ледника. Это понижение, так называемая, предледниковая котловина, представляет очень характерную особенность древних ледниковых областей, но для современных ледников, испытывающих постоянные колебания в ту и другую сторону, оно обнаруживается, конечно, только в редких случаях.

После отступления ледника впереди его мы видим, следовательно, более или менее однообразный моренный покров, ограничиваемый конечной мореной. Отчетливо выраженные валы конечных морен свидетельствуют о продолжительном стационарном состоянии ледника. Тем не менее, конечная морена никогда не представляет вала совершенно равномерной высоты, а скорее несколько холмов, разделенных понижениями, по наиболее глубокому из которых обыкновенно проходит ледниковый ручей. Береговые морены, составляющие про-

должение конечных, обыкновенно представляют более отчетливые валообразные нагромождения. Если в пределах площади моренных отложений ледника замечается несколько нагромождений, параллельных конечной морене, то они могут быть следствием как остановок при постепенном отступлении ледника, так и, наоборот, напора, прерывавшего общее отступление ледника. В том и другом случае такие промежуточные моренные валы свидетельствуют о перерывах в отступлении ледника, но доказать то или другое происхождение их чаще всего нет никакой возможности.

Совокупность всех моренных отложений, оставляемых ледником там, где перемещавший их лед исчезает, обыкновенно называют ледниковыми образованиями.

Кроме такого разделения морен, при описании их необходимо обращать всегда внимание на форму слагающего их материала. Они могут быть сложены из: 1) материала угловатого, 2) округленного деятельностью льда и 3) обточенного деятельностью ледниковых вод.

Для генетического разделения морен необходимо различать:

1) происхождение материала — со склонов или почвы ложа, из области питания или области убыли ледника;

2) особенные местные причины, определяющие положение и форму отдельных морен.

Флювиогляциальные образования. Кроме отложенных морен, в виде основной и валообразных, впереди ледника и под ним могут отлагаться слои обломочного материала, перемещаемого ледниковыми водами. Отложение ледниковых образований в виде основной и конечной морен собственно и может произойти только там, где подледниковые воды недостаточно сильны, чтобы оставляемые ледниками образования переместить дальше. Ледниковый ручей выносит не только значительное количество ила, но перемещает и более грубый материал, который может быть отложен в пределах распространения моренных образований; следовательно, морены одновременно с их отложением испытывают уже различного рода переработку. Впереди ледников альпийского типа возникающие таким образом аллювиальные отложения редко принимают какую-либо форму, по которой они отличались бы от других аллювиальных отложений. При достаточной крутизне наклона ледниковой долины уже в расстоянии 5—10 км от ледника теряются даже и такие следы ледникового переноса материала, как штрихи на нем и его угловатая форма, и отложения ледниковых ручьев ничем не отличаются от осадков обыкновенных горных потоков. Такой материал, перемещаемый водами, не относится вообще к группе ледниковых образований, за исключением той его части, которая отлагается непосредственно около ледниковых образо-

ваний или в тесной с ними связи, и происхождение которой из моренных образований может быть доказано. Такого рода образования называются ф л ю в и о г л я ц и а л ь н ы м и. Если наклон долины впереди моренных образований очень полог, то материал, вымываемый ледниковым ручьем из моренных отложений, иногда располагается непосредственно впереди конечной морены в виде конуса отложения.

Кроме флювиогляциальных отложений различают еще м а р и н о г л я ц и а л ь н ы е и л ь к у с т р о г л я ц и а л ь н ы е, которые возникают, если ледник оканчивается в море или пресноводном озере и моренный материал перемещается к месту отложения айсбергами или ледяными глыбами. Материал сохраняет, конечно, свои характерные внешние признаки, как истирание, изборожденность, но распределяется значительно шире по дну водоемов, и вместе с ним могут отлагаться осадки, свойственные этим водам.

Ледниковое выпаживание.

Упомянутое выше изборождение и шлифовка поверхности ледникового ложа представляют наиболее ясные следы механического влияния ледника на свое ложе.

Степень изборождения и шлифовка зависят от твердости пород и их залегания. В породах неоднородных, грубозернистых, например, конгломераты и грубые песчаники, не получается ни политуры, ни штриховки, а только закругления и широкие борозды, или ж е л о б а. В большинстве случаев на различных породах замечаются штрихи, шириною от $\frac{1}{2}$ до 1 см, реже от 5 до 10 см, широкие желоба до $\frac{1}{2}$ м являются уже исключением. Валун основной морены, вследствие переворачивания их при движении, покрываются штрихами разной интенсивности и в разных перекрещивающихся направлениях.

Степень механического влияния зависит, как было указано, также от скорости движения ледника. Сильнее всего полируются, бороздятся и даже закругляются скалы, выступающие с боков или по середине ледника со дна его. Такие скалы, если покрываются ледником со всех сторон, закругляются и образуют правильные куполообразные холмы со штриховкою на всех боках, но различного направления; если ледник не покрывает вершину их, то сильнейшее изборождение и сглаживание происходит на стороне, обращенной к верховью ледника, или передней стороне, тогда как противоположная задняя сторона остается нетронутою. Такого рода округлые с одной стороны, яйцевидные холмы называют б а р а н ь и м и л б а м и, а совокупность их можно назвать к у р ч а в ы м и с к а л а м и. Штрихи и борозды вытянуты с направлением движения ледника; следовательно, наоборот,

по таким штрихам возможно определить направление движения давно исчезнувших ледников.

Кроме изборождения камней и образования бараньих лбов, другими следами механической работы ледников могут служить: свежее состояние всех камней основной морены, явления давления и смятия ледником рыхлых моренных образований.

Нет никакого сомнения, что ледники оказывают механическое влияние на свое ложе, но до сих пор еще мнения расходятся о возможной степени такого выпахивания. Одни полагают, что даже самые крупные ледники могут оказывать только незначительное влияние, ограничивающееся истиранием, изборождением и закруглением более выдающихся частей своего ложа. Другие же, напротив, придают выпахиванию слишком широкое значение и объясняют им не только расширение и углубление ледниковых долин, но также происхождение их и озерных котловин. Между этими крайними мнениями среднее положение занимают мнения, по которым ледники только снова очищают древние заполненные обломочным материалом речные долины и озерные впадины.

Большинство сходится в том, что оледенение не создает, а лишь видоизменяет рельеф, главным образом, переводя выпуклые его формы в вогнутые и скорее расширяя полости, нежели углубляя их, действуя выдалбливанием, а не пропиливанием, превращая нормальные *u*-образные речные долины (фиг. 95) в *n*-образные трог, или корытообразные долины (фиг. 147). Наконец, также не следует упускать из виду, что шкала сопротивления пород ледниковой эрозии иная, чем шкала их абсолютной твердости или сопротивления выветриванию эоловому и водному; ледниковая эрозия делится на шлифующую и рвущую; для последней, более вообще значительной, существенны лишь степень, способность и направление расщепляемости пород.

Исходя из наблюдений над современными концами многих отступающих или стационарных ледников, можно сказать, что им обычно присущ уступ — резкий с обратным небольшим падением, дающим котловину, и протачиваемый ущельем ледниковой речки. Эти странные уступы — „ригеля“, „засовы“, перегораживающие большинство Альпийских долин, а по последним наблюдениям и Алайских, безусловно характерны для долин, содержавших ледники, и вероятно, отмечают моменты стояния концов ледников.

Наиболее удовлетворительное объяснение этих уступов заключается в допущении существования раньше неровностей ложа, подчеркнутых затем ледниковой эрозией, которая пропорциональна противодействию доставляемому движению льда этими неровностями.

Ледниковая эрозия $F = g \cdot v \cdot h \cdot D \cdot A \cdot \cos \alpha$, где v — скорость и h — глубина ледника; A — сопротивление ложа, α — уклон ложа; D — плотность; g — постоянный коэффициент. Места наибольшего трения, замедленного движения находятся выше и ниже перегибов падения, и поэтому там и образуются котловины. Иногда уступы можно объяснить залеганием более плотных пород, но и то лишь в смысле сужения ими долины, т.е. возбуждения большего трения. Ледник, как плуг, везомый сильными волами, пашет тихо, но упорно; каковы бы ни были препятствия, лемех его погружается и продвигается, вырывая пни и камни тем глубже, чем более они задержали движение его. Масса ледника должна пройти, каковы бы ни были препятствия, и чем ложе неровнее, тем эрозия ледника проявляется сильнее. Судить о важности ее по работе концов ледников все равно, что судить о нормальной эрозии по концам теряющейся в песках пустынной реки.

Стоя на точке зрения расширения (раздвигания) ледником обычной речной v -образной долины, легко себе представить и возникновение переуглубления главной долины по сравнению с боковыми ее притоками, превращающимися в подвешенные долинки. Дело в том, что в нормальной речной сети (см. выше) все члены ее согласуют свои базисы эрозии, т.е. дно впадающих в главную долину притоков с ней согласовано, находится на одном уровне; в ледниковой же сложной сети согласуется верхняя поверхность ледяных потоков, а так как толщина их различна, и выпахивание зависит от нее, то понятно, что при исчезновении ледников ложа долин будут на разных высотах, и, как общее правило, будут подвешены над ложем главной долины, или она окажется переуглубленной по отношению к боковым, иногда на несколько сот метров. В начальной (молодой) стадии из устьев этих подвешенных долин низвергаются водопады, в дальнейшем же они постепенно пропиливаются водой узкими ущельями, так же как и края уступов продольных ригелей.

Колебания ледников.

Географическое распространение ледников весьма неравномерно и зависит, как мы уже знаем, от орографических и, главным образом, от климатических условий; те и другие, но в особенности климатические, подвержены некоторым изменениям, а следовательно, и ледники одной и той же области не могут сохранять долгое время одинаковое положение, а будут испытывать колебания в ту или другую сторону, т.е. в один период времени они будут возрастать, увеличиваться, а нижние концы опускаться или наступать,

в другие же убывать, уменьшаться, а нижние концы их подниматься или отступать.

Все ледники находятся в состоянии подвижного равновесия, которое зависит от питания, т.-е. от накопления снега в снежинках, и от убыли, т.-е. от энергии таяния. Если увеличивается питание, то увеличивается масса ледника, и возрастает скорость движения его, — следовательно, ледник возрастает, и нижний конец его наступает. Наоборот, при перевесе убыли над питанием, ледник уменьшается, движение замедляется, и нижний конец его отступает. При равновесии питания и убыли нижний конец ледника сохраняет постоянное стационарное положение. Небольшие колебания в величине ледников наблюдаются уже в разное время одного года: летом он убывает, осенью достигает *минимума*, а зимой увеличивается и весной достигает *максимума*; размеры годовых колебаний ничтожны; так, толщина у нижнего конца колеблется на 3—5 м, а длина 10 м. Гораздо важнее более крупные колебания, которые совершаются в различные, более или менее продолжительные периоды времени — от 5 до 30 и более лет. Иногда совершенно без видимой причины ледники данной области начинают возрастать, нижний конец их опускается на 15—20 м и даже до 70 м и более ежегодно; при этом старые конечные морены, постройки, лес и проч., все, что лежит на пути, сдвигается или уничтожается, — ничто не может задержать ледяного потока. По прошествии нескольких лет рост ледников останавливается, и они также без видимой причины начинают отступать иногда так быстро, что кажутся близкими к исчезновению. Иногда в период наступания ледник на некоторое время останавливается или даже начнет отступать, но затем снова продолжает наступание; то же бывает и в периоды отступления. Тот и другой процесс наблюдался по нескольку раз на одних и тех же ледниках.

Лучше других известны, конечно, Альпийские ледники, общие колебания которых для XIX ст. указаны в следующей таблице:

Наступание в XVI и XVII вв. до 1716 г.

Отступление с 1750—1787.

Наступание с 1760—1786.

Отступление с 1800—1811.

Общее наступание с 1811 по 1818.

Максимум 1-й четверти XIX ст. с 1818—1825.

Отступление или остановка с 1818 по 1830 и 1840.

Минимум развития.

Наступание или остановка с 1830 по 1850, 1860, 1870.

Максимум середины столетия 1850—1870.

Большое и общее отступление с 1850—1870.

Минимум.

Небольшое наступание с 1875 по 1893.

Максимум для некоторых ледников 1893.

Отступление с 1895 до 1910 г., или даже далее (?).

Аналогичные колебания за этот же период времени испытывали наши ледники Тянь-шаня и особенно Кавказа, где в последние 50 лет наблюдается общее отступление с небольшими исключениями.

Сопоставляя все, что известно нам о колебании ледников, можно прийти к следующим заключениям:

1) Колебания ледников индивидуальны; каждый ледник имеет свои собственные периоды и размеры колебаний; в этом отношении различаются не только ледники отдельных областей, но даже ледники одной и той же горной группы или долины и, наконец, два соседних ледника; поэтому для изучения этого явления невозможно ограничиваться какою-либо одною системою ледников и тем менее отдельными ледниками.

2) Несмотря на индивидуальность колебаний, все-таки наблюдается общность этого явления, распространяющаяся на обширные области.

3) Наступание более индивидуально, чем отступление, но выражается определеннее. Максимум возрастания определить легче, чем минимум. Отступление происходит медленнее, чем наступание.

4) Продолжительность периодов не превосходит десятков лет. •

В течение одного столетия некоторые ледники имели 3 максимума наступания, другие — два, а третьи — только один; следовательно, средняя продолжительность периода колебания, от одного минимума до другого, более 30 лет и менее 50-ти. Вообще же продолжительность периода колеблется от 20 до 60 лет.

Древнее оледенение.

Ледниковая эпоха.

Постепенное охлаждение климата к концу третичного периода закончилось эпохой, в особенности отразившейся на северных широтах Старого и Нового Света.

С наступлением общего охлаждения климата, весь север Европы был погребен под льдом, который, заполнив бассейны Балтийского и Немецкого морей, далеко распространился к югу, приблизительно до местоположения Лондона, Кракова и Киева. Но и вне пределов этого ледникового покрова климат был настолько арктическим, что снеговые поля и ледники распространялись, например, в самом сердце Франции, по сравнительно низким холмам к северу от Лиона. Альпы

были покрыты обширными снеговыми полями, дававшими громадные ледники во все стороны; ледники спускались в равнины, совершенно скрывая под собой на своем пути небольшие цепи гор. Также покрыты были Пиренеи, дававшие многочисленные ледники к югу. Значительно меньшая степень оледенения была на Кавказе и дальше к востоку по горным системам Азии. В С. Америке Канада и Восточные Штаты Союза до 40° с. ш. были покрыты ледяным покровом, превосходившим своими размерами и северно-европейский.

Пространства, покрытые льдом, были очищены от всех поверхностных почвенных образований до коренных пород, вычищенных и выглаженных, без всякой с ними связи, несогласно на них были отложены различные ледниковые образования. В различных областях можно заметить значительные местные отличия в природе и последовательности различных отложений ледниковой эпохи. Чрезвычайно трудно во многих случаях определить для известных частей серии ледниковых образований их одновременность или, наоборот, принадлежность к различным по времени отложениям. Тем не менее были установлены следующие руководящие положения. Первая или главная эпоха оледенения соответствует высшему развитию всех условий этого времени, когда постепенное распространение арктического климата, подобного современному северной Гренландии, достигло до широт Уэльса, юго-западной Ирландии, 50° с. ш. в Средней Европе и России и до 40° с. ш. на востоке С. Америки.

За этой эпохой первого оледенения последовало время, когда климат сделался значительно мягче, хотя с возможными временными колебаниями в сторону холодного арктического; это — междуледниковая эпоха, за которой наступила вторая холодная эпоха, отмеченная новым возрастанием снеговых полей и ледников; это время — второго оледенения.

Стратиграфические отношения. По числу распространенных отложений валунной глины и залегающих между ними галечниковых отложений для альпийских предгорий принимают четыре фазы или повторение условий их образования, следовательно, четыре оледенения. Одним из существенных признаков для различения отложений разных оледенений служат часто следы сильного выветривания и эрозии поверхности более нижних отложений, покрытых другими более новыми; другими признаками служат междуледниковые слои, содержащие животные и растительные остатки умеренного климата, иногда даже залежи торфа и сланцеватого угля.

Кроме отложений, оставляемых ледниками, следами их прежнего развития служат, как упомянуто, эрратические валуны, ледниковые шрамы и борозды, округленные скалы и иногда исполиновые

котлы, расположенные далеко от области распространения современных ледников, кары, трог (фиг. 147), ригеля и переуглубленные долины (см. выше стр. 285 и 286).

В центральных частях Альп ошлифованные, изборожденные и округленные скалы местами сохранились с такой отчетливостью, что по ним не трудно восстановить верхнюю границу обработки пород льдом. Зазубренные формы склонов выше такой границы представляют резкий контраст с формами склонов ниже ее; последние формы отли-



Фиг. 147. — Корытообразные древние ледниковые долины (троги). Яны - Хамбу - Пер в бассейне р. Илыч на Урале. (Рис. В. А. Варсанюфьевой).

чаются своею округленностью даже на водораздельных гребнях между долинами.

Скандинаво-русская область оледенения.

Отложения времени пост-плиоцена, так называемый дилювий, почти непрерывным покровом, мощности до 50 м, распространяются по всей северо-германской низменности, северо-западной и значительной части средней (европейской) части СССР, совершенно скрывая более древние образования. Кроме собственно ледниковых отложений, т. - е. моренных и флювиогляциальных, пост-плиоцен представляется отложениями речными, озерными, морскими, эоловыми и продуктами органических и химических процессов; совокупность этих последних отложений называют экстрагляциальными. Одни

из них, как диатомовая земля, болотные образования, торф, известковый туф, озерный мел, не играют существенной роли, по крайней мере, всюду и всегда легко отличимы; тоже можно сказать про лёсс и дюнные песчаные образования. Гораздо труднее отличима от ледниковых отложений группа речных, озерных и морских образований пост-плиоцена. Эта группа представляется различными глинистыми и песчаными образованиями: мергелистая глина, полосатая глина, щебень, лёсс, лёссовидные глины. Как в Альпах, так и здесь, собственно ледниковые образования отличаются необыкновенной редкостью нахождения в них органических остатков, которые находятся преимущественно в других группах пост-плиоценовых отложений. Все такие содержащие окаменелости отложения и служат обыкновенно для выделения междуледниковых эпох.

Ледниковые отложения.

Моренные. Ледниковые отложения представляют продукты исключительно механического разрушения горных пород, как это свидетельствуют заключающиеся в них обломки свежих невыветрелых горных пород и богатство их карбонатами и безводными силикатами. Полную противоположность им представляют, например, образования со следами субъаэрального выветривания.

Главным членом этой группы образований является, так называемая, валунная глина или суглинок, валунный мергель. Она представляет в свежем состоянии голубовато-серую, а при выветривании желтоватую или буровато-красную неслоистую известковистую глину всегда с большим или меньшим количеством валунов и галек. Во влажном состоянии она вязкая, в сухом твердая. При выветривании изменяется не только цвет, но также уменьшается и количество карбонатных солей. Валуны и гальки, слабо, но ясно округленные, иногда обточенные и со следами штриховки, принадлежат разнообразнейшим изверженным и осадочным породам Скандинавии и Финляндии или реже местных месторождений. Валуны покрыты штрихами часто не только на одной стороне, но на двух и больше; часто сточены и изборождены даже края их, а штрихи нередко на одной и той же стороне пересекаются по нескольким направлениям. Валуны достигают часто огромных размеров, как, например, известный камень, служащий пьедесталом статуи Петра I в Ленинграде. Хотя они распределены в глине без всякой правильности, но иногда в нижних горизонтах крупные валуны находятся особенно обильно. Взаимное отношение камней и тонкого глинистого материала очень непостоянно, так же как и величина камней в одной и той же толще.

При отсутствии слоистости валунная глина иногда обнаруживает тонко-полосчатую отдельность, вероятно, как следствие давления льда.

Часто среди толщи моренной глины заключаются небольшие или более крупные выклинивающие прослои, или линзы, слоистого песка, галечника или даже глины. Это можно объяснить местным отложением на основной морене флювиогляциальных образований; если они становятся более мощными, толща валунной глины разделяется на несколько отдельных залежей. Наконец, иногда вследствие появления таких прослоев моренная глина принимает вид слоистой; валунная и слоистые глины, отложенные водой, переходят друг в друга. Они переходят друг в друга нередко и в горизонтальном направлении; также замечаются такие переходы и между валунной глиной и песчано-галечниковыми слоями.

Выветривание настолько изменяет вид и качества моренной глины, что нередко выветренные части легко принять за совершенно различное образование. С поверхности валунный мергель при выветривании переходит в глину известковистую, а затем и песок.

При сильном действии атмосферной воды валунная глина превращается в валунный песок; если исчезает, наконец, и песок, остается только скопление камней.

Флювиогляциальные и другие отложения из воды. Различные по способу отложения петрографически, эти породы образуют однообразную группу типичных осадочных пород — глин и песков. Вода уже под льдом начинает переработку материала основной морены, а ледниковые воды перемещают продукты этой переработки все дальше от края ледникового покрова. Чем дальше на юг от Скандинавского центра оледенения, тем больше материала вода и лед извлекали из местных коренных пород; можно заметить, что северо-германские ледниковые пески заметно более кварцеваты, чем шведские. Зависимость от характера местных горных пород может отчасти служить отличием речных песков от флювиогляциальных.

Пост-плиоценовые пески, вследствие легкости удаления из них питательных веществ, представляют почвы мало плодородные сравнительно с глинами; в средней и северо-западной России пространства песчаных отложений резко отличаются от моренных своим однообразным сосновым покровом, так называемые, „боровые“ места.

Ясная слоистость, часто перекрещивающаяся, быстрое выклинивание, несогласное залегание и диагональная слоеватость являются постоянными признаками дилuviальных песков, как следствие быстрой смены скорости движения воды; также неоднородными они являются и по крупности зерна, нередко, например, в средней России с посто-

янным присутствием валунов; только наиболее тонкие пески сохраняют свои качества на более значительных пространствах.

Среди песков нередко появляются изолированные части галечников или резко ограниченные же части песка; эти участки объясняют перемещением галечника и песка пловучими льдинами.

Глины представляют другой продукт переработки моренных отложений и отличаются гораздо более однообразными качествами, чем пески. Обыкновенно они не содержат вовсе валунов и галек, в свежем состоянии известковисты, серого, голубовато-серого или желтого цветов. Как наиболее тонкий продукт отмывки, они могли отлагаться только в совершенно спокойной воде; отсюда их тонкая слоистость и частая перемежаемость с тончайшими песчанистыми прослоями; это могло зависеть от периодически более сильной скорости движения воды, следовательно, даже от времен года. Глины часто характеризуются обильными мергелистыми конкрециями.

Доказательством ледникового происхождения валунной глины и части слоистых образований северо-европейской области могут служить: 1) различные следы влияния оледенения на подпочву пространств, покрытых рассматриваемыми отложениями; 2) качества самих отложений; 3) формы рельефа, определяемые этими отложениями.

Влияния оледенения на подпочву.

Наиболее ясными признаками служат ледниковые изборождения, шлифовка и образование округленных холмов на выступах коренных пород, по которым двигался лед. Эти признаки наблюдаются, конечно, не повсюду, а преимущественно в областях усиленного ледникового выпахивания; вследствие последующего выветривания, не всюду были и благоприятные условия для сохранения этих следов работы ледников. Повсеместное распространение эти явления имеют в Скандинавии, Финляндии, на Кольском полуострове, в Карелии; реже встречаются они в Прибалтийском крае, Дании и Англии и только спорадически на северо-германской низменности, достигая тем не менее Саксонии и Силезии.

Направление борозд не остается параллельным; часто одна система пересекает другую.

Основная морена. Так как ледниковый покров скандинаво-русской области имел характер внутреннего покрова, то главным материалом для отложенных морен служили нижние морены и частью внутренние. В пределах северо-германской низменности и СССР ледниковый покров должен был совершенно скрывать все незначительные неровности подпочвы, и едва ли могли существовать где-либо

среди этого покрова значительные выступы, способствующие образованию краевых морен.

Петрографический характер валунной глины, остающийся замечательно однообразным по всей области ее широкого распространения от южной Швеции до подножия Рудных гор в Саксонии и от Англии до берегов Днепра, заставляет признать ее за основную морену.

Хотя структура и общий петрографический характер валунной глины повсюду остаются постоянными, но природа валунов, заключенных в глине, изменяется в зависимости от геологического состава областей, из которых шли отдельные потоки льда, или тех пространств, которые лед пересекал на своем пути. Так на юго-восточных берегах Англии среди валунов преобладают породы из окрестностей Христиании; в Германии преобладают породы средней Швеции, также Борнгольма и Готланда.

В средней и южной европейской частях СССР преобладают валуны финляндских изверженных пород и кристаллических сланцев, также силурийских известняков Эстляндии; в Новгородской губернии и дальше на NO часто появляются валуны Олонецких песчаников и кварцитов. Распределение валунов Фенно-Скандинавских пород ясно и наглядно показывает перемещение их по радиальным направлениям: к SW в Англии, к SSW в Саксонии и к SO около Киева и в средней европейской части СССР.

Валуны характерных горных пород, имеющих определенное распространение коренными выходами, называют руководящими валунами.

Географическое распространение древних ледниковых областей.

Кроме рассмотренных подробнее областей распространения древних ледников в северной Европе, доказано прежнее развитие ледников и в других областях как северного, так и южного полушария.

Северное полушарие. Область Тимано-Уральского ледника простиралась к югу до 61° с. ш.; моренные отложения перекрыты и частью переслаиваются осадками трансгрессии северного моря. Оледенение в первую половину ледникового периода охватывало весь север европейской части СССР и Урала и нельзя провести границы между Скандинавской областью и Тимано-Уральской. Во вторую половину северная трансгрессия достигала до высоты 150 м над уровнем современного моря.

Следы прежнего более широкого оледенения обнаруживаются повсюду в Гренландии, на Шпицбергене, и во всех горах Европы и Азии.

Одновременно с оледенением севера Европы и север. Америки, приподнятый более, чем на 700 — 800 м и даже до 1.000 м выше над современным уровнем моря, был покрыт колоссальным внутренним покровом льда. Область оледенения была здесь еще больше, чем в Европе; лед покрывал всю Канаду, откуда распространялся через Новую Англию, Нью-Йорк, Мичиган, Висконсин и Миннесоту до Миссиссипи и на юг до Нью-Джерсей, в южную Пенсильванию, Огайо, Индиану, Иллинойс и Айова, следовательно, до 38° с. ш., т.-е. почти до широт Сицилии и Мадрида. Площадь льда составляла не менее 15 милл. квадр. км. На западе Америки климат и в то время был суше, так что оледенение не распространялось южнее 48° с. ш.

Мощность покрова была весьма значительной, как видно по следам покрытия льдом гор высотой более 1.300 м. Мощности ледниковых отложений местами превышает 50 м. Эвратические валуны рассеяны на пространстве до 1.500 км от коренных местонахождений; так валуны самородной меди из окрестностей Верхнего озера находятся в Индиане и Иллинойсе. Доледниковые речные долины были совершенно заполнены ледниковыми отложениями, и реки, например, Ниагара и Миннесота, должны были принять совершенно другое направление.

В Южной Америке доказано присутствие ледниковых отложений, покрывающих почти всю Патагонию, Огненную землю и распространенных в Чили.

В тропической Америке, именно в Сьерра де Санта Марта (около 11° с. ш., в Северной Колумбии) и в Венесуэле, следы прежнего оледенения были доказаны, а также на Аконкагуа, в Перу, в Эквадоре.

В Африке следы прежнего оледенения доказаны на горах Кении и Рувендоре и в области Килиманджаро, где ледники спускались по крайней мере на 600 м ниже современных.

В Австралии следы прежнего оледенения распространены значительно больше. На Новой Зеландии ледники спускались в равнину, а на западной стороне острова — достигали уровня моря. Также на материке в Альпах Виктории и Нового Южного Уэльса доказаны прежние ледники.

В Тасмании моренный материал спускается до 700 и даже 300 м над уровнем моря; западное нагорье Тасмании было покрыто снегом и льдом на высотах от 700 м.

Как показали исследования на антарктическом материке, следы прежнего значительного оледенения обнаруживаются и там, а также на островах антарктического океана.

Для понимания ледниковой эпохи во всем ее объеме для нас важно, что она наступила на рубеже третичного периода и современ-

ного, определив основной характер географического распределения всего органического мира современного времени. В „тени этой эпохи“ продолжает развиваться жизнь земной поверхности до сих пор; в ледниковую эпоху (наиболее древний ее отдел) появляется и человек, как активный член органической и неорганической природы.

Причины ледниковой эпохи.

Развитие снега и льда зависит от избытка атмосферных осадков, конденсирующихся в твердое состояние; следовательно, ни обилие осадков, ни низкая температура, взятые порознь, не могут вызвать ледниковых явлений.

Климат ледниковой эпохи был повсюду холоднее и на значительнейшей части земной поверхности также и влажнее, чем современный.

Температура и осадки определяют собою климат данной местности, и ледниковые явления по самому существу относятся к климатическим. Вопрос о причинах ледниковой эпохи представляет, следовательно, только частный случай более широкого вопроса об изменении климата земли в течение ее геологической жизни. О поразительных изменениях климата земли свидетельствуют также остатки тропической и субтропической флоры в полярных широтах, например, времени эоцена и миоцена. Доказано, что ледниковых эпох было несколько, начиная с древнейших эр.

Климат каждой местности зависит от распределения суши и воды (горизонтальное расчленение земной поверхности) и вида поверхности земли (вертикальное расчленение); эти физико-географические условия определяют и общий характер фауны и флоры. Чтобы решить вопрос о климатах минувших периодов, или о, так называемых, палеотермальных условиях, необходимо, следовательно, восстановить полную картину физико-географических условий земной поверхности в различные геологические периоды. Вопрос о геологических климатах, следовательно, составляет только часть грандиозной задачи науки, называемой палеогеографией.

Несмотря на большое число предложенных гипотез причин изменения геологических климатов, а в том числе и причин ледниковой эпохи, мы еще не знаем.

Геологу тем не менее необходимо знать методы, посредством которых делаются попытки восстановления физико-географических условий прошлого, и сумму представлений о климатических изменениях земли. Эти методы входят, однако, в круг вопросов Геологии Исторической.

ГЛАВА V.

Осадочные породы; их классификация и условия залегания.

Из рассмотрения деятельности денудационных агентов, мы видим, что все они создают те или иные новые отложения на поверхности земли, называемые осадочными породами.

Все осадочные породы в большинстве случаев резко отличаются от изверженных как по форме залегания, так по составу и структуре. Во 1-х, большинство их залегает в форме слоев, или пластов, образуя мощные свиты, занимающие огромные площади; вследствие этого осадочные породы иначе можно назвать пластовыми или слоистыми породами в противоположность неслоистым, или массивным, изверженным породам. Только немногие из них не обнаруживают ясной слоистости, но тогда они отличаются характерным обломочным сложением и составом. Во 2-х, при зернисто-кристаллическом сложении осадочные породы известны только немногие, например, гипс, каменная соль и проч. В 3-х, большинство осадочных пород заключает в себе остатки различных организмов или, так называемые, окаменелости, изучение которых дало возможность установить геологическую хронологию, без которой немыслима была бы история земли.

В породах, состоящих из обломков прежде-образованных пород, сложение обуславливается, главным образом, величиною и формою обломков. Если обломки весьма маленьких размеров в виде пыли или ила, то такое сложение называется глиняным или пелитовым, например, ил, глины, глинистоуглистые сланцы и пр. Напротив, если размеры обломков значительны, не менее обыкновенного ореха или голубиногo яйца, то сложение называется псефитовым; при чем, если обломки округлены, то породы называются конгломератами, если же остроугольные, то — брекчиями. Наконец, если обломки средней величины (от булавочной головки до горошины), то сложение называется песчаниковым или псаммитовым, например, мелко-раковинные известняки, обыкновенные песчаники.

Если обломки не связаны никаким цементом, то они образуют рыхлую массу, называемую аггломератом. Рыхлые массы разли-

чают по величине обломков: большие округленные или остроугольные называют валунами; мелкие круглые — гальками; плоские, остроугольные неправильной формы — щебнем; окатанные — гравием; мелкие округленные — песком.

Цемент, связывающий отдельные куски, может быть и тоже обломочного происхождения, или же кристаллический. Увеличение последнего может обусловить переход обломочной породы в простую кристаллическую, например, известняковые песчаники и конгломераты постепенно переходят в кристаллически-зернистые известняки.

Сложение простых зернисто-кристаллических осадочных пород довольно однообразно; они большею частью имеют крупно- или мелко-зернистое сложение, например, кварцит, мраморы; иногда плотное, иногда волокнистое, столбчатое, часто слоистое или сланцеватое. Только одно оригинальное сложение наблюдается в известняках, так называемое, оолитовое, когда порода состоит из маленьких, круглых шариков (доходящих все-таки до 38 м в диаметре) концентрического строения.

Осадочные породы прежде всего можно разделить на две неравномерной величины группы в зависимости от сложения и способа происхождения, а именно:

1. Зернисто-кристаллические осадочные породы, или, так называемые, простые породы, представляющие агрегат одного минерального вида и происшедшие преимущественно химическим путем, т.-е. отложением из растворов в воде или воздухе. Сюда принадлежат немногие простые породы, как, например, лед, каменная соль, гипс, ангидрит, зернистый известняк и доломит, кремнистый и известковый туфы, рудные породы.

2. Обломочные осадочные породы, состоящие из рыхлых или цементированных обломков различных пород растительных и животных организмов. Такие породы образовались преимущественно механическим путем, при посредстве воды, льда, воздуха и организмов. Эта весьма обширная и разнообразная по составу группа пород может быть разделена на три подгруппы в зависимости от состава: 1) пелолиты, или глинистые породы, 2) псефолиты, или песчаниковые породы и 3) органолиты, или породы, образовавшиеся из остатков растений и животных.

Между породами различных групп, несмотря на их резкое различие, существуют промежуточные члены, которые происходят или вследствие метаморфизации, или же при самом образовании, например, извергающаяся лава захватывает в себя обломки основания вулкана и в результате дает брекчию, состоящую из обломков пород всякого рода, связанных цементом из отвердевшей лавы. Такие переходные

члены настолько тесно связывают породы разных групп, что резкую границу между ними в некоторых случаях провести невозможно, а потому все признаки, которыми обыкновенно характеризуют разницу между вулканическими и осадочными породами, имеют только относительное значение и не всегда решают вопрос о принадлежности породы к той или другой группе, особенно при отсутствии окаменелостей. Если исследование изверженных пород выясняет законы ассоциации минералов, а метаморфические породы указывают на разнообразные изменения их под влиянием различных агентов, то изучение осадочных пород выясняет ассоциации организмов, постепенность развития и последовательную смену их во времени и пространстве. Таким образом осадочные породы имеют совершенно особое и весьма важное значение для истории земли, в котором еще нагляднее мы убедимся при изложении методов геологического летоисчисления и учения о формациях.

Осадочные породы.

Рыхлые	Цементированные	Химические осадки	Органогеновые
Галечники.	Конгломераты.	Карбонаты: Некоторые известняки, напр., оолитовые.	Известняки и доломиты (измененные органолиты).
Песок, гравий.	Песчаники.	Сульфаты: Гипс, ангидрид.	Кремнистые породы (кремнистые сланцы, некотор. яшмы).
Глины (лёсс).	Глинистые сланцы (квасцовые, аспидные и др.).	Галоиды: Каменная соль, калийные соли.	(Фосфориты).
Вулканические пеплы	Туфы (вулканические).	Железные окислы и силикаты. Оолитовые железные руды (бурый железняк).	Каменный уголь, нефть, асфальт.

Напластование.

Рассмотрению условий залегания осадочных пород необходимо предпослать несколько слов об их образовании. Степень уплотненности осадков весьма различна и не всегда соответствует их древ-

ности, хотя для обломочных пород эта зависимость в общем и имеется. Процессы, в силу которых произошло уплотнение — породообразование конгломератов, песчаников, глин, известняков и туфов из соответственных рыхлых продуктов, происходят и на наших глазах; среди них главное место принадлежит действию просачивающихся через рыхлые осадки вод, отлагающих при испарении во всех порах бывшие в растворе вещества, как известь и др.; совокупность химических и физических процессов изменения пород, кроме воздействия тепла и давления тектонического, объединяется обычно под термином *диагенезис*.

Большое значение имеет вес, давление налегающих масс: торф, добытый из нижних горизонтов болота, с глубины в 20 — 30 футов, обладает такой плотностью, что при высыхании напоминает лигнит; толстые насыпи щебня с течением времени слеживаются в солидные массы, выдерживающие фундаменты построек. Мы знаем, что многие породы, находящиеся ныне на земной поверхности, долгое время были покрыты толщами в тысячи футов вышележащих осадков, впоследствии смытых, громадный вес которых не мог не оказать своего уплотняющего влияния. Кроме того, аналогичное влияние оказывает близость раскаленных масс — интрузий и экстрюзий, а большее и широко распространенное — внутренняя высокая температура земли, под воздействие которой должны были всегда попадать нижние части медленно опускающихся бассейнов накопления осадков (геосинклиналей). Мы знаем осадочные толщи до 10.000 метров и более, возникавшие этим путем, и можем себе представить, что во время образования верхних их членов нижние части достигали уже геоизотерм гораздо выше точки кипения воды и не могли не испытать известных изменений (метаморфизма); здесь, помимо механического давления, главным агентом была вода, обуславливавшая, благодаря именно такому давлению и высокой температуре, ряд сложных химических реакций внутри горных пород, содействовавших их уплотнению, а иногда и кристаллизации (образование кристаллических сланцев). Наконец, самая потеря тепла земным шаром, являясь причиной большинства движений литосферы — горообразовательных явлений, вызывает и вызывала смятие, сжатие и искривление осадочных пород (см. ниже), в результате чего обычно являлось также их уплотнение (динамометаморфизм); в общем, хотя и не безусловно, слои дислоцированные, смятые, более уплотнены, чем лежащие горизонтально, неизменно, несмотря даже на весьма древний возраст последних: например, древнейшие (кембрийские) отложения под Ленинградом — пески и, так называемая, „голубая глина“, которая сохранила до сих пор такую мягкость и пластичность, что иногда с трудом отличима от самых новейших (ледниковых) глин

и является отличным материалом для лепки, в то время как молодые (третичные) отложения в складчатых хребтах (Альпы) представляются уже вполне твердыми породами.

Рассмотрим сначала первоначальные, неизмененные формы залегания осадочных пород, исходя из условий, при которых они образовались.

По месту своего отложения все обломочные породы, как-то: конгломераты, песчаники и глины, слагающие наибольшую видимую часть земной коры, разделяются на морские, озерные и речные. Весь материал, выносимый в море (или вообще большой водоем), в нем сортируется и распределяется зонально, параллельно берегу, при чем с удалением от последнего крупность зерен осадков уменьшается. Таким образом в каждой зоне крупность зерна приблизительно одинаковая в силу гидравлического принципа, что при падении в воду частицы однородные испытывают одинаковое сопротивление, легко подтверждаемое простым опытом. Чем глубже бассейн осаждения, тем совершеннее происходит сортировка, и тем однороднее, чище материал каждого слоя. Такой идеальный ход осаждения требует полного спокойствия воды, чего в природе почти не бывает.

В случае наличия определенного движения воды расположение зон различной крупности зерна изменится из вертикального в горизонтальное — самый крупный тяжелый материал, выпадая раньше, будет не самым нижним, а самым ближним, вверх по течению, к месту начала движения воды. Необходимое для такого объяснения движение воды всегда имеется в море, в виде приливов и отливов, береговых течений и движения волн, вызываемого ветром. Таким образом гравий и гальки, располагаясь вблизи берега, — в береговых валах, косах и в мелких устьях рек и бурных потоков, — образуют конгломераты, пески, выносясь дальше в море — песчаники, и, наконец, дальше всего отлагаются мелкие илистые частицы, образуя глины, мергеля и рухляки. Если линия берега остается постоянной или медленно поднимается, то материал выносится все далее в море, благодаря чему возникает постепенное, черепитчатое перекрывание одних слоев другими, так что более мелкозернистые в вертикальном разрезе на некотором расстоянии от берега будут покрыты крупнозернистыми (залегание регрессивное).

При опускании берега и захвате его морем будут возникать отношения обратные (залегание трансгрессивное (фиг. 152 и 153). Изменение характера отложившегося материала при дальнейшем уплотнении его вызывает образование отграничивающих отдельные пласты, более или менее отчетливых, плоскостей напластования. В конгломератах часто не видно напластования, а если оно и заметно, то преимуще-

ственно благодаря перемежающимся слоям более мелкого, песчаникового материала. Эти прослои песчаника в конгломератах обычно очень непостоянной толщины и протяжения, что объясняется временными, случайными условиями их отложения (перемена погоды, берегового течения и т. п.). Еще обычнее чередование песчаников с более тонкими слоями слоистых глин, повторяющееся на толщину во много сот метров, что также объясняется изменением условий отложения в различные времена года, при различных ветрах, силе течения и пр. Скорость отложения также влияет на характер наслоения: при медленном процессе возникает чрезвычайно мелкая сланцеватость, — листоватость, свойственная тонким осадкам, преимущественно глинистым. Толщина слоев достигает всего лишь толщины бумаги. Сцепление между такими листиками породы обычно ничтожное, так что она легко расслаивается по этим плоскостям, чему особенно содействует присутствие пластинок слюды, располагающихся параллельно этим плоскостям. Листоватое сложение, возникающее в результате последовательного выпадения мельчайшего илистого материала во время периодического подъема вод рек, приливов и т. п., вообще свидетельствует об осаждении в спокойной воде. Эти условия имеют место в озерах, лагунах, местах, заливаемых во время половодья или прилива, на больших глубинах океанов, где не отражаются ни морские течения, ни поверхностное волнение, и предледниковых котловинах; наконец, подобные же отложения известны и чисто континентального происхождения, даже без участия воды: пыль, поднимавшаяся при извержении вулкана Тараверы в 1886 г., состояла из частиц различной крупности, которые, отвеянные сильным ветром, отложились тонкими, отсортированными слоями. Пески, слагающие прибрежные дюны, также нередко обнаруживают мелкую слоеватость, происходящую от различной скорости навывающих их ветров. Помимо глинистых пород, таким образом, этим свойством могут обладать и песчаники, особенно мелкозернистые и глинистые.

Пластом называют обширную, но относительно незначительной толщины плитообразную массу однородной горной породы, ограниченную более или менее ровными и параллельными плоскостями, называемыми плоскостями напластования. В каждом пласте различают нижнюю и верхнюю плоскости напластования, из которых первая означает начало образования пласта, а вторая — конец; следовательно, каждый пласт представляет результат некоторого непрерывного периода отложения однообразного осадка. Кратчайшее расстояние между обеими плоскостями напластования называется толщиной или мощностью пласта.

Всякий минеральный осадок, отлагающийся на дно какого-либо бассейна, прежде всего заполняет углубление дна его, а затем уже образует более или менее горизонтальные и параллельные между собою пласты, совокупность которых называется системою, или свитою пластов. Выход пластов на дневную поверхность называется обнажением. Так как горизонтальные размеры пластов обуславливаются величиною отлагающего бассейна и достигают сотен километров, а толщина или мощность их зависит от интенсивности и продолжительности периода непрерывного отложения, то очевидно, что размеры пластов могут быть чрезвычайно разнообразны даже в одной и той же свите их. Мощные известковые и глинистые пласты достигают в общем больших горизонтальных размеров, чем тонкие, особенно конгломератовые.

Для пояснения этого представим себе какое-либо замкнутое озеро, в котором осадки отлагаются только в период дождей; минеральные вещества, снесенные в озеро в дождливое время, образуют пласт на дне его; в следующий за дождями период засухи, когда озеро не получает осадков, пласт этот окрепнет и уплотнится; в следующий дождливый период отложится выше предыдущего другой пласт, который, в зависимости от количества и качества сносимых осадков и живой силы потоков, будет более или менее резко отличаться от нижележащего не только размерами, но и минеральным характером; этот пласт в свою очередь уплотнится и снова покроется третьим и т. д., в конце концов получится целая свита пластов, различающихся цветом, сложением, размерами и составом тем более, чем продолжительнее периоды остановки в отложении их, и чем разнообразнее интенсивность и состав отложения. В противном случае образуются более или менее однородные пласты и приблизительно одинаковых размеров.

При совершенно горизонтальном залегании свиты пластов толщина каждого из них определяется длиной вертикальной линии *ab* между верхнею и нижнею поверхностью напластования, при чем нижележащий пласт называется почвою или постелью пласта, а вышележащий составляет кровлю того же пласта. При наклонном положении пластов кровля называется висячим боком пласта, а постель — лежачим боком, толщина же пласта определяется длиной наклонной линии, перпендикулярной к плоскостям напластования; зная угол наклона пласта и видимую толщину его, легко найти истинную, которая равняется видимой, умноженной на косинус угла падения.

Точное знание почвы и кровли пластов полезных ископаемых, подвергающихся подземной выработке, имеет громадное значение для выбора системы работ и крепления.

Время, нужное для образования пласта известной мощности, неопределенно и весьма различно для различных типов осадков: пласт конгломерата отложится скорее, чем такой же мощности пласт песчаника, а этот в свою очередь скорее глины и т. п.

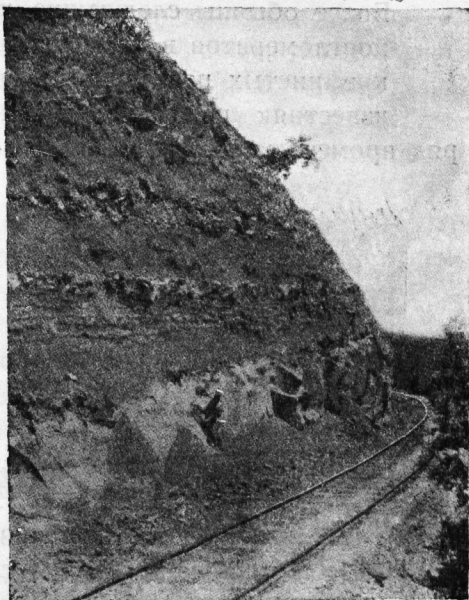
Даже при однородности материалов одинаковая мощность не всегда будет свидетельствовать об одинаковом возрасте пластов, хотя уже конечно гораздо чаще, чем при разнородности их. Плоскости, разделяющие отдельные пласты, обычно отчетливее, чем плоскости мелкой слоисто-сланцеватости; они могут свидетельствовать не только о перемене характера отложений, но и о перерывах его, продолжительность которых весьма различна. Первое свойственно мелководным отложениям, так как глубоководные накаплиются медленно, постоянно и однообразно на громадных площадях; поэтому наблюдаемые перерывы в отложении глубоководных осадков вероятно должны были быть более длинными. Например, залегание пласта чистого известняка, состоящего из остатков кораллов и других морских организмов, между сланцеватыми глинами указывает на двукратное резкое изменение физико-географических условий (так как известняк мог отлагаться лишь в чистой воде океана, а глины, наоборот, могли возникнуть лишь при условии большого приноса ила), которое каждый раз должно было потребовать продолжительного периода времени; возможно, что эти изменения вызывались движениями земной коры, поднятиями и опусканиями морского дна. Эти примеры доказывают, что плоскости напластования могут свидетельствовать иногда о чрезвычайно долгих периодах времени, подчас даже больших, чем периоды самого отложения данных пластов.

Кроме параллельности поверхностей напластования, пласты характеризуются еще параллельным строением всей массы их и параллельным расположением посторонних включений, что выражается различием в цвете, крупности зерен, в изменении тех или других примесей, присутствием желваков или каких либо сростков, неравномерным распределением окаменелостей и трещиноватостью. Последняя иногда разбивает пласт на множество мелких слоев, параллельных как плоскостям напластования, так и между собою; явление это называется истинною или первичною сланцеватостью. В некоторых случаях первичная сланцеватость идет не параллельно плоскостям напластования, а под некоторым углом или диагонально и притом в каждом пласте различно; в отличие от предыдущей, эта называется диагональною или косой слоистостью; она характерна для глинисто-песчаных осадков, отлагающихся в таких водных бассейнах, которые отличаются переменною скоростью течения, даже в период образования одного и того же пласта, например,

в олонечких кварцитах, русских девонских и кембрийских песчаниках, в современных речных отложениях и пр. (фиг. 177, стр. 340).

Косая слоистость характерна для отложения речных дельт, верхних частей долинных озер, заносимых аллювием, и галечных отложений горных потоков, в речных заводах и местах обратного течения у берегов. Золотым отложениям — дюнам и барханам — обычно свойственна косая слоистость, благодаря способу образования их пересыпанием песка через гребень дюны то в одну, то в другую сторону.

Наконец, заслуживает внимания, что в реках постоянного течения валуны на дне располагаются в наиболее устойчивом положении, наклонно вниз по течению, что часто видно в речных террасах. Этот признак очень важен при разведках на золото (россыпное), так как дает возможность установить прежнее направление течения реки, отложившей террасу, и проследить расположение главной россыпи.



Фиг. 148. — Перемежаемость сланцев и песчаников. Ю. Уссурийский край. (Фот. Д. Мушкетова).

Если пласты одной и той же свиты, но петрографически различные, следуют попеременно друг за другом, например, пласты мергеля чередуются с пластами песчаника или пласты каменного угля с пластами глины и проч., то в таком случае явление это называется перемежаемостью пластов или перемежающимся залеганием (фиг. 148). При этом пласты, имеющие практическое значение, например, каменного угля, в отличие от других называются флецами.

Хотя пласты самых разнообразных отложений встречаются в одной свите, тем не менее можно в общем подметить более частые и обычные сочетания некоторых из них. Так, конгломераты чаще перемежаются с песчаниками, чем с глинами, а с последними чаще, чем с первыми, перемежаются известняки. Частая и разнообразная перемежаемость присуща особенно озерным и лагунным отложениям, но обычно при этом галечники переходят в песчаники и т. д., а не прямо в глины и илы; также и смена глин известняком и обратно часто не резкая, а связана постепенно переходными членами.

Если вспомнить, что процесс отложения происходит одновременно на громадных площадях морского дна, в совершенно различных условиях, то ясно, что и совершенно различные по составу пласты могут внутри одной свиты не только соответствовать друг другу по возрасту, но и представлять как бы продолжение один другого. Так, пласту известняка в некотором расстоянии может соответствовать песчаник, хотя выше и ниже лежащие породы останутся теми же самыми.

Более обычны следующие горизонтальные изменения:
конгломератов в песчаники;
кремнистых песчаников в глинистые, а этих в глины;
известняк переходит в известковые глины и песчаники через ряд промежуточных известково-песчаноглинистых изменений;



Фиг. 149. — Выклинивание слоев.

каменный уголь и бурый железняк часто сменяют друг друга или же они переходят в углистую и железистую глины.

Перемежающиеся пласты весьма часто развиваются неравномерно; одни из них значительно утоняются, а другие, наоборот, в том же направлении утолщаются; если за местным утонением снова следует утолщение, то это называют пережимом пласта.

Тонкий пласт, залегающий среди толстых, называется пропластком или прослойком; если же пласт утоняется до полного исчезновения, то это называется выклиниванием пласта (фиг. 149).

Отложения крупнозернистые, грубые обычно выклиниваются скорее, чем мелкозернистые. Выклинивание пластов объясняет частое явление отсутствия некоторых пластов в соседних разрезах одной и той же свиты или различную их мощность.

Выклинивание пластов на небольшом расстоянии и с обоих концов производит чечевицеобразную залежь, соединение которых дает чечевицеобразные или узловатые пласты.

При значительной мощности и небольшом горизонтальном протяжении чечевицеобразный пласт и залежь называют **пластовым штоком**, например, залежи гипса, ангидрита, каменной соли, железной руды часто появляются в такой форме, напоминающей вулканический лаколит, но со всех сторон замкнутый.

Выклинивающиеся на небольших расстояниях и чечевицеобразные пласты свойственны преимущественно прибрежным отложениям и также речным осадкам.

Так как плоскости напластования имеют весьма важное значение при определении границ пласта, то необходимо познакомиться с главнейшими особенностями их. Поверхность плоскостей напластования бывает или ровная, или слабо волнистая, или же покрыта неправильными углублениями, происходящими от различных причин, действовавших в период остановки отложения пластов; так, например, нередко на поверхности пластов песчаников и сланцев наблюдаются: отпечатки надвигавшихся волн, свидетельствующих о прибрежном положении отлагавшегося пласта, который временами обнажался от воды; следы ряби, указывающие на залегание поверхности пласта не глубже 200 м; рябь эта состоит из чередующихся рядов параллельных слегка изгибающихся, соединяющихся и расходящихся гребешков и бороздок, при чем профиль последних острее и угловатее, чем первых. Рябь образуется на дне мелкого моря, лагун, озер, рек и т. п., а также на поверхности рыхлых песчаных холмов (дюн, барханов), при чем форма их во всех случаях почти одинаковая, что заставляет весьма осторожно подходить к объяснению характера отложений только по этому признаку. Объяснение ряби непосредственно влиянием поверхностного волнения воды не точно; она возникает вернее вследствие трения двух слоев, при чем верхний передвигается по нижнему под влиянием воды или ветра (в песке, иле, снеге; фиг. 136).

Расстояние между гребнями ряби зависит от скорости движения (воды или ветра), а также величины зерна песка, температуры и солёности воды — условий, влияющих на величину трения между частицами. Само собой разумеется, что все углубления и возвышения на верхней поверхности плоскости напластования отпечатываются в обратном виде на нижней поверхности напластования, вышележащего или следующего по времени образования пласта. Если вновь отложенный пласт осушался, то мог разбиваться трещинами, которые, заполнившись, образовали на плоскости напластования целую сеть жил. Таким же путем высыхания могли образоваться на поверхности пласта кристаллики солей, например, кубики хлористого натрия которые при осаждении следующего пласта могли растворяться и оставить

только свои пустые формы или же псевдоморфозы, заполненные другим веществом.

Мягкий осадок, обнажившийся от воды, способен запечатлеть не только следы каких-либо животных, но даже дождевые капли, которые, будучи прикрыты последующим пластом, могут сохраняться на долгое время.

Нередко на плоскостях напластования находятся разнообразно разветвленные отпечатки и трубочки, заполненные иногда совершенно другим минеральным веществом; многие из них представляют не что иное, как ходы и следы ползания различных низших животных.

Перечисленные свойства плоскостей напластования помогают иногда, особенно в затруднительных случаях, определить границы пластов, а следовательно, истинное пластование, что кроме теоретического имеет важное практическое значение, особенно при разведках пластовых месторождений полезных ископаемых.

Первоначальное залегание пластов, как уже замечено, большею частью горизонтальное; однако, в некоторых случаях, например, при неровности дна, при крутом склоне дна у берегов и пр., пласты получают некоторый небольшой уклон при самом образовании их. Все первоначальные формы залегания пластов можно разделить на четыре типа: 1) горизонтальное, 2) мульдообразное, 3) периклинальное и 4) наклонное.

Горизонтальное залегание пластов, хотя и более распространенное, но на больших пространствах редко достигает полного совершенства; отступление от горизонтальности на $1 - 2^\circ$ наблюдается довольно часто.

Мульдообразное (котловинное) залегание, как первоначальное, встречается весьма редко, но может происходить при равномерном отложении осадка в каких-либо небольших котловинах, по заполнении которых мульдообразное залегание постепенно переходит в горизонтальное.

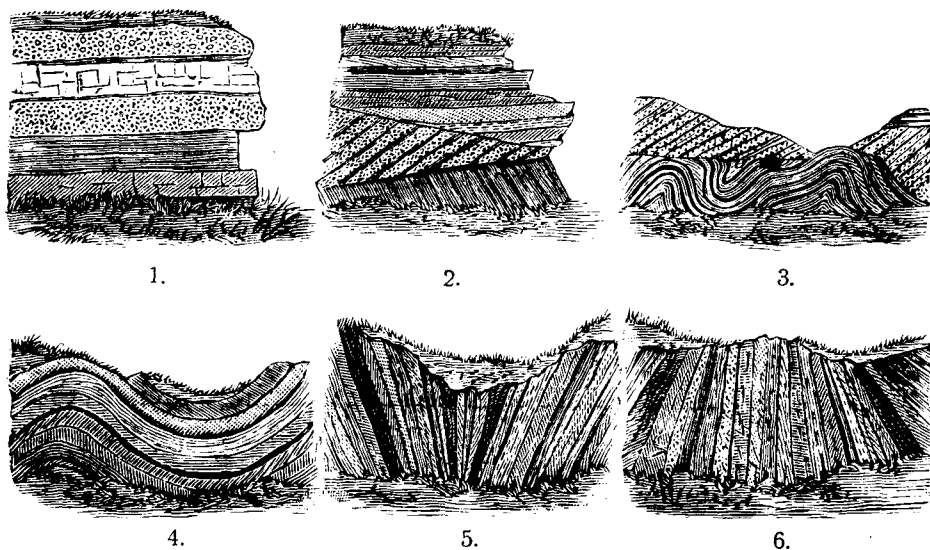
Первоначально-периклинальное (куполовидное) залегание находится чаще, например, при отложении вулканических туфов, при отложении осадка на поверхности какого-нибудь подводного возвышения, которое со всех сторон облекается осадком; поэтому залегание это иначе называют облекающим или плащеобразным.

Первоначально-наклонное залегание происходит на наклонном дне, например, при отложении речных осадков в глубоком озере, тоже в морских дельтах рек и пр. Предельный угол для первоначально-наклонных пластов достигает до 30° и только в крайне редких случаях до 45° .

За исключением приведенных случаев, вообще говоря, довольно ограниченных, всякие отклонения от нормальных форм залегания свидетельствуют о нарушении или дислокации пластов, происшедшей после образования их.

Нарушение первоначального залегания.

Как мы видим в главе III, многие части земной коры испытали значительные нарушения, изменения и перемещения со времени своего образования. В некоторых случаях эти перемещения ограничивались лишь вертикальными движениями больших площадей, не влиявшими

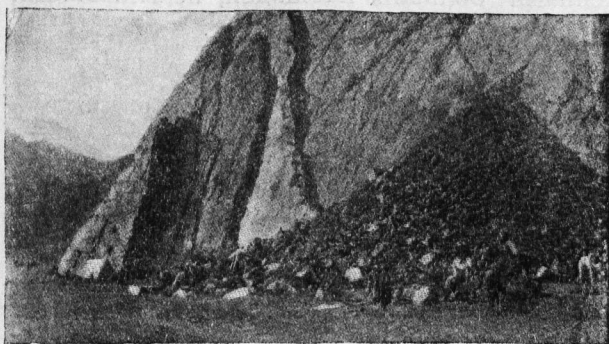


Фиг. 150. — Взаимные отношения пластов: 1 — согласное залегание; 2 — несогласное залегание (см. также фигуры 152 и 153); 3 — трансгрессивное залегание; 4 — складчатое залегание; 5 — взломанное залегание; 6 — обратное залегание.

на взаимные, внутренние отношения пластов и пород их слагающих — движения эпейрогенические; в других же части земной коры, под воздействием различных возникавших усилий и напряжений, подвергались сложным нарушениям, весьма разнообразного характера, так называемым, дислокациям — движениям орогеническим. Дислоцированные пласты и свиты представляются нам смятыми, собранными в различные складки, и разбитыми трещинами, по плоскостям которых происходили весьма сложные скольжения и передвижения.

Параллельно-лежащие пласты, горизонтальные швы, различным образом наклоненные, называются *согласными* между собой; пласты непараллельные, — *несогласными*; иначе, — мы говорим о залегании *согласном* и *несогласном* (фиг. 150, 152 и 153).

Основная причина всех этих движений и изменений земной коры — тангенциально действующее в ней давление — контракция. Мы видели в главе III, что первоначальные простые представления о происхождении этой контракции в результате охлаждения, а следовательно, сокращения объема земного тела, в последнее время значительно изменяются преимущественно геофизиками; причину контракции ищут в изменении положения земной оси, в перемещении, скольжении материков (Вегенер), подкорковых течениях и перемещениях пластического материала и т. д. Многие возражения, поставленные классиче-



Фиг. 151. — Моноклинальное крутое залегание пластов.
Р. Терек. Кашгария. (Фот. Д. Мушкетова).

ской контракционной гипотезе, однако оказываются применимыми и к другим гипотезам. Оставляя в стороне геофизическую область гипотез, мы должны признать для геолога наличие тангенциального давления в земной коре несомненным и обратить главное наше внимание на изучение результатов этого давления, а не его причин.

Все дислокации делятся по своему движению по отношению к поверхности земли на:

А. Тангенциальные и Б. радиальные.

К первым относятся:

1. Однообразный наклон пластов.
2. Изгиб пластов, смятие и разнообразная складчатость.

3. Надвиги, перекрытия.

4. Сдвиги.

Ко вторым относятся:

5. Флексуры.

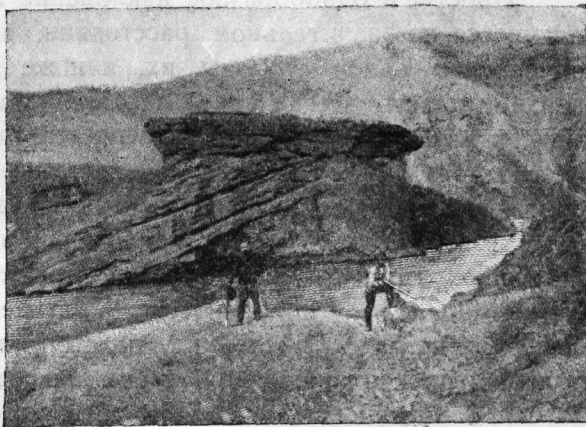
6. Разрывы пластов со сбросами.

7. Вытягивания и ядра протыкания.

Самая простая форма нарушения заключается в том, что группа пластов утрачивает свое первоначальное горизонтальное или близкое к нему положение и получает некоторое наклонение к горизонтальной плоскости; наклон пластов может быть под всевозможными углами до 90° , т. е. до вертикальной постановки их; пласты с наклоном до 15° называют слабонаклонными; от 16° до 30° — пологими;

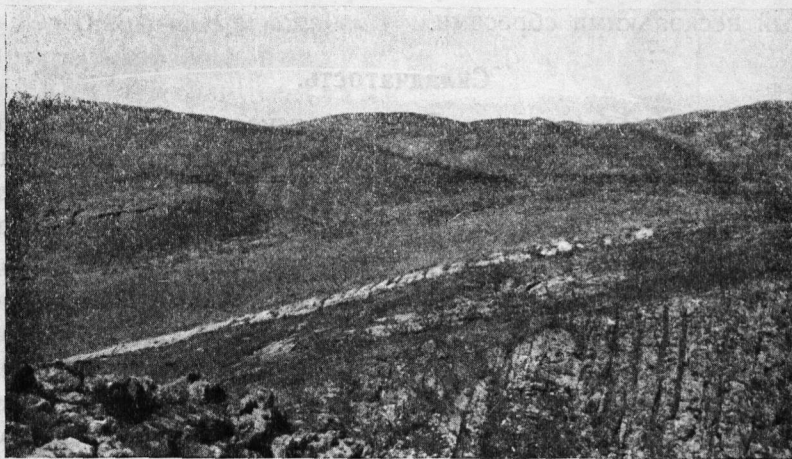
от 31° до 75° — сильнонаклоненными; от 75° до 80° — крутыми; от 80° до 90° — вертикальными или стоящими на головах и, наконец, если пласты получают обратный уклон, то их называют опрокинутыми.

Опрокинутое залегание пластов нередко среди сильно нарушенных областей и весьма обычно по краям больших древних массивов, в более молодых, приткнутых к ним свитах. При опрокинутом залегании особенно легко смешать последовательность пластов, так как положение их будет обратное истинному.



Фиг. 152. — Несогласное залегание горизонтального пласта на наклонных р. Ак-бура. Фергана.

Однообразно наклоненные пласты слагают иногда громадной мощности свиты, так называемого, **моноклинального залегания** (фиг. 151).



Фиг. 153. — Несогласное залегание пологопадающей свиты — *а* (меловой) на крутостоящей (палеозойской) — *б*; головы пластов последней срезаны ровной поверхностью смыва — абразии, или абрадированы перед мезозойской трансгрессией. Фергана. (Фот. Д. Мушкетова).

Как бы ни были наклонены нарушенные пласты, их всегда можно отличить от нормальных, руководствуясь вышеприведенными свойствами плоскостей напластования; иногда же этому помогают вклю-

чения в пластах плоских галек, окаменелостей и особенно положение древесных стволов

Простое и однообразное наклонение целой свиты пластов, неизменяющееся на значительном расстоянии, может быть объяснено или опусканием одной стороны их, или же поднятием другой, при чем верхние пласты всегда новее нижних. Но если угол наклона различных пластов разнообразно изменяется, сравнительно на небольших расстояниях, при чем правильность самих пластов нарушена, а однообразные пласты повторяются, залегая то на древних, то на более новых, то в таком случае наклонение пластов объясняется складчатостью. При сильном сжатии косых складок и значительном размытии их с поверхности, получается довольно правильная свита равномерно наклонных пластов, которая с первого взгляда подобна просто наклонной свите пластов, однако, при ближайшем изучении выступает значительная разница между ними, заключающаяся в том, что пласты, тождественные петрографически и палеонтологически, повторяются на различных горизонтах, при чем новые из них прикрываются древними. Подобное же явление могут произвести несколько сбросов в одних и тех же пластах, например, в разрезе какой-либо долины проявляется несколько пластов какой-либо породы, которые в сущности представляют один и тот же пласт, но разбитый несколькими сбросами.

Складчатость.

Под складчатостью мы понимаем такое нарушение залегания, при котором пласты, благодаря смятию и взаимному сталкиванию, выведены из первоначального горизонтального положения так, что плоскости их, последовательно понижаясь и повышаясь, меняют свое падение на обратное. В поперечном, к простиранию складчатой свиты, разрезе мы имеем, следовательно, в общем случае волнистую линию, степень изогнутости, искривленности и сложности которой будет зависеть от силы — интенсивности складчатости и характера согнутых пластов, а отдельные части которой будут представлять отдельные складки, иногда однородных, иногда же весьма разнообразных очертаний; совокупность складок, объединенных территориально и общностью процесса их создавшего, называется комплексом или серией складок. Свита, смятая в комплекс складок, занимает вкрест своего простирания меньшее, против прежнего положения, пространство.

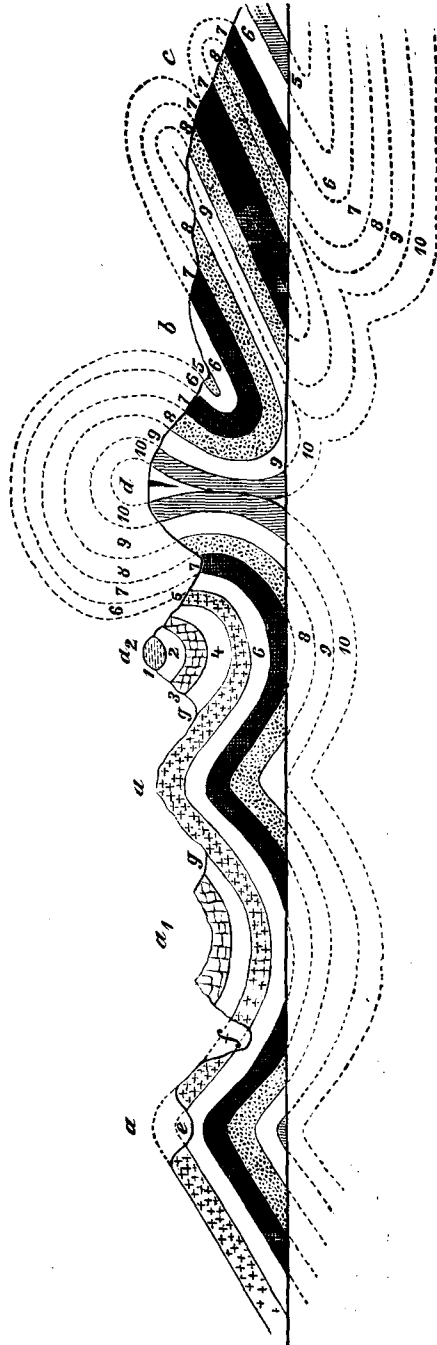
Складка и ее части.

Один полный перегиб пластов в обратное падение называется складкой.

Складка, обращенная вершиною вверх, называется антиклинальною складкою (фиг. 154 а, а₁); обращенная же вершиною вниз называется синклинальною складкою (фиг. 154 а₁, а₂); иногда первую называют просто сводом или седлом, а вторую — мульдой или котловиной, при чем бока складки называют крыльями или бедрами. Та часть, где крылья сходятся, называется у сводов перегибом свода, у мульды — перегибом мульды. Линия, соединяющая высшие точки седла или низшие мульды, называется линиею седла и линиею мульды; простираение этой линии определяет простираение мульды или седла. Своды с замытою вершиною называются смытыми (открытыми) или воздушными сводами или седлами (фиг. 154 d и 154 c). Внутренняя часть свода, состоящая из более древних пластов сравнительно с внешними, называется ядром свода; внутренняя часть мульды, состоящая из более новых пород, называется ядром мульды. Линия или плоскость, разделяющая своды или мульду на две равные части, называется осевою линиею и плоскостью или просто осью мульды.

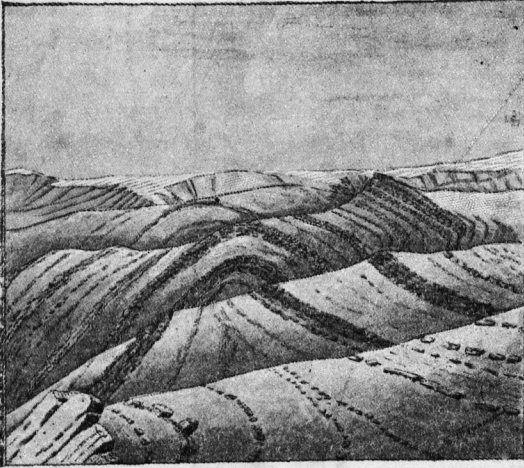
Если крылья складки расположены симметрично по отношению к вертикали ее или высоте, т. е., иначе говоря, плоскость симметрии

складки вертикальна, то такая складка или свод называется прямою или стоячею (фиг. 154 а); если же крылья складки несимметричны, одно из них положе другого и плоскость симметрии складки — наклон-



Фиг. 154. — Схема различных складок.

ная, то складка называется косою или наклонною. Если в косой складке одно крыло надвигается на другое, то складка называется опрокинутою (фиг. 154 b, c), наконец, если опрокидывание настолько сильно, что крылья складки располагаются горизонтально, то складка называется лежачею. Так как в этом случае складки совершенно изменяют свое нормальное положение, то легко смешать отдельные части складок и потому в них отличают: верхнее или сводовое крыло, среднее крыло и нижнее или мульдовое крыло; кроме того, сводовые и мульдовые перегибы в лежащих или опрокинутых складках лучше называть верхними и нижними перегибами.



Фиг. 155. — Антиклиналь с размытой верхней частью свода. Фергана.

Когда несколько складок располагаются параллельно между собою, так что их крылья представляют собой параллельные между собою плоскости (фиг. 154 c), то такая совокупность складок называется изоклинальными складками, которые также разделяются на прямые, косые и лежачие.

Если биссектрисы двух соседних мульд не параллельны,

а сходятся книзу, то в промежуточном своде пласты располагаются веерообразно; такие формы называются веерообразными складками (фиг. 154 d), или обратно-веерообразными складками, если веерообразно расходящиеся пласты направлены вниз. Те и другие также могут быть прямыми, косыми и лежачими.

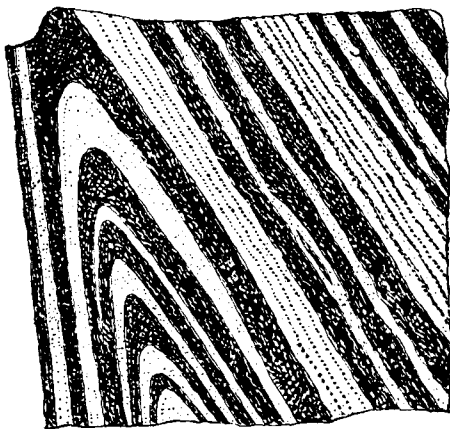
Когда складки сжимаются неравномерно и с наибольшею силою в средней части крыльев, вследствие чего в этих местах складка пережимается и суживается до выклинивания и разрыва пластов мульдового или сводового ядра, в таком случае в середине ядра залегают оторванная часть породы в виде изолированного островка, называемого раздавленным ядром свода или мульды смотря по тому, в своде или мульде происходит это явление.

Раздавленные ядра проявляются особенно отчетливо при резкой разнице в твердости пород внешней и внутренней части свода или мульды.

Иногда бывает, что большие складки при последующем периоде складчатости снова претерпевают деформацию; в таком случае полу-

чаются в высокой степени сложные складки, называемые повторенными.

Как бы ни были разнообразны формы складок, во всяком случае при исследовании их необходимо определять размеры складок, что помимо других целей важно для выяснения относительной или абсолютной величины стяжения. В каждой складке различают: высоту гребня складки над основанием, длину гребня по простиранию складки, ширину основания, которая представляет горизонтальное расстояние между низшими точками прилегающих мульд. В опрокинутой складке измеряют еще частную ширину, равную горизонтальной проекции свода, ширину переброса или опрокинутой части, которая равна горизонтальной проекции среднего крыла, и первоначальную ширину складки, равную абсолютной длине пластов, приведенных в первоначальное горизонтальное положение; при этом всегда нужно принимать во внимание значительные пережимы в крыльях или даже сдвиги, которые влияют на вычисление первоначальной длины пластов.



Фиг. 156.—Складчатость в натур. вел.

Разница между первоначальной и последующей шириной складки, т. е. между первоначальной длиной пластов и шириной основания складки, называется абсолютным стяжением, а отношение между теми же величинами называется относительным стяжением.

Размеры складок в высшей степени разнообразны — от микроскопически малых, фиг. 156, до громадных размеров, выражающихся десятками километров в длину, тысячами метров в высоту и ширину, например, складки Альп, Кавказа, Памира (см. главу III, фиг. 49).

Если крылья большой складки имеют еще второстепенную мелкую складчатость, которая нисколько не нарушает правильности главной складки, то эта последняя называется складкою первого порядка, а второстепенные — складками второго порядка.

Складки всегда проявляются группами, которые то скручиваются, то рассеиваются, то сходятся, то расходятся, при этом простирание их то прямолинейное, то криволинейное; отдельные складки то разветвляются, то уменьшаются, то увеличиваются, то, наконец, исчезают или выклиниваются. Если сходятся складки различных направлений, то они или сливаются, или

же изменяют свое направление, но не перекрещиваются и не пересекают друг друга. Группы складок образуют большие системы, отличающиеся общностью наружного вида, возраста, характером местных столкновений, например, системы Юры, Альп, Апеннин и пр., которые, несмотря на значительную величину, представляют в свою очередь только отдельные члены более обширной системы дислокации, напри-

мер, широтной системы Европы и Азии или Евразии (фиг. 44 — 50).

В больших системах складки располагаются иногда параллельно друг другу, образуя изоклинальную структуру данной местности;

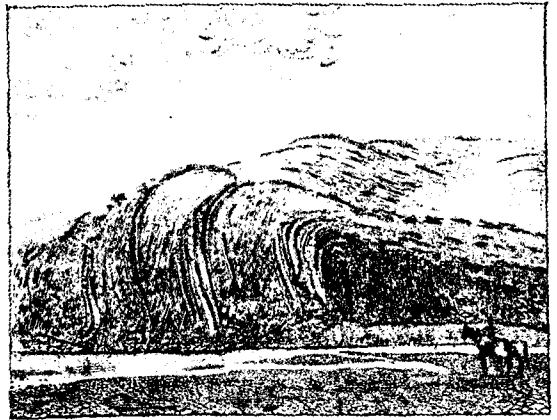


Фиг. 157. — Сундучная антиклиналь.

если при этом складки пережимаются и сопровождаются сдвигами, то такая структура называется чешуйчатой; иногда же складки образуют сложную веерообразную или сложную обратно-веерообразную структуру.

К приведенным типам складок, которые можно в общем назвать обыкновенными, следует еще прибавить следующие, более своеобразные.

Остроугольные, угловатые, в которых крылья представляются прямыми, не изогнутыми плоскостями, не перегибающимися, а переламывающимися под углом. Перегибы настолько резкие, что при неполной обнаженности свиты возникает ложное впечатление о наличии несогласия внутри ее. Эта складчатость особенно свойственна мощным песчанико-сланцевым свитам. Иногда угловатые складки проявляются совместно с обыкновенными. К ним же отчасти можно отнести своеобразную „сундучную“ форму складок, поперечный разрез которой напоминает разрез дорожного коффра; это антиклиналь с широким и плоским седлом и почти вертикальными, под прямыми углами отходящими крыльями (фиг. 157 и 158). Перегиб горизонтальных пластов седла в крылья настолько резкий, что при неясной его обнаженности часто получается картина резко несогласного залегания. Такого же типа встречаются и синклинали.



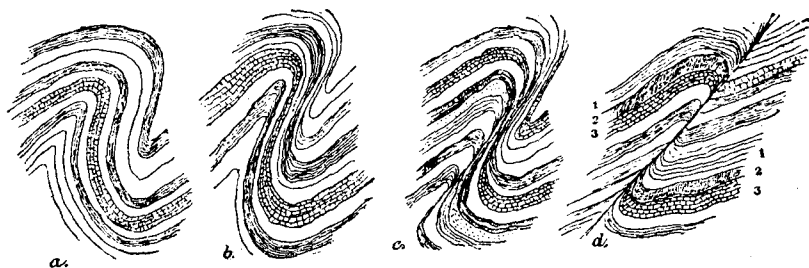
Фиг. 158. — Наклонное крыло сундучной антиклинали. Фергана.

Нам еще остается заметить, что по отношению к толщине крыльев складки бывают различны, но из них наиболее интересны те, у которых крылья пережимаются и представляют сочетание обоих родов дислокации, т.-е. сбросов и складок.

По толщине крыльев складки разделяются:

1) складки с одинаковой толщиной крыльев (см. фиг. 159a), 2) складки со сплюснутым средним крылом (фиг. 159b), 3) складки с пережатым средним крылом (фиг. 159c) и, наконец, 4) складки взбросы или перебросы (фиг. 159d) и как частный случай их, т.-е. если взброс складки происходит по горизонтальному направлению, отличают еще 5) складки сдвига.

Выжимание среднего крыла может выразиться уменьшением мощности всех или некоторых пластов или в полном исчезновении отдель-



Фиг. 159.

ных пластов и даже целых комплексов их, что зависит от литологической особенности свиты. При полном исчезновении среднего крыла складка приобретает чешуйчатое строение, с нормальным согласным залеганием удвоенной свиты. Если части раздробленного крыла еще местами остаются, то они представляются обычно в виде „брекчий трения“. При передвижении взброшенного крыла антиклинали по нижнему возникает „надвинутая складка“, которую следует отличать от настоящих „надвигов“ (см. ниже) тем, что плоскость надвигания в первой обычно проходит через седло, находясь в осевой плоскости ее; края пластов вдоль этой плоскости нередко загнуты (у верхних — вниз, у нижних — вверх), что называется „волочением“.

До сих пор мы рассматривали складки исключительно в поперечном их разрезе, не обращая внимания на то, как они видоизменяются и кончаются в длину, по простиранию. Между тем последнее необходимо всегда иметь в виду и привыкнуть представлять себе складки, как определенные тела всех трех измерений, а не разрезы в одной плоскости, так как без этого немыслима не только съемка геологических карт, но и пользование ими. Окончание складок как

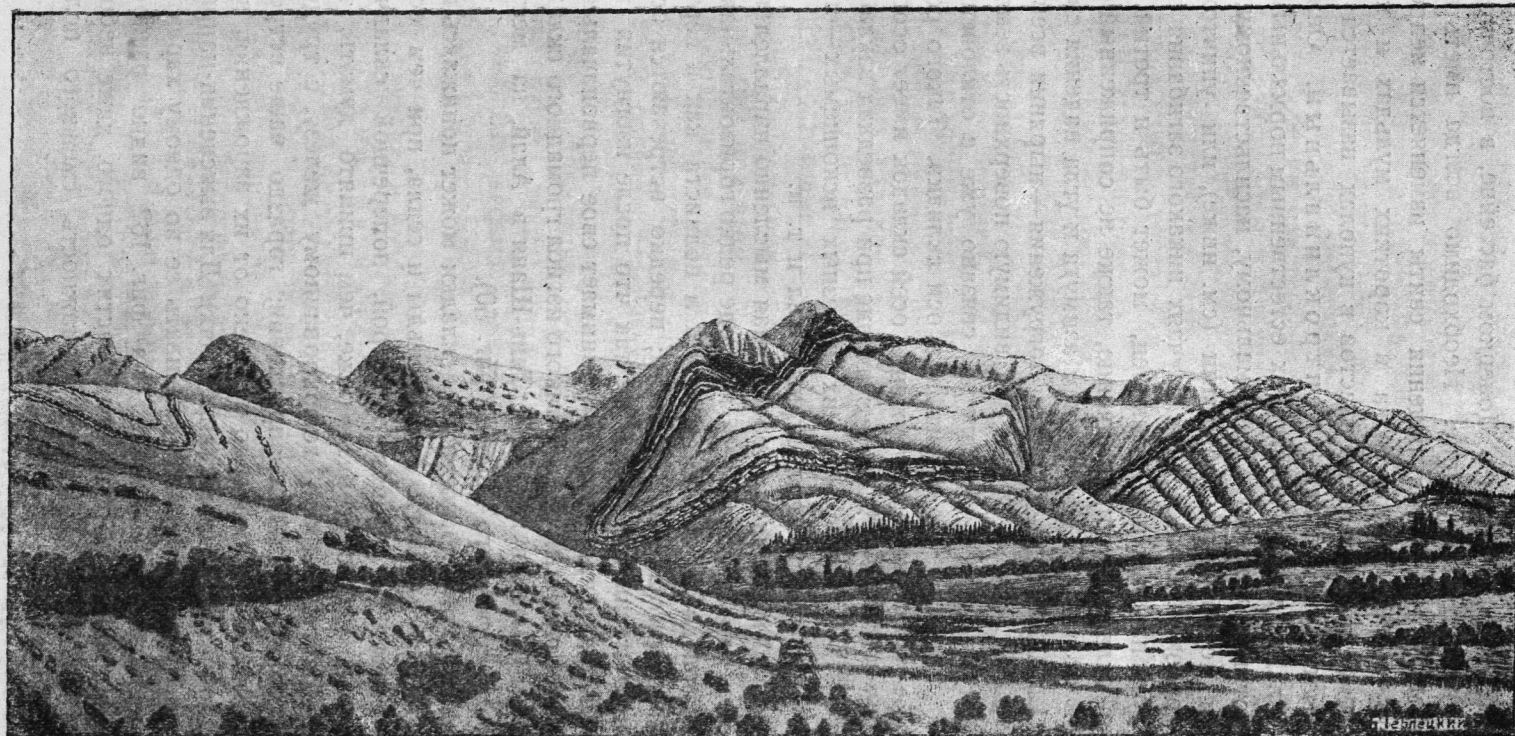
седел, так и мульд, происходит путем замыкания их; оба, до того взаимнопараллельных, крыла, постепенно сходясь, соединяются, загибаясь друг другу навстречу, по кривой, более или менее круто.

Для ясного представления этих форм можно прибегнуть к сравнению их с челноком. В его нормальном положении он вполне воспроизводит мульду: его борта — крылья мульды, нос и корма — оба замыкающихся заворота крыльев и киль — нижняя ось мульды. Если челнок повернем вверх дном, то получим модель седла, также замкнутого с обоих концов — в этом случае киль также представит осевую линию седла. Так как каждая мульда и седло в действительности состоят не из одного пласта, а из целой свиты луковично облегающих слоев, то нужно представлять себе также целый ряд челноков, вложенных один в другой на подобие деревянных пасхальных яиц. Разрезывая эти составные тела в разных направлениях, получаем ясное представление о строении мульд и седел в различных местах и об изменении соответственно углов падения пластов по мере приближения их к заворотам (фиг. 160).

Ясно, что ядро — внутренняя часть мульды, всегда состоит из самых последних — молодых отложений данной свиты, а ядро седла, наоборот, из самых первых — древних ее отложений. На геологических картах (в горизонтальной проекции) седла и мульды имеют естественно вид более или менее вытянутых эллипсов, сложенных многочисленными концентрическими линиями, рисующими следы (на поверхности) выходов всех пластов, слагающих эти седла и мульды. Необходимо иметь в виду, что наблюдаемая при этом мощность пласта не всегда соответствует истинной, но зависит от угла пересечения его с поверхностью обнажения (фиг. 161).

Мы видели уже, что помимо складок главных — 1 рода, на них могут развиваться второстепенные — „специальные“; в этом случае загибы мульд и седел будут также обнаруживать дополнительную пloyчатость, бахромчатость, что в проекции выразится подчас весьма сложными, зубчатыми очертаниями.

Большинство седел и мульд имеют большую длину и представляются поэтому на картах эллипсами с очень развитой длинной осью. Иногда же они, наоборот, приобретают более широкие очертания и в проекции приближаются к кругу. Седла такого типа называются брахиантиклиналями и куполами, а мульды — брахисинклиналями, блюдцами и котловинами. Иногда целые районы состоят из чередующихся в шахматном порядке таких коротких замкнутых мульд и куполов; особенно характерно это в местах резкого изменения простираения всей складчатой системы или во внутренних углах, расходящихся веером, ветвей целого пучка складок. Отлич-



Фиг. 160. — Размытая синклиналь меловой и третичной свиты; в ущелье виден поперечный разрез третичного ядра складки, а на склонах выходы — по простиранию более твердых пластов меловой свиты, слагающей ее крылья. Слева мелкая второстепенная складочка. Фергана. (С фот. Д. Мушкетова, рис. Б. Терлецкий).

ные примеры этого имеются в Донецком бассейне, в восточной Фергане, в при-Ташкентском районе. Необходимо всегда иметь в виду, что как азимут, так и угол падения свиты изменяется непрерывно и постепенно около заворотов, а в коротких мульдах и куполах вообще повсеместно. Залегание пластов в куполах называется периклинальным, а в мульдах — центроклинальным. Описанное замыкание складок можно назвать их естественным нормальным окончанием в противоположность ненормальному, насильственному, вызываемому или поперечными сбросами (см. ниже), или уничтожением размывом — эрозией. В последних случаях никакого загибания пластов и изменения их падения нет. Наконец, может быть и третий способ исчезновения складок по простирацию, также не сопряженный с изменением азимута и угла падения свиты, —



Фиг. 161. Ложное различие мощности пласта, на выходах обусловленное разным залеганием его.

путем погружения — ныряния всей складки под видимую поверхность земли. Это явление связано уже с отклонениями и изгибами оси складки. Такого рода погружение осей складок имеет особо важное значение при разведках заключенных в них полезных ископаемых — пластов

угля, рудных выделений, седловидных жил и т. п.

Ось складки (линия, проведенная мысленно параллельно простирацию ее в ядре складки) — в природе редко горизонтальная и прямая линия. Гораздо чаще она изогнута и волниста как в вертикальной, так и горизонтальной плоскости; нередко встречаются оси, изогнутые в виде латинской буквы S, так что после изогнутия (в горизонтальном направлении) складка принимает свое первоначальное простираение. Замечательный пример такого изгиба громадного складчатого комплекса мы имеем в переходе Тянь-Шаня в Алай, на месте, так называемого, Ферганского хребта (фиг. 50).

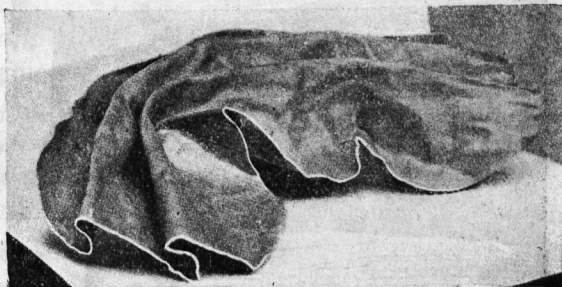
В вертикальной плоскости ось складки может понижаясь и повышаясь давать, так сказать, свои мульды и седла, при чем если они выражены резко, то говорят о второй, поперечной складчатости, встречающейся, однако, гораздо реже, чем принято думать, так как раз согнутая свита, подобно гофрированному железу, с трудом сгибается в перпендикулярном направлении; гораздо чаще встречаются наклоны осей складок, особенно недалеко от их зарождения, в расходящихся складчатых системах (виргациях). Для выяснения направления всей складки лучше всего проследивать ее по одному характерному пласту непосредственно в поле. На фиг. 162 видно разнообразие складок, возникающих в различных частях одного, даже небольшого складчатого элемента, а также возможность смежного положения

взаимно-перпендикулярных складок и наклона их в различные стороны. Опыты производились с листовым свинцом в 1 мм толщиной.

Если серия складок имеет одно общее простирание, то его принимают за главное и на тектонических картах суммируют в виде одной линии, понимая под ней воображаемую общую ось всего комплекса, которая может испытывать такие же отклонения от прямой горизонтальной линии, как указано для осей отдельных складок. Таким образом, возникают зоны поднятия и зоны опускания.

Благодаря приподниманию осей складчатых комплексов появляются на поверхности и обнажаются эрозией массивно-кристаллические ядра хребтов, тогда как в промежуточных зонах опускания эти кристаллические породы покрыты молодыми осадочными свитами.

В изоклинальных комплексах помимо общего, основного простирания имеется и общее падение. Комплекс лежащих складок называют складчатым пакетом. В пакете, состоящем из складок, покрывающихся одна другой, они при этом



Фиг. 162.

нередко располагаются черепицеобразно, одна перекрывая другую. В таких случаях говорят, что складки перелезают друг через друга. Если шарниры складок становятся угловатыми, то их называют каскадными.

В случаях искривления оси сложной лежащей складки, а тем более целого пакета таких складок, залегание пластов каждого данного места является весьма прихотливым, случайным и нехарактеризующим общее строение места и направление основных тектонических единиц.

В этих случаях, и вообще во всех случаях сложных и запутанных, необходимо различать местную тектонику от региональной и не судить о последней по первой. В пакете лежащих складок нередко более древние свиты смяты сильнее верхних и выжаты дальше вперед по направлению стремления всей складки; вообще, можно констатировать, что обычно весь процесс складчатости вверх замирает. Принимается, что налегающие друг на друга пласты согнуты под одинаковыми углами — такую складчатость называют гармонической (или неправильно — несогласной); в противном же случае — негармонической. В последнем случае, в проти-



воположность первому, плоскости пластов не везде сохраняют одни и те же расстояния между собой, чем создается впечатление ложного выклинивания или уменьшения мощности пластов. Негармоническая складчатость особенно присуща свитам, состоящим из весьма различных по твердости пород. В пластах мягких, пластичных, глинистых, мергелистых складчатость иногда совершенно замирает.

Строгой закономерности в этих явлениях подметить еще нельзя, так как нередки и обратные случаи, т.-е. сохранения плотного, твердого пласта среди сильно смятой, более мягкой свиты, например, обычная перемятость глинистых сланцев между спокойно проходящими пластами известняков или песчаников. Выяснению этих явлений значительно способствует экспериментальная геология (см. фиг. 163).

Мелкая складчатость отдельных частей свиты называется второстепенной или пloyчатостью пластов; с нею связаны нередко мелкие разрывы пород, заполняемые затем жильными минералообразованиями.

Фиг. 163. — Искусственное воспроизведение складчатости из пластического вещества; складки возникают со стороны горизонтального давления (справа); мощные твердые слои смяты в простые гармонические складки, а тонкие пластичные — в негармоничные со вторичной пloyчатостью.

Одна и та же свита может испытать после известного периода покоя повторную складчатость, в один или несколько приемов, обыкновенно однако меньшей, чем первая, интенсивности.

Необходимо отчетливо представлять себе все возможные случаи размыва поверхности складок и пересечение таких размытых поверхностей складок с поверхностью земли. Всякое пересечение пласта с дневной поверхностью называется выходом пласта (фиг. 161). Выход круто падающих пластов называют головами их или „гривками“. Выходы даже горизонтальных пластов на неравной поверхности с сильно пересеченным рельефом представляют собой весьма сложные извилистые линии, тогда как вертикальные пласты во всех случаях дают выхода прямолинейных. При разрезе симметричной складки, пласты, ее слагающие, будут проходить по поверхности в виде параллельных полос, из которых середина будет ядро складки, а по бокам, равной ширины, в двойном числе пласты крыльев; в несимметричной складке ширина полос будет неодинакова по обеим сторонам оси, т.е. пласты в пологом крыле будут казаться шире, чем в крутом. Брахи складки (стр. 318) будут давать округлые, эллиптические фигуры, а длинные складки — полосы (фиг. 160).

Надвиги, перекрытия.

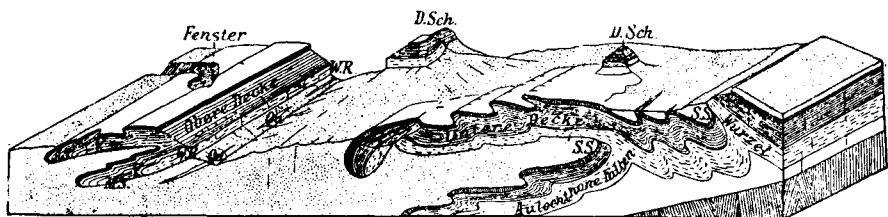
Под этими различными названиями, в виду отсутствия точной терминологии не только на русском, но и на иностранных языках, понимают, хотя иногда и несходные по происхождению, но близкие по результатам явления; основными чертами этого рода нарушения залегания служат: повторение в вертикальном разрезе той же свиты в согласном или несогласном залегании, ненормальное покрытие младших свит старшими и следы передвигания целых пакетов свит над другими, по горизонтальным или пологим поверхностям.

В зависимости от разных точек зрения, различные авторы придают этим явлениям разные же названия, которые не всегда правильно объединяются под наиболее известным — шарриаж. В небольшом масштабе и в простейшей форме шарриаж можно рассматривать, как крайнюю форму лежащих складок, при надвигании дающих чешуйчатое строение (см. выше фиг. 159).

При увеличении размеров явления и передвигании одного крыла разорвавшейся лежащей складки возникает уже настоящее перекрытие, ограниченное снизу отчетливой плоскостью надвига, пересечение которой с поверхностью земли дает линию надвига (фиг. 164). Надвинутый покров представляет собой определенную

тектоническую единицу. Плоскости надвигов могут, подобно осям простых складок, испытывать наклоны и разнообразные изогнутости, преимущественно в области происхождения корней надвига и его окончания, а также вследствие второстепенной складчатости. Расстояние от места происхождения покрова до места его нового расположения, вследствие надвига, называется длиной пути его, а иногда шириной надвига. Различают надвиги близкие и дальние. Явления надвигов свойственны многим хребтам, образовавшимся в третичную эпоху, преимущественно построенным именно таким образом (Карпаты, Альпы, Апеннины, Пиринеи), а также и более древним горным странам, как С.-З. Шотландия и Скандинавия.

Корни надвига представляются обычно комплексом весьма круто поставленных пластов с общей тенденцией к загибу в сторону



Фиг. 164. — Схема покровов, надвинутых из области корней *SS* с аутохтонными складками; *D.Sch.* — остатки верхнего покрова — экзотические скалы, лежащие аллохтонно, без корней.

движения надвига (фиг. 164). Средняя, большая часть надвига (самый покров надвига) может достигать нескольких сот километров, но обычно меньше длины надвига, считающейся по простираению свит. Производя бурение в корневой части покрова, мы будем встречать по мере углубления все более древние горизонты свиты, тогда как в средней части, пройдя толщу покрова, мы встретим более молодые отложения, которые, в свою очередь, могут представлять нижний пакет, также надвинутый, или же подлинную аутохтонную свиту, т.-е. находящуюся на месте своего первоначального образования, имеющую тут же свои корни; аутохтонные свиты могут лежать ненарушенно или же сложены в простую складчатость. Обрато свиты надвига лежат в средней, главной его массе без корней — или аллохтонно, как бы плава на своей подстилке; при этом особенно убедительны залегания без корней на осадочных массах, изверженных, а тем более глубинных кристаллических пород.

После своего образования надвиг в целом в следующий горообразовательный период может подвергнуться обычному складкообра-

зованию, весьма усложняющему общую картину, при чем в средней части, особенно в нижних ее горизонтах, возникает ложное впечатление простой спокойной аутохтонной складчатости. В лобовой части может происходить ее расщепление на два или несколько как бы самостоятельных покровов, производных от главного.

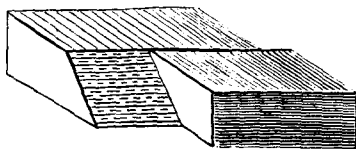
При своем движении покров оказывает различные механические воздействия на подстилающие его массы — бороздит, шлифует (подобно ледниковому покрову) плотные породы и увлекает вершущки мягких, как бы вытягивая из них мелкие складки, тонкие, остроугольные. Основание надвига вследствие этого часто характеризуется полосой перемятых, раздробленных, истертых пород — милонитов, нахождение которых в широком распространении дает также указание на наличие надвига. Остатки разрушенных покровов носят названия экзотических скал, т.е. чуждых окружающим породам (фиг. 164).

Простирание, длина надвигов обычно совпадает с простиранием горной системы, а направление их движения, будучи к нему перпендикулярным, остается при всем процессе однообразным (например, в Альпах с юга на север).

Разрыв надвигов и покровов дает еще более запутанные явления, чем разрыв складок. Часто при уничтожении части (наиболее поднятой) покрова, из-под него появляются более молодые свиты в, так называемых, окнах. Этот термин не прилагается к нормальному обнажению эрозией более древних пород из-под младших в аутохтонном залегании, в ядрах унаследованных складок, так называемых, ядрах протыкания или пуговицах.

Сдвиги.

Сдвиги представляют тип дислокации, который сопровождается разрывом сплошности; в этом отношении они сходны со сбросами, но отличаются от них направлением перемещения: по периферии, а не по радиусу земли, как у сбросов, т.е. движение разорванных частей свиты пластов при сдвигах происходит в горизонтальном направлении (фиг. 165), тогда как при сбросах — в вертикальном или наклонном.



Фиг. 165. — Сдвиг.

Со складками у сдвигов то общее свойство, что они также обуславливаются боковым давлением или горизонтальным стяжением земной коры, при этом все следы скольжения на плоскостях сдвигов, как-то: примазки, штрихи, борозды и пр., располагаются в горизонтальном направлении. Сдвиги обыкновенно свойственны складчатым областям

и большею частью направляются диагонально или перпендикулярно складкам.

Сдвиги, как и сбросы, могут появляться группами. Совокупность многих сдвигов может дать ступенчатые сдвиги. Точно так же пережимы и флексуры при сдвигах появляются часто, как и при сбросах, при чем их для отличия называют пережимами и флексурами сдвигов или горизонтальными флексурами.

В некоторых случаях сдвиги легко смешать с сбросами; особенно в областях, подвергающихся интенсивной денудации.

Надвиги без складкообразования.

В предыдущем изложении надвигов мы исходили из первоначального процесса складчатости, образования лежащей складки, разрывающейся и надвигающейся все далее в том же направлении.

Существует, однако, целый ряд подобных же явлений, не связанных непосредственно с процессом складкообразования, когда целые части земной коры, обыкновенно клинообразной формы, надвигаются на соседние по наклонным поверхностям. В простейшем случае это будет явление разрыва, схожее со взбросами (см. ниже), однако, отличное от него по общему характеру и причине движения — тангенциальному, горизонтальному, а не радиальному, которое лучше всего и назвать надвигом (фиг. 166 и фиг. 178 на стр. 340).

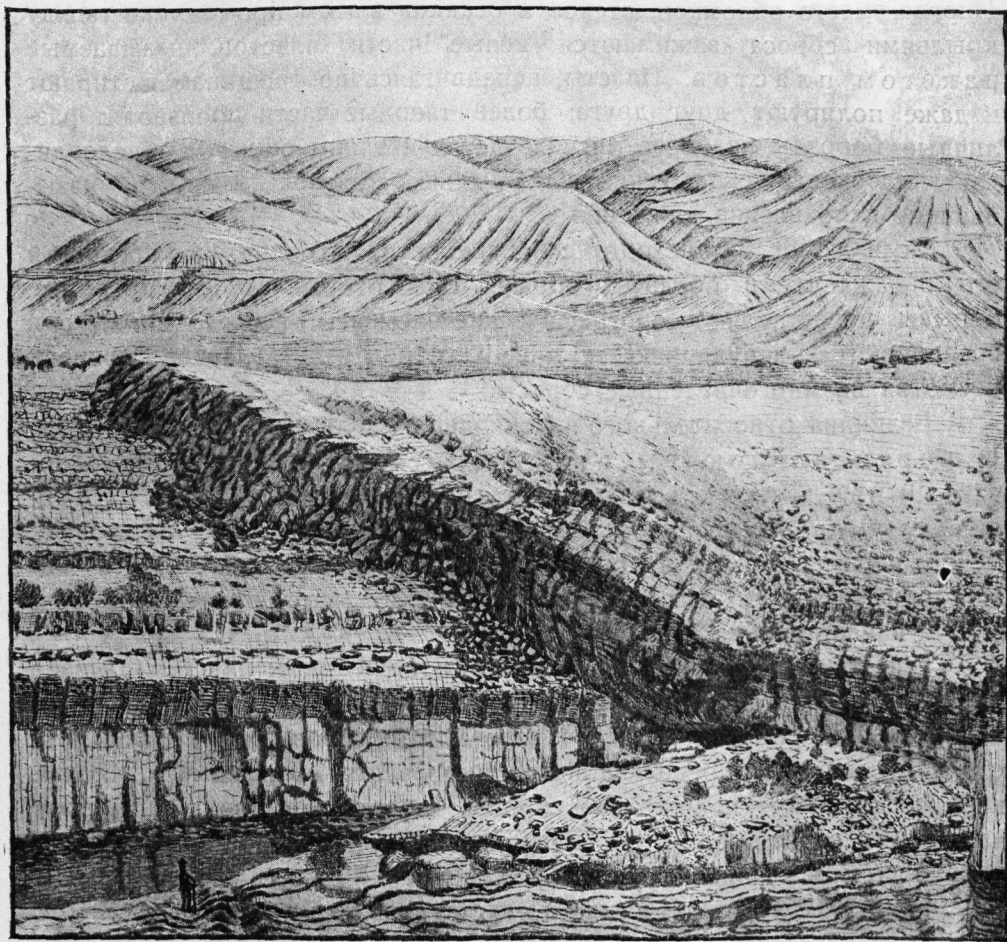
С б р о с ы.

Всякое перемещение земной коры в вертикальном или близком к нему направлении называется сбросом; во многих случаях резкую разницу между сбросом и сдвигом установить трудно, вследствие того, что они соединяются многочисленными и постепенными переходами. Сбросы в вертикальном направлении встречаются сравнительно редко; большею частью наклон трещин, по которым совершаются сбросы, варьирует между 45° и 90° .

Плоскость, по которой происходит перемещение, называется плоскостью сброса; самая же трещина называется сбрасывающей трещиной или просто сбрасывателем, а горизонтальная линия на поверхности, соответствующая простиранию трещины, называется линией сброса; она бывает прямолинейная, зигзаго- или волнообразная и тогда положение ее определяется средним простиранием; в некоторых случаях она бывает до того изогнута, что представляет замкнутый полигон. Перемещенные части пластов, прилегающие к сбрасывателю, называются крыльями сброса, при чем одно из них называют поднятым или верхним, а другое — опу-

щенным или нижним; при наклонной плоскости сброса первое называют висячим, а второе лежачим.

Если крылья сброса плотно прилегают друг к другу, то сброс называется закрытым; если же между ними остается



Фиг. 166. — Надвиг пласта известняка; нижележащие пластичные глины лишь смяты. Фергана. (По фот. Д. Мушкетова. Рис. Б. Терлецкий).

некоторое свободное пространство, то называют открытым или зияющим сбросом; в этом последнем случае определяют ширину или мощность сбрасывателя, размеры которого, однако, ничтожны сравнительно с другими размерами сброса. При неправильной плоскости сброса эта ширина, или мощность, весьма изменчива и непостоянна.

Свободное пространство между крыльями сброса заполняется или различными обломками, происшедшими от разрушения сброшенных пластов, что дает начало, так называемой, брекчии трения или дислокационной брекчии, или втеками вулканических пород, или осадками ключей, и тогда получают жилы (фиг. 25—30). Иногда вместо обломков, втеков и осадков в этом промежутке между крыльями сброса зажимаются целые части пластов, называемые пакетом пластов. Пласты, передвигаясь по трещинам, истирают и даже полируют друг друга; более твердые части производят различные борозды на более мягких частях и таким образом обуславливают плоскости скольжения на крыльях сбросов, „зеркала“, указывающие направление движения.

Если сброс происходит с поверхности, то одна из плоскостей его обнажается и образует обрыв. В некоторых случаях подобные обрывы представляют орографические элементы, нередко также они сравниваются денудацией, и поверхность представляется ровною, несмотря на многочисленные сбросы.

Величина относительного вертикального перемещения называется: 1) вертикальною высотой сброса, от которой нужно отличать, 2) наклонную высоту или истинную высоту сброса, определяемую по плоскости сброса, а также кратчайшее расстояние между перемещенными частями одного и того же пласта, т. е. 3) стратиграфическую высоту сброса или высоту сброса, нормальную к напластованию.

Так как положение сбросов по отношению к пластам бывает чрезвычайно разнообразно, то поэтому встречаются весьма сложные и запутанные сбросы, разобраться в которых возможно только при строгой и вполне определенной группировке их, основанной на взаимных отношениях положения сбросов и пластов; подробно этим занимается горная геометрия. Все разнообразные сбросы можно разделить на три главных группы (фиг. 167):

- 1) сбросы по отношению к простиранию;
- 2) сбросы по отношению к падению;
- 3) сбросы по отношению к направлению перемещения.

Каждая из этих групп разделяется на несколько разновидностей.

1) Сбросы по отношению к простиранию наклонных пластов бывают: а) параллельные, б) косые и с) поперечные или перпендикулярные.

а) В параллельных сбросах или в сбросах по простиранию простирания сбрасывающей трещины и сброшенного пласта параллельны между собою (фиг. 167 а и б); очевидно, что при

этом и линии пересечения также параллельны простиранию трещины и пласта.

б) В поперечных сбросах простирание трещины перпендикулярно к простиранию пласта (фиг. 167 с, d).

с) В косых или диагональных сбросах простирание трещины составляет различные острые или тупые углы с простиранием пласта (фиг. 167 е, f).

При всех этих сбросах имеют важное значение углы, образуемые линиями пересечения с линиями простирания трещины; угол, образуемый этими линиями в лежащем боку пласта, называется углом сброса. Угол этот в сбросах по простиранию равен нулю; в поперечных сбросах он всегда острый, а в косых сбросах он бывает острый и тупой.

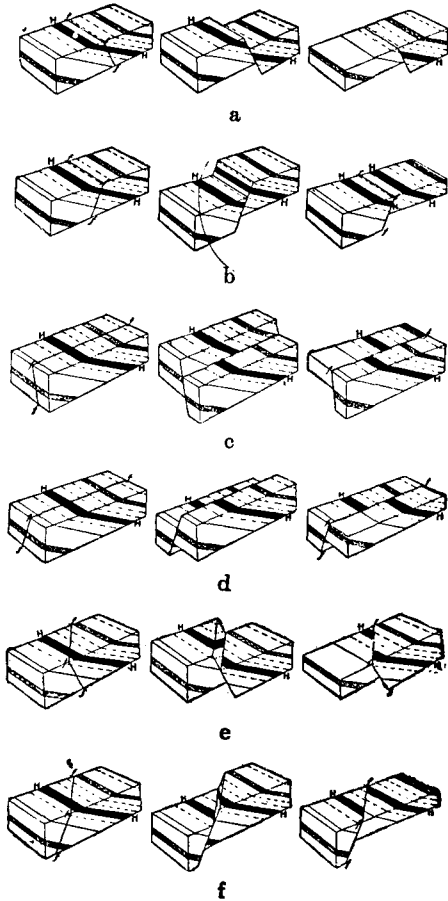
2) По отношению к падению между сбросами различают:

а) согласнопadaющие сбросы и б) несогласнопadaющие сбросы.

а) Соглaснопадающие сбросы отличаются тем, что трещина сброса и пласты имеют одинаковое направление падения (фиг. 167 а, с, е).

б) В несогласнопadaющих сбросах падение трещины и пластов направлено в противоположные страны света (фиг. 167 б, d, f). В поперечных сбросах разделение по падению не существует, так как в них падение трещины и пластов всегда взаимно перпендикулярно.

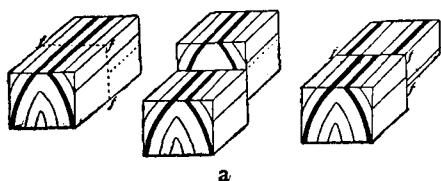
Совокупность большого числа тех или других сбросов может значительно изменить общий уклон поверхности, обусловленный простым наклоном пластов, например, согласнопadaющие и параллельные сбросы увеличивают уклон поверхности, а несогласно падающие сбросы, напротив, уменьшают его.



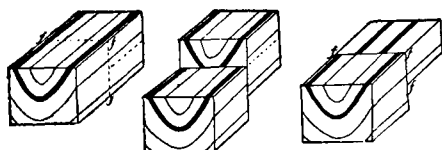
Фиг. 167. — Главные типы сбросов: а — параллельный согласнопadaющий; б — параллельный несогласнопadaющий; в и d — поперечные и е и f — косые согласные и несогласные. Во всех случаях первая колонна изображает первоначальное положение пластов, вторая — результат сброса и третья — результат сброса и последующего смыва.

3) Сбросы по отношению к направлению перемещения или по относительному положению частей пласта к сбрасывающей трещине разделяют на: а) нормальные или собственно сбросы (фиг. 169), и б) ненормальные сбросы или взбросы (тоже перебросы).

а) Нормальный сброс или просто сброс происходит вследствие опускания или скольжения вниз сброшенной части пласта, которая находится в висячем боку сбрасывающей трещины и всегда ниже оставшейся на месте части его, залегающей в лежащем боку; в этом случае происходит как бы растяжение в горизонтальном направлении.



а



б

Фиг. 168. — Поперечные вертикальные сбросы, рассекающие а — антиклиналь; б — синклиналь.

б) Во взбросе, наоборот происходит как бы стяжение или сокращение и надвигание вверх сброшенной части пласта.

При вертикальных сбросах, где нет различия между висячими и лежащим боку, исчезает разница между собственно сбросом и взбросом.

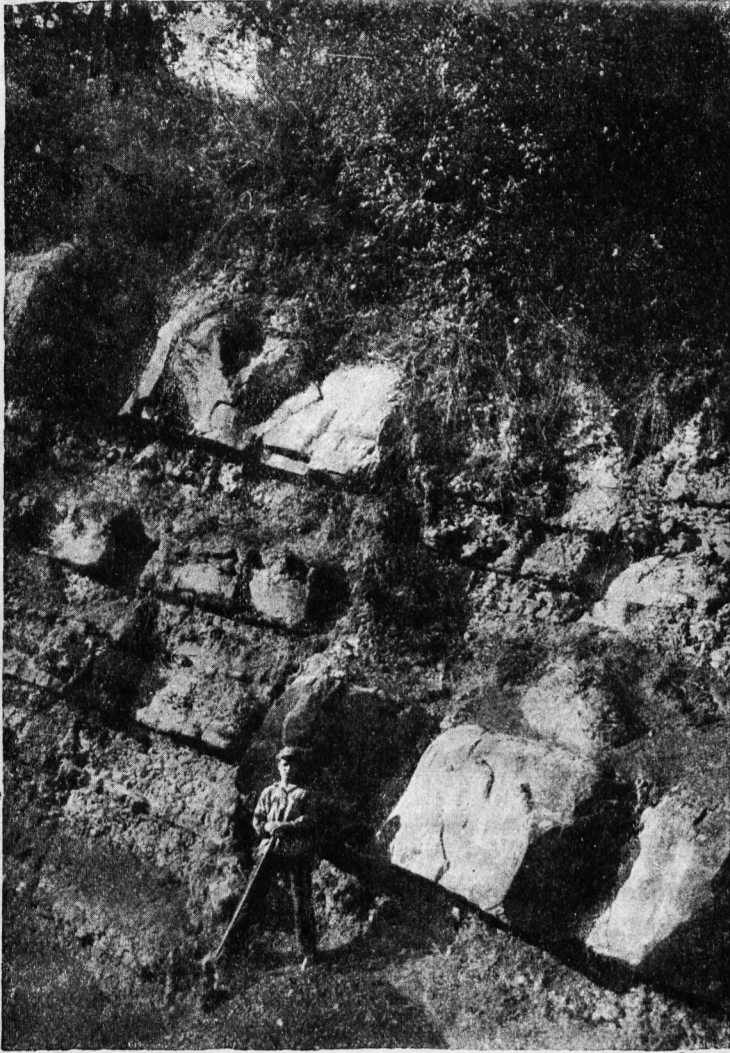
Взбросы разделяются на те же группы, как и сбросы, в зависимости от отношения к простираанию и падению пластов, но совокупность их производит противоположное влияние на рельеф поверхности, например, согласно-падающие и

параллельные простираанию взбросы не увеличивают, как сбросы, а уменьшают наклон поверхности, а несогласнопадающие, наоборот, увеличивают.

Величина сбросов весьма различна, начиная от долей сантиметра и вплоть до тысячи и более метров.

Хорошие данные об образовании сбросов дают наблюдения последнего времени больших тектонических землетрясений (см. гл. III). При этом замечено обычное сочетание вертикального перемещения с горизонтальным, т. е. образования скорее сбросо-сдвигов, по наклонному косому направлению. Так, при землетрясении С.-Франциско горизонтальное перемещение было на 7 м, а вертикальное на 1,3 м, а при японском Мино-Овари, около Мидори, горизонтальное на 4 м, а вертикальное на 6 м (фиг. 170 и 171). Вообще же следует сказать, что факт действительного горизонтального перемещения по сбросу сравнительно редко может быть установлен в точности, лишь помощью чисто геологических наблюдений над направлением штрихов на зерка-

лах трения и т. п. Гораздо чаще речь идет о мнимом горизонтальном перемещении, понимаемом чисто геометрически. Самая классификация сбросов на нормальные сбросы и взбросы, как мы видели, основана на

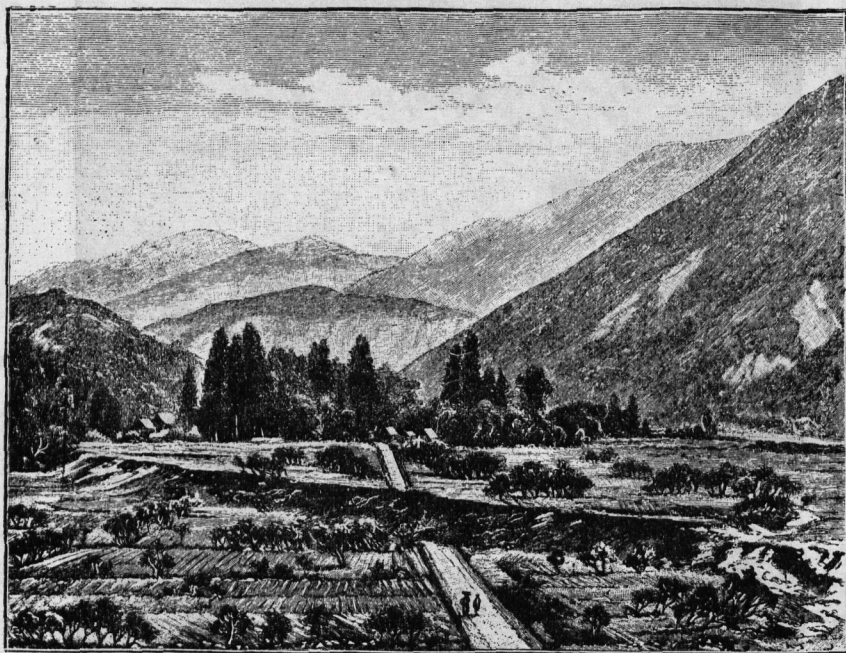


Фиг. 169.—Поперечный нормальный, вертикальный сброс. Сочи—Кавказ.
(Фот. Петропавловского).

этом видимом перемещении, не всегда истинном. Наши наблюдения и определения относятся часто скорее к современным взаимоотношениям пластов в двух измерениях поперечного разреза, чем к истинному положению их в трех измерениях.

Вращающийся или шарнирный сброс, с поворотом плоскости сбрасывателя вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной к ней, создает по одну сторону этой оси нормальный сброс, а по другую взброс (фиг. 172).

Вместе с тем чисто горизонтальное перемещение может проявиться в результате и сбросом, и взбросом, в зависимости от положения плоскости сбрасывается по отношению к свите. В исследо-



Фиг. 170. — Сброс в Мино-Овари. Япония.

вании этих положений громадное значение имеют геометрические построения, однако, дробной номенклатурой, на них построенной, геологу особенно увлекаться не следует; они имеют главное значение в чисто разведочном и рудничном деле решения отдельных задач по отысканию сброшенных частей пластов и жил.

Термины сброса и взброса, однако, несмотря иногда на неточное определение самого механизма явления, настолько укоренились для определения чисто морфологической, результативной его стороны, что не могут быть оставлены в геологической литературе, несмотря на нередкие возражения против них.

С вышеприведенными оговорками ими пользоваться приходится, но таким же образом следует относиться и к их изображению на геоло-

гических картах и разрезах, где обычно применяемые стрелки также показывают лишь кажущееся направление перемещения, а не истинный его характер. Последний может быть показан в натуре, помимо упомянутых штрихов и полировки, разрыванием, сминанием и загибом концов даек определенных изверженных пород (метод, примененный в Шотландии) или рудных жил.

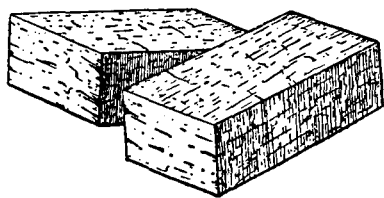
Наличность сбросов обнаруживается по следующим главным признакам:

1. Резкие уступы на поверхности свежих сбросов, еще не размытых, — например, после землетрясений Семиреченского 1911 г. и С.-Францисского.

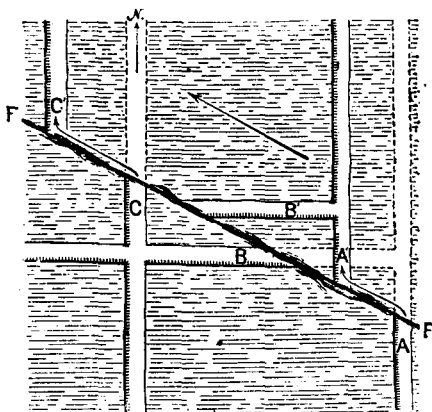
2. Линейное расположение различных орографических элементов долин, озер, гребней по границе пород разной твердости и пр.

3. Резкое прекращение, обрыв правильно простирающихся свит, пластов, даек, жил и массивных пород и встреча на простирании других пород.

4. Повторение пластов и свит, которое констатируется помимо обнажений еще чаще при проведении подземных выработок и буровых скважин.



Фиг. 172.



Фиг. 171.—Горизонтальное перемещение по сбросу Мино-Овари.

5. Зоны раздробления пород, проявляющиеся на поверхности иногда в виде карето-подобных воронок расланцевания, их вторичной отдельности появления брекчий трения, глин и т. п., что особенно отчетливо видно в подземных выработках; направление вторичной сланцеватости обычно совпадает с направлением сбросов.

6. Плоскость скольжения с полировкой и штриховатостью.

7. Выходы ключей или горячих вод линейно расположенных.

8. За последнее время накаплиются данные, убеждающие в полной возможности установления дизъюнктивных дислокаций географическими методами, учитывая:

а) изменения силы тяжести на границе пород различного характера удельного веса;

б) отклонения магнитного и электрического полей;

с) радиоактивность выходящих по трещинам сбросов глубоких вод и

д) геотермические аномалии, обусловленные различной теплопроводностью пород, расположенных по сторонам сброса.

В рудничном деле громадное значение имеет нахождение сброшенных частей пластов или жил для рационального направления работ. Нахождение это основано, во-первых, на изучении направления штрихов на плоскостях скольжения, пережимов, изогнутий, загибов пластов около трещины сброса, стратегических данных, общем характере тектоники данного района и, во-вторых, — на точных методах Горной Геометрии, дающих возможность построить математически все происшедшее перемещение и определить его характер. При всем том весьма важно установить прежде всего, обязаны ли данные дислокации давлению или растяжению, так как в первом случае можно ожидать надвигов, а во-втором лишь нормальных сбросов, что в корне меняет подход к их поискам.

Ни одно из этих явлений, однако, не может само по себе считаться достаточным для доказательства существования сброса и главным критерием являются, конечно, факты стратиграфические, в особенности подкрепленные палеонтологически.

Значение дизъюнктивных дислокаций в горном деле двойное — отрицательное и положительное. Первое заключается в следующем:

1) — усложнение разведок и 2) — усложнение добычи месторождений разбитых дислокациями, так же как их вентиляции, водоотлива и надзора, 3) — каменные угли и руда обычно сильно разбиты и испорчены дислокациями, 4) — по дислокационным трещинам нередко скапливаются взрывчатые газы и воды, а пересечение их заставляет выбирать более сильное крепление, 5) — сбросы нередко вызывают опускание полезных ископаемых на большую глубину, или, наоборот, исчезновение их вследствие смыва, а так же ложное удвоение пластов и т. п.

Положительными же результатами являются: иногда облегчение проведения выработок и самого отбоя по трещинам, образование рудных и минеральных жил, появление воды по трещинам и пр.

Ф л е к с у р ы.

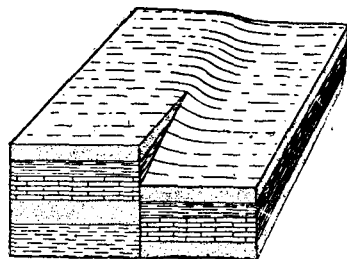
Как бы переход от сбросов к взбросам или от сбросов к складкам представляет особая форма дислокации, называемая флексурой или моноклинаяльная складка (фиг. 173 и 174). Флексуру можно рассматривать, как коленчатую или одностороннюю, недоразвившуюся складку или же, что, вернее, как сброс без разрыва сплошности; поэтому во флексурах отличают те же части, что и в сбросах, а именно: поднятое или верхнее крыло (а), опущенное или

нижнее крыло (b). Далее, верхнее колено или изогнутое (фиг. 174 а) звено, соединяющее оба колена, называется соединительным крылом.

Сложные сбросы и флексуры.

До сих пор мы рассматривали простые сбросы и флексуры, но уже последние примеры показывают, что те и другие проявляются целыми группами. Сочетание нескольких простых сбросов называется сложным сбросом, или поясом сбросов, или системой сбросов (фиг. 175).

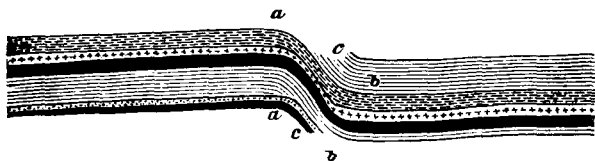
Если несколько нормальных сбросов последовательно располагаются друг за другом, то происходят, так называемые, ступенчатые или террасовидные сбросы, причем поверхность сброшенных частей представляет совершенную равнину или же ряд котловинообразных углублений, возвышающихся к краям.



Фиг. 173. — Переход сброса в флексуру по простирацию.

Если целый ряд более или менее параллельных сбросов обуславливает неравномерное опускание различных частей коры земной, то получаются различные формы. Одна из них представляет выступающий массив, по краям которого произошло значительное опускание

соседних частей по трещинам сбросов. Такому массиву придано название горста. Горсты могут обуславливаться не только простыми сбросами, но также и взбросами, или горсты могут



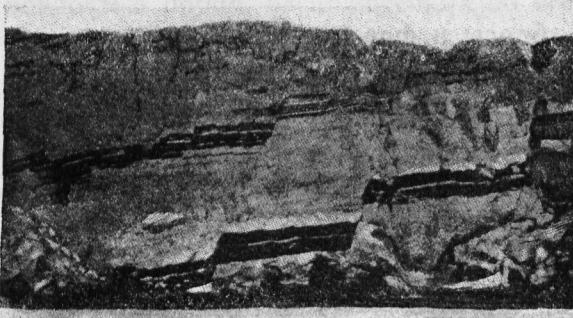
Фиг. 174.

возникать не только пассивно, но и активно, т.-е. поднимаясь среди окружающих неподвижных частей земной коры.

Другая же, напротив, представляет форму опускания по трещинам сброса и, следовательно, не выступающий массив, а сброшенный, или грабен.

Горст и грабен появляются иногда целыми сериями, перемежаясь между собою, например, часть долины Рейна между Шварцвальдом и Вогезами представляет грабен, а Шварцвальд и Вогезы — горсты; тоже Мертвое море — грабен, а соседние горы, вероятно, горсты; тоже Утах и др.

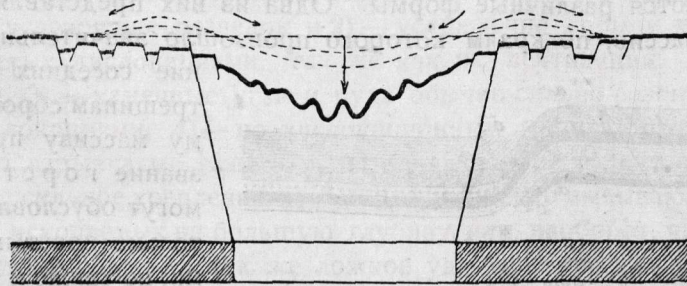
Если горст суживается книзу, а грабен, напротив, книзу расширяется, то такие формы называются клинообразным горстом и клинообразным грабеном (фиг. 176).



Фиг. 175. — Ступенчатые сбросы на побережье О-ва Челекен; черные полосы — песчаные пласты, пропитанные нефтью. (Фот. К. Калицкого).

Грабены представляют одни из важнейших форм дислокации, составляющих целые громадные полосы земной поверхности, как, например, серия больших грабенов В. Африки, проходящая от озера Ниасса под 15° ю. ш. через оз. Рудольфа на Красное и Мертвое море до 35° с. ш., т.-е. на 6.000 км длины.

При пересечении одной системы сбросов другой, возникает необходимость и возможность установления их относительного возраста. Кроме того, подобно складчатым, и сбросовые формы



Фиг. 176. — Явления смятия (складкообразования в опускающейся части) и растяжения сбросов, грабенов и горстов (в боковых частях), наблюдаемые в обрушающихся над рудничными выработками площадях и иллюстрирующие отчасти тектонические процессы и связь между различными формами дислокаций.

могут быть повторенными, унаследованными, т.-е. сброс, пересекающий древнюю свиту, после покрытия ее позднейшими отложениями возобновляется, рассекая и эти последние, при этом, однако, вертикальное перемещение их будет меньше в конечном результате, чем древней свиты, что и является доказательством повторности процесса.

Взаимные отношения пластов.

При совместном и нормальном залегании пластов различного возраста уже по способу образования их в водных бассейнах, более новые пласты всегда находятся выше и прикрывают собой более древние отложения; при дислокации же пластов, особенно сложной и интенсивной, нередко бывает наоборот, т.-е. древние залегают на новых; тогда окаменелости помогают выяснить не только относительную древность пластов, но и самый характер дислокации. Во всяком случае, будут ли пласты различного возраста горизонтальными, наклонными или складчатыми, но если только они совершенно параллельны друг другу, то такое пластование называется **согласным**.

Если же пласты разного возраста не параллельны между собою, а, например, одни из них, более древние, образуют складки или разбиты сбросами, а другие, более новые, просто наклонны, третьи же горизонтальны, наконец, бывает, что горизонтальные пласты залегают на крутых или вертикальных слоях или, как говорят, на головах пластов, то все роды такого пластования называются **несогласными**. Несогласное напластование, от какой бы причины оно ни зависело, т.-е. от дислокации или денудации, большею частью свидетельствует о перерывах в образовании различных групп пластов, тогда как согласное напластование, напротив, большею частью указывает на непрерывность в отложении и только иногда на сопровождавшие его остановки. Бывают случаи, что хотя пласты залегают согласно, но отлагались с большими перерывами. Обыкновенно в этих случаях отсутствие промежуточных систем объясняют тем, что данная местность освобождалась от моря и во время промежуточных эпох представляла сушу; но это заключение справедливо только тогда, когда на поверхности древних осадков наблюдаются несомненные следы деятельности материковых агентов или денудации. Перерывы в согласно пластующихся образованиях свидетельствуют о перемещении моря.

Признаками несогласного залегания свит в широком смысле этого слова, т.-е. свидетельствующими о разном их возрасте или о принадлежности к разным периодам отложения, являются следующие:

1. Настоящее (угловое) несогласное напластование, как выше уже указано.

2. Следы неравномерной денудации верхней поверхности нижней свиты, следы древних русел, оврагов, коры выветривания, деятельности организмов и пр.

3. Различие в метаморфизации и диагенезисе нижней и верхней свиты.

4. Различная степень структурной деформации: более интенсивная вторичная пloyчатость, трещиноватость и кливаж нижней свиты. Признак этот, как и предыдущий, надежен лишь при полном тождестве литологического состава и механического сопротивления обеих свит.

5. Различие в числе и характере интрузий, даек и жил изверженных пород: сбросовые трещины, дайки и минеральные жилы, прорезывающие нижнюю свиту, не проходя в верхнюю, ясно указывают отграничивающую их плоскость, свидетельствующую о бывшем перерыве.

6. Базальный (основной) конгломерат, начинающий собою верхнюю свиту и состоящий из продуктов разрушения верхних пластов нижней свиты, хотя подобные конгломераты и могут образовываться внутри одной и той же свиты в период ее отложения. Вместе с тем и отсутствие такого конгломерата не должно обязательно истолковываться в пользу отсутствия перерыва отложения.

7. Условия горизонтального распространения свит могут явиться доказательством несогласия иногда в отсутствии иных признаков.

8. Огибание, обволакивание и перекрытие древних отложений позднейшими, даже в отсутствии явного контакта между ними, ясно говорит за несогласие.

9. Литологические различия: например, налегание осадочных пород на изверженные без явлений внедрения и контакта вторых в первые.

10. Отсутствие некоторых свит, нарушающее установленную в другом месте нормальную последовательность их, которое может доказываться и литологически, но вполне надежно устанавливается лишь точным изучением ископаемой фауны — методами точной стратиграфии, с учетом всех возможных влияний — фациальных и др.

По своему происхождению несогласное пластование обусловливается или только тектоническими процессами, или совместно с денудацией и потому представляет несколько разновидностей.

Отличительными признаками залегания осадков, надвигающегося на сушу моря, — трансгрессирующего, является постепенное черепитчатое налегание их, заметное даже в отсутствии явного несогласия (по углам падения) пластов (см. стр. 301).

Если трансгрессия не сопровождается областным смывом, или абразием, но наступающее море прежде всего заполняет прилегающие низменности, котловины, долины в прилегающих хребтах и отлагает в них новые осадки, то получаемое более сложное и дробное залегание

ние называется ингрессивным, а самый процесс, в отличие от трансгрессии, называется ингрессией. Ингрессирующие пласты отличаются значительным разнообразием, так как в каждом частном бассейне отлагается различный и притом смешанный материал, к чисто морским отложениям присоединяются продукты атмосферного разрушения; реки и ручьи еще более увеличивают разнообразие его не только в петрографическом, но и в стратиграфическом отношении.

Присутствие прибрежных коралловых построек или действующих вулканов также способствует сложности ингрессивных осадков. Словом, ингрессивные пласты отличаются от трансгрессивных, во 1-х, залеганием на неровной поверхности и разветвленными полосами, иногда весьма узкими и прихотливыми, а во 2-х, сложностью и разнообразием местных видоизменений.

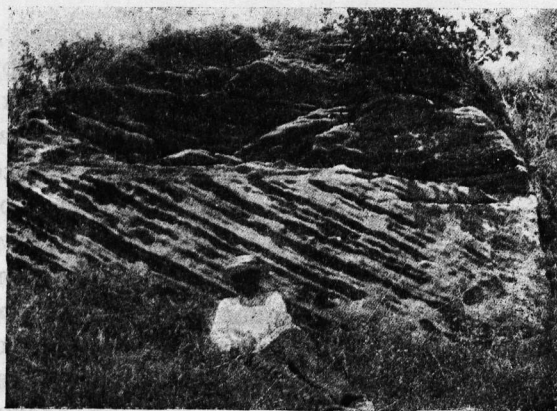
Среди ингрессивных пластов, занимающих обширные площади, нередко более древние образования, служащие им основанием, выступают в виде изолированных островов. Примером такого ингрессивного пластования может служить Туранская и Ферганская низменности, где среди почти горизонтальных или мало наклонных меловых, третичных и послетретичных отложений выступают изолированные горы, например, Казыкурт, Букан-тау, Тамды-тау и пр., сложенные из кристаллических и палеозойских пород, обнаруживающих интенсивную складчатую дислокацию; нечто подобное представляют известные горы: Богдо, Бис-чохо и Чапчачи, возвышающиеся изолированно среди горизонтальных каспийских осадков Киргизской степи.

Формы несогласного и ложно-несогласного залегания, обязанные своим происхождением денудации, весьма разнообразны; можно отличить два главных типа — а) уже упомянутые „острова“, или „свидетели“ части или целой уничтоженной свиты, причем в уничтожении этом могли участвовать различные агенты денудации порознь или совместно (море, реки, силы, ветер, ледники).

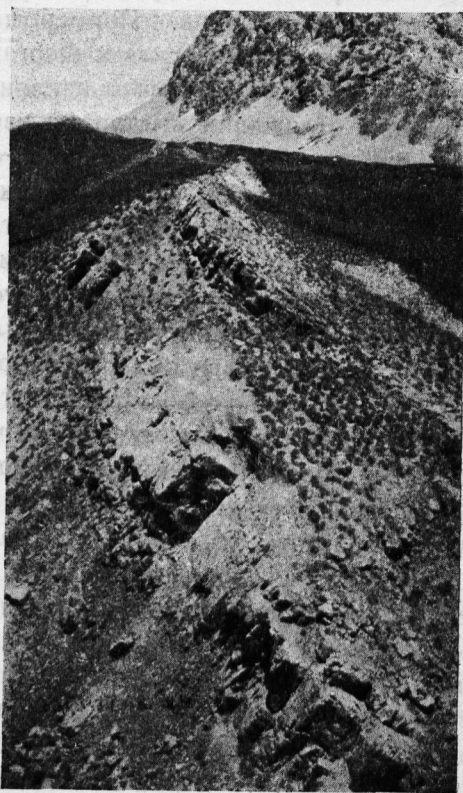
„Острова“ могут состоять из каких угодно пород и какого угодно залегания, преимущественно, однако, более твердых.

Под „свидетелями“ же скорее понимают остатки именно верхней свиты, окруженные, следовательно, низменностью из более древних пород, подстилающих и самый „свидетель“.

б) „Окна“, в которых более древние пласты обнажены среди позднейших денудаций или долиной реки, или в седле антиклинали, или в верхней части приподнятого и размытого по краям горста. Эти „эрозионные окна“ не следует смешивать с „окнами тектоническими“, происходящими при шаррижах, где соотношения обратны (стр. 325). Правильное объяснение „окон“, как и „островов“ и „экзотических скал“, возможно лишь при точном изучении стратиграфии района.



Фиг. 177. Косая слоистость силурийских песчаников. Окрестности Могилева-Подольского.
(Фот. А. Кривицкого).



Фиг. 178. Неиормальное, надвинутое налегание палеозойских известняков (правой верхний угол) на Третичной и Меловой свите (передний план). Алайский хребет, у перевала Талдык.

(Фот. Д. Мушкетова).

Несогласное пластование может быть даже при горизонтальном залегании древних и новых отложений, а именно, в том случае, если горизонтальная свита пластов, слагая дно моря, выступает также и в берегах его, то новые осадки в этом море, хотя также отлагаются горизонтально, но будут несогласно пластоваться с нижними; такое пластование называется параллельным. Прекрасный пример параллельного пластования представляет Устюрт, к обрывистым окраинам которого, называемым „чинками“ или „кырами“, прилегают новые каспийские осадки.

Несогласное пластование, указывая на разновременность образования различных пластов, служит основанием для определения древности различных элементов рельефа, особенно горных кряжей. В этом отношении, чем ближе по возрасту несогласно залегающие пласты, тем точнее и полнее выясняется история образования горных кряжей. Образование кряжей в несколько приемов представляет частое явление, причем при разных фазах развития характер их резко различается, например, Альпы после первого периода дислокации имели только ничтожную складчатость, а после второго и главного — чрезвычайно интенсивную.

При таких определениях необходимо делать наблюдения на обоих склонах кряжа, потому что нередко пробелы на одной стороне пополняются развитием промежуточных осадков на другой. Но для полноты выяснения истории образования горных кряжей, осадки обоих склонов нужно сравнивать не только по отношению к дислокации, но также вообще по отношению к первоначальным условиям их происхождения.

ГЛАВА VI.

Диагенез и метаморфизм.

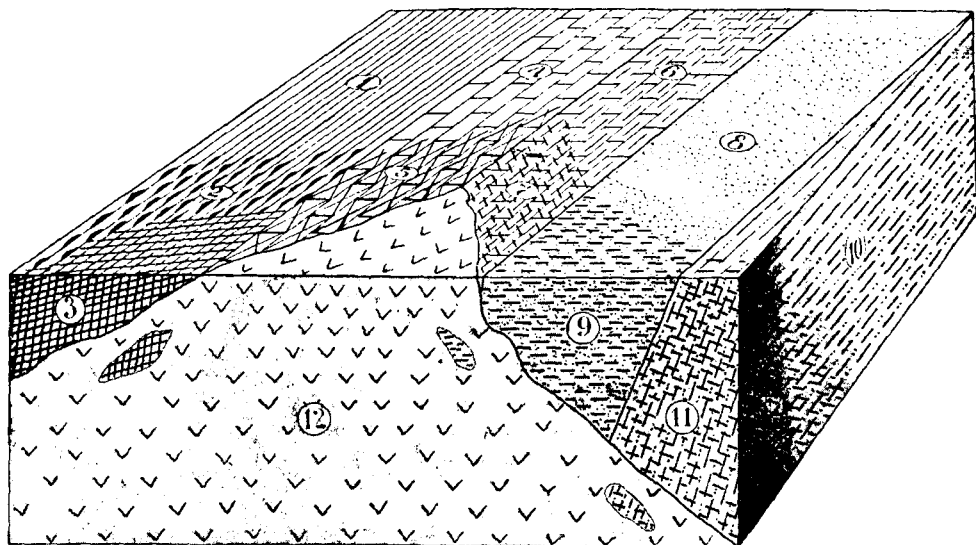
Под диагенезисом или диагенезом понимают физико-химические процессы, влияющие современем на каждый осадок, независимо от каких-либо особых происшедших явлений, тогда как метаморфизм вызывается лишь исключительными и местными условиями, нарушающими нормальный ход событий; таковыми являются: эпейрогенические опускания частей земной коры на большую глубину (что вызывает увеличение давления и температуры), дислокации, поднятие и прорыв расплавленных масс. Каждый из этих факторов вызывает особый вид метаморфизма—региональный, дислокационный и контактовый.

	Изверженные и осадочные породы				
	П р и ч и н ы				
	внутренние	в н е ш н и е			
Процессы.	Диагенез.	Увеличение температуры вследствие покрытия осадками.	Давление вышележащих отложений.	Давление при дислокациях.	Вулканизм.
	Внутрен. пре- вращение и окаменение (фоссилизация).	Метаморфизм опускания			
		Метаморфизм термальный (Геотермический).	Метаморфизм региональный (Геобарический).	Метаморфизм дислокационный.	Метаморфизм контактовый.
Продукты.	Осадочные породы.	Термометаморфические породы, напри- м., не- которые соли.	Кристаллические сланцы. О р т о - породы, если исходными являлись изверженные породы. П а р а - породы, если исходными являлись осадочные породы.		Контактные породы.

Контактовый метаморфизм.

Расплавленные массы изменяют структуру и состав тех пород, которые соприкасаются с ними. Изменение это не ограничивается только самым рубезом или контактом, но проникает на некоторое расстояние от него и называется контактовым метаморфизмом (фиг. 179).

Массы, нагретые до высокой температуры, очевидно должны оказывать заметное влияние на все тела, приходящие с ними в соприкосновение; расстояние этого действия, разумеется, обуславливается теплопроводностью пород; некоторые из них, приходя в соприкосновение с расплавленной массой, изменяются на значительном расстоя-



- | | | |
|--------------------------------|------------------------|---------------------------|
| ① — известково-туфовый сланец; | ⑤ — мрамор; | ⑨ — андалузитовый сланец; |
| ② — гранатовая порода; | ⑥ — мергель; | ⑩ — песчаник; |
| ③ — залежь магнетита; | ⑦ — хлоритовый сланец; | ⑪ — кварцит; |
| ④ — известняк; | ⑧ — глинистый сланец; | ⑫ — гранит. |

Фиг. 179. — Схема изменений различных осадочных пород в контакте с гранитом.

нии, другие же — едва заметно и только в самом контакте или на месте соприкосновения.

Расплавленные массы охлаждаются не одинаково быстро: основные лавы — быстрее кислых, плотные кристаллические — быстрее пористых лав.

Лавы, охлаждаясь быстрее при соприкосновении с холодными породами, с одной стороны, сами затвердевают в виде плотной и стекловидной массы в контакте, а с другой — остекловывают или сплавляют прилегающие к ним части пород; так, туфы и рыхлые кремнеземистые осадки в контакте затвердевают, уплотняются и даже сплавляются или ошлаковываются. Осадочные породы в контактах с вулканическими претерпевают почти те же изменения, как и от каменноугольных пожаров, т.е. песчаники и глины более или менее ошлаковываются, становятся тверже, иногда получают красный цвет на подобие обожженного кирпича, иногда превращаются в фарфоровую яшму или стекловатую массу; известняки превращаются в ясно-кристаллический мрамор, каменный уголь — в кокс, мелкозернистый песчаник — в стекловатую породу с игольчатыми, порфиоровидно выделяющимися кристаллами полевого шпата, местами скопляющимися в радиально лучистые пучки; землистый мел — в мрамор; даже в гранитах замечаются изменения в контактах с базальтами. Подобные же изменения пород наблюдаются в контактах не только современных базальтовых лав, но также в жилах более древних: трахитов, фонолитов, андезитов, липаритов. Явления оплавления, обжига и т. п. обязаны преимущественно непосредственному действию высокой температуры извергающихся расплавленных масс и присущи породам эффузивным; они выделяются в процессы метаморфизма каустического в противоположность термальному или гидротермальному, производимому породами глубинными. Основное различие обоих процессов заключается в различном содержании газов и паров в магме в обоих случаях. Оно весьма мало, благодаря слабому внешнему давлению, в магме, изливающейся на поверхности, и велико — на глубине, где поэтому и воздействие горячих газов и растворов, проникающих под большим давлением в окружающие породы, несравненно сильнее и сопровождается новообразованием особых контактовых минералов. Эти явления называются пнеуматолитическими.

Способность растворять твердые тела присуща не только жидкостям, но и газам, иногда даже в большей степени. Главная роль в пнеуматолитических превращениях принадлежит наряду с водой фтористым соединениям Si и Fe , затем B_2O_3 , Cl и другим газам, названным „минерализаторами“; при этом преимущественно новообразуются топаз, плавиковый шпат, турмалин, апатит, аксинит и др.; характерными примерами пнеуматолитического метаморфизма представляются оловянные месторождения, везде приуроченные к контактам гранитов, месторождения железного блеска, пластообразных залежей магнетита горы Высокой в Тагильском округе Урала. Этим же путем происходит образование пегматитов (см. стр. 62) или пегма-

тизация краевых частей больших гранитных массивов (реже сиенитов и габбро). Для пегматитов характерны резкая изменчивость и большие размеры зерен и присутствие, обычно редких, *F* и *B* содержащих минералов (турмалин, топаз, флуорит), состоящих из легчайших элементов. Все это и ряд других признаков указывает на то, что пегматиты являются последними членами в процессе застывания массива и обязаны своим происхождением газам. Пнеуматолизом же образуются различные минеральные друзы.

В контактах гранитов (фиг. 180) наблюдаются многообразные изменения как их самих, так и прилегающих пород. Сами граниты в контактах получают плотное или мелкозернистое, или даже порфировое сложение. Известняки вблизи гранита иногда превращены на некоторое расстояние в роговики или мраморы, причем образуются различные известь-содержащие силикаты (волластонит, везувиан, гранат), а также шпинель, слюда и др., пронизывающие мрамор красивыми кристаллами; сланцы претерпевают весьма сложные изменения, характеризующиеся образованием слюдяных, хиастолитовых, андалузитовых и даже гнейсовидных сланцев. Таким путем возникают различные узловатые и пятнистые сланцы, носящие разные названия.



Фиг. 180. — Контакт гранитов (нижняя светлая часть обнажения) со сланцами (верхняя темная). У подножия конус осыпи темных сланцев. Фергана. Гезарт. (Фот. Д. Мушкетова).

Дислокационный метаморфизм.

Дислокация не только изменяет нормальное залегание пород, но также внутреннюю структуру и состав их, т.-е. тоже обуславливает

метаморфизацию их. Такой вид метаморфизации, в зависимости от механических процессов, называют динамометаморфизмом.

Более удачным представляется, однако, старый термин „дислокационный метаморфизм“; этот вид метаморфизма, в отличие от других (контактового и регионального), встречается исключительно у пород, испытавших сильные механические воздействия (сжатие, вытягивание, раздробление и т. п.) при тектонических процессах. Вместе с тем, и обратно, о характере этих процессов и условиях их действия можно до известной степени судить по результатам дислокационного метаморфизма.

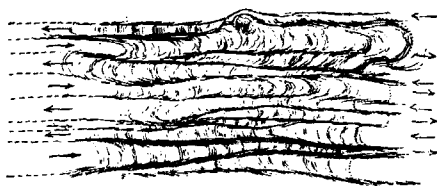
Главным фактором дислокационного метаморфизма принимается громадное тангенциальное давление в земной коре, и, кроме него, нагрузка верхних ее слоев, высокая температура и циркулирующие в земной коре водные растворы — минерализаторы. В некоторых случаях метаморфизм выражается лишь в изменении сложения породы, в других же, кроме того, и в молекулярных изменениях, вызывающих перемену минерального состава ее. Оба вида дислокационного метаморфизма настолько тесно связаны между собой, что обычно можно говорить лишь о преобладании одного из них, не создавая резкой классификации. Под дислокационным метаморфизмом необходимо понимать все изменения формы (отдельности и пр.), сложения, строения и состава, которые породы претерпели под влиянием дислокаций. Это подтверждается и зонарным расположением дислокационной метаморфизации в складчатых хребтах, где зоны сильнейшей метаморфизации соответствуют и зонам сильнейшей складчатости и смятия.

В зависимости от петрографического состава горной породы, величины и длительности испытанного ею давления и возможности для нее бокового перемещения, дислокационная метаморфизация проявляется или в раздроблении породы, или в смятии, без видимых разрывов, т.-е. пластически. Резкой границы между обеими формами проявления метаморфизации провести нельзя, и зависят они, главным образом, от глубины залегания пород. На основании опытов со льдом, металлами, каменной солью, кальцитом, гипсом, апатитом, слюдой, диопсидом и другими минералами, способность к пластической деформации их установлена определенно, причем она возрастает пропорционально увеличению давления, температуры и времени. При переходе в пластическое состояние, в породах легко могут происходить молекулярные перегруппировки и химические новообразования, ведущие к полному изменению минералогического состава.

Этот процесс объясняет и происхождение кристаллических сланцев.

Под влиянием давления породы сплющиваются, вытягиваются или раздробляются, пронизываясь многочисленными трещинами, кото-

рые обуславливают вторичную или ложную сланцеватость пород, или, так называемый, кливаж. Сланцеватость эта отличается от истинной тем, что всегда направляется под углом к плоскостям напластования, а не параллельно к ним, как истинная. Она имеет весьма важное значение уже потому, что определяет собою направление давления при дислокации, по отношению к которому она всегда располагается перпендикулярно. В сильно нарушенных породах она настолько развивается, что маскирует истинное напластование. Происхождение этой сланцеватости, или кливажа, выяснено не только непосредственными наблюдениями, но и многочисленными экспериментами с пластическими веществами, каковы: глина, воск, смола и др., которые, под влиянием давления, получают сланцеватость, подобную естественному кливажу. Известно также, что железо от сильной прокатки или от ударов парового молота приобретает сланцеватое сложение; пушечное ядро, при ударе в броню, производит в ней сланцеватое сложение; взрыв при извержениях обуславливает появление пластинчатости в соседних породах; пластинчатость в каменной соли получилась простым ударом; даже порошкообразные вещества, например, песок, под влиянием давления, получают некоторую сланцеватость.

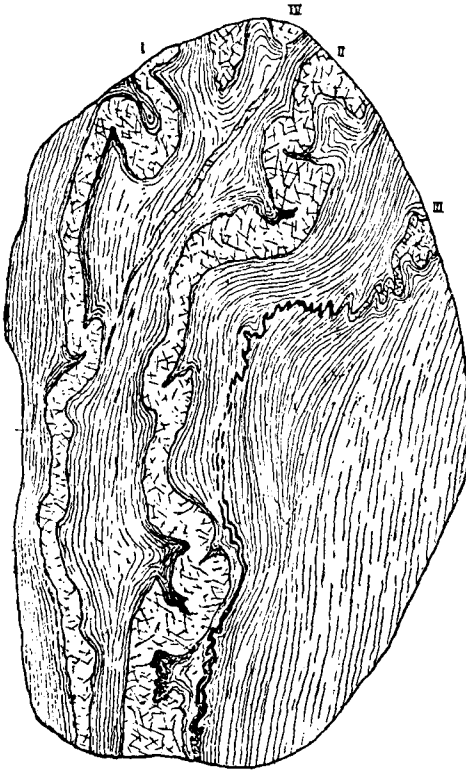


Фиг. 181. — Кливаж размятия. Стрелки показывают направление давления.

Под влиянием давления, пласты утрачивают свою правильность, и заметно перемещаются по образовавшимся трещинам в направлении давления, причем в каждом пласте обнаруживается кливаж в направлении, нормальном к давлению. В плотных породах, каковы: известняки, доломиты и пр., следствием этого получается скорлуповатое или пloidчатое сложение. Нередко по трещинам происходят мелкие сдвиги, открываемые только микроскопом, которые и обуславливают кливаж; само собой разумеется, что отчетливость такого кливажа находится в зависимости от степени пластичности породы. В одной и той же свите перемежающихся пластов различного характера, кливаж проявится сильнее в более пластических породах, например, при перемежаемости сланцев с доломитами, в первых больше, нежели во вторых, как видно на следующем препарате, где кливаж обусловлен микросдвигами. Такого рода кливаж, происходящий от трещиноватости и микросдвигов, или, все равно, от размятия пород, называется кливажем размятия (фиг. 181).

Другой род кливажа называется микрокливаж и обуславливается сжатием частиц породы в элементы пластинчатой или шестоватой формы, в направлении размятия, которое большею частью

нормально к направлению давления; доказательством такого размятия служит не только сложение породы, но и сплющивание различных посторонних включений, например, аммонитов. Нередко, впрочем, окаменелости или вообще какие-либо наиболее устойчивые включения,



Фиг. 182. — В метаморфизованной дислокационным давлением породе жилы I—IV, представлявшие большее сопротивление давлению, реагировали на него иначе, чем окружающая масса, приобретшая флюидальное сложение.

представляющие большее сопротивление сдавливанию, чем сама порода, окружаются сдавленными частицами последней и обуславливают сложение, напоминающее флюидальное сложение вулканических пород (стр. 62; фиг. 182); это наблюдается также в поперечных разрезах окаменелостей, например, белемнитов из юрских известняков и сланцев Альп (фиг. 183), также вокруг кварцевых зерен и кристаллов полевого шпата в гнейсах и гранулитах. Иногда включения не только сплющиваются, но и разрываются на отдельные части, цементирующиеся впоследствии каким-либо веществом, например, куски белемнитов, сцементированные углекислым кальцием. При таком раздроблении включений, сама порода не обнаруживает никаких следов разрыва, даже в тех случаях, когда раздробление сопровождается скручиванием. Раздробленные части иногда претерпевают перемещение или сдвиги, что наблюдается как на отдельных кристаллах (см. ниже), так и на окаменелостях: аммонитах,

белемнитах (фиг. 183), фораминиферах и т. д. Иногда при этом получается полное распыление породы.

Кроме трещиноватости и сплющивания, т. е. кливажа размятия и микрокливажа, бывает еще третий род кливажа, происходящий вследствие того, что пластинчатые и шестоватые элементы, находящиеся в породе, под влиянием давления располагаются параллельно между собою и нормально к давлению, не претерпевая при этом никакого сплющивания; это наиболее простой случай кливажа, который легко воспроизвести искусственно, а именно, если мягкую глину

смешать с листочками слюды, железного блеска и т. п. и подвергать давлению, то все эти листочки расположатся более или менее параллельно между собою, и обусловят кливаж. Этот кливаж можно назвать нормальным, потому что он располагается параллельно плоскостям напластования, и следовательно, может совпадать с истинною сланцеватостью.

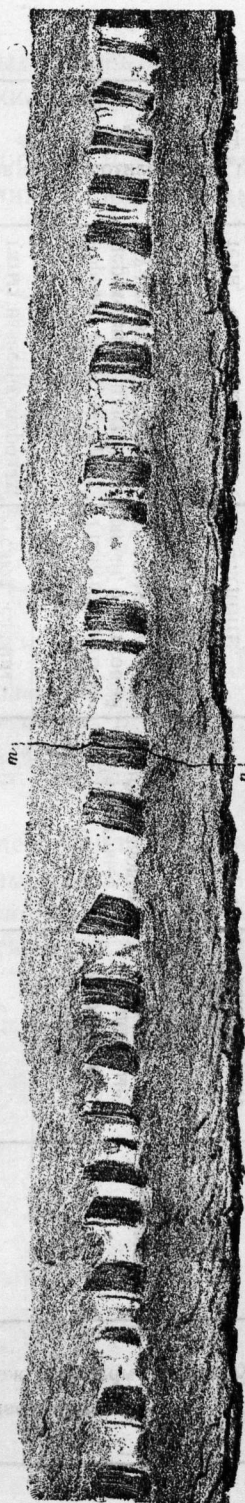
Кливаж проявляется с неодинаковою интенсивностью в различных породах, в зависимости от степени пластичности их. Вообще можно сказать, что породы хрупкие и зернистые несравненно менее склонны к проявлению кливажа, нежели породы слоистые и мягкие; из зернистых пород кливаж более свойственен мелкозернистым породам, нежели крупнозернистым (фиг. 184).

Механическое раздробление с возникновением „натакластических текстур“ часто сопровождается переходом одних минералов в другие, например, авгита в роговую обманку и биотит, полевых шпатов — в мусковит, граната — в биотит и пр.

Дислокационный метаморфизм, действуя на сложные кристаллические породы, с одной стороны, раздробляет наиболее твердые и хрупкие составные части их, каковы кварц, полевой шпат, и затем цементирует их гидрохимическими новообразованиями, а с другой — превращает некоторые составные части их в другие, более пластические, как гранат в слюду, авгит в роговую обманку, хлорит и пр. При таких условиях массивные породы переходят в очковые, сланцевые и ленточные, или же, наконец, в разнообразные кристаллические сланцы.

Само собой разумеется, что при превращении какой-либо массивной породы в сланцеватую, в одной и той же области могут произойти различные разновидности, в зависимости от напряжения дислокационного метаморфизма.

Дислокационный метаморфизм имеет значение еще и в том отношении, что, повидимому,



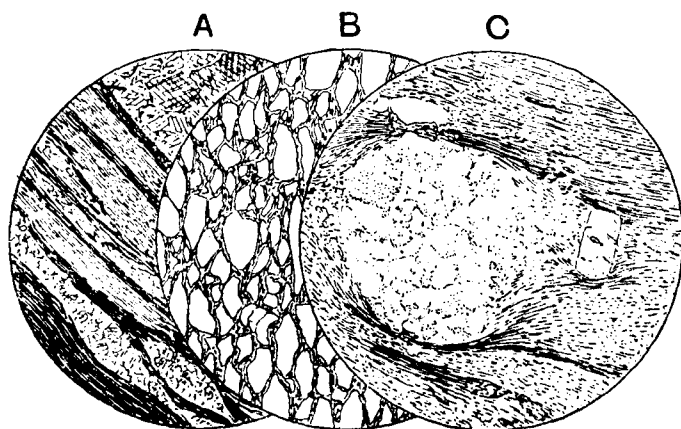
Фиг. 183. — Белемнит, разорванный давлением на куски, затем сцементированный кальцитом.

К р и с т а л л и ч е с к и е с л а н ц ы .

	Характерные признаки	Богатые глиноземом	Промежуточные	Богатые щелочными землями	Богатые щелочами (редко)	Мономинеральные породы
Группа филлитов и хлоритовых сланцев.	Сланцевато - кристаллические породы с тонко-чешуйчатой структурой. Характерны серицит и хлорит (т. е. алюмосиликат магния и железа), эпидот; из полевых шпатов только альбит.	Филлиты: серицитовый, кордиеритовый, хиастиловый. Альбитовые филлиты.	Филлиты и альбитовые филлиты с эпидотом и цонзитом, также хлоритом.	Хлоритовые сланцы. Слюдяные сланцы с карбонатами. Змеевиковые сланцы. Тальковые сланцы.		Мономинеральные породы Кварциты, мраморы, железные сланцы (магнетитовые в нижней зоне и гематитовые в средней и верхней). Наждаки.
Группа слюдяных и актинолитовых сланцев.	Сланцевато - кристаллические породы. Пластинчато - кристаллическая структура. Характерный алюмосиликат-мусковит. Вместо хлорита (алюмосиликата) характерным является актинолит (простой силикат). Обычен эпидот наряду с глаукоклазом в более богатых известью породах.	Слюдяные сланцы: мусковитовый, двуслюдяный, кинанитовый, ставролитовый, андалузитовый, гранатовый. Полевошпатовые слюд. сланцы.	Некоторые плагиоклазовые гнейсы с эпидотом, актинолитом. Некоторые рогово-обманковые сланцы.	Актинолитовые и рогово-обманковые сланцы и некоторые амфиболиты. Антофиллитовые сланцы. Нефритовые породы. Эпидозиты.	Глаукофановые сланцы.	
Группа гнейсов и амфиболитов.	Слабо-кристаллические породы со структурой, переходящей в зернист. Существенной составной частью являются полевые шпаты и др. минералы, тождественные с теми, что в изверженных породах.	Гнейсы: двуслюдяный, биотитовый, силлиманитовый, кордиеритовый, гранатовый. Гранулиты и лептиты.	Диоритовые (плагиоклазовые) гнейсы. Рогово-обманковые гнейсы.	Эклогиты и амфиболиты. Гранатовые породы. Некоторые пироксеновые породы (пироксеново-скаполитовые и др.).	Хлоромеланитовые и жадеитовые породы.	

следствием его является концентрация некоторых элементов в породах, например: слюды, графита, железной слюдки, магнитного железняка и проч.

Дислокационный метаморфизм, с одной стороны, придавая вулканическим породам обломочное сложение, приближает их к метамор-



Фиг. 184. — Катакластические текстуры в результате дислокационного метаморфизма, испытанного: *A* — известняком, *B* — песчаником и *C* — кварцевым порфиром. Во всех случаях видно параллельное расположение зерен, возникшее вследствие давления.

фическим сланцам, а с другой, уплотняя и часто перекристаллизовывая осадочные породы, образует из них тоже метаморфические сланцы, т.-е. в том и другом случае результатом дислокационного метаморфизма могут получаться те самые породы, известные под именем кристаллических сланцев, происхождение которых составляет одну из трудных задач геологии (см. таблицу на стр. 350).

ГЛАВА VII.

Геологическое летоисчисление.

Геологическое летоисчисление разделяется на относительное и абсолютное. Относительное летоисчисление основывается на сравнительном определении возраста (по палеонтологическим и стратиграфическим данным) различных геологических периодов и ограничивается только ответом на вопросы — раньше или позже другого совершилось известное явление, древнее оно или новее его. Этот способ определения относительной геологической древности практикуется уже давно и на нем основано разделение всех пород, слагающих кору земную, на геологические системы, о которых речь впереди. Относительное летоисчисление, хотя и оказывает громадную услугу в деле выяснения геологической истории земли, тем не менее не дает вполне определенных и точных указаний о древности различных отдельных явлений или целых фаз развития земли или, наконец, о продолжительности жизни земного шара; поэтому естественно, что ум человеческий, не удовлетворяясь определением относительного возраста, стремится к изысканию методов определения абсолютного возраста как различных геологических событий, так и самой земли. Хотя попытки установить абсолютное геологическое летоисчисление многочисленны, но, к сожалению, до сих пор еще они не увенчались успехом и не привели ни к какому прочному методу.

Методы абсолютного геологического летоисчисления весьма разнообразны: одни из них основаны на времени отложения дельтовых осадков; другие — на скорости размытия, отступления водопадов и пр., третьи — на скорости роста коралловых построек; четвертые — на сравнении процессов отложения и размытия; пятые — на периодах изменения эксцентриситета земной орбиты и связанных с ним явлений; шестые — на времени охлаждения земного шара до величины современного геотермического градуса и т. д.

Первая попытка определить возраст земли, исходя из охлаждения ее от начальной температуры в 3900°C , дала 100 миллионов лет. Исходя

из взглядов на радиоактивность земли, эта цифра должна быть значительно увеличена, и ныне возраст земли определяется от 1700 до 2200 миллионов лет, при чем длительность

Кенозойской эры	55 — 65	милл. лет.
Мезозойской „	135 — 180	„ „
Палеозойской „	360 — 540	„ „
Архейской „	1200 — 1400	„ „

Относительная хронология хотя встречает разнообразные затруднения, но тем не менее является единственною возможною в настоящее время. Она основана на изучении стратиграфических и палеонтологических особенностей осадочных пород. Первоначальный характер залегания самых древних осадков должен быть тот же, что и современных, при одинаковом способе образования, т.-е. в виде более или менее горизонтальных слоев или пластов; значит, выше лежащие слои, как отложившиеся позже, должны быть новее подстилающих или нижележащих; кроме того, значительное уклонение от горизонтального положения слоев свидетельствует о последующих нарушениях их. Все осадочные породы, за исключением древнейших метаморфических, содержат остатки животных и растительных организмов, или окаменелости, которые попали в них одновременно с образованием самих осадков, следовательно, если возможно определить древность организмов, то по окаменелостям можно судить о древности содержащих их слоев. Изучение окаменелостей вполне доказало эту возможность, так как по ним определено было:

1) Организмы развивались постепенно, начиная самыми низшими формами, переходя к высшим и заканчиваясь человеком. При этом видно, что низшие представители как растений, так и животных проходят все периоды до настоящего, тогда как высшие формы зародились и стали преобладать только в новейшие эпохи, предшествовавшие современной. Таким образом в настоящее время каждую систему возможно характеризовать развитием определенной фауны и флоры; при этом остатки животных, и преимущественно морских, гораздо надежнее растительных, труднее сохраняющихся. При такой постепенности развития само собой разумеется, что чем древнее слои, тем окаменелости, заключающиеся в них, менее сходны с ныне живущими организмами; только в новейших отложениях встречаются формы, тождественные с современными: во всех же древнейших осадках окаменелости принадлежат вымершим видам, родам, семействам и т. д.

2) Наблюдающиеся смены различных фаун и флор, погребенных в слоях, обнаруживают одну и ту же последовательность на всей земле, т.-е. слои одинаковой древности и включают одинаковые или

сходные окаменелости; соседние слои, образовавшиеся непосредственно один за другим, содержат окаменелости близких форм, обнаруживающих постепенность изменения организмов.

3) Семейства, роды и виды имели определенный срок существования, после которого они вымирали, и вымершие формы вновь не появлялись.

На основании такого прогрессивного изменения организмов явилась возможность подразделить геологическое время на периоды, отличающиеся: во 1-х, появлением новых типов, во 2-х, развитием и преобладанием некоторых типов, появившихся раньше, и, в 3-х, вымиранием других, преобладавших прежде. Каждому периоду соответствует определенный комплекс слоев, характеризующийся соответствующею фауною и флорою и называемый геологическою системою. Следовательно, каждой системе, как стратиграфической единице, соответствует определенный период времени, как хронологическая единица. Само собою разумеется, что постепенное изменение организмов не прекращалось в пределах одной и той же системы, а значит отдельные слои ее должны заключать, хотя сходные, но не тождественные окаменелости, а потому каждую систему можно разделить на более мелкие части, называемые отделами; по времени им соответствуют эпохи; наконец, отделы разделяются на ярусы, а ярусы — на зоны, или на отдельные слои, которым соответствуют во времени века.

С другой стороны, различные системы соединяются в большие группы, соответствующие во времени эрам. Из них древнейшая первичная, или протерозойская, группа включает древнейшие осадочные образования, в большей части настолько сильно измененные (метаморфизованные), что в них не сохранилось органических остатков; сюда относятся системы: архейская, сложенная вполне перекристаллизовавшимися осадками, и алгонская, в которой часть осадков сохранила нормальный характер, и тогда в них попадаются редкие органические остатки, уже почти не отличающиеся от кембрийской фауны. Отсюда ясно, что вся древнейшая история органического мира для нас потеряна в метаморфических породах, и мы застаем органический мир (в кембрийский период) уже в значительной степени дифференцированным, так как он включает представителей почти всех типов (кроме позвоночных, сосудистых и тайнобрачных растений).

Следующая древняя, или палеозойская, группа (или эра) состоит из систем кембрийской, силурийской, девонской, каменноугольной и пермской. Средней эре жизни земли соответствует мезозойская группа, которая включает системы триасовую, юрскую и меловую. Наконец, новая эра, или кенозойская группа, включает

все последующие осадочные образования до настоящего времени, т.-е. третичную и четвертичную системы.

Если окаменелости играют такую же роль в истории земли, как письменные документы в истории человечества, то протерозойскую эру нужно считать доисторической в жизни земли, а все остальные эры, соответственно разделению истории человечества, должны представлять: древнюю, среднюю и новую историю земли, или исторический период.

Повидимому, простой способ определения древности осадков по окаменелостям встречается, однако, много затруднений и усложнений. Затруднения обуславливаются прежде всего неполным сохранением организмов прежних периодов; не только многие виды и роды, но даже целые классы животных не оставили следов или вследствие грубого сложения осадков, например, в крупнозернистых песчаниках, конгломератах и пр. редко сохраняются окаменелости, или же вследствие нежности самих организмов и отсутствия в них твердого скелета или покрова, например, насекомые, черви, оболочниковые и пр. очень редко или даже почти не попадают в окаменелом состоянии. Само собой разумеется, что такие пробелы, восполнить которые едва ли возможно и в будущем, значительно подрывают основы самого метода, который мог быть более совершенным.

Что касается усложнений, то они зависят от разнообразия условий жизни организмов, т.-е. среды, климата, почвы и пр., которые в прежние эпохи имели такое же значение для горизонтального распределения одновременных организмов, как и в современную. Подобно современным, вымершие организмы обитали в различной среде: на суше, в море и пресных водах; а потому все осадки, заключающие организмы одной и той же среды, хотя бы и разной древности, называются изомезичными, а в противном случае — гетеромезичными. Организмы одной и той же среды как в настоящую, так и в прежние эпохи разделяются на несколько областей или провинций, например, бореальная, субтропическая и пр. Осадки, содержащие организмы одной и той же провинции, называются изотопичными, а разных провинций — гетеротопичными. Наконец, в пределах одной и той же провинции организмы различаются в зависимости от частных местных условий, например, в морях: прибрежные, пелагические и пр.; эти отделы называются фациями. Осадки одинаковой фации называются изопичными, а разных фаций — гетеропичными. Кроме того в земной коре нет ни одного места, где бы все системы находились совместно, в последовательном порядке, напротив, в разных местах они являются отрывками, с большими промежутками; например, на юге Евр. части СССР третичные и меловые слои залегают

прямо на архейских или силурийских, под Москвою меловые и юрские— на каменноугольных и пр. Вследствие всего этого значительно увеличиваются затруднения при определении одновременности осадков, отличающихся фациально и находящихся в разных областях, удаленных друг от друга.

Такие затруднения, равно как еще и другие, зависящие от свойства самих организмов и особенно от разной скорости изменения их при различных условиях, вызывают дробность деления на множество частных и местных ярусов с отдельными названиями, порождают часто недоразумения в параллельности их и затрудняют выяснение физико-географических особенностей минувших эпох, т.-е. распределение суши и воды с их фауной, флорой, климатом и пр. в разные геологические периоды, что составляет конечную цель Исторической Геологии, занимающейся специальным изучением систем.

Тем не менее в настоящее время физико-географические условия минувших периодов построены для отдельных, лучше изученных, стран, а в общих чертах— и для всей поверхности земного шара. Большим подспорьем здесь явились палеоокеанографические исследования, т.-е. определение фациального характера осадочных образований; имея наличие различных фаций и их распределение по поверхности страны, можно пытаться воссоздать те физико-географические условия, при которых должно было быть данное распределение осадков. Оказалось, что земная поверхность в течение исторического времени постоянно представляла ряд высоких и неподвижных платформ, или континентальных массивов, разделенных более пониженными и пластичными областями, в которых на дне происходило накопление мощных осадков, затем горообразовательными движениями собиравшихся в складки, приподнимавшиеся в виде горных хребтов; эти пластические области получили название геосинклиналей (см. гл. III). Континентальные массивы только периодически покрывались морем, и осадки последнего почти не претерпели никаких изменений и перемещений.

Сказанным разрешается один из крупнейших вопросов геологии о постоянстве континентов. Прежде предполагалось, что одна и та же область земного шара периодически могла быть то сушей, то дном глубокого моря; теперь считают, что континентальные платформы покрывались лишь временами мелким морем, не нарушавшим их положения на поверхности земли в виде приподнятых массивов.— так же, как постоянством характеризуются и разделявшие такие массивы глубоководные впадины, размеры которых, впрочем, изменялись процессами складкообразования. Однако, иногда наступала перегруппировка, или разрывание континентальных массивов, и важнейшим таким моментом является начало каноэической эры, когда материковые платформы при-

няли современные очертания (хотя береговая линия еще значительно отличалась от нынешней, так как они частью были залиты морем); до того очертания их были значительно иные, например, Европа была соединена с С. Америкой, так называемым, Северо-атлантическим континентальным массивом, Африка с Ю. Америкой на запад и на восток с Австралией — материком Гондваной, а между теми и другими, в широтном направлении, простиралась впадина (геосинклиналь), которую непрерывно выполняло обширное Средиземное море или Тетис. Такие физико-географические условия существовали в течение всей мезозойской эры, а отчасти и палеозойской.

Основные стратиграфические подразделения с указанием главных руководящих окаменелостей приведены для справочных целей в нижеследующих таблицах.

К Е М Б Р И Й

Отделы	Богемия	Уэльс	Швеция	Прибалтий- ский край	Ю. Европа	Сибирь	С. Америка
Верхний	С _γ Эффузивы, песчаники, граувакки, конгломераты.	Дикционе- мовые сланцы Лингулевые плитняки с <i>Lingulella</i> и <i>Obolus</i> .	Квасцо- вые и битуминозные сланцы, воюющие известняки, вверху с <i>Olenus</i> , внизу с <i>Paradoxides</i> .	Дикционе- мовый сланец. Унгулитовый песчаник с <i>Obolus</i> <i>Apollinis</i> .	Немые сланцы.	Песчаники и известняки с <i>Obolus</i> <i>Apollinis</i> .	Потсдамский Известняки и доломиты с <i>Dicellocerphalus</i> . Песчаники.
Средний	С _β Глинистые сланцы с <i>Paradoxides</i> .	Сланцы и песчаники с <i>Paradoxides</i> .			Сланцы с <i>Paradoxides</i> .	Сланцы, песчаники и известняки с <i>Dorypyge</i> , <i>Anomocare</i> , <i>Agraulos</i> .	Акадийский Известняки и сланцы. Пестрые песчаники с <i>Olenoides</i> .
Нижний	С _α Песчаники с <i>Rtychoraria</i> . Конгломераты и граувакки.	Красные песчаники, сланцы и конгломераты с <i>Olenellus</i> .	Фукоидный и зофитоновый песчаники с <i>Olenellus</i> .	Фукоидный и зофитоновый песчаник с <i>Mickwitzia</i> , <i>Olenellus</i> . Синяя глина. Песчаники и конгломераты.	Известняки с <i>Archaeocyathidae</i> .	Известняки с <i>Archaeocyathidae</i> . Песчаники и конгломераты.	Георгийский Красные и пестрые песчаники и сланцы с <i>Olenellus</i> .

Отделы	Богемия	Уэльс	Швеция	Прибалтий- ский край	Урал	Сибирь	Туркестан	С. Америка
В е р х н и й (Готландский)	$F_1 = e\gamma$ Известняки с <i>Hercynella</i> . $E_2 = e\beta$. Известняки с <i>Atrypa marginalis</i> . $E_1 = e\alpha$ Граптолитовые сланцы.	Яруса: Даунтонский — песчаники и сланцы с <i>Eurypterus</i> . Лудловский — известняки. Венлокский — известняки и сланцы. Лландоверский — песчаники, сланцы и известняки.	Готландские известняки Мергеля с <i>Eurypterus</i> . Сланцы с граптолитами.	Эзельские известняки и доломиты, местами с <i>Eurypterus</i> . Известняки с гладкими <i>Pentamerus</i> (<i>P. borealis</i> , <i>P. oblongus</i>). Сланцы с <i>Leperditia</i> .	Сланцы и песчаники, реже известняки с <i>Halysites</i> и <i>Atrypa marginalis</i> .	Песчаники и глины с гипсом и солью. Известняки с <i>Halysites</i> , <i>Favosites</i> и брахиоподами.	Светлые изв. с <i>Bumastus</i> и <i>Atrypa marginalis</i> . Темные изв. и сланцы с <i>Encrinurus</i> , брахиоподами. Граптолитовые сланцы.	Доломиты и цементные известняки с <i>Eurypterus</i> . Ниагарские известняки с морской фауной. Песчаники и конгломераты.
Н и ж н и й (Ордовичский)	$D = d$ Сланцы, граувакки, песчаники с <i>Asaphus</i> и др. трилобитами и граптолитами.	Карадокский — сланцы. Лландейльский — сланцы и известняки. Аренигский — сланцы. Тремадокский — сланцы.	Известняки и сланцы с трилобитами и граптолитами.	Известняки с кораллами и брахиоподами. Кукерский — горючий сланец. Эхиносферитовый. Ортоцеритовый. Глауконитовый. Глауконитов. пески.	Сланцы, кварциты и песчаники.	Известняки. Красноцветные песчаники и глины. Известняки с <i>Asaphus</i> . Глины и песчаники, внизу красноватые с гипсом.	Песчаники с <i>Homalotus</i> и <i>Amplexus</i> . Песчаники, сланцы и известняки.	Песчаники, сланцы с граптолитами. Трентонские известняки с <i>Endoceras</i> . Известняки, песчаники и сланцы.

Д Е В О Н.

Отде- лы	Яруса	Шотландия	Богемия	Рейнская область	Центральная Россия	Сев.-Зп. Россия	Тиман	У р а л	Турке- стан	С. Америка
Н и ж н и й	Жедин- ский	Д р е в н и й к р а с н ы й п е с ч а н и к								
	Кобленц- ский									
	Эйфельский									
	Живетский									
С р е д н и й		Д р е в н и й к р а с н ы й п е с ч а н и к								
В е р х н и й	Франский	Д р е в н и й к р а с н ы й п е с ч а н и к								
	Фаменский									

К А Р Б О Н.

Отделы	Флоры	Бельгия	Англия	Силезия	Средняя Россия	Донецкий бассейн	Урал	Туркестан	Кузнецкий бассейн	Кавказ	С. Америка
Верхний	Стефанская	—	—	Песчаники и сланцы с раст.	Швагериновые известн. Гжелские доломиты с <i>Spirifer supramosquensis</i> .	Швагериновые известняки, пересланяющиеся с песчаниками и глин. сланцами, внизу с раб. пластинами угля.	Известн. и доломиты вверху с <i>Schwagerina</i> .	Фузулиновые и швагериновые известн., сланцы, песчаники и туфы.	Ангарская свита. Песчаники, конгломераты и глинистые сланцы с растительными остатками и углем.	Известн. с морской фауной (<i>Richthofenia</i>).	Верхняя угленосная толща и слон с гониатитами и фузулинами.
Средний	Вестфальская	Продуктивная толща. Песчаники и сланцы с гониатитами.	Продуктивная толща, жерновые песчаники, сланцы с гониатитами.	остатками и углем.	Известн. со <i>Spirifer mosquensis</i> .	Песчаники и глин. сланцы с подчиненными прослоями известняков со <i>Spirifer mosquensis</i> . Рабочие пласты угля вверху.	Известн. со <i>Spirifer mosquensis</i> .	Известняки со <i>Sp. mosquensis</i> .		Песчаники, глинистые сланцы с растит. остатк.	Средняя и нижняя угленосные толщи и слон с гониатитами.
Нижний	Кульмовая	Известняки Визейские. Турнейские. Этреньские.	Известняки с зонами: D — <i>Dibunophyllum</i> S — <i>Seminula</i> C — <i>Caninia</i> Z — <i>Zaphrentis</i> K — <i>Cleistora</i> . Пильтонские слои.	Слои с <i>Productus giganteus</i> . Слои с <i>Productus sublaevis</i> .	Известн. с <i>Productus giganteus</i> . Угленосная толща. Малевко-муравьинские слои.	Известняки с <i>Productus giganteus</i> с просл. глин. сланц. и песчан. Известн. со <i>Spirifer tornacensis</i> . Изв. с малевкомур. фауной.	Изв. с <i>Pr. giganteus</i> . Угленосн. толща. Изв. с турнейской и этреньской фаунами.	Изв. с <i>Pr. giganteus</i> . Изв. с турнейской фауной с <i>Productus deruptus</i> . Изв. с <i>Pr. cf. mesolobus</i> .		Конгломераты. Изв. с турнейской фауной (<i>Productus burlingtonensis</i>).	Честер. Сен-Луи. Кеокук. Берлингтон. Киндерхук.

П Е Р М Ь.

Отделы	Эпиконтинентальные бассейны				Геосинклинали: средиземноморская и тихоокеанская	Континенты: Ангарский и Гондвана
	Германия	Приуралье	Окский бассейн	Донецкий бассейн		
и й	Гипсоносная толща с штоками соли.	Татарский ярус: пестроцветная песчано-мерг. толща. Казанский (цехштейн): конхиферовые и брахиоподовые слои.	Пестроцветная песчано-мерге- листая толща с гипсом и солью.	Красная глина и мергеля с гипсом и солью.	Разнообразные морские отложения, точное стратигра- фическое положе- ние не всегда уста- новлено. Восточные Альпы: внизу шва- гериновые извест- няки;верху бел- лорофоновые из- вестняки. Сицилия: известняки Sosio. Кавказ: известняки Джульфы. Индия: известняки с Productus и ам- монейми. Туркестан: известн. Дарваза с аммо- нейми. Индо-Китай: изв. с Neoschwagerina и Sumatrina. Известн. Тимора. Дальний Восток и Япония: известняки с Lyttonia и Heli- coprion.	Песчано- глинистые отложения, иногда с растительн. остатками (Glossopteris).
В е р х н й	Цехштейн. Медистые сланцы.	Уфимский ярус: красноцветная, песч. мергел. толща.	Изв. и доло- миты с пеле- циподами.	Шваге- риновые доломиты с брахио- подовой фауной.		
Нижний (Пермо-Карбон)	Мертвый красный лежень.	Кунгурский: доломиты и извест- няки с гипсом. Артинский: песчаники и из- вестняки с аммо- нейми, брахио- подами и села- хиями.	Известняки с брахио- подами.			

Т Р И А С.

Отделы	Германия	Астраханские степи	Восточные Альпы	Кавказ	Сибирь	Ангарский континент.
Верхний	Рэт: Песчаники. Кейпер: Мергеля и песчаники.	—	Сланцы, мощные известняки и доломиты. Сланцы и песчаники.	Известняки и сланцы с <i>Pseudomonotis</i> <i>caucasica</i> .	Сланцы и песчаники с <i>Pseudomonotis</i> <i>ochotica</i> .	Пестро- цветные песчаники, мергеля и глины со стего- цефалами в Ср. России. Мощные песчаники и глинистые сланцы с углем.
Средний	Раковинный известняк: известняки и доломиты, местами с прослоями угля, глины и соли.	—	Мощные известняки.	Серые известняки с <i>Monophyllites</i> .	Слои с <i>Monophyllites</i> .	
Нижний	Пестрые песчаники: песчаники, конгломераты и глины, наземные и морские.	Известняки с <i>Balatonites</i> и др. и пестро- цветные мергеля.	Мелко- водные толщи с пелели- подами.	Кремнистые известняки с <i>Pseudomonotis</i> <i>veneziana</i> .	Черные глинистые сланцы с цератитами <i>Olenekites</i> .	

Ю Р А.

Отде- лы	З. Европа		Ср. Россия	Донецкий бассейн	Крым—Кавказ	А л ь п ы	Сев. Америка
Верхний. Малм	П у р б е к: пресно- водные слои. П о р т л а н д: морские извест- няки. К и м м е р и д ж: Коралловые известняки. О к с ф о р д. К е л л о в е й.	Глины и песчаники	Волжский ярус: глины и пески с Virgatites. Киммеридж и оксфорд: глины с Cardioceras. Келловей: глины и мергеля с Cadoceras.	Немые песчаники. Коралловые известняки, песчаники с раст. остатками.	Мощные коралловые известняки.	Т и т о н: известняки с аммонитами. Известняки и сланцы с аммонитами и кораллами.	Пресноводные слои. Песчаники и мергеля с аммонитами.
Средний. Доггер	Батский и байоский яруса.	Глины и песчаники с аммонитами	Песчаники и глины с Parkinsonia.	Песчаники и глины с аммонитами (Parkinsonia).	Глины и песчаники с Parkinsonia.	Сланцы и известняки с аммонитами.	Пресноводные и лагунные слои.
Нижний. Лейас.	Верхний. Средний. Нижний.	Глины с аммонитами	—	Сланцы с Hildoceras. Песчаник и сланцы с раст. остатками.	Сланцы и песчаники с раст. остатками и углем.	Известняки с аммонитами и сланцы с раст. остатками.	

От- делы	Яруса	Ю. Англия и С. Франция	С. Германия	Ю. Россия и Поволжье	Кры м	Закавказье	А л ь п ы	Туркестан	С. Америка
Верхний	Датский. Сенон- ский. Эмшер- ский.	Мергеля с <i>Nautilus</i> <i>danicus</i> . Верхний мел.	Коралловый известняк. Белый мел. Квадерные песчаники и пленэрные известняки.	— пески и глины с <i>Belemnitella</i> . Слои с губками. Мергеля с иноцера- мами. Пески и глины с <i>Hoplites</i> .	Известняки с <i>Crania</i> . Белые рухляки и мергеля со <i>Scaphites</i> , <i>Belemnitella</i> и <i>Inoceratus</i> .	Известняк с <i>Belemnitella</i> , морскими ежами и гип- пуритами.	Флиш. Гозау и др. слои. Известняки мергеля и глины с аммонитами. Берриас.	Разнообраз- ные извест- няки, мерге- ля и глины с богатой, южной, морской фауной: рудисты, аммониты.	Пресновод- ные слои Ларами. Слои Монтана. Белый мел.
Средний	Турон- ский. Цено- манский. Альб- ский (гольт).	Средний мел. Нижний мел. В. зеленый песчаник. Черная глина.	Пески и мергеля с аммони- тами.			Известняк с <i>Acanthoce- gas</i> .		Мощные красно- цветные песчаники и конгло- мераты, не- мые или с соленовато- водной или с морской фауной.	Известняки и мергеля с аммони- тами: слои Колорадо. Пресновод- ные слои Дакота.
Нижний	Аптский. Баррем- ский. Готерив- ский. Валан- жинский.	Н. зеленый песчаник. Вельд: наземные и пресно- водные отложения.	Глины гильса. Вельд.	Слои с <i>Parahoplites</i> . Симбирская глина с <i>Sim- birskites</i> . Глины с <i>Ro- luptychites</i> . Рязанский горизонт с <i>Hopl.</i> <i>riasanensis</i> .	Пестрые глины с <i>Belemnites</i> <i>semicanali- culatus</i> . Известняки с аммонитами Песчаники с кораллами. Мергеля и песчаники с аммонитами.	Зеленые песчаники с <i>Desmosceras</i> . Известняки с рудистами. Песчаники и рухляки.			Пресновод- ные слои Потомак.

Третичная система.

Отделы		Яруса	Англия	Ю. Европа	Днепр и Дон	Поволжье	Каспийско-Черноморский бассейн	Зап. Сибирь	Туркестан
Неоген	Плиоцен		Креги: Коралловые и ракушняковые известняки.	Палюдиновые слби.	—	—	Понт. Слои Чауды Куяльницкие Киммерийские	Каспий: Бакинский Апшеронский Акчагыльский Нефтеносный	Континентальные серые и пестроцветные толщи песчаников и конгломератов.
	Миоцен		—	Понтический яр. Сарматский яр. 2-ой Средиземн. яр. 1-й Средиземный яр.	—	—	Понтический ярус. Мэотический ярус. Сарматский ярус. Морские средиземно-морские слои.	Континентальные пески и глины с Unio, раст. остатками и Mastodon.	
	Олигоцен		Морские слои. Пресноводные слои. Морские слои.	Пресноводные молласы: черные рыбные сланцы.	Полтавский яр.: пески и глины с раст. остатк. Харьковск. яр.: глауконитовые пески.	Царицынский ярус: глины, мергеля и пески с морской фауной.	Майкопская свита: глины и пески с нефтью. Рыбные и фораминиферовые глины и мергеля.	Пески с лигнитом и янтарем. Глины с морской фауной.	Пески, глины и мергеля с морской фауной.
	Эоцен		Глины, пески и известняки с морской фауной.	Нуммулитовые известняки или флиш.	Киевский яр.: синяя глина и белые мергеля. Бучакский яр.: песчаники с раст. остатк.	Камышинский ярус: песчаники с раст. остатками.	Нуммулитовые известняки. Флиш: немые, прибрежные песчаники и сланцы.	Опоки с губками и зубами акул.	Мергеля и песчаники с нефтью. Ферганский ярус: мергеля, известняки с устрицами.
	Палеоцен		Глины и песчаники с богатой морской фауной.	Морские известняки и пресноводные глины и песчаники.	Каневский яр.: пески с морской фауной.	Саратовск. яр.: пески с морской фауной. Сызранский яр.: морские глины и пески.	Известняки и мергеля с морской фауной. Флиш.	Пески с Sargina.	Сузакские слои.

О Г Л А В Л Е Н И Е.

	Стр.
Предисловие	3
Введение	5
Предмет и разделение геологии	5
Литература	10

Ч А С Т Ь I.

Г л а в а I.

Происхождение и физические свойства земли	11
Физические свойства земли	17
Плотность земли	19
Магнетизм земли	21
Теплота земли	24
Состав земной коры	29

Г л а в а II.

Вулканизм	36
Процессы интрузивные	38
Процессы эффузивные	41
Формы залегания изверженных горных пород	66
Число и географическое распределение вулканов	72
Древние вулканические области	73
Заключение	74

Г л а в а III.

Движение земной коры	76
1. Землетрясения	76
Последствия землетрясений	87
Причины землетрясений	93
2. Тектонические процессы	96
А. Молодые складчатые горы	100
Б. Древние складчатые области	101
3. Медленные или вековые колебания — эпейрогенические движения	109
Перемещение берегов. Поднятия и опускания	109
Географическое распространение медленных колебаний	114
4. Причины движений литосферы	118

Ч А С Т Ь II.

Г л а в а IV.

Общий обзор денудационных процессов	125
Геологическая деятельность атмосферы	132
Развевание	136
Перенесение и отложение	143
Дюны и барханы	144
Атмосферная пыль	152
Выветривание	156
Выветривание горных пород	166
Влияние выветривания на рельеф. Делювиальные образования	172
Подземные воды	176
Грунтовые воды	178
Размывающая деятельность подземных вод	188

Оползни и обвалы	192
Деятельность проточной воды	193
Влияние различных особенностей потоков и рек на размывание	204
Влияние геологического строения на размывание	206
Отложение	211
Речные террасы	214
Дельты	218
Деятельность озер	227
Деятельность моря	238
Механическая деятельность прибой волн и течений	238
Намывание	244
Осадки мелководного и более глубокого моря, полупелагические	250
Глубоководные, или пелагические, отложения	253
Химическая деятельность моря	259
Деятельность льда	261
Почвенный лед	262
Речной и озерной лед	262
Морской лед	264
Снег	265
Ледники	267
Формы ледников или типы оледенения	267
Образование ледников	271
Движение ледников	273
Трещины	273
Причины и следствия убыли ледников	275
Механическая деятельность ледников	277
Морены	278
Ледниковое выпаживание	284
Колебания ледников	286
Древнее оледенение	288

Г л а в а V.

Осадочные породы; их классификация и условия залегания	297
Осадочные породы	299
Напластование	299
Нарушение первоначального залегания	309
Складчатость	312
Надвиги, перекрытия	323
Сдвиги	325
Надвиги без складкообразования	326
Сбросы	326
Флексуры	334
Сложные сбросы и флексуры	335
Взаимные отношения пластов	337

Г л а в а VI.

Диagenез и метаморфизм	342
Контактный метаморфизм	342
Дислокационный метаморфизм	345

Г л а в а VII.

Геологическое летоисчисление	352
--	-----

Нижегородская Радиолaborатория
имени В. И. Ленина.

Ж У Р Н А Л
ТЕЛЕГРАФИЯ и ТЕЛЕФОНΙΑ
БЕЗ ПРОВОДОВ.

Редакторы: { проф. В. К. Лебединский.
проф. А. А. Петровский.

Ленинград, В. О., 4-я л., 5, телефон 52-79.

К о н т о р а:

Н.-Новгород, Радионабережная, 8, Радиолaborатория им. В. И. Ленина, телефон 20-46.

№

Основан 1918 founded.

Nizhny-Novgorod Radiolaboratory of the name
of W. I. Lenin.

A Magazine of Wireless Telegr. & Teleph.
TELEGRAFIA I TELEFONIA
BEZ PROVODOV.

Editors: { prof. W. K. Lebedinsky.
prof. A. A. Petrowsky.

V. O., 5, 4th line, Leningrad, Russia.

Subscription-office:

Nizhny-Novgorod, 8, Radio-Quay

".....".....192 г.

7H

5766