

Э. КАНЖЕР

БРАТЯ И

КУР

ОБЩЕ

ГЕОЛОГИИ

ОБЪЕМ 1922

Э. КАЙЗЕР

КРАТКИЙ КУРС ОБЩЕЙ ГЕОЛОГИИ

перевод Марии МИРЧИНК
с четвертого и пятого
немецких изданий

под редакцией
и с дополнениями
проф. А. А. ГАПЕЕВА

ИЗДАНИЕ ПЯТОЕ
(СТЕРЕОТИПНОЕ)

550
10/15
55/075



1894
636



ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО НКТН СССР
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДЧНОЙ
И ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1935 ЛЕНИНГРАД



ГР-65-5 (4)-2.

D-r EMANUEL KAYSER

ABRISS

DER ALLGEMEINEN GEOLOGIE

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Предисловие к пятому русскому изданию	Стр. 5
Предисловие ко второму русскому изданию	6
Введение	7

ПЕРВАЯ ЧАСТЬ.

ФИЗИОГРАФИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ.

I. Астрономо-геофизический отдел.

Земля как член солнечной системы	11
Строение остальных членов солнечной системы и теории происхождения всей системы	12
Форма, величина и плотность Земли	18
Теплота Земли и состояние земного ядра	21
Происхождение и первоначальное состояние Земли	24
Разделение осадочных отложений	26
Диастрофическое расчленение	27
Климатические соотношения геологического прошлого	29
Геологическое летоисчисление	38
Магнитные явления Земли	40
Земной магнетизм	—
Магнетизм горных пород	41

II. Географический отдел.

Атмосфера	42
Водная оболочка океанов	44
Очертания суши	46
Форма поверхности суши	48

III. Петрографо-тектонический отдел.

Вещество земной коры	52
Химические и механические составные части	—
Главные свойства горных пород	54
Общий состав	—
Составные части	—
Структура	55
Текстура или характер расположения составных частей в породе	56
Отдельность	57
Залегание	58
Классификация горных пород	65
Кристаллические сланцы	66
Массивно-кристаллические или изверженные горные породы	69
Осадочные породы	77
Краткое изложение учения о строении напластований (тектоника)	82
Наклон пластов	83
Складчатость	84
Надвиги	87
Флексуры или коленчатые складки	88
Сбросы	89

ВТОРАЯ ЧАСТЬ.
ДИНАМИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ.

А. Экзогенные процессы (ВНЕШНЯЯ ДИНАМИКА).

I. Действие атмосферферы.

	Стр.
Эоловое развевание	93
Эоловые отложения	96

II. Действие воды.

Метеорная вода и выветривание	101
Деятельность подземной воды	114
Действие текучей воды	123
Деятельность озер	138
Деятельность льда	141
Денудация	148
Деятельность моря	150

III. Деятельность организмов.

Разрушительная деятельность	158
Созидательная деятельность	159
Современные и ископаемые коралловые рифы	163

Б. Эндогенные процессы (ВНУТРЕННЯЯ ДИНАМИКА).

I. Вулканические извержения.

Глубинные извержения	169
Поверхностные извержения	171
Деятельные вулканы	176
Процесс денудации вулканов	181
Число и распределение вулканов, причины вулканической деятельности	183
Древнейшие изверженные породы. Контактный и пневматолитический метаморфизм	185

II. Процессы движения литосферы.

Землетрясения или сейсмические явления	188
Процессы горообразования	200
Дислокационный метаморфизм или динамометаморфизм	217
Изменения уровня континентов (поднятия и опускания)	224
Причины движения литосферы	230

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЯТОМУ РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

В предисловии ко второму русскому изданию перевода «Краткого курса общей геологии» Э. Кайзера указывалось на достоинства книги.

Второе, третье и четвертое издания разошлись в очень короткий срок. Однако погрешность в книжке типа книги Э. Кайзера, дающей в сжатой, частью почти конспективной форме значительный фактический материал, еще не исчерпана.

Не отрицая некоторых недостатков книги, относящихся главным образом к построению ее и формально-описательному характеру изложения материала в ней, Редакция считает возможным выпустить новое стереотипное издание, внося в него лишь исправления опечаток, и не снимая с очереди издания столь же краткого и сжатого учебника, уже полностью отвечающего современным требованиям.

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ РУССКОМУ ИЗДАНИЮ.

Первое издание русского перевода «Краткого курса общей геологии» Э. Кайзера¹ разошлось менее чем в полтора года.

Этот успех свидетельствует о том, что книга оказалась полезной и нужной не только в Германии, где она выдержала несколько изданий, но и у нас в СССР.

В чрезвычайно небольшой объем автор сумел не только вложить все необходимые фактические сведения по общей геологии, но и осветить новые особенно важные научные воззрения.

В настоящее время при необходимости срочной подготовки кадров в новых условиях жизни и работы наших вузов и втузов этот учебник найдет себе еще более широкое применение. Сжатость, местами даже конспективность изложения выгодно отличают «Краткий курс общей геологии» Э. Кайзера от ряда других научных пособий, иногда чрезвычайно растянутых и многословных. Это же обстоятельство требует от учащихся добросовестного штудирования и усвоения, ибо выпускать здесь уже нечего.

С другой стороны учащий, разъясняя на семинарских занятиях или сводных лекциях основные начала геологии, должен расшифровать, дополнить, иллюстрировать тот конспективный материал, которым должны овладеть учащиеся.

Прекрасным пособием к «Краткому курсу» для учащего явится также выдержавший в Германии несколько изданий полный курс Э. Кайзера: «Lehrbuch der allgemeinen Geologie».

Для иллюстрации геологических явлений примерами родной природы необходимо конечно использовать и наши более полные руководства.

Во втором нашем издании «Краткого курса» увеличено число дополнений редактора, введено описание применения горного компаса и приведена классификация массивно-кристаллических пород по А. П. Павлову, получившая у нас, особенно среди московских геологов, широкое распространение.

Редактор.

¹ Переведена первая половина работы Э. Кайзера, трактующая вопросы общей и динамической геологии. Вторая часть — историческая геология — в виду наличия на русском языке соответствующих руководств осталась не переведенной.



ВВЕДЕНИЕ

Геологией называется наука о свойствах, о минеральном составе, о строении и об истории нашей Земли.

Под словом Земля мы должны прежде всего подразумевать твердую кору нашей планеты. Хотя воздух и водная оболочка, равно как и растительный и животный мир нашей Земли, составляют одно нераздельное целое, все же эти три так называемые сферы — атмосфера, гидросфера и биосфера — имеют для геологов значение лишь постольку, поскольку они влияют на твердую кору или литосферу. Эта кора и составляющие ее горные породы и являются главным предметом геологических исследований.

Геология не ограничивается изучением состава, строения и способа образования составляющих земную кору горных пород. Она идет дальше, она стремится познать историю развития земного тела. Это и составляет ее важнейшую и труднейшую задачу. На вопрос, каким образом геология доходит до своих главнейших достижений, можно ответить: путем изучения горных пород земной коры. Это требует краткого пояснения. Наша Земля имеет неизмеримо большое прошлое. Прежде чем она достигла своего современного состояния, она прошла длинный ряд промежуточных фаз, весьма различных в физическом, географическом, климатическом и биологическом отношениях. Все эти различия отражаются в бесчисленных взаимно перекрывающихся друг друга отложениях земной коры. Эти отложения возникли в течение неизмеримо продолжительных промежутков времени и своими особенностями обязаны различным условиям своего образования.

Горные породы имеют для геолога такое же значение, как для историка писанные или печатные документы, а для археолога — орудия, оружие и прочие относящиеся к данному времени памятники; они являются для него средством воссоздания истории Земли.

Поясим примерами, к каким интересным заключениям может прийти геолог на основании свойств горных пород. Представим себе, что где-нибудь в средней Европе, далеко от моря мы нашли известняк, составленный коралловыми рифами юрской системы.¹ Этот известняк свидетельствует о том, что во время его образования море было там, где теперь находится суша. С другой стороны тот факт, что строящие рифы кораллы требуют теперь для своего существования условий тропического моря, доказывает, что в момент образования нашего известняка,

¹ Эти понятия будут пояснены далее (стр. 30). Ред.

в юрское время, климатические условия средней Европы должны были резко отличаться от современных.

То обстоятельство, что большие рифы расположены теперь всегда вблизи морских берегов, заставляет нас рядом с нашими ископаемыми рифами искать следов древней суши. Эти исследования при благоприятных обстоятельствах дадут нам точные указания о распространении и форме рифа, о геологических соотношениях окружающей его местности; они предоставят нам определенные данные, на основании которых мы можем судить о форме этой части земной поверхности в юрское время. На этом примере видно, как при помощи простых наблюдений, приуроченных к условиям образования известняка, можно разрешить целый ряд важных географических, климатических и биологических вопросов для отдаленного периода истории Земли.

Можно взять другой, более сложный пример. Предположим, что в северо-германской равнине мы имеем перед собой выход четвертичного валунного мергеля, т. е. широко распространенной неслоистой валунной глины, беспорядочно усеянной валунами и гальками разнообразнейшего строения, величины и петрографического состава. Подробное изучение этого своеобразного образования устанавливает, что большая часть валунов происходит из Скандинавии, что многие из них сглажены и изборозжены, подобно валунам наших ледниковых морен, и что вообще все свойства валунной глины совпадают с подобными же свойствами донной морены современного ледника. Все эти выводы привели геологов к убеждению, что в относительно очень юный период истории Земли весь север Германии был погребен под мощным ледниковым покровом, подобным тому континентальному леднику, который теперь покрывает Гренландию. Эти ледяные массы сплошным покровом распространялись от Скандинавии через всю Германию. Они несли северо-германской низменности бесчисленные обломки горных пород; они же доставили материал для мощных отложений галечников, песка и глин северо-германских четвертичных отложений.

Оба эти примера наглядно показывают, как каждый камень сам повествует свою историю. Эта история есть не что иное, как отрывок общей истории Земли, и нам остается лишь соединить все эти отдельные части, чтобы получить историю Земли в ее целом.

Очень важно, чтобы эта история не ограничивалась мертвой природой земного тела, но обнимала собой и органическую жизнь. Обе стороны изучения связаны между собой: значительная часть горных пород, кроме минеральных составных частей, содержит также и остатки растений и животных, которые существовали во время их образования. Изучение таких остатков (окаменелостей), установление различий, которые имеют ископаемые формы в следующих друг за другом системах осадочных пород, знакомят нас с ходом развития органической жизни нашей Земли, начиная с древнейших времен и кончая современностью.

Само собой понятно, что при существовании многочисленных пробелов возможно различно толковать одни и те же геологические документы. Поэтому воссоздание истории Земли является задачей далеко не легкой. Понятно также, что нужна специальная подготовка, чтобы из особен-

ностей какой-нибудь горной породы вывести правильное заключение о способе ее образования. Нужно уметь читать письмена, в которых природа записала свою историю, и уметь их расшифровывать. Для этого нужно обладать не только многочисленными физическими, химическими, метеорологическими, минералогическими, палеонтологическими, биологическими и иными знаниями, но прежде всего и точным знакомством с теми условиями и обстоятельствами, при которых вообще происходит образование горных пород. Лишь тот сможет правильно объяснить образование вышеупомянутых юрских рифовых известняков, кто хорошо знаком с жизнью и условиями роста современных коралловых рифов; только тот ясно представит образование четвертичного валунного мергеля, кто знает действие современных ледников, их работу и отложения.

Следовательно главная задача геологии — ознакомиться со всеми явлениями, ведущими к образованию горных пород. Для этого необходимо изучить всю совокупность действующих на земной поверхности сил, ибо в результате почти всех геологических явлений, — независимо от того, происходят ли они на земной поверхности или в ее недрах, относятся ли они к роду явлений вулканических или к процессам выветривания и замещения, проявляется ли деятельность моря, рек, ледников, пустыни, — всегда образуются громадные минеральные массы, т. е. горные породы.

Та ветвь геологии, которая изучает геологические процессы, происходящие до сих пор на Земле, названа знаменитым американским геологом Дэна (James Dana) динамической геологией. Она является одной из самых важных частей геологии, потому что силы, которые теперь господствуют на Земле, действовали и в предшествующее геологическое время. Таким образом динамическая геология дает нам ключ к пониманию геологических явлений прошлого.

Динамическая геология является главным содержанием так называемой общей геологии. На основании всего нами сказанного ясно, что общая геология рассматривает основные вопросы геологической науки. С нее мы и начнем. Другим одинаково важным отделом нашей науки является стратиграфическая геология или наука о геологических системах отложений.

Общая геология.

Собственно основу общей геологии, как уже было упомянуто, составляет динамическая геология; кроме того в общей геологии рассматривается ряд других вопросов. Одни из них, как например строение, плотность, теплота земного тела, общее расчленение его; поверхности и т. д., отчасти затрагивают другие родственные науки; другие, например стратиграфия, — чисто геологического порядка. По почину Дэна учение об этих вопросах называют физикографической геологией; она является вступлением к динамической геологии.

Общая геология таким образом распадается на два отдела: 1) физикографическую геологию и 2) динамическую геологию.

1. Физикографическая геология. В первом отделе, астрономо-геофизическом, Земля рассматривается как

небесное тело; рассматривается и ее отношение к остальным членам нашей солнечной системы. Это дополняется сведениями о других планетах, Солнце, а также теориями о возникновении солнечной системы.

Во втором отделе, географическом, будут рассмотрены главные части земного тела: атмосфера, гидросфера и твердое земное ядро. Наконец в последнем отделе, петрографо-тектоническом, будет брошен взгляд на химический и минеральный состав земной коры, на главные признаки и подразделения горных пород и на способ их залегания. Наконец будет дан очерк учения о строении пластов или тектоники.

II. Динамическая геология. Несмотря на необыкновенное разнообразие, все происходящие на Земле явления могут быть разделены на две больших группы: эндогенные явления, которые вызваны силами, принадлежащими самому земному телу, и экзогенные, источник которых лежит вне Земли, а именно в Солнце. В экзогенных процессах, в проявлениях внешней динамики, главное значение принадлежит теплу, излучаемому Солнцем; им обуславливается и круговорот воды на Земле, и движение атмосферы и морской воды, и вся органическая жизнь, т. е. целый ряд могущественных факторов для постоянного изменения земной поверхности. Причиной эндогенных процессов, явлений внутренней динамики, является действующее в течение всего геологического прошлого и продолжающееся до сих пор охлаждение земного ядра.

Явления внешней динамики, по почину знаменитого английского геолога Ляйелля (Charles Lyell), делятся на: 1) атмосферные, 2) происходящие в воде, 3) вызванные организмами (происходящие в результате их жизнедеятельности). Процессы внутренней динамики мы разделяем: 1) на вулканические явления и 2) на различные движения земной коры. Последние сопровождаются землетрясениями, горообразованием, механической деформацией горных пород и изменениями уровня моря.

ФИЗИОГРАФИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

I. АСТРОНОМО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ

ЗЕМЛЯ КАК ЧЛЕН СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Земля вместе с остальными планетами вращается с запада на восток вокруг Солнца. Оно находится в центре всей системы; от него все планеты получают свет и тепло.

Масса Солнца превосходит в 330 000 раз массу Земли и в 700 раз массу всех планет, взятых вместе. Солнце удалено от Земли на 20 миллионов географических миль; его диаметр равен 108 диаметрам Земли, объем равен 1 260 000 земным объемам, плотность же вчетверо меньше плотности Земли. Приблизительно в 25 дней оно оборачивается вокруг своей оси с запада на восток.

П л а н е т ы разделяются:

1) на внутренние планеты — средней величины, очень плотные, слабо сплюснутые; сюда принадлежат Меркурий, Венера, Земля и Марс;

2) на мелкие планеты или планетониды, числом свыше 500, видимые лишь в телескоп;

3) на внешние планеты — большой величины, малой плотности, сильно сплюснутые: Юпитер (самая большая из всех планет), Сатурн (замечателен своими кольцами), Уран и Нептун.

Плоскости движения всех планет почти совпадают между собой и с экваториальной плоскостью Солнца. Все планеты, так же как и Солнце, движутся вокруг своих осей в направлении с запада на восток.

Земля таким образом имеет двойное движение: она вращается вокруг своей оси и движется вокруг Солнца. Вращение Земли является причиной смены дня и ночи, движение вокруг Солнца в связи с наклоном земной оси (наклоном эклиптики) обуславливает времена года.

Различные геологические факты привели к заключению, что ось вращения и вместе с ней земные полюса в течение геологических времен меняли свое положение.

Прежние астрономы отвергали мысль о возможности значительного перемещения земной оси; современные, и в особенности Скиапарелли (Schiaparelli), держатся иного мнения; если допускать известную пластичность земного ядра, надо полагать, что большие перемещения массы вещества на или под земной поверхностью вполне могут вызвать перемещение оси вращения и полюсов.

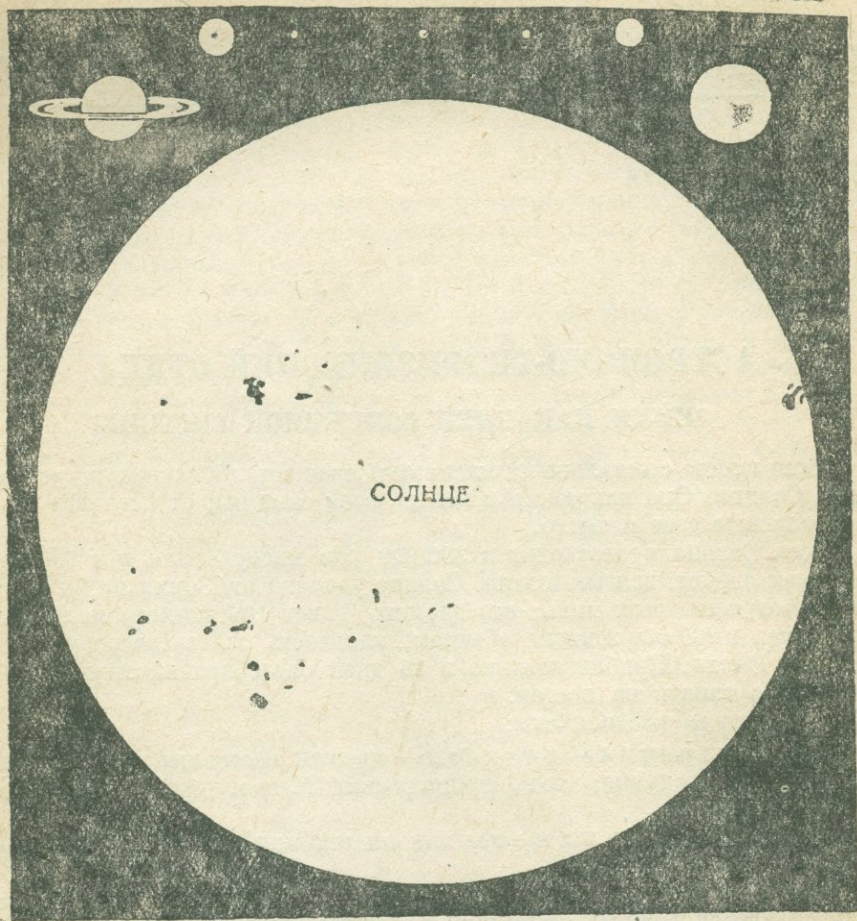


Рис. 1. Относительная величина Солнца и планет солнечной системы (на Солнце группы пятен).

Вверху слева: Сатурн, Нептун, Меркурий, Марс, Земля, Луна, Венера, Уран, Юпитер.

СТРОЕНИЕ ОСТАЛЬНЫХ ЧЛЕНОВ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И ТЕОРИИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ВСЕЙ СИСТЕМЫ

Мы мало знаем точное состояние планет. Лучшее других вследствие своей относительной близости нам известна Луна, да и то лишь одна ее половина, потому что (как и все спутники по отношению к своему центральному телу) она всегда обращена к Земле только одной своей стороной. Ее масса равняется приблизительно $\frac{1}{80}$ массы Земли, ее плотность лишь 3,4, т. е. немного больше плотности земной коры (2,6); это дает возможность заключить, что Луна, так же как и земная кора, состоит из силикатов. Точно установлено, что Луна не имеет ни воды, ни атмосферы. Особенностью ее поверхности являются однообразные кольцевые горы, окружающие находящиеся в их центрах углубле-

ния. Самые большие называются цирками (равнины, окруженные валом), меньшие — кратерами; считают, что они (подобно маарам Эйфеля) возникли вследствие взрывов газов. Во всяком случае существует предположение, что на Луне были вулканические процессы, но теперь она застыла на большую глубину и лишилась своих первоначальных газовой и жидкой оболочек.

Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн обладают атмосферой; кроме того на Марсе у полюсов видны белые пятна, которые принимают за скопление снега; считают, что там есть суша и моря, которые даже обозначены на картах.

О свойствах Солнца стало более известно лишь за последние 50 лет. О том, что оно раскалено, можно судить по колоссальному количеству тепла, которое оно излучает по всем направлениям в мировое пространство. Спектральный анализ показывает, что оно состоит из плотного ядра и обволакивающей это ядро газовой оболочки.

Высокой температурой Солнца (6000 — 8000°) объясняется, что его плотность не превышает $\frac{1}{4}$ плотности Земли. Если же, несмотря на это, солнечное ядро жидко или даже твердо, это является лишь следствием большого давления его атмосферы на внутренние части. Так как Солнце с незапамятных времен теряло теплоту, его прежняя температура должна была быть много выше. Существовало время, когда давление внешних частей на внутренние не могло привести его в жидкое состояние, и все Солнце состояло из раскаленных газов. Наоборот, мы должны заключить, что в далеком будущем все продолжающееся излучение Солнцем тепла приведет к тому, что его ядро покроется корой охлаждения. Тогда Солнце потеряет способность светиться и обратится в темную звезду, которых, как известно, много в мировом пространстве.

Эти следствия вытекают из современного состояния Солнца и в главных чертах объясняются известной теорией Канта-Лапласа о происхождении нашей солнечной системы. Исходя из поразительного совпадения движения Солнца и планет, эти исследователи пришли к заключению, что планеты и их спутники произошли от распада неимоверно большого раскаленного газового первичного шара; благодаря постоянному сгущению этого шара, его вращение все ускорялось. Это влекло за собой увеличение экваториального вздутия шара и в дальнейшем образование кольца, подобного тому, которое благодаря особенно благоприятным обстоятельствам сохранилось у Сатурна. Во всех остальных случаях кольцо разрывалось и из его обрывков образовались отдельные планеты. Так последовательно из главного газового шара образовались планеты, тем же путем возникли и их спутники.

Отношения скоростей движений и плотностей различных членов нашей солнечной системы вполне оправдывают такое представление. Еще большее подтверждение находят эти взгляды в данных спектрального анализа отдаленных небесных пространств. Эти данные подтверждают, что в большинстве, числом до миллиона, неподвижные звезды находятся в состоянии нашего Солнца, т. е. состоят из уплотненного ядра и окружающей его газовой оболочки, тогда как ряд других тел, планетных туманностей, состоит лишь из огромных масс светящихся газов. Таким образом до сих пор мы находим в небесном пространстве примеры всех тех главных фаз, которые были приняты Кантом-Лапласом в развитии нашей солнечной системы. Из этого можно

установить следующий ряд, имеющий значение, далеко превосходящее границы нашей планетной системы: 1) первичный газовый шар, 2) газовый шар с ядром и 3) темное мировое тело.

Разная степень развития различных небесных тел зависит главным образом от различия их величин: заключенная в телах тепловая энергия прямо пропорциональна их объемам (кубам их радиусов), количество же излучаемого тепла прямо пропорционально поверхностям (квадратам их радиусов). Поэтому тело остынет тем скорее, чем меньше его величина. Этим объясняется, почему Луна в отношении остывания так опередила Землю и почему все планеты далеко ушли от Солнца в своем развитии.

Если объединить все выше сказанное, получится такое количество фактов, подтверждающих теорию туманностей, что мы безусловно будем в праве признать ее верной, хотя бы в основных чертах.¹ Согласно этому мы принимаем следующий ход развития планет, в том числе и нашей Земли: газовый шар, затем газовый шар с ядром и наконец отвердевшая звезда. Следовательно Земля возникла из скопления и уплотнения тонкого вещества туманности; вследствие связанного с уплотнением выделения тепла она постепенно перешла в состояние раскаленной жидкости; впоследствии же, благодаря постоянному излучению с ее поверхности тепла в мировое пространство, она остыла и утратила поэтому свою прежнюю способность светиться.

Если стать таким образом на почву теории туманностей, все же нельзя умолчать, что эта теория признается исчерпывающей далеко не всеми геофизиками и астрономами. Правда, исследователи согласны, что все небесные тела представляют собой скопления газов или метеоритной пыли, сконденсированной вследствие общего тяготения; в остальном взгляды современных исследователей более или менее расходятся с теорией Канта - Лапласа и вытекающими из нее следствиями.

Это относится особенно к ряду американских ученых: Чемберлену (Chamberlin), Мультиону (Moulton), Бареллю (Barell) и др.² Согласно этим исследователям планеты возникли из узлов первоначальной солнечной спиральной туманности. Сначала Солнце должно было образовать туманность, чрезвычайно разреженную, сходную с туманностью Ориона. Путем развития, длившегося неизмеримо продолжительное время, из нее наконец могла возникнуть планетная система. Это первичное Солнце без существенных изменений и без особых нарушений в течение огромных периодов времени вращалось и уплотнялось в небесном пространстве; затем оно попало в сферу влияния другого, более могущественного созвездия и силой его притя-

¹ «Без гипотезы туманностей в какой бы то ни было форме мы должны отказаться от всякого объяснения строения планетной системы; все общепризнанные законы природы опираются на эту теорию». (Newcomb - Engelmann, *Populare Astronomie*, 4. Aufl., S. 671, 1910).

² Сравнить в особенности большую новую *Textbook of geology* von L. Pirs-son u. Ch. Schuchert, New-York, 1915, так же как *The evolution of the earth* von Jos. Barrell, Ch. Schuchert und Genossen, New-Haven, 1918, 1919, 1920.

жения было разорвано и превращено в двурукую спиральную туманность. В крыльях этой туманности образовалось впоследствии некоторое количество более плотных раскаленных узлов, сходных с теми, которые и теперь наблюдаются в некоторых спиральных туманностях (рис. 2). Это и были ядра позднейших планет. Составленные первоначально из самых маленьких твердых тел, так называемых планетозималей Чемберлена, они впоследствии притяжением и восприятием дальнейшего планетозимального вещества все больше увеличивались. Взаимные столкновения этих твердых тел (Чемберлен мыслит их пылеобразными или песчинкообразными, Барелль же — значительно большими массами, подобными планетоидам) должны были развить



Рис. 2. Спиральная туманность в созвездии Гончих Псов.

очень высокую температуру; при этом должно было возрасти давление внешних частей все увеличивающихся планет на внутренние. А это имело следствием возрастание их внутренней теплоты. Таким образом вся масса планет постепенно пришла в расплавленное состояние и образовала раскаленное светящееся тело.

Мнение американских исследователей, отличающееся от обычно принятых взглядов, заключается в том, что Луна не является спутником нашей Земли: Земля составляет с ней двойную звезду, в основу которой легли будто бы два узла солнечной спиральной туманности, находящиеся приблизительно на том же расстоянии, каково и теперь между Луной и Землей. Считают, что вначале они были гораздо меньше и только постепенно вследствие падения на них планетозималей увеличились до своих настоящих размеров. Луна будто бы никогда не обладала ни атмосферой, ни гидросферой, потому что вследствие ничтожности своей массы не могла удержать соприкасающихся с ней газов. Земля же приобрела способность удерживать выделяемые ее недрами газы и оделась воздушной и водной оболочками лишь после того, как достигла известных размеров.

Кроме планет к нашей солнечной системе принадлежат еще кометы и метеориты.

На первых мы уже потому можем не останавливаться, что они не являются полноправными гражданами нашей солнечной системы, а лишь посторонними, извне вторгающимися телами.

Гораздо более значения имеют для нас метеориты, которые являются единственным космическим веществом, попадающим в наши руки. Как и всякая земная горная порода, они могут быть нами исследованы, что конечно очень важно. Все эти тела происходят из мельчайших окружающих Солнце масс, которые иногда в своем движении пересекают земной путь. При этом они настолько приближаются к Земле, что притягиваются ею. Вторгаясь с планетной скоростью в атмосферу, они вследствие связанного с этим вторжением трения и согревания накаляются и начинают светиться уже на высоте 100 км над Землей. При своем падении они похожи на потухающие падающие звезды или летящие вниз огненные шары. Однако только наиболее устойчивым удается в виде метеоритов достигнуть самой поверхности Земли.

Метеориты всегда имеют вид неправильных обломков; они и являются действительно обломками и осколками прежних больших тел. Величина их по большей части ничтожна. Куски в 5 кг весом уже редки, хотя в единичных случаях падали и значительно более тяжелые массы (до 50 000 кг). С ними вместе падают тысячи мелких осколков или же просто пыль окиси железа (так называемые пылевые метеориты). Падающий метеорит часто неглубоко уходит в Землю.¹

Все метеориты состоят из тех же химических элементов, которые находятся и на Земле; они входят в состав минералов, которые по большей части не отличаются от земных. Главную роль в них играет и к е л и с т о е ж е л е з о. Наряду с последним особенно часто встречаются силикаты — оливин, ромбические и моноклинные пироксены и плагиоклазы (в особенности анортит). Менее существенными составными частями являются фосфорно-никелевое железо (штрейберзит), хромит, алмаз, графит и аморфный уголь, троилит (односернистое железо), апатит, тримит (асманит), кварц, циркон и т. д. Все метеориты безводны.

Большинство метеоритов состоит или исключительно из железа или оно является преобладающим; их называют тогда ж е л е з н ы м и м е т е о р и т а м и и делят по структуре на о к т а э д р и т ы (с окта-

¹ Чрезвычайно крупный метеорит упал 30 июня 1908 г. в б. Енисейской губ., в верховьях р. Подкаменной Тунгуски, примерно под 60° с. ш. Место падения метеорита, как установлено обследованием экспедиции Академии наук, занимает площадь в несколько километров в поперечнике. Вся эта площадь усеяна большим количеством плоских воронок, имеющих десятки метров в поперечнике при небольшой глубине.

Весь лес на месте падения и в окрестностях (километров на 25 вокруг) повален веером, деревья лежат вершинами в стороны, противоположные центру падения. Зрешина площади, занятая буреломом, носит следы равномерного ожога. Полет метеорита был виден к югу от места падения километров на 500; звук падения был слышен на площади радиусом более 1000 км, причем было слышно несколько громовых ударов. Сейсмографы Иркутской обсерватории отметили в это же время сейсмическую волну с эпицентром на поверхности земли в 900 км = к северо-западу от Иркутска, т. е. в районе падения метеорита. *Ред.*

эдрической структурой и так называемыми видманшtedтовыми фигурами), на гексаэдриты (с гексаэдрической структурой) и на атакситы (более плотного состава). Гораздо реже встречаются бедные железом каменные метеориты. Среди них часто попадаются серовато-белые тонкозернистые хондриты, в состав которых входят оливин, бронзит, никелистое железо с находящимися в основной массе шариками (*Χόνδρος* — шарики). Несколько богаче железом также содержащие хондры сидеролиты и не содержащие хондров ахондриты. Другую редкую группу каменных метеоритов представляют содержащие углестое вещество; есть еще стеклянные метеориты или тектиты, метеоритное происхождение которых признается не всеми.

1884
636

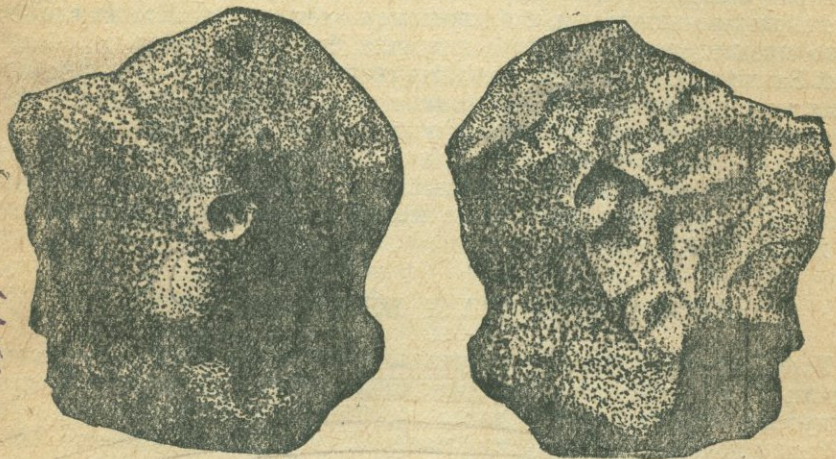


Рис. 3. Вид с двух сторон метеорита из Мокса.

Из этого вытекает следующая группировка метеоритов:

I. Железные метеориты:

1. Метеорное железо { Октаэдриты
Гексаэдриты
Атакситы } удельн. вес 7,5 — 7,8.
2. Литосидериты (переходные от I к II).

II. Каменные метеориты:

1. Обычного типа { Сидеролиты
Хондриты
Ахондриты } удельн. вес 3 — 3,4.
2. Содержащие углестое вещество
3. Тектиты или стеклянные метеориты } удельн. вес 1,7 — 2,9.



По своему составу и строению метеориты могут быть сравниваемы только с земными массивно-кристаллическими породами и то лишь с основными и богатыми железом, как оливиновые породы (перидотит, дунит и др.), которые имеют тот же состав, что и некоторые хон-

дриты: оливин, энстатит, авигит, апортит и т. д. Разница лишь в том, что содержание железа в метеоритах значительно больше, а содержание кремнезема и кислорода соответственно меньше, чем в массивных земных породах.

Что касается происхождения метеоритов, то можно с уверенностью сказать, что все их признаки указывают с несомненностью на вулканическое, отнюдь не осадочное происхождение. Если попробовать свести различные роды метеоритов к одному космическому целому, то вместе с французским химиком и геологом Добре (Daubr e) можно представить, что бедные железом, но богатые кремнекислотой разности принадлежат внешней оболочке мировых тел; там железо большей частью подверглось окислению и входило в соединение с кремнекислотой. Тяжелые и богатые железом метеориты соответствуют глубокому ядру мировых тел, где железо оставалось защищенным от окисления. Можно следовательно предположить, что небесные тела были построены по образцу нашей Земли, оболочка которой также составлена из относительно более легких пород, глубокие же внутренние части — из гораздо более плотного вещества с участием больших масс железа. На основании полного отсутствия в метеоритах пузырчатых и шлаковых образований Чермак (Tschermak) заключает, что вулканическая деятельность мировых тел, давших начало метеоритам, шла взрывами и состояла из мощных газовых извержений.

ФОРМА, ВЕЛИЧИНА И ПЛОТНОСТЬ ЗЕМЛИ.

Уже пифагорейская школа учила, что Земля имеет форму шара; но лишь Аристотель придал убедительность этому учению, а кругосветные путешествия вполне это доказали. Теперь для суждения о строении Земли пользуются градусным измерением. Оно показало, что Земля обладает формой сплюснутого у полюсов сфероида, т. е. э л л и п с о и д а в р а щ е н и я. Величина сжатия равняется согласно Гельмерту (Helmert) и Гайфорду (Hayford) $\frac{1}{298}$. В круглых цифрах для величины земного радиуса мы имеем:

длина полярного радиуса	6 357 км
длина экваториального радиуса	6 378 „

Хотя градусные измерения, равно как и наблюдения над качанием магнетика, показали, что Земля представляет собой эллипсоид вращения, все же точные измерения дали во многих случаях значительные отклонения от этой геометрической формы; ее надо поэтому рассматривать лишь как и д е а л ь н у ю, к которой действительная форма Земли всюду приближается и от которой она не очень далеко отходит.

До семидесятых годов прошлого столетия считалось общепринятым, что если не суша, то спокойная поверхность моря совпадает с поверхностью вращения эллипсоида. Фишер (Phil. Fischer) доказал ошибочность и этого положения: благодаря притяжению материков, этих исполинских каменных колоссов, морская поверхность у берегов постоянно поднимается; здесь поэтому уровень моря должен быть значительно более высоким, чем посреди океана.

Вслед за Листингом (Listing) действительную фигуру Земли со всеми ее местными отклонениями от эллипсоида вращения назвали г е о -

и дом. Неподвижная морская поверхность должна изображать часть действительной поверхности геоида; другую часть могла бы выявить входящая внутрь материков система каналов.

Математически геоид представляет собой поверхность, которая во всех точках перпендикулярна направлению силы тяжести. Эта кривая поверхность составлена из переходящих друг в друга поверхностей большей и меньшей кривизны. Под океанами геоид ниже поверхности эллипсоида вращения, к материкам он мало-по-малу поднимается и на самих материках выше поверхности эллипсоида. Если это действительно так, то деформации геоида должны быть фактически обнаружены. Этого нельзя достигнуть нивелировкой, где пузырек уровня поднимается и опускается по мере поднятия и опускания поверхности геоида, но можно обнаружить наблюдением над маятником, который очень чувствителен к малейшим изменениям силы притяжения. Если бы действительно океаны совпадали с понижениями, а континенты — с поднятиями геоида, то в открытом океане, далеко от берегов, маятник должен был бы качаться быстрее, чем у берегов на той же широте: на море вследствие меньшего расстояния от центра Земли сила притяжения должна быть больше, чем у берегов. Затем согласно этой теории еще медленнее должны быть колебания маятника внутри материка на поднятиях геоида.

Установлено, что число колебаний секундного маятника на океанических островах обыкновенно больше, чем это соответствует их географической широте. Наоборот, внутри материков не замечается замедления в колебаниях маятника: они почти всегда остаются такими же, как и у берегов на одной и той же широте.

По мнению геодезистов, особенно Гельмерта, такое неожиданное поведение маятника может быть объяснено лишь тем, что существует постоянно действующая причина, которая противодействует уменьшению силы притяжения при продвижении внутрь материков.¹

Природу этой причины впервые осветил Штернек (V. Sterneck). Он вел подробное измерение силы тяжести в Баварских и Тирольских Альпах, причем для этой части Альпийских гор получились слишком ничтожные величины, тогда как для прилежащих равнин (Южногерманское плато, Ломбардская низменность) они были, наоборот, слишком велики. После того сходные исследования были произведены в Юрских горах, в Италии, в северной и средней Германии, на Кавказе, в Индии и т. д. и почти всегда с одинаковыми результатами: сила тяжести в горах оказывалась слишком ничтожной;² наоборот, в депрессиях земной поверхности — слишком большой.

То же явление, что в низменностях, наблюдается и на морях: тогда как в горных областях сила тяжести в общем ниже нормальной, в низменностях и на океанах, наоборот, она превышает норму.³ Или, как обыкновенно говорят, в первом случае наблюдается недостаток массы (дефект массы), во втором — ее избыток. Это

¹ Превышение геоида над сфероидом достигает на материках до 50 м, а понижение его на океанах — до 150 м. *Ред.*

² Исключение составляет Гарц, очевидно вследствие большого количества диабазов, принадлежащих к самым тяжелым породам.

³ Helmert, *Die Schwerkraft im Hochgebirge*, Berlin 1890. — Его же, *Schwerkraft und Massenverteilung der Erde*, Leipzig 1910.

правило, действительное в отношении горных областей и равнин, распространяется и на совокупность материков по отношению их к океанам: материки обнаруживают дефект массы, а морские депрессии, наоборот, избыток массы.

Это различие первоначально старались объяснить существованием пустот под горными областями; теперь его объясняют различием плотностей: материковые глыбы по видимому на значительную глубину, приблизительно на 120 км, состоят из очень легких пород; наоборот, подокеанические массивы образованы плотными, тяжелыми горными породами. И так можно прийти к выводу, что выступающие части земной коры состоят из более легкого вещества, а погруженные — из более тяжелого. Из этого следует замечательное состояние равновесия между поднятиями и впадинами земной коры, — состояние, которое называют изостазией.

По Гейму (Alb. Heim)¹ постоянный «недостаток массы» в горных областях стоит в прямой связи с их возникновением путем смятия в складки. Благодаря складчатости получалась перегрузка и, как следствие, опускание данной глыбы. Глубже лежащие части, состоящие из более тяжелого вещества (так называемой барисферы), были сдвинуты благо-



Рис. 4. Происхождение аномалий силы тяжести на земной коре (по Гейму).

даря этому в сторону и заменены более легкой поверхностной литосферой. Вследствие этого мощность литосферы под горными областями больше, а потому сила тяжести слабее, чем под низменностями и морями (рис. 4).

Поскольку можно отметить различие в распределении тяжести, постольку же надо считать теперь установленным, что притягательное влияние материков на морскую поверхность крайне незначительно или почти отсутствует благодаря их меньшей плотности сравнительно с подокеаническими массивами.

Подробное исследование так называемых аномалий силы тяжести, т. е. местных отклонений от теоретических нормальных величин, имеет громадное геологическое значение,² потому что дает возможность судить о строении глубоких, не поддающихся непосредственному наблюдению внутренних областей Земли. К сожалению даже в наиболее высоко стоящих в культурном отношении европейских странах сведения о распространении и случаях аномалий силы тяжести слишком бедны и разрозненны, чтобы можно было иметь истинное представление о разнообразном изменении в распределении тяжести хотя бы в такой стране, как Германия.

¹ См. прекрасную статью: Heim, Das Gewicht der Berge, в «Jahrb. der Schweiz. Alpenklubs», 1918.

² Franz Kossmat, Die Beziehungen zwischen Schwereanomalien und Bau der Erdrinde, «Geol. Rundschau», 12, S. 195, 1921.

Плотность Земли. Плотность главнейших минералов, составляющих земную кору, едва превышает 2,5; плотность наиболее распространенных горных пород немного выше. Средняя плотность поверхностных горных пород не более 2,8. Принимая же во внимание, что большая часть земной поверхности покрыта водой (плотность которой 1), получим, что средняя общая плотность твердой и жидкой верхних оболочек вряд ли может быть более 2.

Это конечно резко противоречит вычисленной различными методами средней плотности Земли в 5,5. Поэтому мы должны признать внутри Земли скопление гораздо более плотных масс, чем на поверхности. Эти массы естественно должны по плотности превосходить 5,5, чтобы компенсировать ничтожную плотность верхних частей.

Глубинную и более тяжелую часть земного тела называют, как уже было выше сказано, барисферой, более легкую верхнюю — литосферой. В последней преобладают легкие составные вещества, в особенности кремнезем, алюминий и щелочно-земельные металлы; в барисфере их замещают более тяжелые вещества, а именно железо наряду с кальцием и магнием; наконец еще на большей глубине, в так называемой центросфере, согласно новым воззрениям, Земля главным образом состоит из никелистого железа. По мнению Вихерта (Wiechert), основанному главным образом на распространении волн землетрясения через земное ядро, средняя плотность земной коры, при мощности приблизительно в 1200 км, в верхних частях 2,7, в средних — 3,4; железное ядро, занимающее по мощности от $\frac{3}{4}$ до $\frac{4}{5}$ земного радиуса, имеет плотность от 4 до 12, в среднем около 8 (рис. 5).

ТЕПЛОТА ЗЕМЛИ И СОСТОЯНИЕ ЗЕМНОГО ЯДРА.

Земная теплота двоякого происхождения: с одной стороны она получается от Солнца, с другой — исходит из недр самой Земли. При нагревании земной поверхности, при учете внешней теплоты земли, принимается в расчет лишь солнечное тепло; наоборот, для температуры земных глубин громадное преобладание имеет внутренняя теплота Земли.¹

Уже давно замечено, что в верхней зоне земной коры, равной для наших широт приблизительно 25 м, температура колеблется днем и ночью, а также соответственно временам года. На большей же глубине температура весь год остается постоянной.² Если проникнуть далее вглубь, температура с глубиной будет все возрастать.

Это устанавливают измерения, произведенные в шахтах, горных туннелях и особенно в глубоких буровых скважинах. Так в буровой скважине Шперенберга (южнее Берлина) на глубине 1268 м была температура 48,1° Ц, в скважине Шладебахской (недалеко от Мерзебурга) на глубине 1716 м — 56,6°; у Парушовиц (в Верхней Силезии) на глубине 1959 м — 69,25°, а у Чухова (там же) в самой глубокой буровой скважине, которая только существует на Земле, на глубине 2221 м — температура 83,4°.

¹ Ed. Dunker, Die Wärme im Inneren der Erde, Stuttgart, 1896.

² Она несколько больше средней годовой температуры данной местности.

Из подобных наблюдений можно вычислить степень возрастания температуры с глубиной. Среднюю глубину, на которую надо опуститься, чтобы получить повышение температуры на один градус, называют геотермическим градиентом. Его величина равняется приблизительно 30 м, но она часто колеблется, потому что подвергается влиянию различных причин. Сюда относятся: строение местности, различная теплопроводность горных пород, теплота, полученная вследствие химических процессов, особенно значительная в угленосных породах; действие вулканических влияний, как например в Японии, в Оверни, в некоторых местах Швабского Альба, что значительно уменьшает величину геотермического градиента; характер наслоения пород и т. д.

В условиях достигнутых до сих пор небольших глубин температура возрастает как-будто пропорционально глубине; можно однако принять, что возрастание температуры на большей глубине замедляется.

Существование на глубине многих километров температур значительно более высоких, чем упомянутые нами выше, доказывається потоками лавы, температура которых часто превышает 1000°. Таким образом мы приходим к заключению, что на глубине примерно 100 км температуры настолько высоки, что горные породы могут там находиться лишь в расплавленном состоянии. Действительно Вихерт и другие ученые принимают, что между вышеупомянутой твердой оболочкой и внутренним железным ядром существует магматическая зона в 100—200 км мощности, состоящая из расплавленных горных пород.

Таким образом мы вернулись к старому геологическому положению о «расплавленной внутренности Земли» — положению, которое не опровергает наших прежних взглядов на происхождение и первоначальное состояние нашей Земли. Так мы видели, что Земля, подобно остальным телам нашей солнечной системы, первоначально находилась в расплавленном состоянии и лишь впоследствии застыла с поверхности. Охлаждение в течение геологического времени все увеличивалось; при этом часть прежнего теплового запаса сохранилась до сих пор; этот остаток и обуславливает повышение температуры на глубине.¹

О внутреннем состоянии Земли могут быть высказаны лишь предположения. Теперь думают, как мы уже говорили, что под внешней твердой корой находится зона расплавленных пород, которая на большой глубине вследствие все возрастающего давления переходит в твердое состояние, так что самое ядро Земли твердо. Некоторые исследователи полагают при этом, что ядро состоит из газов в надкритическом состоянии, т. е. что вследствие высокой температуры самое высокое давление не может перевести их в жидкое состояние; это однако

¹ После открытия радия и радиоактивных веществ считали возможным найти источник нагревания Земли в радиоактивных процессах; но повидимому земная кора слишком бедна подобными веществами, чтобы они могли сильно влиять на тепловое состояние Земли. Все же вероятно, что охлаждение не только Земли, но и остальных мировых тел значительно замедляется радиоактивными процессами и выделяемым при этом теплом. Большое значение радия во вселенной открыто наблюдениями Бонской обсерватории в 1912 г., когда при появлении одной новой звезды (Nova Geminorum 2) было установлено, что здесь повидимому произошло громадное извержение радиоактивной материи; спектральным анализом были обнаружены как материнское вещество радия — уран, так равно и продукты его распада — эманация и гелий.

не исключает возможности, что плотность ядра равняется плотности жидкого или даже твердого тела.

Такие взгляды на строение внутренних частей Земли получили значительное подтверждение в новейших исследованиях землетрясений. Характер передачи волн землетрясений заставляет признать, что Земля состоит из сравнительно пластичной и мало плотной внешней оболочки, из находящейся под ней магматической зоны и из очень плотного, твердого ядра большого диаметра.

Поэтому строение земного тела можно было бы представить себе так, как изображено на рис. 5.

Температура земного ядра по Вихерту не выше 3000° .

Основываясь на данных исследований Вихерта, Зюсс (E. Suess)¹ назвал внешнюю оболочку земной коры, которая кроме осадочных пород содержит главным образом граниты и гнейсы, составленные преимущественно кремнием (Si) и алюминием (Al)—«Sal», «Sial» по Веренеру (Alfr. Wegener); зону, лежащую под Sal, где преобладают породы, бедные кремнекислотой и более богатые магнием (диориты, диабазы, габбро и т. д.), Зюсс обозначает именем «Sima». Ниже этих двух зон следуют как переход к земному ядру, называемому Зюссом «Nife», Crofesima и Nifesima (рис. 5).

От этих представлений о концентрически-слоистом строении земного тела лишь незначительно отличаются новые взгляды Гольдшмидта (Goldschmidt).² Под атмо- и гидросферой Гольдшмидт различает:

1) внешнюю твердую силикатную оболочку, мощность которой (соответственно глубине выравнивания аномалий силы тяжести) он исчисляет в 120 км, принимая удельный вес ее около 2,8;

2) оболочку уплотненных силикатов, состава близкого к габбро, или эклогитовую оболочку с удельным весом 3,6—4; исследованиями землетрясений она установлена до не вполне устойчивой поверхности на глубине около 1200 км;

3) сернисто-кислородную оболочку, состоящую из сернистых соединений Fe, Cr, Ti (пирит, магнетит, хромит, титанистое железо, рутил), со средней плотностью 5—6, одинаково сейсмичную, достигающую 2900 км глубины;

4) металлическое ядро, состоящее по всей вероятности из никелистого железа с плотностью около 8.

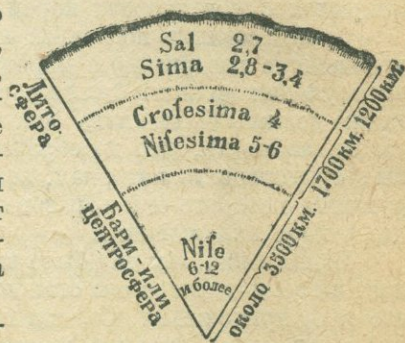


Рис. 5. Строение Земли (по Зюссу и Вихерту).

¹ Suess, Antlitz der Erde, III, 2, S. 626, 1909.

² Goldschmidt, Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente. Vidensk. Selsk. Skrifter, Kristiania. Mart. naturw. Kl., 1923, 3. Cp. того же автора: Die Naturwissenschaften, Heft 42, Berlin (Springer) 1922.

Земля имеет происхождение одинаковое с остальными планетами нашей солнечной системы. Первоначально все эти тела составляли одну общую огромную массу. От нее одна за другой отделились планеты, а от планет в свою очередь — их спутники; оставшаяся главная масса образовала центральное тело всей системы — Солнце.

Вот в кратких словах те положения, которые уже были нами высказаны при изложении канто-лапласовской теории. В пользу ее, как мы уже раньше видели, говорит целый ряд астрономических и физических фактов, так что мы можем, хотя бы в главных чертах, признать ее достоверной.

Согласно этой теории мы принимаем, что наша Земля была первоначально расплавленным светящимся шаром, который впоследствии покрылся с поверхности корой охлаждения.

Существование последней необходимо признать уже потому, что древнейшие изверженные породы подтверждают наличие такой коры, которую они должны были прорывать; древнейшие осадочные отложения также должны были иметь основу, на которой они отлагались. Нельзя также забывать, что до образования первоначальных осадков должен был существовать материал, за счет механического и химического разрушения которого они образовались. Этим материалом могла служить лишь кора охлаждения.

Естественно, что она была вначале тонка и непрочна. По мере охлаждения земного шара она становилась все толще. Это было вызвано и тем, что сила притяжения Солнца и Луны вызывала в расплавленной земной массе очень сильные приливы и отливы, которые при постоянно повторяющихся поднятиях и опусканиях вели к непрерывным изгибам, смятиям и разрывам земной коры. Сжатие земного тела и обусловленное им сморщивание земной коры были причиной однотипных, постоянно повторяющихся сдвигов, разрывов и разломов коры охлаждения. По возникавшим трещинам и разрывам сейчас же поднималась расплавленная магма, которая вновь спаивала отдельные глыбы и сообщала таким образом коре все большую устойчивость и силу сопротивления.

Так образовалась, частью за счет утолщения изнутри вследствие охлаждения первоначальной коры, частью благодаря многочисленным прорвавшим кору и по ней разлившимся в течение неизмеримых периодов времени изверженным покровам, каменная оболочка необыкновенной мощности. Альфонс Штюбель (Alphons Stübel) называет ее панцирем Земли. Она находится теперь на огромной глубине, погребенная под древнейшими осадочными породами. О состоянии Земли в последующие времена могут быть высказаны лишь предположения. Вместе с Дэна можно допустить, что температура земного шара и атмосферы была первоначально настолько высока, что вся вода могла быть лишь в газообразном состоянии.

После образования коры охлаждения следовал по всей вероятности неизмеримо длинный ангидритный (безводный) период. Водная

¹ Нижеследующие главы вплоть до главы «Климатические соотношения геологического прошлого» взяты в несколько сокращенном виде из II части труда Кайзера: Стратиграфическая геология. *Ред*

оболочка могла образоваться на Земле лишь после того, как температура земной коры спустилась ниже критической температуры воды, т. е. приблизительно до 365°. Однако это первобытное море было еще так горячо, что организмы в нем жить не могли. За ангидритным периодом следовал вероятно также неизмеримо продолжительный абиотический или азойский период. Появление живых существ сделалось возможным лишь в позднейшее время, соответствующее значительно большему охлаждению Земли.

На основании этого можно различать следующие главные фазы в истории развития Земли:

I. Звездный возраст Земли. Земля образует светящуюся звезду.

II. Лишенный жизни возраст (абиотический или азойский). Земля одевается корой охлаждения и потому лишается способности светиться. Этот неизмеримо длинный промежуток времени распадается на:

- 1) ангидритный период, без воды в жидком состоянии;
- 2) океанический период, когда образовались первобытные моря, но органическая жизнь повидимому была еще невозможна.

III. Археозойское время, характеризующееся появлением на Земле живых существ.

Слой, входящие в настоящее время в состав земной коры, разбиваются на большие отделы, которые в Германии, а часто в Англии и Америке называются формациями.

На международном геологическом конгрессе это обозначение заменено термином система, который еще до сих пор не вполне вытеснил старое название.

Несколько систем, непосредственно следующих одна за другой и близко стоящих друг к другу по своим органическим признакам, объединяются для большего единства в группы и, наоборот, системы разбиваются на отделы или серии, эти последние — на ярусы и подъярусы, а они — на зоны, в пределах которых различают наконец отдельные пласты (слои). По времени группе соответствует эра, формации или системе — период, отделу — эпоха и ярусу — век.

Таким образом мы получаем последовательное деление:

В пространстве:

Во времени:

группа	эра
система (или формация)	период
отдел	эпоха
ярус	век

Самой мелкой геологической единицей считают зону, но не слой, который при своем относительно ограниченном распространении может иметь слишком местное значение. Под зоной подразумевают несколько слоев, которые характеризуются совершенно определенной фауной или даже одним каким-нибудь характерным руководящим ископаемым. До сих пор лишь для очень немногих систем, как например для юры и мела, установлено строгое разделение на зоны; современная геология стремится провести подобное же разделение и для остальных систем.

РАЗДЕЛЕНИЕ ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ.

Основой современного стратиграфического разделения является так называемое мансфельдское деление. В этом древнем горном округе впервые установили, что свита пластов, заключающая слои руды (флэцы медистого сланца), имеет вполне закономерный постоянный состав. Эту более юную свиту пластов — «флэцовые горы» — обособили от более древних поднятых слоев Гарца — «основных гор».

Вернер (Werner) на основании прежних горнопромышленных данных во второй половине XVIII столетия построил такую схему последовательности: 1) первичные горы, 2) переходные горы (древние слои Гарца), 3) флэцовые горы, 4) намывные горы. Английские ученики Вернера впоследствии присоединили сюда оолитовую (юрскую) и меловую группы. Французские ученики прибавили третичный период; они ввели термин в т о р и ч н ы х отложений для флэцовых гор, п е р в и ч н ы х отложений для переходных гор и п р и м и т и в н ы х отложений для первозданных древних гор.

Таким образом уже в 1830 г. пришли к полному расчленению современных кайнозойских и мезозойских отложений. Но разделение палеозоя явилось результатом лишь работ Мурчисона (Murchison) и Седжвика (Sedgwick), которые в 30-х годах прошлого столетия ввели их в Уэльсе и установили три системы (кембрий, силур и девон); к ним впоследствии прибавили еще два (карбон и пермь). Лишь за последнее время стараются расчленить мощную толщу горных пород, подстилающих палеозой, но эти попытки пока привели лишь к обособлению двух больших групп: более древней (архейской) и более поздней (алгонкской).

В Европе принято теперь всю совокупность осадочных пород делить следующим образом (сверху вниз):

V. НЕОЗОЙСКАЯ (КАЙНОЗОЙСКАЯ) ГРУППА.

2. Четвертичная система	{	Аллювий. Диллювий. ¹ Плиоцен. Миоцен.
1. Третичная система	{	Олигоцен. Эоцен. Палеоцен.

IV. МЕЗОЗОЙСКАЯ ГРУППА.

3. Меловая система	{	Верхний мел. Нижний мел.
2. Юрская система	{	Верхняя юра (мальм). Средняя юра (доггер). Нижняя юра (лейас).
1. Триасовая система	{	Кейпер. Раковистый известняк. Пестрый песчаник.

¹ Этот термин выходит в настоящее время из употребления, сохраняя пока право на существование у немецких геологов. *Ред.*

III. ПАЛЕОЗОЙСКАЯ ГРУППА.

- | | | |
|--------------------------------------|---|---|
| 5. Пермская система | { | Цехштейн.
Красный лежень. |
| 4. Каменноугольная система | { | Верхне - каменноугольные
отложения,
Нижне-каменноугольные известняки. |
| 3. Девонская система | { | Верхний девон.
Средний девон.
Нижний девон. |
| 2. Силурийская система | { | Верхний силур.
Нижний силур (ордовицкий). |
| 1. Кембрийская система | { | Верхний кембрий.
Средний кембрий.
Нижний кембрий. |

II. ПРОТЕРОЗОЙСКАЯ ГРУППА (алгонкская).

I. АРХЕЙСКАЯ ГРУППА (первозданные горы).

Установленное новыми американскими геологами разделение, которое особенно защищают Пирсон (Persson) и Шухерт (Schuchert, Textbook of Geology, New-York 1925), во многом отличается от только что нами изложенного.

ДИАСТРОФИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ.

Оно придает особое значение при стратиграфическом расчленении большим дислокационным процессам земной коры (так называемым *д и а с т р о ф а м*) и связанным с ними географическим, климатическим и биологическим изменениям.

Под именем *к о с м и ч е с к о г о* времени оно выделяет тот древнейший промежуток времени, в течение которого Земля отделилась от Солнца, возникли земное ядро, атмосфера и гидросфера, а также образовались первозданные материка и океаны. Так как нет никаких геологических сведений об этом неизмеримо длинном периоде истории Земли, его называют *д о г е о л о г и ч е с к и м* *в р е м е н е м*.

Следующее затем собственно геологическое время разделяется на пять главных отделов или эр: два для первозданных горных пород и три для палеозоя, мезозоя и кайнозоя, а для новейшего времени (современности) по почину Ле Конта (Le Conte) различают еще и шестую — психозойскую эру.

Это интересное во многих отношениях разделение заключается в следующем:

СОВРЕМЕННОСТЬ.

Психозойская эра. Век человека и разума.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ.

Кайнозойская эра. Господство млекопитающих и современной флоры.

Плейстоцен или ледниковое время. Последнее великое оледенение.

Верхне-третичное время (плиоцен и миоцен). Отделение *Номинид* от обезьян.

Древне-третичное время (олигоцен-эоцен и палеоцен). Появление высших млекопитающих.

Мезозойская эра. Господство рептилий.

Верхний мел (cretaceous). Появление первых млекопитающих.

Нижний мел (comanchian). Появление цветковых растений и высших насекомых.

Юра. Появление птиц.

Триас. Появление динозавров.

Палеозойская эра. Господство рыб и птеридофитов.

Пермь. Появление рептилий, первые млекопитающие (Multituberculaten). Древнее великое оледенение.

Верхне-каменноугольное время (Pensilvanian). Появление насекомых. Первые большие накопления угля.

Нижне-каменноугольное время (Missisipian). Распространение морских рыб.



Рис. 6. Распространение во времени различных групп животных и растений (по Н. Н. Яковлеву).

Девон. Первые известные амфибии.

Силур. Первые известные наземные растения.

Ордовичское время. Первые пресноводные рыбы (Nautiloideen).

Кембрий. Появление впервые во множестве морских животных, снабженных раковинами. Господство трилобитов.

Протерозойская эра. Господство первичных беспозвоночных. Первое и второе оледенения.

Архезойская эра. Появление протоплазмы и простейших живых существ (Protozoen u. protophyten).¹

КОСМИЧЕСКОЕ (ДОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ) ВРЕМЯ.

Возникновение Земли. Образование первичных континентов и океанов.

Мы уже говорили раньше, что теперь (особенно в Америке) исчисляются в значительно больших цифрах, чем раньше, продолжительность как отдельных геологических периодов и эр, так и вообще истории Земли.

¹ Развитие на Земле животной и растительной жизни можно проследить по таблице, приложенной к работе проф. Н. Н. Яковлева, Вымирание животных и растений и его причины по данным геологии, «Изв. геол. ком.», 1922 г., т. XLI, № 1 (рис. 6). *Ред.*

КЛИМАТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОШЛОГО.

Попытки разделить климаты Земли по группам были произведены главным образом Кепшеном (Кёппен). В прежней своей работе он¹ различает следующие 5 главных групп и 11 подгрупп:

Жаркий влажный	{	1. Тропический первобытный лес.
		2. Саванны (с двумя или более сухими периодами).
Жаркий сухой	{	3. Степи.
		4. Пустыни.
Умеренно-теплый	{	5. С сухой зимой (Китай).
		6. С сухим летом (Италия).
		7. Умеренно-влажный (Германия).
Холодный (суб-арктический) . .	{	8. Влажный с холодной зимой (Сев. Европа).
		9. Сухой с холодной зимой (Вост. Сибирь).
Полярный (арктический)	{	10. Тундры или моховые степи (Сев. Азия).
		11. Вечная мерзлота.

Как показывает рис. 7, все эти климатические типы образуют последовательные, хотя часто и неправильные поясы.

Они следуют друг за другом не только в горизонтальном направлении, но расположены и вертикально один над другим вследствие изменяющейся высоты мест.

Как ни интересно кепшеновское разделение, все же оно слишком запутано, чтобы его можно было применить к геологии. Более приемлемо выдвинутое Пенком (Penck)² разделение на влажный, сухой и средний климаты, основанное на количестве и характере осадков.

Для нас особое значение имеет различие между влажными, богатыми осадками областями и сухими, бедными осадками, совпадающее с прежним делением Рихтгофена (Richthofen)³ на страны периферические и центральные.

Периферические страны — это те узкие полосы Земли, где количество осадков превосходит испарение и избыточная вода реками изливается в море. Центральные области наоборот бедны осадками. В них испарение превосходит количество осадков и реки высыхают, не достигнув океанов. В связи с этим в сухих областях наблюдается очень характерное явление — наличие внутренних, лишенных стока озер.

При влажном климате не могли образоваться большие скопления продуктов выветривания. Эрозия сильно работает здесь над углублением и расширением уже существующих неровностей поверхности, равно как и над созданием новых. Таким образом в этих областях все больше увеличивается разнообразие рельефа. В сухом климате наоборот продукты разрушения скопляются большими массами и в виде химических и механических осадков постепенно наполняют не только все существующие углубления, но одевают также и холмы и горы. Горы исчезают, утопая в своих обломках. Вследствие того, что процессы эрозии здесь очень слабы, различия рельефа все больше сглаживаются в противопо-

¹ Köppen, Klassifikation der Klimate, Peterm. Mitteil, 1918, S. 193.

² Penck, Versuch einer Klimatklassifikation, Sitzungsber. Berl. Acad., 1910, S. 236.

³ Richthofen, China, Bd. I, S. 8, Berlin, 1877.

ложность влажным областям. То обстоятельство, что влажность климата и изменчивость рельефа способствуют росту богатой и разнообразной

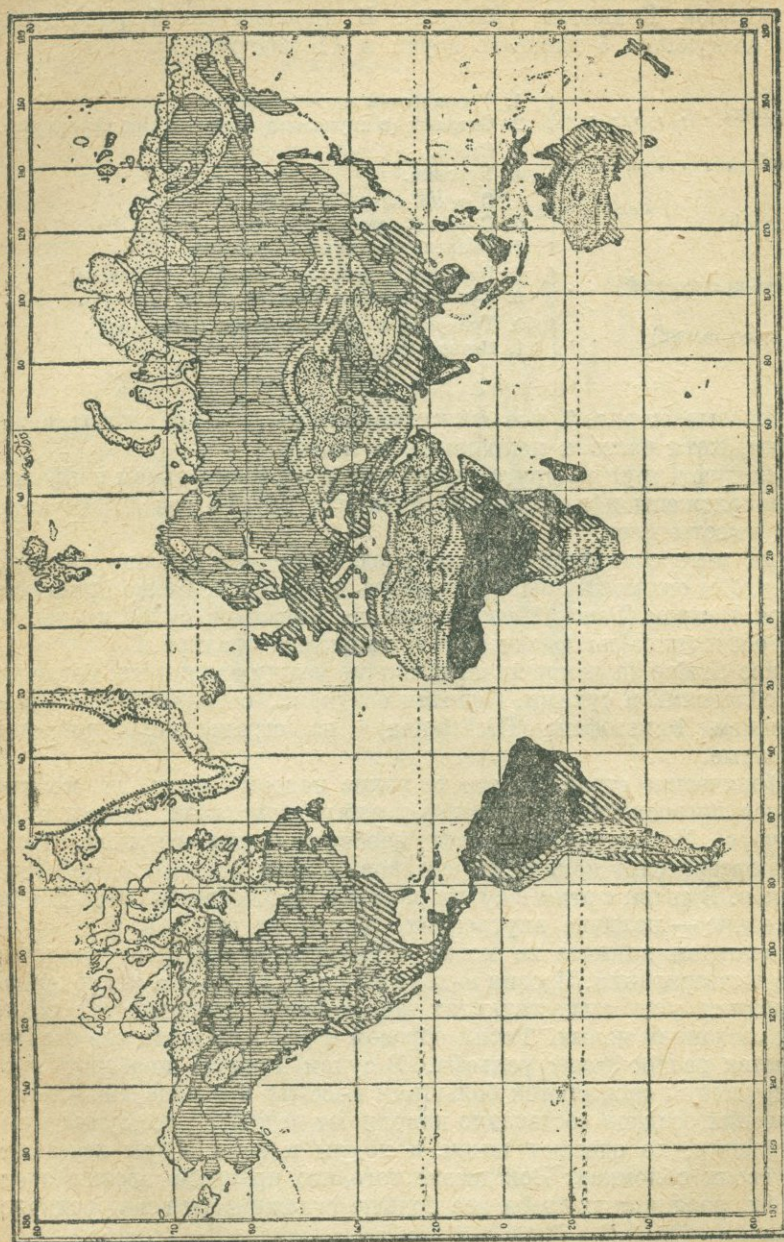


Рис. 7. Главные климатические зоны на Земле (по Келлену, несколько упрощено).

растительности, — тогда как при сухом климате и однообразии поверхности произрастает лишь бедная и однообразная флора, — еще более подчеркивает различие между этими областями.

Для геологов главное различие между сухими и влажными странами заключается в том, что из влажных стран продукты разрушения горных пород (выветривания) почти целиком уносятся, тогда как в сухих странах они остаются и дают новый материал для осадочных (речных, озерных или эоловых) отложений.

Осадочные породы различных систем часто имеют разные признаки, по которым можно судить о тех климатических условиях, при которых они образовались. При дальнейшем рассмотрении эоловых, речных, озерных, ледниковых и органических новообразований не раз представится случай остановиться на этих признаках. Здесь мы только отметим, что соль и гипс, а во многих случаях и красная окраска пород указывают на пустыню, каменный уголь — на влажный, а валунная глина — на умеренно-влажный климат при возникновении этих пород.

Наряду с этими неорганическими признаками есть и органические, т. е. присутствие ископаемых в осадочных породах; они всюду дают более или менее верные указания для суждения в климатических соотношениях какой-нибудь области в один из ранних периодов ее существования.

Если на широте, где теперь почти круглый год господствуют лед и снег, мы найдем остатки строящих рифы кораллов, больших моллюсков тропического типа, высокие древесные стволы и т. д., мы будем вправе заключить о существовании здесь когда-то более теплого климата. Это заключение не всегда, правда, бесспорно: слон и носорог, которые в настоящее время живут лишь под тропиками, в ледниковое время существовали в холодной зоне; это доказывает, как велика способность приспособления живых существ к условиям климата. Тем не менее, если в целом ряде пластов мы находим остатки животных и растений, принадлежащих различным группам, но одинаково указывающих на принадлежность к теплomu климату, мы можем почти безошибочно данному периоду и данной местности приписать теплый климат.

Изучение ископаемых дает факты, на основании которых можно предполагать, что климат многих стран был прежде значительно теплее, чем теперь. Раньше это пытались объяснить просто более высокой температурой Земли. Велед за Вернером и Геттоном (Hutton) раньше говорили, что благодаря меньшей прежде мощности земной коры внутренняя теплота Земли сильнее проявлялась на поверхности, чем и объяснялись более благоприятные климатические условия древних геологических эпох.

При ближайшем рассмотрении ясно, что такое объяснение может быть принято лишь с большой осторожностью. Теперь, когда известна теплопроводная способность горных пород (насколько она мала, видно хотя бы из того, что можно переходить через движущиеся потоки лавы), не трудно вычислить, сколько тепла при известной температуре внутренних частей Земли и при известной мощности земной коры могло проникнуть на ее поверхность. Сарториус фон-Вальтерсгаузен (Sartorius v. Waltershausen) произвел подобные вычисления и показал при этом, что земная кора уже в середине мезозоя обладала такой мощностью, что внутреннее тепло не могло влиять на согревание поверхности. При этом оценка мощности земной коры, которую давал Сарториус для различных геологических периодов, значительно меньше действительной; можно поэтому принять, что еще раньше, чем он предполагал, наружная

температура Земли уже не повышалась сколько-нибудь значительно за счет внутреннего тепла.

Существует ряд фактов, которые заставляют предполагать для палеозойского времени наличие теплого климата и в высоких широтах. Можно указать например на палеозойских насекомых, современные родственные формы которых свойственны по мнению большинства специалистов исключительно тропическим областям. Подобным же доказательством по мнению Потонье (Potonié) являются гигантские папоротники, каламиты, сигиллярии и лепидодендроны каменноугольного периода, которые в древности известны от Замбези (15° ю. ш.) до Шпицбергена и до Баренцовых островов ($75 - 80^{\circ}$ с. ш.) и свидетельствуют по крайней мере о климате того времени без морозов. Это же подтверждается полным отсутствием годовых колец¹ у всех каменноугольных деревьев (стволов) и указывает на принадлежность к тропическому климату. Наконец тот факт, что все палеозойские морские фауны в различнейших широтах Земли поразительно однообразны и всюду именно тропического типа, так же как и необыкновенно широкое распространение в меридиональном направлении некоторых родов (*Productus semireticulatus* и *Spirifer mosquensis* встречается от северной Африки до полярного круга, *Atrypa reticularis* и *Spirifer Verneuili* распространены повсеместно) беспрестанно приводятся в доказательство однородного теплого влажного климата почти по всей земле в течение палеозоя.

Как ни убедительны палеозойские ископаемые для определения климата того времени, все же надо помнить, что количество тепла, которое получали от Солнца различные широты Земли, было всегда, различно. На тепловые соотношения земной поверхности уже с древнейших времен могли сильно влиять и высота над уровнем моря, и морские и воздушные течения, и другие причины. Конечно не может быть и речи об едином, действительно повсеместно равномерном климате Земли даже для такого отдаленного периода, как кембрий.

Насколько маловероятна даже для древнейших периодов палеозоя такая равномерность климата, ясно доказывают найденные в последние годы как в Китае (область Ян-Тзе), так и в Южной Австралии (недалеко от Аделаиды) в нижнекембрийских отложениях следы древнего оледенения в виде мощных валунных глин с отшлифованными и изборозженными валунами.

Однородные пересекающиеся отпечатки в верхнедевонских шиферных сланцах штата Нью-Йорк (так называемые *Fucoides graphica*) Кларк (John M. Clarke) принимает за ледяные кристаллы и заключает о существовании в этой стране для того времени холодного климата.

Еще значительно древнее найденные Колеманом (Coleman) в нижнеалгонкских отложениях Гуронского озера в Канаде мощные валунные глины (тиллиты), равно как обнаруженные сходные образования в трансваальских отложениях Капленда. Но и в более молодом палеозое нет недостатка в подобных ледниковых отложениях, например в нижнем

¹ Головные кольца деревьев происходит от перерыва в росте в течение холодных времен года. Это — общее явление для всех древесных пород наших мест, но оно отсутствует у тропических деревьев, потому что там этого перерыва нет. Ср. Gothan, Naturw. Wochenschr., Berlin 1908 u. 1911, u. E. Kayser, Lehrbuch der allg. Geologie, 7—8. Aufl, 1923, I, S. 96, Anm.

девоне Капланда. На примере Южной Африки можно наблюдать периодическое повторение оледенений.

Другое более значительное оледенение, настоящий ледниковый период, захватило повидимому Землю в конце палеозоя, как обыкновенно считают, в пермское (согласно некоторым исследователям — уже в каменноугольное) время. Громадное распространение этого оледенения конца палеозоя теперь констатировано на всех материках южного полушария (Австралии, Африке, Бразилии и Фальклендских островах), а также в Ост-Индии в виде мощных тиллитов с изборожженными валунами и отшлифованным, как бараньи лбы, основанием, так что не остается никакого сомнения в их происхождении. В отличие от четвертичного ледникового периода это оледенение как будто не захватило всей Земли, но ограничилось лишь большей частью современного южного полушария; в пермокарбонových отложениях северного полушария (а эти местности Европы и Америки принадлежат к наилучше исследованным областям всего земного шара) не найдено никаких определенных следов этого оледенения. Другим отличием от четвертичного оледенения является то обстоятельство, что тогда например ледниковый покров Индии вблизи экватора доходил вероятно почти до самого океана.

К концу палеозоя, в пермский период, согласно некоторым геологам, одновременно с только-что упомянутым оледенением в других частях Старого Света (Европе, Индии, Южной Африке и т. д.), господствовал повидимому сухой пустынный климат. Состав красных, богатых окисью железа и не содержащих никаких ископаемых песчаников и конгломератов германского красного лежня подтверждает это предположение. Для эпохи цехштейна еще вероятнее предположить, что все необыкновенно мощные верхнепермские соляные залежи Германии, в особенности легкорастворимые калийные соли, могли образоваться лишь в условиях очень сухого и жаркого климата. Возможно, что такое же происхождение имели и некоторые иные красные песчаники более древних систем, например лишенные ископаемых несогласно перекрытые нижним кембрием торридонские песчаники Северо-Западной Шотландии, имеющие несколько тысяч метров мощности. В таком случае некоторые участки Земли должны были обладать сухим пустынным климатом уже в далеком прошлом. Это доказывает, что уже с древнейших времен климатические условия на Земле были очень изменчивы и местами различны.

В мезозое впервые появляются определенные доказательства образования на Земле климатических зон. Сперва они были приняты Рёмером (Ferd. Römer) для мелового периода, а позднее — Неймайром (Neumayer) для юрского периода.¹ Во время отложения обеих систем на северном полушарии отделяется от экваториальной более молодая (бореальная) зона. Более высокая температура экваториальной зоны доказывается нахождением здесь строящих рифы кораллов (совершенно отсутствующих в бореальной зоне), отсутствием годовых колец у деревьев, а также другими палеонтологическими фактами.

Интересно отметить, что следы оледенений в мезозойских отложениях нигде — за исключением может быть Африки — до сих пор наблюдаемы не были.

¹ Römer, Die Kreidebildungen von Texas. 1852; Neumayer, Über klimatische Zonen, während der Jura und Kridezeit, Denkschr. Wien, Akad., 1888.

Кроме того надо особенно подчеркнуть, что если мы и говорили о существовании в юрский период климатических зон, это вовсе не значит, что раньше их не могло быть. Этим мы только хотим сказать, что лишь в юрский период температура Земли понизилась настолько, что обнаружались скрытые до того различия климата; они отразились на морской фауне и стали поэтому для нас заметны. Однако известны факты из более ранних периодов истории Земли, которые указывают на различие климатов, правда, без образования таких климатических зон, как меловой и юрский периоды.

Можно вполне согласиться с Кокеном (Kosken), когда он объясняет ограниченное северным полушарием распространение карбоновопермских фузилий (достигающее на нем 80° с. ш.) теплыми морскими течениями; Цейлер (Zeiler) и другие геологи предполагают, что известная тесно связанная всюду с пермскими ледниковыми отложениями глоссоптериева флора принадлежит более холодному климату по сравнению с более древней каменноугольной. Этот взгляд получил полное подтверждение в найденных Арбером (Arber, *Glossopteris-Flora*, 1905) годовых кольцах на некоторых пермо-карбоновых окаменелых деревьях Нового Южного Уэльса; такие же кольца наблюдались на Фалькландских островах Галлем (Halle).

Если мы обратимся к неозою, необходимо прежде всего отметить, что в течение третичного периода наблюдается повсеместное и непрерывное охлаждение. Так в древне-третичное время, в палеоцен, и тем более в эоцен, судя по составу флоры, климат Западной Европы был определенно тропическим. Даже в следующее за ними олигоценовое время еще продолжали расти пальмы и другие вечно зеленые растения, достигая на севере берегов современного Балтийского моря. Еще в начале миоцена в Германии встречаются единичные пальмы, магнолии, лавры, мирты и т. п., быстро исчезающие впоследствии. В конце третичного периода, в плиоцен, климатические условия Средней Европы вряд ли отличались от современных. В некоторых отложениях этого времени, как например в английском краги, широкое распространение получают моллюски дальнего севера, в которых надо видеть определенных предвестников надвигающегося ледникового периода.

Если эти обстоятельства не кажутся нам странными, то напротив очень трудно объяснить флоры далекого севера, обычно приписываемые миоцену, которые правильнее относить к древне-третичному времени (Исландия, Северная Гренландия, Шпицберген, река Мекензи, Мельвильские острова). Известные нам благодаря классическим работам Геера (Heer)¹ ископаемые флоры этих областей содержат большое количество лиственных и хвойных деревьев, вязов, кленов, буков, платанов, пихт, которые росли в то время выше 80° широты, тогда как теперь граница распространения деревьев проходит на 5° южнее Гренландии, идет через Исландию к Нордкапу, держась далее несколько южнее берегов Лапландии и Сибири.

Из этих фактов ясно, что в древне-третичное время большая часть северных полярных стран была значительно теплее, чем теперь. Каковы были причины этого, сказать трудно. Совершенно ясно из всего ранее сказанного, что их нельзя искать во внутренней теплоте Земли. Так же

¹ Heer, *Flora fossilis arctica*, 1868 — 1883.

трудно объяснить это явление иным распределением воды и суши, потому что именно теперь благодаря влиянию Гольфштрема Шпицберген лежит в исключительно благоприятных условиях.

При этих обстоятельствах для объяснения остается лишь прибегнуть к космическим причинам. Предполагали, что исключительное нагревание полярных стран могло иметь место благодаря совпадению древнетретичного времени с максимумом эксцентриситета, причем во время своей зимы северное полушарие долго находилось вблизи Солнца.

Однако исследования Натгорста (Nathorst) по третичной флоре Восточной Азии тоже как бы исключают эти предположения. Если бы они были верны, то в значительно более низких широтах Японии мы должны бы были встретить флору более южного характера, чем внутри полярных областей. А между тем это не так. Наоборот, близ Дуэ например, на русском Сахалине под 51° с. ш., равно как у Моги и в других местах Японии в еще более низких широтах ($40 - 35^{\circ}$) найдена третичная флора, которая не только не доказывает избытка тепла, но свидетельствует скорее о существовании более холодного климата, чем теперь. Все флоры, которые указывают на значительно более высокую температуру, сосредоточены на стороне полюса противоположной Восточной Азии; это дало Неймайру и Натгорсту мысль о перемещении полюса в верхне-третичное время. Если переместить полюс приблизительно на 20° , так чтобы он лежал на 70° с. ш. и 120° в. д., то флора Новосибирских островов совпала бы с резко северной третичной флорой, лежащей приблизительно на 80° с. ш.; флора Камчатки, Амурской области и Сахалина, с несколько более южным характером, попала бы на $68 - 67^{\circ}$, тогда как флоры со значительно более южным оттенком, как Шпицбергена, Земли Гринеля, Гренландии и т. д., попали бы в $64, 62, 53 - 51^{\circ}$. «Таким образом свойства ископаемой флоры вполне совпали бы с положением относительно предполагаемого полюса. Во всяком случае все флоры вечнозеленых деревьев находились бы вне полярного круга». ¹

Семпер (Semper), который в более раннем сочинении старался объяснить арктические третичные флоры лишь иным распределением воды и материков и другим направлением морских течений, впоследствии в позднейшей работе ² также пришел к гипотезе о перемещении полюса. Он признает, что к концу мелового периода полюс занимал приблизительно свое настоящее положение, позднее же он передвинулся на северозапад от Америки; что к середине эоцена он находился на 30° от Аляски и только в олигоценовое время опять вернулся на свое прежнее место. Семпер находит, что при этом предположении большое центральное Средиземное море Старого Света, которое в третичное время было расположено так же, как и в юрское время, лежало в области пассатов, атмосферное давление и распределение ветров были такими, что гораздо более отвечали существованию необходимого Семперу морского течения, направленного с востока от Индии через Средиземное море на запад.

Гипотеза о перемещении полюса в третичное время, живо изложенная и Вегенером, несмотря на высказанные против нее соображения, приобретает все большие основания. Мы думаем, что ее трудно обойти уже потому, что необыкновенно сильное излучение тепла, равно как

¹ Nathorst, Zur fossilen Flora Japans. Palaönt, Abh. IV, S.3, 1888.

² Semper, Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges., 1896, S. 185; 1899, S. 201.

опустошительные бури полярной ночи являлись бы без нее непреодолимым препятствием для объяснения той древесной растительности, которую мы находим например в третичных отложениях Гренландии и Шпицбергена.

Известно, что четвертичное время является периодом общего охлаждения всей Земли, во время которого большая часть Северной Америки и Северной Европы покрылась льдами; при этом северные растения и животные проникли далеко на юг. К сожалению, мы не знаем ничего определенного о причинах этого исключительного геологического события, несмотря на посвященную ему обширную литературу.

Для объяснения этого вопроса предложено много различных гипотез. Так например его хотели поставить в связь с географическими переменами, затем с чисто метеорологическими причинами, именно с гораздо более резкими колебаниями годового количества осадков, чем происходят теперь каждые 35 лет согласно известным работам Брюкнера (Bruckner).

Далее старались найти разные геологические причины, например наступившее в конце третичного времени более чем стометровое поднятие обширнейших пространств Старого и Нового Света или колоссальное количество выброшенных в атмосферу газов и водяных паров во время извержения третичных и четвертичных вулканов, причем небывалые массы пыли и пепла должны были попадать в верхние слои атмосферы и надолго ослабить солнечный свет, вызывая большие метеорологические нарушения. Затем прибегали к космическим причинам. Так англичанин Кроль (Croll) хотел объяснить оледенение Земли максимумом эксцентриситета земного пути; бельгиец Дюбуа (Dubois) объяснял великое четвертичное оледенение переходом Солнца из состояния более раскаленной белой звезды в состояние желтого каления; но все эти попытки оказались несостоятельными. Такое же значение имела и новая попытка Аррениуса (Arrhenius) объяснить климатические соотношения четвертичного времени уменьшением количества углекислоты в атмосфере¹. Аррениус принимает на основании опытов, что возрастание количества углекислоты увеличивает способность атмосферы поглощать солнечные лучи и в то же время уменьшает излучение тепла поверхностью Земли. Это должно было влиять на повышение температуры земной поверхности. И обратно: уменьшение количества углекислоты должно было эту температуру понижать. Аррениус хочет таким образом объяснить теплый климат северного полушария в третичное время теми огромными количествами углекислоты, которые выбрасывались в атмосферу вулканическими извержениями того времени. Необыкновенно пышная третичная растительность и усиленное образование карбонатов использовали эту кислоту и тем самым вызвали по мнению Аррениуса наступление в начале третичного периода большого оледенения.

Впоследствии Фрех (Frøch) выразил мысль Аррениуса в еще более резкой форме для объяснения климатических соотношений каменноугольного периода, который также следовал за временем очень сильной вулканической деятельности, сопровождаемой увеличением коли-

¹ Arrhenius, Über den Einfluss des atmosphärischen Kohlensäuregehalts auf die Temperatur der Erdoberfläche, Bihang. Svenska Vet. Akad. Handlingar, Bd. 22, 1, S. 1, 1896.

чества углекислоты во время девона. Пышная растительность и связанный с ней расход углекислоты вызвали тогда пермское оледенение.

Между тем Грегори (Gregory), Кокен, Филиппи (Philippi) и др. обнаружили, что геологические факты никоим образом не подтверждают взглядов Фреха и Аррениуса. Так, нельзя утверждать, что в периоды особенно сильного расхода углекислоты и слабого ее выделения всегда наступают оледенения. Как показал Чемберлен, при образовании мощных морских известковых отложений из атмосферы отнимаются значительно большие количества углекислоты, чем при образовании углей. Можно было бы ожидать таким образом, что после образования отложений с такими мощными и обширными толщами известняков, как верхняя юра и верхний мел, должно было в эоцене наступить оледенение, чего на самом деле не было. Неверно также утверждение, что во время больших оледенений вулканическая деятельность значительно ослабевала. Именно нижнепермский период со своим обширным оледенением был временем особенно сильных и широко распространенных вулканических извержений. Что же касается четвертичного оледенения, то приведенное к нему охлаждение началось с третичного времени и постоянно и постепенно все возрастало, начиная от олигоцена к миоцену и от этого последнего к нижнему и верхнему плиоцену.¹ С середины этого длительного промежутка времени, с миоценом, совпадает и весьма значительное развитие вулканической деятельности, которое согласно Аррениусу и Фреху должно было вызвать общее повышение температуры. В действительности же мы видим обратное. При таких обстоятельствах вполне понятно, что Кокен, в противоположность Аррениусу и Фреху, высказывает мысль, что наступление оледенений скорее совпадает с увеличением вулканической деятельности, чем с ее ослаблением.

Далее особенно четвертичные межледниковые эпохи обнаруживают явления, совершенно не совместимые с гипотезой Аррениуса-Фреха.

Можно думать об этом как угодно, но нельзя отрицать, что в ледниковую эпоху повторялись большие передвижения ледникового покрова вперед и назад. Эти колебания могли зависеть лишь от климатических колебаний, но отнюдь не от соответствующих изменений количества углекислоты в атмосфере.

Столь на первый взгляд заманчивая гипотеза Аррениуса о влиянии углекислоты не встречает следовательно никакого подтверждения в геологических фактах. Также слабо ее физическое основание, покоящееся на невыдерживающих критики предположениях. Это выясняется ниже, при рассмотрении воздушной оболочки Земли.

Видные американские геологи, в особенности Чарльз Шухерт,² держатся того мнения, что климатические условия на Земле, начиная уже с салгонкского времени, были по существу те же, что и теперь. Если не считаться с определенными космическими влияниями, приписываемыми например некоторыми исследователями солнечным пятнам, можно полагать согласно этим воззрениям, что Земля главным образом сама

¹ По Гарасовицу (Harrasowitz), средняя температура Германии равнялась: в палеоцене 20°, в эоцене 22°, в олигоцене 20°, в нижнем миоцене 19°, в верхнем миоцене 17°, в плиоцене 17 — 14° Ц. «Geolog. Rundschau». VII, S. 240, 1917.

² Persson and Schuchert, Textbook of Geology, New-York 1915. Ср также Ellsw. Huntington and Stephen S. Vischer, Climatic changes, their nature and causes, New-Haven 1922.

выработала свой климат. Это совершенство приемлемо для частых уже с протерозоя оледенений, совпадающих по времени с революциями в земном режиме, в особенности с резко повышенной горообразовательной деятельностью. Перемещение обширных частей земной поверхности на значительную высоту имело следствием такое понижение температуры, что большие или меньшие области могли подвергнуться оледенению.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ЛЕТОСЧИСЛЕНИЕ.

Часто делались попытки определить возраст отдельных геологических событий и вообще Земли.

Известная попытка такого рода была предпринята уже в шестидесятих годах прошлого столетия знаменитым лордом Кельвином (Kelvin). Предполагая начальную температуру земного шара в 3900°C , он определил возраст земли около 100 миллионов лет. В то время радиус его необыкновенной теплопроводительной энергией был еще неизвестен. Теперь же физики держатся того мнения, что процесс охлаждения Земли шел значительно медленнее, чем предполагал лорд Кельвин, и что поэтому ее возраст значительно больше. Позднее Жюли (Joly) и др. исходили из положения, что

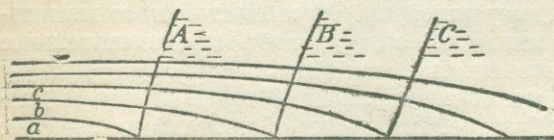


Рис. 8. Образование шведских послеледниковых морских глин путем ежегодного отложения отдельных слоев по краям отступающего материкового льда (по Вееру).

A, B, C,—три земных положения льда, следующих одно за другим; a, b, c,—три следующих друг за другом годовых слоев.

содержание солей в морях не присуще самой воде, но образовалось за счет выветривания горных пород главным образом вулканического происхождения. Они определили на основании количества со-

держащейся теперь в океанах поваренной соли возраст Земли от 50 до 150 миллионов лет; однако и эти данные очень сомнительны.

Попытки определения продолжительности отдельных геологических событий также не привели к удовлетворительным результатам

Таким путем определения скорости поднятия дельты Миссисипи и Нила старались узнать продолжительность того времени, какое понадобилось на их образование. Пытались использовать и скорость отступления Ниагарского водопада, чтобы определить продолжительность времени, прошедшего с момента возникновения водопада, т. е. с конца ледниковой эпохи. Ляйелль предположил ее в 70 000 лет, другие новейшие исследователи — всего в 7 000 лет. Позднее Пенк¹ на основании мощности четвертичных отложений щебня в Северных Альпах и величины эрозии в той местности определил подобным способом продолжительность послеледникового вюрмского времени в 20 000 лет, продолжительность же всего ледникового периода — в несколько сот тысячелетий.

На более вероятных основах сделана Геером (de Geer) новал² попытка вычислить время, прошедшее с конца ледникового периода. Она бази-

¹ Penck, Die Alpen im Eiszeitalter, III, S. 1169, 1909.

² De Geer, Geol. Förening, Vohrandl. 30, S. 475, 1909; Ebend. 43, S. 70, 1921.

руется на замечательной свите послеледниковых морских иоддиевых ¹ глин Швеции. Свита эта могла возникнуть лишь таким образом, чтобы на краю все время отступавшего к северу внутреннего ледника каждое лето отлагался отдельный слой глины. Если это действительно так, то, установив число слоев, можно определить число лет, которое понадобилось для стаивания ледника и для возникновения глинистых отложений. Вышеупомянутый исследователь Геер исчисляет его приблизительно в 12 000 лет.

В последнее время Геер смог доказать, что упомянутые глины залегают на сотни километров не только в Швеции, но и в совершенно таких же условиях развиты и по другую сторону Атлантического океана в Соединенных штатах и Канаде. Это указывает, что годовые колебания климата в то время для большей части Земли имели поразительно одинаковый характер.

Совершенно другой путь для определения возраста горных пород избрал английский физик Стрэтт (Strutt). ² Он исходил из положения, что для образования содержащегося во всех почти горных породах (конечно в ничтожнейших количествах) гелия из исходных его элементов (урана и тория) нужно вполне определенное, независящее от разных внешних условий время. Стрэтт установил для целого ряда минеральных масс содержание гелия и постарался определить таким способом их возраст. Он пришел при этом к следующим данным:

Породы		Возраст (лет)
Послетретичный савдинит (Везувий)	менее чем	100 000 млн.
Послетретичные лавы (Лаахерское озеро)	” ”	1 000 000 млн.
Олигоценовый сферосидерит (Рейнская область)	” ”	8 400 000 млн.
Эоценовый красный железняк (Ирландия)	” ”	31 000 000 млн.
Каменноугольный красный железняк (Англия)	” ”	150 000 000 млн.
Нижний девон (гранит Урала)	” ”	200 000 000 млн.
Различные архейские горные породы	” ”	200—600 млн.

Кроме гелия при распаде урана и тория образуется еще разновидность свинца — изотопный урановый свинец. ³ Так как содержание этого свинца с возрастом горной породы также возрастает, это также может служить для определения возраста пород. Замечательно, что вычисленный по содержанию свинца возраст всегда значительно выше исчисленного по содержанию гелия, каковой по мнению Барреля является минимальным.

На основании только-что изложенного ⁴ имеем:

Породы	Содержание свинца в %	Возраст в млн. лет
Различные каменноуг. изверж. породы	0,04	300
Девонские изверженные породы	0,04—0,08	350
Средне-кембрийские до докембрийских изверженные породы	0,13—0,15	940—1 120
Древнейшие гранито-гнейсы Канады и Финляндии	0,21	1 400

¹ Названы так по большому количеству в них остатков моллюска *Joldia argtica. Ped.*

² Strutt, Proc. Roy. Soc., 1910, 84, S. 379.

³ Его атомный вес равняется лишь 206 при 207,1—207,2 обыкновенного свинца.

⁴ Barrell, Measurements of geol. time, Bull. Geol. Amer., Bd. 28. S. 851, 1917.

На основании этих данных Баррелль снова пытался вычислить продолжительность целых геологических периодов, причем он пришел к значительной более высоким цифрам, чем до сих пор было принято. В среднем длина одного геологического периода исчисляется Барреллем в 35 — 40 млн. лет. Но некоторые отдельные периоды должны быть значительно длиннее, особенно каменноугольный — 85 — 90, нижнесилурийский — 80 — 130, кембрийский — 70 — 110 млн. лет.

Баррелль пытается вычислить также продолжительность самых крупных подразделений геологического времени. Он принимает

кайновой	55 —	65 млн. лет
мезовой	135 —	180 „ „
палеовой	360 —	540 „ „
алгонский и архейский периоды . . .	1 200 —	1 400 „ „

На основании этого возраст Земли был исчислен от 1 700 до 2100 млн. лет — гораздо большим, чем предполагалось до сих пор.¹

Исключительное несоответствие прежних цифр данным Баррелля явно выявляет те сомнения, которые господствуют в этом, как и во многих других геологических вопросах.

Уже из этого краткого изложения видно, как трудно установить абсолютную древность пород и как в общем эти данные сомнительны. Обычно в геологии устанавливается лишь относительный возраст. Если мы говорим например, что триас древнее юры, это основано на достоверных стратиграфических и палеонтологических данных.

МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ЗЕМЛИ.

ЗЕМНОЙ МАГНЕТИЗМ.

Для картографического изображения магнитных соотношений на Земле употребляют обычно так называемые изогоны, изоклины и изодинамы.² Все эти системы линий дают лишь средние величины, из которых обнаруживаются суточные, годовые и соответствующие более длинным периодам времени колебания.

На изменение магнитных кривых признают теперь влияние не только общего строения страны, но и различных геологических условий. Так например богатые железом породы (как диабазы, базальт) оказывают явное влияние на направление магнитных линий; то же относится и к большим сбросам, при которых часто граничат между собой породы самого разнообразного состава.

¹ Верхние цифры могут быть слишком высоки; приведем для сравнения вычисленные раньше Chester A. Reeds из Американского музея в Нью-Йорке для продолжительности отдельных периодов (Natural History XXIII, S. 370, 1923). По его мнению продолжительность кембрия равнялась 3, нижнего до верхнего силура — 4,5 до 2, девона — 2,5, каменноугольного периода — 5, перми — 1,5, триаса — 2,5, юры — 2, мела — 4,5, третичного — четвертичного периодов — 3 млн. лет. Продолжительность мезозоя равнялась следовательно 6 — 9, палеозоя 12 — 18 и возраст Земли от археозоя 41 — 60 млн. лет.

² Угол отклонения магнитной стрелки от географического меридиана называется ее *склоном* (восточное и западное); угол наклона ее к горизонту называется *наклоном*. *Изогоны* — линии одинаковых склонений, и *зоклины* — линии одинаковых наклонов магнитной стрелки. Линии одинаковых напряжений магнетизма называются *изодинамами*. *Ред.*

Одним из самых замечательных примеров связи, которая существует между влиянием магнитной силы и тектоникой, являются Японские острова, замкнутая область западного склонения посреди окружающей ее области господствующего восточного склонения. Изогоны в Японии имеют изогнутое направление, одинаковое с направлением всей дуги островов и горных цепей. Но там, где кривые попадают в область «Fossa magna», т. е. зону опускания, имеющую форму грабена, покрытую вулканами и расположенную перпендикулярно горам, они резко отклоняются на север (рис. 9).

Почти все германские горы представляют области магнитных аномалий: Шварцвальд, Оденвальд, Гарц, Исполиновые горы и т. д. Но и некоторые равнинные области являются областями магнитных аномалий¹.

Очень интересна установленная в последнее время связь между некоторыми землетрясениями и внезапно вслед за ними наступающими магнитными аномалиями. Японским геологам эта связь известна уже давно; она наблюдалась при землетрясении в юго-западной Германии в ноябре 1910 г.²

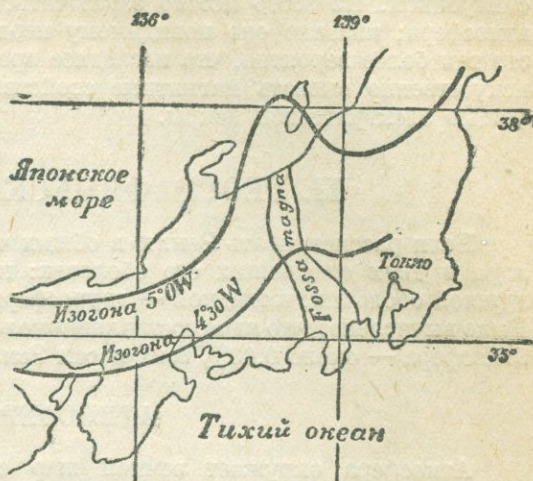


Рис. 9. Направление изогон на острове Япон (по Науману).

МАГНЕТИЗМ ГОРНЫХ ПОРОД.

✓ Это свойство горных пород совершенно независимо от земного магнетизма. Иногда породы действуют как немагнитные железные массы; тогда оба полюса магнитной стрелки одинаково притягиваются и отталкиваются. Иногда же они сами магнитны и обладают следовательно полярностью: в таком случае один полюс стрелки будет притягиваться, другой отклоняться.

Уже с древности известно например магнитное влияние некоторых гранитных скал Гарца. Еще сильнее эти свойства проявляются у многих базальтовых гор Эйфеля, Фогельсберга и др.³ В общем почти все породы вулканического происхождения магнитны, и их магнитные свой-

¹ Особенно большой практический интерес представляет для нас недавно изученная курская аномалия, где магнитная стрелка отклонялась от своего нормального положения благодаря влиянию на нее огромных железорудных масс. *Ред.*

² R. Lang, Neues Jahrb. f. Min., 1913., Beil., Bd. XXXV.

³ Давно известно и описано в литературе это явление относительно некоторых кристаллических пород Урала. См. М. И. Липовский, О магнитных аномалиях в змеевиковых и пироксенитовых массивах Билимбаевской дачи на Урале и Г. Ф. Абельс, Список магнитных аномалий на Урале, Записки Ур.-о-ва любителей естествознания в Свердловске, т. XXXIX, 1924, стр. 43 и 29. *Ред.*

ства стоят в прямой зависимости от содержания в них железа, в особенности магнитного железняка.

Доказано однако, что магнетизм горных пород есть явление, приуроченное главным образом к земной поверхности, быстро уменьшающееся с глубиной. Из этого можно заключить, что источником его является атмосфера; вызвано оно повидимому неоднократными ударами молнии; это тем более вероятно, что последнее время Поккелю (Pockel)¹ удалось искусственно вызвать магнитные свойства в различных породах помощью электрической искры.

II. ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ.

Если рассматривать Землю в общих чертах, она состоит из твердого ядра и двух одевающих его оболочек: газовой — атмосферы, или воздушной оболочки, и жидкой — гидросферы, или океанической оболочки. Было вычислено, что ядро составляет около 93, гидросфера — около 7 и атмосфера — около 0,03% всей массы Земли.

АТМОСФЕРА.

Атмосфера окружает земной шар сплошным покровом, который вследствие своей легкости и разреженности является наиболее подвижной частью Земли. Ее мощность равняется во всяком случае нескольким сотням километров. На высоте 5000 м атмосферное давление уменьшается уже вдвое, а на высоте 10 — 11 км приблизительно уже три четверти массы всей атмосферы остается внизу. Давно уже известно, что температура воздуха понижается по мере поднятия над земной поверхностью приблизительно на 1° на каждые 100 м,² лишь недавно однако установили, что это понижение продолжается лишь до 11 км высоты, тогда как выше температура воздуха до самых значительных высот остается без изменений и равняется — 55°.

Граница высоты в 11 км имеет для атмосферы исключительное значение. Она не только отделяет нижнюю газовую зону с быстро понижающейся температурой от верхней разреженной зоны с постоянной температурой; здесь, в нижней зоне, в тропосфере метеорологов, происходят все движения воздуха, сгущение водяного пара и образование вследствие этого облаков, — словом все те явления, которые создают «погоду», тогда как в верхней зоне господствует статическое равновесие.

В пределах единственно нам доступной нижней части атмосфера представляет смешение 4 объемов азота и 1 объема кислорода с небольшим непостоянным количеством углекислоты, водяного пара и других элементов (аргон и т. д.); на большой высоте, вероятно километров около 70, состав ее наверно изменяется, так как имеющийся внизу лишь в виде следов легкий водород получает тем преобладание, а господствующий в низких слоях азот скоро совсем вытесняется (рис. 10).

¹ Pockels, Neues Jahrb. f. Min., 1897, I, S. 66.

² Это относится к сухому воздуху. Воздух, насыщенный водяными парами, охлаждается значительно медленнее. Среднее уменьшение температуры с высотой равно в действительности 0,57° на каждые 100 м или почти 1° на каждые 200 м. Эту величину и называют аэротермическим градиентом. *Ред.*

Особенное значение придают содержанию в воздухе водяного пара и углекислоты, потому что они обладают способностью свободно пропускать световые и тепловые лучи, посылаемые Солнцем, и наоборот — задерживать или поглощать отражаемые Землей тепловые лучи. Оба действуют, как клапан, который впускает, но не выпускает тепла, и значительно способствуют этим повышению температуры на земной поверхности.

Содержание углекислоты в атмосфере равняется теперь около 0,03% по объему. Можно однако предполагать, что в течение геологических периодов содержание этого газа в воздухе значительно колебалось: напряженность вулканических извержений, при которых в воздух попадали большие количества углекислоты, а также развитие углеобразующих и известково-образующих процессов, которые наоборот поглощали большие количества этого газа, были в разные периоды истории Земли весьма различны.

С этими фактами и была связана попытка Аррениуса (как мы уже об этом упоминали) объяснить изменением количества углекислоты в атмосфере климатическое соотношение геологического прошлого и в особенности оледенение Земли. Значительное обогащение воздуха углекислотой должно было по его мнению вызвать общее повышение температуры; наоборот, уменьшение количества этого газа влекло за собой понижение температуры на земной поверхности.

С этой точки зрения Аррениус объясняет теплый климат каменноугольного и третичного времени очень сильной вулканической деятельностью в эти периоды; наоборот, оледенение к концу палеозоя и четвертичного времени — колоссальным потреблением углекислоты пышной растительностью тех времен. К сожалению эта попытка не выдерживает критики, потому что противоречит как геологическим, так и физическим фактам.

Как доказал Ангстрем (Angström), ¹ современного количества углекислоты совершенно достаточно, чтобы поглощать все те лучи, которые вообще могут быть поглощены. Избыток углекислоты в атмосфере не имел бы поэтому значения. Согласно Ангстрему даже пятой части содержащейся теперь углекислоты было бы вполне достаточно для полного поглощения.

Изменение климата последовало бы лишь в том случае, если бы содержание углекислоты упало ниже одной пятой настоящего; возрастающие же количества этого газа остались бы без влияния на климат.



Рис. 10. Предполагаемый состав атмосферы.

¹ Angström, Über die Abhängigkeit der Absorption der Gase, besonders der CO₂, von der Dichte. Öfv. Vet. Akad. Förh., 1919, 6, S. 371.

Значение атмосферы в общем заключается в том, что она является главным условием существования органической жизни. Кроме того она является носителем и посредницей в никогда не прекращающемся круговороте воды, при котором вода постоянно поднимается в виде газа в атмосферу, чтобы там сгуститься и опять вернуться на Землю. В-третьих большое значение имеют механические движения атмосферы — ветры. Они являются следствием неравномерного нагревания различных частей земной поверхности и вызванного этим нарушения равновесия тропосферы, которое они опять и восстанавливают. Самое обычное явление — это когда от теплового экваториального пояса (приблизительно 10° по широте) нагретый более легкий воздух поднимается, чтобы стекать потом в виде противопассата, тогда как под ним и приблизительно ему навстречу на северном полушарии с северо-запада на юго-запад дуют пассаты. Зона этих ветров распространяется приблизительно на 30° к северу и югу. К ним присоединяются полярные вихревые движения воздуха, в нижних слоях вращающиеся с запада на восток, при чем воздушные массы стремятся понизу к экватору, а поверху — к полюсу. Так возникают различные атмосферные круговороты, в отдельных случаях чрезвычайно сложные ¹.

ВОДНАЯ ОБОЛОЧКА ОКЕАНОВ.

Водная оболочка океанов занимает, как известно, большую часть земной поверхности ($\frac{5}{8}$), так что для наблюдателя, смотрящего на Землю извне, она показалась бы главным образом водяным шаром.

Плотность морской воды при температуре от 0 до 15° вследствие наличия растворенных в ней солей равняется 1,027. Содержание солей в общем очень равномерно и равно в среднем 3,5%. Самой существенной из них является хлористый натрий, составляющий более $\frac{3}{4}$ всех растворенных составных частей (в среднем 78%). Вслед за ним идут $MgCl_2$, $MgSO_4$, $CaSO_4$ и KCl . В твердом состоянии соли всех морей могли бы образовать оболочку в 40 м мощности вокруг всей Земли.

Кроме солей морская вода содержит еще множество растворенных веществ, которые встречаются большей частью в столь малых количествах, что могут быть обнаружены не в самой воде, а лишь в золе морских растений. На первый взгляд поражает, что в морской воде обнаруживаются лишь следы извести, хотя реки несут в море именно эту соль. Такое явление объясняется постоянным разложением углекислого кальция вследствие деятельности организмов: многочисленные животные береговой полосы, выделяющие известь (на образование внутренних или внешних скелетов. *Ред.*), не пропускают известковых солей пресной воды дальше прибрежной области, так что вода открытого моря остается без извести.

Рядом с названными солями морская вода содержит еще ничтожное количество различных газов. Среди них особенно интересна углекислота, которой в морской воде в 27 раз больше, чем в атмосфере. Так как уж незначительное повышение давления углекислоты чрезвычайно сильно повышает поглощение этого газа морской водой, то океан представляет собой прекрасный регулятор содержания углекислоты в воздухе.

¹ В главном по Börnstein, Handwörterb. d. Naturw., I, S. 580.

Температура в верхних слоях океана колеблется между $+ 32$ и $- 3^{\circ}$. С глубиной температура сначала быстро, а потом медленнее понижается. На глубине 750 — 1 100 м господствует в среднем температура наибольшей плотности воды, т. е. $+ 4^{\circ}$. Но и ниже этой границы температура хотя и очень медленно, но понижается: на больших глубинах даже под экватором, температура дна колеблется между $+ 2^{\circ}$ и $- 2^{\circ}$. Это объясняется общим медленным перемещением холодной и тяжелой полярной воды (в особенности антарктической) к низким широтам. Правильность этого положения вытекает из того, что столь низкие температуры существуют лишь в открытом океане, но отнюдь не в таких морях, как наше Средиземное, отделенных от океана подводным барьером.

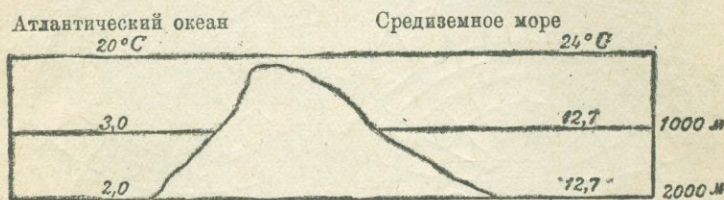


Рис. 11. Температурные соотношения Атлантического океана и Средиземного моря у Гибралтарского порога летом.

ром. Здесь температуры дна находятся в гораздо большем соответствии с наиболее низкими из средних зимних температур (рис. 11).

На таких важных в геологическом отношении фактах, как движение моря, отложение морем осадков и т. д., мы сможем остановиться позднее.

Только наибольшая часть лежащей среди гидросферы и атмосферы твердой Земли поднимается над уровнем моря и образует сушу. Среднее отношение моря к суше приблизительно равняется 2,6 : 1.

Как мы уже отмечали, рассматриваемая в целом Земля представляется водяным шаром, из которого выступает несколько больших и много мелких участков суши.

При более тщательном изучении земного тела особенно выявляются три положения: 1) определенное преобладание суши вокруг северного полюса и воды вокруг южного, 2) треугольная форма материков, которые широкой своей стороной повернуты к северному полюсу и заостряются к югу, и 3) антиподное расположение континентов по отношению к океанам (рис. 12). Эти три факта настолько резко бросаются в глаза, что в них хотели видеть общий закон образования Земли. Естественно эти положения имели бы такое значение в том лишь случае, если бы удалось доказать их наличие не только в настоящее время, но и в геологическом прошлом. Однако пока это очень спорный вопрос. Тогда как некоторые геологи, в особенности американцы, приписывают материкам и морским бассейнам большое постоянство, другие считают их более или менее изменчивыми. Так Зюссом, Неймайром и др. признается, что в течение всего мезозоя и даже гораздо раньше Южная Америка и Африка были связаны между собой широким материковым мостом; вероятно также, что в третичное время существовала непосредственная связь между Америкой и Европой. Из этого можно заключить, что современный Атлантический океан на всем своем протяжении — относительно недавнего происхождения (взгляд, который только в последнее время высказал Динер) (К. Diener).

Самое большое из всех морей — Тихий океан — рассматривается почти всеми как первозданный бассейн, возникший еще в кембрийское время. На основании последних работ Шухерта по палеогеографии Северной Америки можно принять, что этот материк, несмотря на частые затопления морем, в течение всех геологических периодов сохранял в общем свое очертание. Тот факт, что среди образующих материка осадков неизвестно таких, которые бесспорно можно было бы отнести к осадкам глубокого моря, подтверждает мнение, что только очень редкие участки прежнего дна глубокого моря подняты теперь над уровнем моря; в этом

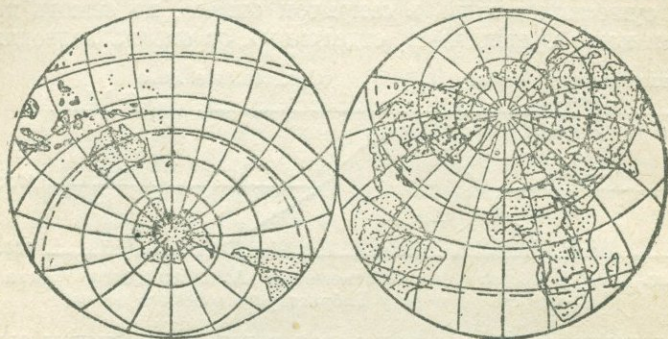


Рис. 12. Океаническое и материковое земные полушария.

заключается твердое доказательство относительно ограниченного изменения больших и глубоких морских бассейнов.

Следующие четыре больших материка можно рассматривать более или менее определенно существовавшими в течение всего геологического прошлого: Северо-атлантический (Северная Америка и Скандинавия), Сибирско-китайский, Африканско-бразильский и Австрало-индо-мадагаскарский.

Наоборот, как главнейшие из опустившихся материков мы назовем Арктический, Южно-атлантический (древнее соединение между Южной Америкой и Африкой), материк Гондвана (в древности соединявший Индию с Мадагаскаром) и Южный тихоокеанский материк.

ОЧЕРТАНИЯ СУШИ.

Обычно разделяют сушу на Старый и Новый Свет и считают центральной частью первого Азию и окраинными частями — Европу, Африку и Австралию; Новый Свет распадается на Южную и Северную Америку. Таким образом получаются три южных и три северных материка. Их разделяет проходящая поперек всей Земли с востока на запад зона разлома. Проходя через громадные окруженные материками моря, она является зоной величайших нарушений (рис. 13).

Ее геологическое значение проявляется громадным числом расположенных на ней действующих и потухших вулканов, а также сильными и частыми землетрясениями.

Согласно современным географическим воззрениям к известным шести континентам присоединяется еще седьмой — Антарктический.

Уже его значительная величина (14 млн. км²), почти вдвое превышающая Австралию, со всех сторон ограничивающий его шельф, а также его состав, преимущественно из кристаллических сланцев, — все это свидетельствует о его материковой природе.¹

К. Риттер (K. Ritter) различает замкнутую и расчлененную береговую линию.

Большое значения для нас имеет разделение Зюссом берегов на два типа: Тихоокеанский и Атлантический. У первого направление берега всегда совпадает с направлением прибрежной горной цепи. У Атлантического типа, наоборот, подобное совпадение отсутствует — береговая

горная цепь часто образует с берегом большой угол. Первый тип берегов мы наблюдаем вокруг всего Тихого океана; второй — особенно характерен для обоих берегов Атлантического океана.



Рис. 14. Подводный шельф, соединяющий Британские острова с континентом.

Между ним и берегом Норвегии лежит так называемая Норвежская впадина.

Почти все берега суши окаймлены подобной плоской подводной платформой, которая часто (Северное и Балтийское моря, Гудзонов залив) распространяется и на внутренние моря. Этот пояс мелкого моря

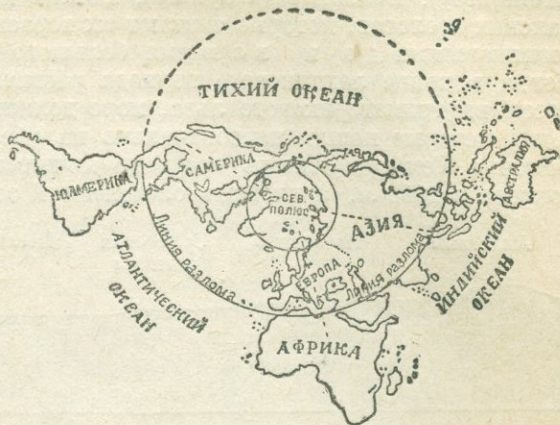


Рис. 13. Главная зона разлома Земли.

Современная береговая линия нигде не совпадает с действительным очертанием материка. Хорошим примером являются Британские острова; они возвышаются на подводном плато, которое обнимает не только пролив, но и большую часть Северного моря, равно как и широкую полосу к западу от берегов Ирландии и Шотландии. Лишь на много миль к западу морское дно быстро опускается до больших глубин, — только здесь и лежит на самом деле край Европейского материка (рис. 14).

Широкая полоса мелкого моря расположена также и перед восточным берегом Северной Америки (рис. 15).

¹ Cp. v. Drygalski, Sitzungsber. Bayer. Akad. Wissensch., 1919, I, S. 2 ff.

называют теперь шельфом. Лишь на внешнем краю шельфа лежит истинная граница между подошвой материка и океаном.

Взгляды на значение и способ возникновения шельфов еще расходятся; все же нам кажется правильным мнение Дэли (Daly), Гемфри (Humphrey), Вейланда (Wayland), Вогана (Vaughan) и других американских геологов, которые считают их терасами накопления и абразии, возникавшими до и во время большого четвертичного оледенения. Когда в конце ледникового периода растаяли покрывавшие материк массы внутриматерикового льда, море должно было получить те массы воды, которые пошли первоначально на образование этого льда. Если вместе с Гемфри считать среднюю мощность четвертичного ледяного покрова в 1000 м, а площадь оледеневшей земной поверхности принять



Рис. 15. Разрез через область между Аллеганями и Атлантическим океаном (чтобы показать шельф, ограничивающий материк).

равной $\frac{1}{13}$ поверхности океанов, то мы получим, что воды растаявших ледников в послеледниковое время должны были повысить морской уровень на 60—70 м или, другими словами, должны были затопить на эту глубину поверхность шельфов. Прекрасные исследования Вогана, показавшие, что ископаемые коралловые рифы Средней Америки, Индо-тихоокеанской области и Австралии почти повсеместно несут следы опускания уровня моря в течение ледникового времени и поднятия его на 60—80 м в послеледниковое время, как бы являются подтверждением этого взгляда.¹

ФОРМА ПОВЕРХНОСТИ СУШИ.

Отправной точкой для сравнения различных высот суши является уровень моря, высота стояния которого у берегов Европы по новейшим точным измерениям колеблется лишь на десятки доли метра.

Превышение какой-нибудь точки относительно уровня моря называют абсолютной высотой (Meereshöhe), превышение относительно какого-либо другого уровня — относительной (Eigen) высотой. Затем большое значение имеет средняя высота какой-нибудь страны, т. е. та высота, которую она будет иметь, если всю ее массу распределить равномерно по ее поверхности. Европа обла-

¹ Daly, Pleistocene glaciation and the coral problem. Am. Journ. Sci. 4, 30, 297, 1910.

Humphrey, Changes of sea level due to change of ocean volume, Washington Acad. Sci. 5, 448, 1915.

Vaughan, Fossil corals from central America, Cuba etc. Smith's Inst. U. S. Nation. Mus. Bull. 103, Wash., 1919.

дает наименьшей средней высотой — 375 м, Азия — наибольшей — 920 м. Средняя высота всей поверхности суши принимается теперь равной 825 м.

По абсолютной высоте различают высокие области и равнины или низменности. Равнины или низменности являются глубоколежащими плоскими областями; они распадаются на прибрежные и внутренние низменности. Первые (Ломбардская, Гаронская), всегда граничащие с морем, представляют собой заполненные осадками в древнее время морские заливы; вторые, часто протягивающиеся через целые континенты, также состоят из рыхлых пород, но не представляют собой осушенного морского дна.

Высокие области распадаются на плоскогорья и горные страны. Плоскогорья в свою очередь разделяются на собственно плоскогорья и на плато или столовые области. Первые (Южно-германско-швейцарское плоскогорье, плоскогорье Великих соленых озер и т. д.) представляют собой, как и береговые низменности, уже давно высохшее дно соленых и пресноводных бассейнов; наоборот, столовые области (плато) представляют собой обширные плоские пространства осадочных или изверженных пород (Ливийская пустыня, плато Колорадо и т. п.).

Горные страны распадаются наконец на горные цепи, горы и холмы. Впоследствии в отделе о горообразовании этот вопрос будет изложен подробнее.

На основании изложенного можно сделать следующий обзор главных форм строения суши:

- а) низменности: береговые и внутриматериковые,
- б) высокие области:

плоскогорья—столовые области и собственно плоскогорья,
горные области—горные цепи, горы и холмы.

Чтобы получить более широкое представление о строении земной поверхности, надо изучить помимо суши и морское дно. Самые резкие контрасты земной коры заключаются между материками и морскими бассейнами или же между материковыми глыбами и океаническими впадинами. Они-то и представляют основные, главные формы строения земной коры, тогда как в противоположность им рассмотренные нами формы суши можно считать лишь второстепенными.

Мы знаем теперь, что форма морского дна в общем очень однообразна и на громадном пространстве почти плоская. Крутые склоны и внезапные подъемы встречаются лишь там, где дно не покрыто, как обычно, рыхлыми осадками, а состоит из твердых пород.

Такие крутизны, как на суше, встречаются в море лишь на склонах вулканических и коралловых островов, а также у вершин подводных вулканов (как например горы Фарадея в северной части Атлантического океана).

Самая большая морская глубина, измеренная точными аппаратами (в 1907 г. с германского гидрографического судна «Планета»),¹ находится к востоку от Филиппин и равняется 9780 м. Лишь немного меньше (9636 м) глубина к югу от острова Гуама в «Марианской впадине», так называемая глубина Неро.²

¹ Ю. Шокальский (Океанография, изд. 1917 г., стр. 36) относит измерения «Планеты» к 1912 г. *Ред.*

² По имени открывшего ее в 1899 г. американского судна «Него». *Ред.*

Эта и остальные глубины выше 3000 м принадлежат западной части океана в южном полушарии и лежат в узких, длинных углублениях морского дна, называемых в п а д и н а м и. Упомянутая нами впадина Марианских островов протягивается в северо-восточном направлении и имеет длину около 800 км; лежащая к северо-востоку от Новой Зеландии и протягивающаяся к северо-северо-востоку Кермадекская впадина вместе с лежащей на ее продолжении впадиной Тонга почти в три раза больше Марианской впадины.

Глубокие океанические впадины заканчиваются заслуживающей внимания так называемой передней или окраинной глубиной. Это более или менее узкие впадины, лежащие впереди материков и превосходящие глубиной иногда в несколько тысяч метров прилежащую часть морского дна. Они известны впереди дуги Восточно-Азиатских островов, а также у южных берегов Явы и Суматры (впадина Зунда), около Алеутских, Антильских островов, у восточных берегов Новой Зеландии и у западного берега Южной Америки (впадины Перу и Атакама).

Самая обширная из известных до сих пор областей опускания — Тускарорская впадина — с глубинами выше 7000 м лежит



Рис. 16. Распределение наибольших морских глубин и величайших возвышенностей.

на восток от Японских островов. Самой глубокой областью северной части Атлантического океана является Вест-Индская впадина между Антильскими и Бермудскими островами с глубиной в 5000—6000 м.

Выше мы говорили уже об опоясывающих материки континентальных ступенях или шельфах. Их внешний край лежит в среднем на глубине 200 м. Замечательное явление представляют также превышающие часто 5000 м глубины корытообразные подводные котловины, встречающиеся особенно часто в средиземных морях. Не менее достопримечательны валы, поднимающиеся в виде хребтов со дна океанических бассейнов. Хорошим примером является Средне-Атлантическое поднятие, которое отстоит всего на 500 м от уровня моря и способствует необыкновенному двойному изгибу Атлантического океана. Известно и другое поднятие — отходящий от Британского шельфа к Исландии и Гренландии Томсоновский хребет.

Самым важным результатом новых исследований было установление того факта, что величайшие морские глубины отнюдь не принадлежат, как это думали раньше, середине океанических бассейнов, но лежат вблизи крутых берегов. Тускарорская и Вест-Индская впадины, впадины Зунда и Атакама, Норвежская впадина глубиной до 600 м (рис. 14) и т. д. отлично это подтверждают. Иные глубокие впадины, как окаймляющие восточный край древне-австралийского материка впадины Кермадека и Тонга, хотя и не примыкают непосредственно к современным берегам, но лежат зато вблизи края древнего материка.

С другой стороны и высочайшие горные цепи не очень удалены, как это думали раньше, от краев материков; чаще они лежат вблизи их. Средняя величина различий высот на земной поверхности изображена на рис. 16. Общее строение земной поверхности и распределение различных высот и глубин иллюстрируются рис. 17.¹

Только очень небольшая часть земной поверхности поднимается выше 1000 м; значительно бóльшая — ниже этого уровня. Наоборот, лишь 8—9% площади морского дна имеют глубину меньше 1000 м, а около 50% — более 3000 м. «Большее половины земной поверхности занято глубинами мирового океана» [Зупан (Supan)].

Можно вычислить как среднюю высоту суши, так и среднюю глубину океана. Крюммель (Krümmel) устанавливает последнюю в 3680 м.

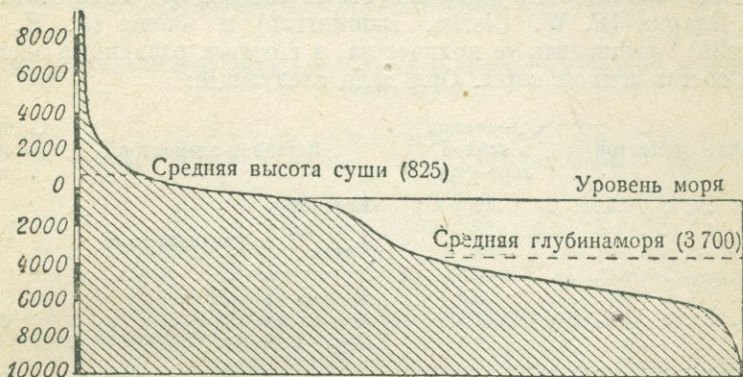


Рис. 17. Гипсографическая кривая земной поверхности.

Средняя глубина морей таким образом превосходит среднюю высоту суши (825 м) в $4\frac{1}{2}$ раза.

Вычислен и объем океана: он равняется 1330 млн. км³ и противопоставляется 104 млн. км³ массы, лежащей выше уровня моря; числа эти относятся приблизительно как 13 : 1. Следовательно чтобы заполнить морские бассейны, нужно было бы взять в 13 раз больше той массы, которая находится теперь выше уровня моря.

Только эти числа дают нам яркое представление о значительности морских впадин по сравнению с материками. Материки представляют собой огромные каменные глыбы со средней высотой в 4500 м (3680 + 825 средняя высота суши). Сравнительно с объемом этих гигантов все материковые возвышенности кажутся ничтожными. Даже такие горные цепи, как Гималаи, являются лишь незаметными морщинками на поверхности этой глыбы. Эти соображения показывают несостоятельность прежних воззрений, по которым горы представлялись как бы скелетом континентов. Эти незначительные морщины не могут иметь для континентов большого значения; мы должны наоборот признать, что материки являются древнейшими и главными образованиями, тогда как горные цепи лишь второстепенными и более юными. Дэна считал горные цепи лишь приподнятыми краями континентов, как бы их украшениями.

¹ Этот же рисунок дает соотношение между сушей и водой на земной поверхности. Ред.

III. ПЕТРОГРАФО-ТЕКТОНИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ.

ВЕЩЕСТВО ЗЕМНОЙ КОРЫ.

ХИМИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ.

Из известных до сих пор химических элементов (около 90) существенное значение в составе земной коры имеют лишь немногие. Из неметаллических элементов это будут кислород, водород, углерод, хлор, сера, фтор, фосфор и азот; из металлов: кремний, алюминий, железо, марганец, калий, натрий, кальций, магний, барий, титан, циркон, хром. Только эти 20 элементов находятся в земной коре в таком количестве, что их исчезновение значительно изменило бы ее состав. Особенно интересна попытка Кларка (F. W. Clarke, Вашингтон) и Фогта (J. H. Vogt, Христиания)¹ вычислить те количества, в которых различные элементы входят в состав земной коры. Они дали следующее:

Название элементов	Содержание в земной коре (%)	Название элементов	Содержание в земной коре (%)
Кислород	47	Водород	} приблизительно 0,25
Кремний	28	Углерод	
Алюминий	8	Титан	
Железо	4,5	Хлор	
Кальций	3,2	Фосфор	} 0,1
Магний	2,5	Марганец	
Калий	2,5	Сера	
Натрий	2,5		

Отсюда следует, что кислород составляет около половины, кремний — около четверти состава всей земной коры, первые в таблице восемь элементов — не меньше как 98,2%. Следующие семь элементов составляют всего лишь 1,3%, а все остальные — всего лишь 0,5%.

Эти цифры относятся только к литосфере. Состав барисферы (стр. 28) будет совсем иным.

Из 1000 теперь известных минералов существенное значение в строении земной коры играет всего несколько дюжин. Их можно сгруппировать следующим образом:

1. Окислы.

Снег, лед (H₂O).

Кварц (ангидрит кремнекислоты SiO₂).

2. Силикаты.

Группа полевых шпатов SiO₂, Al₂O₃, щелочи или CaO.

Фельдшпатыды (лейцит, нефелин и т. д.) SiO₂, Al₂O₃, щелочи или CaO.

Цеолиты SiO₂, Al₂O₃, щелочи, CaO, аq.

Группа слюд SiO₂O, Al₂O₃, MgO, щелочи HO.

Хлориты SiO₂, Al₂O₂, (Fe₂O₃), Mg(Fe)O, аq.

Авгито-роговообманковая группа SiO₂, Al₂O₃(Ca,Mg,Fe)O.

Гранат SiO₂, Al₂O₃(Fe₂O₃), Ca(Mg, Fe, Mn)O.

Эпидот SiO₂ Al(Fe)₂O₃, CaO.

Турмалин SiO₂(B₂O₃), Al₂O₃, Na₂O, Mg(Fe)O.

Топаз SiO₂(F), Al₂O₃.

Оливин SiO₂Mg(Fe)O.

¹ Clarke, The data of geochemistry, 4. ed., 1920 (U. St. Geol. Surv. Bull., 695).
Vogt, Zeitschr. f. prakt. Geol., 1898—1899.

3. Карбонаты: известковый шпат (CaCO_3), доломит (CaMgC_2O_6), магнезит (MgCO_3).
4. Сульфаты: ангидрит (CaSO_4), гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{aq}$), барит (BaSO_4).
5. Хлориды: каменная соль (NaCl).
6. Флюориды: плавиковый шпат (CaF_2).
7. Фосфаты: апатит ($3\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8 \cdot \text{Ca}(\text{Cl}, \text{F})_2$).
8. Железные руды: красный железняк, железный блеск (Fe_2O_3), магнитный железняк (Fe_3O_4), титанистый железняк ($\text{Fe}, \text{Mg})\text{TiO}_3$, железный шпат FeCO_3 , бурый железняк ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{aq}$), пирит (FeS_2).
9. Угли¹ и углеводы: торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит, нефть, асфальт.

Относительно распространения важнейших минералов в главных горных породах можно заметить следующее:

а) В массивно-кристаллических породах, кристаллических сланцах и метаморфизованных породах.

Калиевые и калинатровые полевые шпаты. Гранит. Кварцевый порфир. Липарит. Сиенит. Трахит. Нефелиновый сиенит. Фонолит. Гнейс.

Натровые и известково-натровые полевые шпаты. Диорит. Порфирит. Андезит. Габбро. Диабаз. Мелафир. Базальт.

Кроме того на ряду с предыдущими:

Кварц. Гранит. Кварцевый порфир. Липарит. Кварцевый диорит. Гнейс. Слюдистый сланец. Кварцевый сланец.

Роговая обманка. Сиенит. Диорит. Порфирит. Андезит. Роговообманковый гнейс. Роговообманковый сланец.

Авгит. Авгито-сиенит. Авгито-андезит. Габбро. Перидотит. Диабаз. Мелафир. Базальт. Пироксенит и родственные ему.

Слюдя. Гранит. Слюдистый порфирит. Гнейс. Слюдистый сланец и многие другие.

Хлорит. Хлоритовый сланец и другие кристаллические сланцы.

Оливин. Оливиновые массивы (перидотит) и серпентин. Оливиновое габбро. Оливиновые диабаз и базальт.

Нефелин. Нефелиновый сиенит. Фонолит. Нефелиновый базальт.

Гранат. Гранатовый гнейс и гранатовый слюдистый сланец. Гранатовые роговики.

Турмалин. Турмалиновые гранит и гранулит.

Апатит в виде подчиненной составной части почти во всех горных породах.

Известковый шпат. Зернистый известняк (мрамор). Известково-слюдистый сланец и известковый роговик.

б) В осадочных породах.

Каолин. Более или менее грязный в каолиновых породах, пластических глинах, в сланцеватых глинах. Глинистые сланцы. Мергель. Глины.

Полевые шпаты. Аркозы.

Кварц. Пески. Песчаники. Кварциты. Аркозы. Глины.

Известковый шпат. Известняк. Мергель. Шальштейн.

Доломит. Чистый доломит, доломитовый мергель. Доломитовый песчаник.

Гипс и ангидрит. Чистый или в смеси с глиной и мергелем.

Каменная соль и сопровождающие ее растворы солей (калийных).

Графит и уголь. Графит и графитовые породы, угленосные породы.

¹ Торф и ископаемые угли нельзя отнести к минералам, как это делает автор; правильнее считать их органогенными горными породами. Далее (стр. 62 и 91) сам автор относит угли к фитогенным горным породам. *Ред.*

в) Минеральные и рудные жилы, штоки и залежи.

Кварц.

Известковый шпат и другие карбонаты.

Тяжелый шпат (барит).

Железный шпат. Железный блеск и красный железняк. Бурый железняк. Магнитный железняк. Титанистый железняк. Хромистый железняк.

Плавиновый шпат.

Цинковая обманка. Свинцовый блеск. Железный колчедан. Магнитный колчедан. Медный колчедан.

Марганцовые руды. Пирролизит, псиломелан и др.

ГЛАВНЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД.

ОБЩИЙ СОСТАВ.

Все породы являются смесями (агрегатами) вышеприведенных, а также некоторых других более редких минералов. Смотря по тому, имеют ли эти минералы неорганическое или органическое происхождение, породы разделяются на минерогенные и органигенные.

Последние в свою очередь разделяются на основании животного или растительного происхождения их составных частей на зоогенные (костяные и раковинные брекчии, мел, глубоководный ил) и на фитогенные (известняки из водорослей, угли и т. д.).

Минерогенные породы иногда составлены из частиц одного и того же минерала, тогда их называют простыми или однородными (каменная соль, кристаллический известняк и т. д.). Большинство пород однако состоит из разнообразных минералов, тогда они называются сложными или неоднородными (гранит, кварц, порфир и т. д.).

СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ.

Мы должны различать существенные породообразующие минералы, присутствие которых необходимо, чтобы порода получила свое определенное петрографическое обозначение, — для гранита это будет кварц, слюда и полевой шпат, — и несущественные, привходящие, присутствие или отсутствие которых не имеет значения для гранита. Это будут турмалин, апатит и т. д.

Кроме породообразующих минералов многие горные породы содержат также материал петрографически несходного состава.

Его называют породообразующим материалом и различают также существенный от несущественного. К существенному относят например гальку конгломерата, к привходящему материалу относят:

1) конкреции — образовавшиеся почти всегда одновременно с заключающей их породой путем скопления минерального вещества около некоторого центра, — шарообразные или узловатые сростки, как например пиритовые или сферосидеритовые почки в глинах и сланцах, дессовые дутики и т. д.;

2) с е к р е ц и и — более поздние, впоследствии возникшие образования, полученные путем заполнения пустот в ранее отложившейся породе (агатовые друзы в миндалинах и т. д.);

3) в к л ю ч е н и я — более древние обломки горных пород в изверженных породах, окаменелости в осадочных породах.

СТРУКТУРА.

Под этим термином понимают способ связи отдельных составных частей горной породы и различают структуры кристаллические, стекловатые и кластические.

Кристаллические породы состоят из отдельных кристаллов и в свою очередь подразделяются на зернисто-кристаллические (рис. 19) и порфировые (рис. 18). У зернистых составляющие их части непосредственно между собой срослись — между



Рис. 18. Порфировая структура.

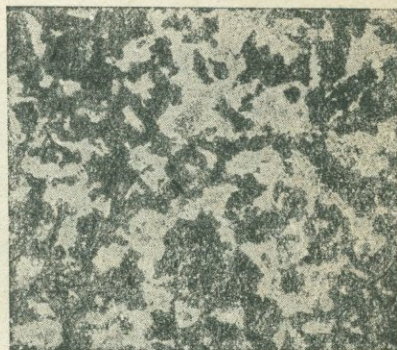


Рис. 19. Зернисто-кристаллическая структура.

ними нет никакого связующего вещества или промежуточной субстанции. По величине частей, их составляющих, различают породы крупнозернистые (макрокристаллические) — различные граниты, габбро, мелкозернистые (микроструктурные) и тонкозернистые, или кажущиеся аморфными (скрытокристаллические), — большинство базальтов.

У порфировых пород всегда существует скрытокристаллическая или стекловатая основная масса и в ней заключены единичные более крупные кристаллические выделения (кварцевый порфир, лейцитифир).

Стекловатые (гиалиновые) породы представляют собой естественное быстро застывшее из расплавленного состояния стекло (обсидиан). Наконеч кластические (обломочные) породы образовались за счет механического разрушения более древних пород. Подобно кристаллическим породам они по величине обломков разделяются на грубокластические или псефиты (конгломераты с округленными и брекчии с угловатыми обломками), мелкокластиче-

ские, или псамиты (большинство песчаников), и тонкокла-
стические или пелиты (глины и т. д.).

ТЕКСТУРА ИЛИ ХАРАКТЕР РАСПОЛОЖЕНИЯ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ В ПОРОДЕ.

Главные разновидности здесь следующие: массивная тек-
стура — когда расположение составных частей одинаково по всем направ-
лениям; слоистая — когда вся масса породы ясно распадается
на переслаивающиеся друг друга слои; сланцеватая — когда по-
рода при пластинчатом строении и параллельном расположении со-
ставных частей обладает тонкой слоистостью по одному направле-
нию (кровельные сланцы).

Другие менее важные тексту-
ры — это флюктуальная
или флюидальная текстура,
которая произошла от текучести в
застывающей породе, вызвавшей
расположение мельчайших кри-
сталлических образований в виде
разнообразно извивающихся нитей
или потоков (рис. 20); пузыр-

Рис. 20. Флюидальная текстура исланд-
ского обсидиана (по Циркелю).

чатая и шлаковая, миндалевидная, друзитовая, сфе-
ролитовая, оолитовая, пористо-ячеистая и т. д.

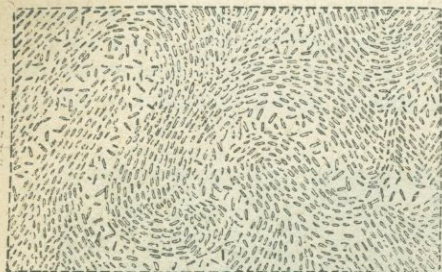


Рис. 21. Параллелепедальная отдельность гранита.
Исполнивые горы.

ОТДЕЛЬНОСТЬ.

Почти у всех горных пород есть то ясно выраженные, то более скрытые и обнаруживающиеся лишь при раскалывании или при выветривании поверхности разделения или отдельности. Возникая главным образом вследствие сокращения при застывании породы или вследствие высыхания, они разделяют всю породу на части иногда поразительно правильного строения.

Неправильно-полиэдрической отдельностью называют такую, где обособленные части угловаты, осторребристы, неправильной формы.

Среди правильных отдельностей важнейшие:

1. Плитобразная, встречающаяся у некоторых базальтов, кварцевых порфиров и т. д. Если плиты толсты, говорят о «матрацевой» отдельности; она в особенности часто встречается в выветрившихся гранитных скалах (рис. 21).¹



Рис. 22. Столбчатая отдельность базальта. Лицц на Рейне.



Рис. 23. Шаровая скорлуповидная отдельность базальта. Шлосберг у Аусига.

2. Призматически-столбчатая отдельность, чаще всего встречающаяся у базальтов и других изверженных пород; при ней порода распадается на шестиугольные столбы, обладающие иногда и поперечным расчленением (рис. 22).

3. Шаровая отдельность, тоже особенно свойственная базальтам и диабазам, встречается также у гранитов и других застывающих пород. Часто шары обнаруживают скорлуповатое строение (рис. 23).

¹ Работавшим в гранитных каменоломнях хорошо известна трещиноватость породы, которая вызывает при выветривании образование естественных кубов. Новые исследования Клооса и его учеников (Cloos, Der Mechanismus tiefenvulkanischer Vorgänge. Sammlung Vieweg, Braunschweig, 1921. Его же, Der Gebirgbau Schlesiens, Berlin, Bornträger, 1922) показали, что у таких гранитных масс повидному развиты две системы трещин:

1. Система главных трещин в направлении давления при застывании. Эти трещины, которые Клоос называет трещинами стяжения, бывают иногда открытыми и образуют эруптивные и минеральные жилы.

2. Образующиеся перпендикулярно к этим трещинам плоскости отдельностей Клоос называет трещинами давления. Они лежат в направлении растяжения горной породы и соответствуют плоскостям слоистости кристаллических

ЗАЛЕГАНИЕ.

Под ним подразумевают форму массы данной горной породы и ее отношение к окружающим горным породам. Различают: а) нормальное, или слоистое, залегание, б) ненормальное, или пронизывающее, залегание.

а) *Слоистость* является результатом постепенного отложения с некоторыми изменениями в условиях отложения. Отдельные слои при относительно небольшой мощности имеют значительное горизонтальное протяжение и обладают при этом в общем пластинчатым или плитчатым строением. Каждый слой отделен известной границей от покрывающего его (висячего) и подстилающего его (лежащего) пласта. Каждый слой, являясь результатом одного непрерывного отложения, отвечает определенному промежутку геологического времени; наоборот каждая граница напластований указывает на перерыв или же изменение условий процесса отложения.

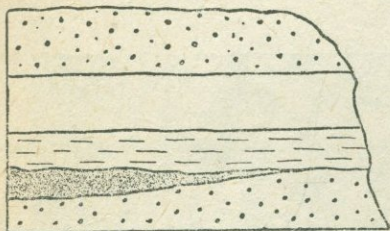


Рис. 24. Выклинивание пласта.



Рис. 25. Перекрестная (диагональная) слоистость.

Толщину каждого слоя называют его «мощностью». Мощность далеко не всегда соответствует продолжительности отложения. Некоторые слои отвечают временам года, другие — годам, иные — тысячелетиям. Большое число мало отличных друг от друга по возрасту и способу образования слоев называется системой слоев, свитой слоев или группой слоев. Если слой состоит из полезного ископаемого (руда, уголь), его называют «флецом», пластом.

Каждый слой ограничивается сверху «кровлей», снизу — «почвой». Оба эти слоя обычно параллельны, но к границам области распространения пласта они сходятся и обуславливают таким образом исчезновение, «выклинивание» пласта (рис. 24). Помимо выклинивания пласт может окончиться, будучи срезан пластом другой породы или же дневной поверхностью. Соответствующий этому последнему случаю разрез слоев называется «головами пластов» (рис. 26).

сланцев. Некоторые шпирь и включения посторонних пород также следуют этому направлению.

Эти и другие положения, установленные Клоосом и его учениками сначала для гранитных массивов Штрелена, недалеко от Бреслава, подтвердились и для других гранитных массивов; они дали возможность сделать важные выводы относительно направления давления, под которым породы застывали. (Ср. Wbnhoff, Die Methode der Granitmessung und ihre bisherigen Ergebnisse, «Geol. Rundschau», Bd. 13, S. 151, 1922).

У большинства слоев вследствие чередования более светлых и темных, более грубых и тонкозернистых прослоек гальки и т. д. ясно выражена параллельность плоскостям напластования (так называемая параллельная структура Наумана). Исключением является **диagonalная** (перекрестная) слоистость, при которой на коротком протяжении имеет место неоднократное изменение направления слоев (рис. 25).

Поверхность слоев обычно бывает ровной и гладкой. Это мало нарушается появляющимися на некоторых песчаниках волнистыми бороздами или валиками. Эти длинные, параллельно друг к другу располо-

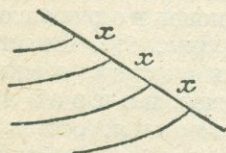


Рис. 26. Головы пластов.



Рис. 27. Простирание и падение пластов.

женные ребровидные возвышения и лежащие между ними углубления обычно возникают на дне мелких вод (озер, рек, морских побережий), равно как на поверхности дюн под действием движущихся по песку воды и воздуха.

Другие нарушения правильности поверхности слоев обусловлены следами так называемых **ископаемых** дождевых капель,

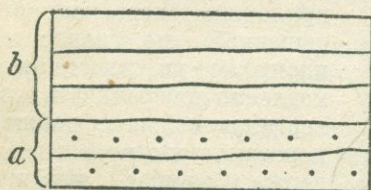


Рис. 28. Согласное напластование.

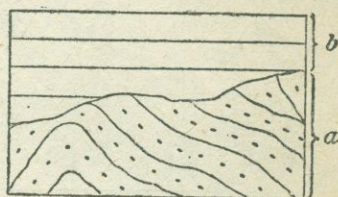


Рис. 28а. Несогласное напластование.

образующимися при высыхании трещинами, следами животных, которые ползали или проходили по еще невысохшему слою; иногда в связи с образованием соляных кубиков на поверхности высыхающего слоя наблюдаются так называемые кристаллоиды соли и т. д.

Все слои первоначально отложились в более или менее горизонтальном положении. Во многих случаях они сохранили эту горизонтальность и до настоящего времени; в других наоборот они были смяты в складки и разбиты позднейшими движениями земной коры.

Если слой лежит горизонтально, естественно, что он не имеет определенного направления. Если же он наклонен, то его положение в пространстве определяется: 1) **простиранием**, т. е. линией пересечения слоя с горизонтальной плоскостью, и 2) **падением**, т. е. его наклоном к горизонтальной плоскости, показанным в градусах (рис. 27).

На геологических картах например знак $\star \rightarrow 20^\circ$ обозначает, что с юго-запада на северо-восток простирающийся слой падает на юго-восток под углом в 20° .

Смотря по роду залегания свит слоев относительно друг друга, различают *конкордантное*, или *согласное*, залегание и *дискордантное*, или *несогласное*, залегание. При согласном залегании позднейшая свита *b* однообразно налегает на более древнюю свиту *a*; при несогласном залегании наоборот каждая свита пластов обладает своим особенным, отличным от других напластованием (рис. 28 и 28а).

От редактора. Простираение и падение наклонно лежащего пласта называются его *элементами залегания*. Их определяют

при помощи *горного компаса* (рис. 29). Вместо простираения пласта обыкновенно определяют *направление его падения*, составляющее *прямой угол с простираением*.

Для определения угла падения дадим компасу *вертикальное положение*, чтобы его отвес, повешенный на *оси магнитной стрелки*, свободно болтался. Дадим затем компасу такое положение, чтобы *стрелка отвеса* показывала 0° на *внутренней шкале* прибора. Нижним ребром приложим теперь компас к *расчищенной площадке* по напластованию медленно поворачивать его около *вертикальной оси*, наблюдая за показаниями отвеса и все время держа компас *вертикально*. *Наибольший угол*, который покажет отвес, и будет *углом падения горной породы*.

Держа компас в этом положении (когда *угол наибольший*), проведем по его ребру *линию* на *расчищенной площадке горной породы*. Возьмем теперь компас и приложим к нашей площадке так, чтобы *N* компасной коробки был *направлен по направлению падения пласта*, причем край компаса должен *совпадать с прочерченной нами линией*.

Затем поднимем *нижний край компаса*, не сдвигая *верхнего*, пока компас не примет *горизонтального положения*. Отпустим *магнитную стрелку* и по *северному концу стрелки* (он всегда отличается от *южного* — или весь *вороненый*, или снабжен *металлическим колечком*) берем в *градусах* отсчет на *круге компаса*. Этот отсчет даст нам *направление падения*. Если по отвесу *угол падения* получен например 20° , а *северный конец стрелки* в *указанном выше* положении дает отсчет например 225° , записываем это так: $\star 20^\circ$

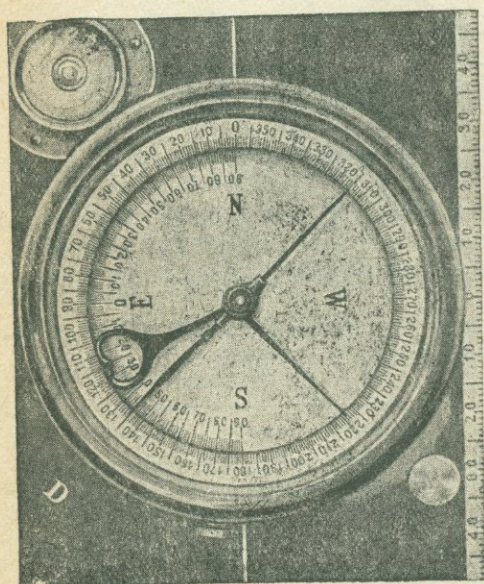


Рис. 29.

SW 225°, ставя перед показанием магнитной стрелки обозначения тех стран света по компасу, между которыми находится это показание.¹

Если какая-нибудь свита *c* покрывает ниже лежащую, согласно ее подстилающую свиту *b* и при дальнейшем распространении захватывает непосредственно третью еще более древнюю свиту *a*, залегающую часто несогласно, это называют **перекрывающим** или **трансгрессивным залеганием** (рис. 30).

В случае согласного залегания можно считать, что между образованием древнейших и позднейших слоев не прошло очень длительного промежутка времени; при несогласном же залегании он был настолько продолжительным, что древнейшая свита успела за это время быть смятой в складки и частью даже уничтоженной. Трансгрессивное залегание морских осадков указывает наконец, что отлагающий бассейн вышел из берегов, почему последующая свита пластов распространилась на большей площади, чем подстилающая.

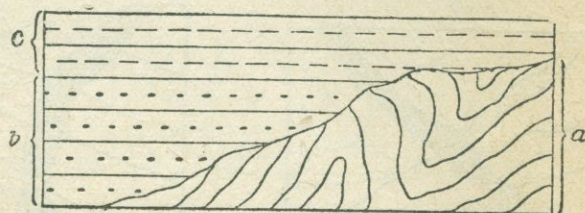


Рис. 30. Трансгрессивное напластование.

б) **Пронизывающее залегание** — жилы, горловины, лакколиты, штоки, батолиты, купола, потоки и покровы.

Пронизывающее залегание характеризуется тем, что при нем порода протыкает или пронзает прилежащие породы под большим или меньшим углом. Самая существенная здесь из форм залегания — **жилы**; это не что иное как заполнение трещин или, в случае горловин взрыва, трубообразных каналов в слоистых или массивных породах.

Заполнение могло совершиться различными путями: 1) наносом, наплывом сверху, например глиняные и песчаные жилы, а также жилы в известняках; 2) отложением минеральных веществ из циркулирующих по трещинам водных растворов, особенно **термальных вод**, — так образовались **минеральные жилы** (кварцевые, баритовые и т. д.) и 3) заполнением трещин поднимающейся из глубин магмой, — так образованы **эруптивные жилы** (базальт, порфир и т. п.).

Жилы прорезают слои прилежащих пород под большим или меньшим углом (рис. 31); иногда же жила частью лежит между слоями (рис. 32), тогда ее называют **пластовой жилой**, или **жилыной залежью**, или при эруптивном происхождении — **интрузивной жилой**.

Жилы, так же как и пласты, различаются по своей мощности, их положение также определяется падением и простиранием.

Поверхности, отделяющие жилу от прилежащей породы, называют **зальбандами**, ответвления жилы в прилежащую породу — **клино-**

¹ Чтобы по найденному направлению падения получить простирание пласта (если оно нужно), следует прибавить $\pm 90^\circ$. В нашем случае оно будет: $225^\circ \pm 90^\circ = 315^\circ$ или 135° — одно и то же. *Ред.*

образное, пальцевидное, ветвистое или копьевидное — называют а п о ф и з а м и (рис. 34, направо).

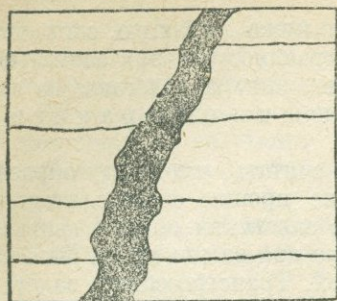


Рис. 31. Жила.

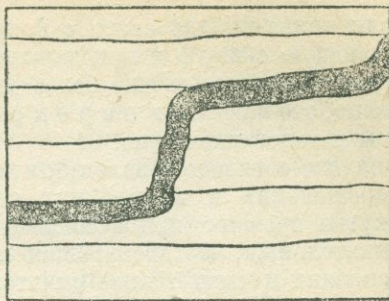


Рис. 32. Пластовая жила.

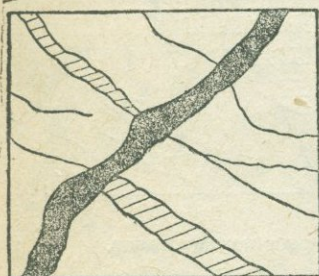


Рис. 33. Перекрестные жилы.

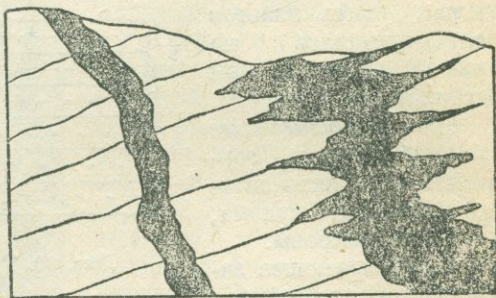


Рис. 34. Жилы гранита в зернистом известняке. Штемасс. Фихтельgebirге.

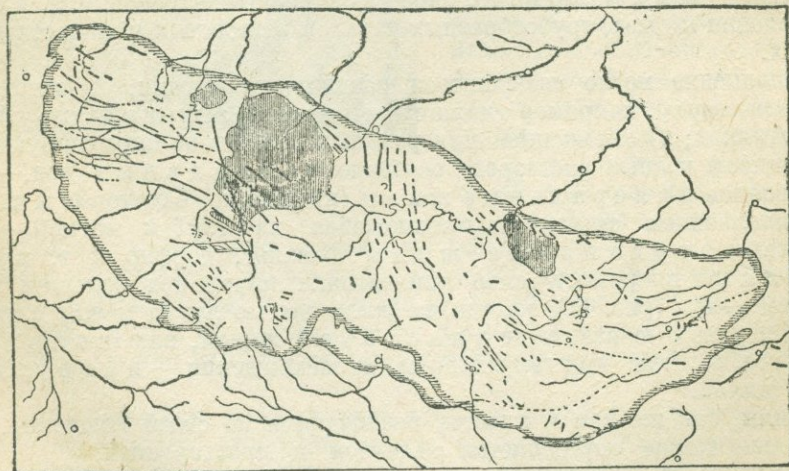


Рис. 35. Система трещин Гарпа.

Заштрихованные участки представляют гранитные штокы.

Жилы часто встречаются группами: иногда — как параллельные системы жил (рис. 35 и 36), иногда — как неправильно идущие, пересекающие или прорезающие друг друга жилы, причем секущая жила является

более молодой по отношению к пересекаемой, или наконец они расходятся по радиусам от одной какой-нибудь центральной точки.

Что касается горловин взрыва, более подробно мы остановимся на них лишь позднее при рассмотрении явлений вулканических извержений и в особенности изверженных взрывами.

К жилам близко стоят лаколиты, изученные впервые в Америке (рис. 37). Эти окончания изверженных жильных масс имеют форму

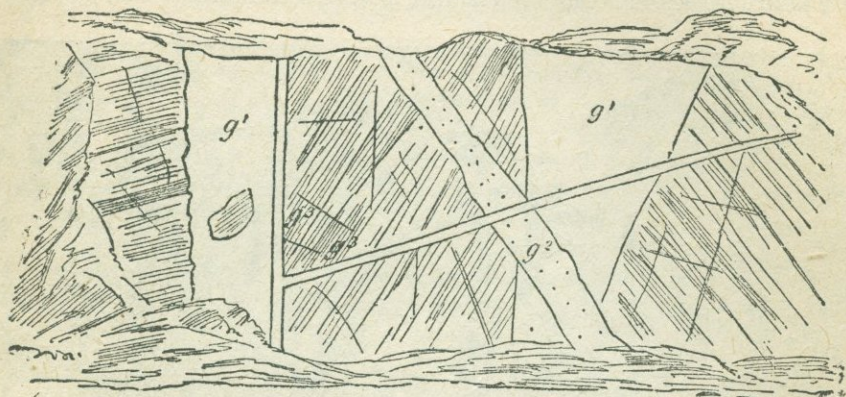


Рис. 36. Гранитные жилы (g^1 , g^2 , g^3) в гнейсе. Фюрстенек. Баварский лес.

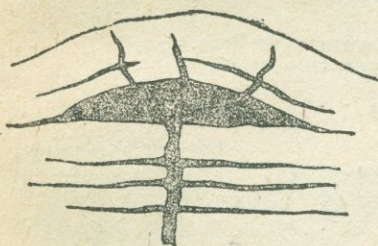


Рис. 37. Лакколит.

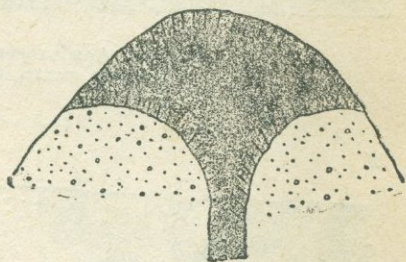


Рис. 38. Купол.

огромных караваев или похожую на них; они застывают, не достигнув земной поверхности, следовательно под землей. От них в окружающую породу отходят апофизы и интрузивные жилы; заканчиваются лакколиты как бы сводом. Естественно, что они делаются доступны наблюдению лишь тогда, когда верхний покров осадочных пород бывает снесен.¹

Жильные штоки — это короткие, но очень мощные жилы. В форме штоков часто встречаются различные изверженные породы, а также некоторые залежи руд, гипса и солей.

Батолиты представляют собой гораздо большие, резко ограниченные эруптивные массы. Они продолжают вглубь как бы без конца.

¹ Прекрасный пример лакколитов у нас в СССР представляет так называемая Пятигорская группа на Кавказе: на вершинах гор Бештау, Железной, Шелудивой и др. уже обнажен порфир; на Машуке, Лысой и Юде порфир еще прикрыт меловыми отложениями. Ред.

Многие большие выходы гранитов Рудных и Исполиновых гор, Шварцвальда и Вогез, Бретани и т.д. представляют хорошие примеры этого вида залегания. Подробнее о нем будет сказано позднее при изложении глубинных извержений.

Купола представляют собой конусо-, колоколо- или куполообразные массивы пород (рис. 38). Многочисленные базальтовые, фonoлитовые, трахитовые конусы Гессена и Тюрингии, Богемских гор и др. дают много прекрасных примеров этой формы залегания, очень существен-

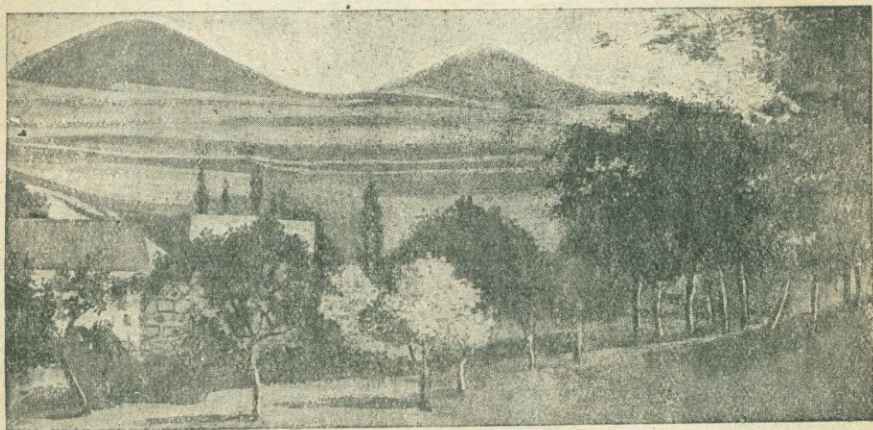


Рис. 39. Арибахерские головы недалеко от Эмса. Два купола трахита, выступающие из нижнего девона.

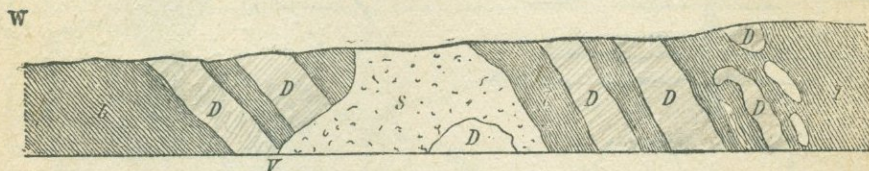


Рис. 40. Диабазовые покровы (D) в нижнедевонских сланцах (l). S — диабазовые туфы. Гартепрудерский туннель в Гессене.

ной для изверженных пород. Купола обладают в большинстве случаев вполне закономерной внутренней отдельностью (столбчатая отдельность некоторых базальтовых гор) и представляют собой часто уцелевшие ядра древних вулканов.

Потоки и покровы образуют только поверхностные окончания жил, которые являются выводными каналами пород, изливавшихся на поверхность в виде потоков или покровов. Потоки — это узкие длинные выходы излившейся в виде реки породы современных или древних вулканов; покровы — изверженная порода, растекшаяся во все стороны на гораздо большей площади. Если покровы в большом числе налегают друг на друга, то говорят о системах покровов, например в базальтовых областях Фогельсберга и Вестервальда.

Все изложенное в этой главе о горных породах кратко можно представить так:

1. Способ образования.

Минерогенные	{	простые (однородные)
		сложные (неоднородные)
Органогенные	{	зоогенные
		фитогенные

2. Составные части.

Породообразующие минералы	{	существенные
		привходящие (несущественные)
Породообразующий материал	{	существенный
		несущественный { конкреции
		секреции
		включения

3. Структура (способ связи).

Кристаллическая	{	зернисто-кристаллическая	{	крупнозернистая
Стекловатая		порфировая		мелкозернистая
				тонкозернистая
		Кластическая	{	грубокластическая
				мелкокластическая
				тонкокластическая

4. Текстура (расположение частиц).

Массивная
Сланцеватая
Флюидальная, шлаковая, пористая, оолитовая и т. д.

5. Отдельности.

Неправильная
Правильная { плитообразная
 { столбчатая
 { шаровая

6. Залегание.

Нормальное или слоистое
Аномальное или пронизывающее
Обыкновенные жилы, лакколиты, штоки, батолиты, купола, потоки, покровы.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД.

Достигнуть во всех отношениях удовлетворительной классификации горных пород пока не удалось. Это зависит главным образом от того, что виды горных пород еще менее, чем зоологические и ботанические виды, представляют устойчивые, неизменяемые типы. Раз порода является совокупностью минералов, то ясно, что вследствие выпадения составных частей и присоединения новых она может представлять совершенно иную совокупность. Поэтому «петрографический вид» надо рассматривать как искусственный тип. Он был создан лишь для того, чтобы как-нибудь разобраться вообще в необыкновенном многообразии состава горных пород.

Для геологов во всяком случае надо рекомендовать генетическую классификацию, т. е. такую, которая придает больше всего значения способу образования породы и лишь на втором и третьем месте уделяет внимание химическому и минеральному составу породы и ее строению.

Если положить это в основу, то само собой разумеется, что соответственно двум главным способам образования — эндогенному и экзогенному — будут различаться два главных класса пород: 1) массивно-кристаллические или изверженные и 2) осадочные. К ним в качестве особого класса целесообразно прибавить еще группу пород, которая отличается большой древностью и однообразной текстурой и обязана своими современными свойствами позднему изменению (метаморфизму), а именно 3) кристаллические сланцы.

Кристаллические сланцы и массивно-кристаллические породы стоят близко друг к другу вследствие их преимущественно кристаллического строения и состава, в котором преобладают кварц и силикаты. Различие же заключается в их геологическом происхождении и в их текстуре. Осадочные породы отличаются, наоборот, преобладающим кластическим строением, составом (входят не только силикатовые минералы), своей (как правило) слоистостью и содержанием ископаемых.

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СЛАНЦЫ.

В отличие от сходных гораздо менее распространенных позднейших пород кристаллические сланцы образуют древнюю необыкновенно мощную, одевающую весь земной шар оболочку. Это и есть *первозданная гора* прежних немецких геологов или архейская группа пород. Особенно характерна для группы этих пород тесная связь между кристаллическостью и сланцеватостью, а также состав преимущественно из кварца и силикатов, близкий к составу изверженных пород. Рядом с зернисто-кристаллической появляется иногда и порфировая структура, но нет ни стекловатых, ни шлаковых образований. В настоящих архейских кристаллических сланцах никогда не встречаются окаменелости. Большинство принадлежащих к этому классу пород распадается на слои. Некоторые геологи рассматривают это как настоящую слоистость, другие видят в этом лишь сланцеватость.

Минералы кристаллических сланцев большей частью те же, которые входят и в состав изверженных пород: полевые шпаты, кварц, слюда, роговая обманка и авгит, оливин, часто серпентин и т. д., но не хватает целого ряда составных частей, которые характерны именно для изверженных пород: анортклаза (натриевый микроклин), тридимита, лейцита, нефелина, мелилита, содалита, позеана, базальтовой роговой обманки и т. д. Наоборот, в кристаллических сланцах большое значение имеет целый ряд минералов, которые или отсутствуют, или не являются характерными для изверженных пород, а именно хлорит, тальк, серицит, парагонит (натровая слюда), серпентин, цоизит, эпидот, ставролит, корднерит, дистен и др.

Что касается залегания кристаллических сланцев, надо заметить, что нигде на большом пространстве они не лежат горизонтально; чаще всего они поставлены на голову, смяты в складки, надрывнуты, разорваны и переброшены. Геологически они проявляются двояко: иногда одни они отчасти в сопровождении эозойских и палеозойских отложений

образуют более или менее обширные замкнутые массы, так называемые *м а с с и в ы*, например богемский и скандинавский массивы, Французское центральное плато и др.; или они составляют центральные цепи более молодых складчатых гор, как например Альпы, Пиренеи, Кавказ, Гималаи и т. д.

Для суждения о способе образования кристаллических сланцев очень большое значение имеют новейшие работы Зауера (Sauer) и Розенбуша (Rosenbusch) в гнейсовых областях Шварцвальда. Они выяснили, что там представлены два типа гнейсов, генетически совершенно различных. Первый — шапбахский тип, или ортогнейс Розенбуша,¹ — отличается закономерным химическим составом, постоянством структуры и минералогических свойств и отсутствием углеродистых примесей. Второго, рёнчевский тип, или парагнейс, — наоборот, имеет переменный химический состав, разнообразную структуру и петрографические свойства; в нем есть углеродистые примеси и другие особенности. На основании ясных признаков контактового метаморфизма, соприкасающихся с ортогнейсами осадочных пород, можно заключить, что они представляют собой изменение изверженных пород, получивших сланцеватое строение, и являются периферическими образованиями гранитных массивов. Второго типа — парагнейсы — измененные осадочные породы. Следовательно в Шварцвальде мы имеем дело с одной стороны с изверженными, с другой — с осадочными гнейсами.

Исследования в других областях, например в западных и восточных Альпах, в Бретани и т. д., привели к совершенно таким же результатам; они вместе с тем показали, что многие гнейсы, до сих пор считавшиеся архейскими, в действительности гораздо более позднего возраста, во многих случаях даже каменноугольного.

Это обстоятельство заставило некоторых геологов сомневаться, существуют ли вообще архейские гнейсы. На это можно возразить, что исследования в Уэльсе в Северо-западной Шотландии, в области Верзнего озера в Северной Америке и в других местах показали, что в этих областях гнейсы и другие кристаллические сланцы покрыты непосредственно древнекембрийскими или даже эозойскими осадками; эти более молодые образования отделены от гнейсов крупным несогласием и в своих глубинных слоях составлены обломками гнейсов. Такие гнейсы естественно могли принадлежать лишь первозданным горам.

Не будем больше останавливаться на происхождении кристаллических сланцев. Это мы сделаем позднее в отделе о метаморфизме пород. Здесь можно лишь отметить, что главную причину преобразования прежних изверженных и осадочных пород в кристаллические сланцы нужно искать во всяком случае в той высокой температуре и том огромном давлении, которые господствуют на больших глубинах. Из этого следует, что метаморфизм сказывается тем сильнее, чем на большей глубине он протекал.

Среди кристаллических сланцев уже давно различают три главных типа: гнейс, слюдястый сланец и филлит. Такая последовательность, в главных по крайней мере чертах, справедлива относительно возраста

¹ Studien im Gneisgebirge des Schwarzwaldes, Abh. d. Bad. geol. Landesanst., IV, 1, 1899.

этих пород; в той же последовательности уменьшается и их кристалличность: гнейс — наиболее раскристаллизованный член архейской группы пород, филлит — наименее; а в середине между ними стоят слюдистые сланцы. Это наблюдается например в Рудных горах и Фихтельгебирге, в Оденсальде, в Альпийском центральном массиве и во многих других местах.¹

В отдельности об этих трех типах можно сказать следующее:

а) *Гнейс*. Главные составные части: кварц, слюда (мусковит или биотит, часто оба вместе) и полевые шпаты (главным образом ортоклаз или альбит). Следовательно состав породы тот же, что и у гранита, от которого он тем не менее отличается своей сланцеватой текстурой. Все же есть и переходы между обеими породами (гранито-гнейс, гнейсо-гранит).

Наряду с названными главными составными частями часто появляются роговая обманка, гранит, эпидот, кордиерит, графит и др.

Частыми спутниками гнейса являются еще особые лишённые кварца и ортоклаза роговообманковые и авгитовые породы со слабой, еле развитой сланцеватостью, как например амфиболиты, нефриты и эклогиты.

б) *Слюдистый сланец*. Это агрегат кварца и слюды (мусковит или биотит или оба вместе, реже парагонит) с незначительным количеством полевых шпатов или же без них. Наряду с этим приводящиеся составные части: гранат, турмалин, роговая обманка, андалузит, кианит, эпидот, железная слюда, графит и др. Спутниками слюдистых сланцев являются:

Хлоритовые сланцы. Кварц и хлорит, равно как и многие приводящиеся минералы (гранат, турмалин, магнитный железняк и т. д.).

Тальковый сланец. Тальк с большей или меньшей примесью кварца, хлорита и слюды.

Роговообманковый сланец. Роговая обманка с примесью кварца, биотита, эпидота и многих приводящихся минералов.

Кварцитовый сланец, образовавшийся почти при отсутствии слюды, иногда переходящий в кварцит.

Известково-слюдистый сланец более или менее богат известковым шпатом, при увеличении количества которого порода может перейти в мрамор.

Слюдистые сланцы, так же как и гнейсы, обладают необыкновенно широким распространением.

в) *Филлит (глинисто-слюдистый, древний глинистый сланец)*. Это общее название большинства серых тонкосланцевых пород с шелковистым или даже металлическим блеском на поверхностях скольжения, часто тонкоскладчатых. Общий состав близок к составу слюдистых сланцев, но с микроскопически малыми составными частицами.

Стратиграфически филлиты лежат на границе «первозданных гор» и осадочных образований; петрографически они также представляют собой переходный член между кристаллическими сланцами и осадочными отложениями, в частности между слюдистыми и глинистыми сланцами.

К группе филлитов принадлежат зеленые сланцы (роговообманковые, авгитовые и хлоритовые), серицитовые сланцы, графитовые сланцы, сланцы железного блеска и т. д. Распро-

¹ У нас в СССР разнообразные комплексы кристаллических сланцев хорошо представлены на Урале. *Ред.*

распространение филлитов уступает распространению слюдястых сланцев, но отнюдь не является незначительным.

Надо добавить, что кристаллические сланцы содержатся во всех зонах включения линз и штоков чуждых им пород. Помимо названных уже амфиболитов и эклогитов, в них встречаются и другие силикатовые образования: серпентин, гранат и эпидот; часты включения мрамора и зернистого доломита, железного шпата, магнитного железняка, железного блеска, а также сульфидов железа, меди, цинка, свинца и т. д.

МАССИВНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ИЛИ ИЗВЕРЖЕННЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ.

Все относящиеся сюда породы представляют продукты застывания горячей (в большинстве случаев пропитанной газами) расплавленной магмы: при своем поднятии из глубины они прорвали породы земной коры. При этом получились значительные различия между и з л и в ш и м и с я



Рис. 41. Изверженные, жильные и глубинные породы.

и ж и л ь н ы м и породами, застывшими на поверхности или близ нее, и теми, которые отвердели на глубине, г л у б и н н ы м и породами (рис. 41). Последние называют п л у т о н и ч е с к и м и породами, или п л у т о н и т а м и, а первые — в у л к а н и ч е с к и м и породами, или в у л к а н и т а м и.

Эти различия существовали во все геологические эпохи. Излившиеся или э ф ф у з и в н ы е породы образуют потоки и покровы, часто отходящие от вулканов и кудолообразных гор; они находятся в теснейшей

связи с жилами и часто сопровождаются туфами и пеплом. Наоборот, глубинные породы представляют собой штоки или пластообразные массы, часто очень большой мощности и протяжения. Ясно, что они застыли на глубине, под земной корой.

Та же самая магма, которая на поверхности образует лавовый поток или лавовый покров, на большой глубине должна застыть, как глубинная порода. Поэтому можно предполагать, что каждой излившейся породе должна соответствовать определенная глубинная порода. В действительности же редко можно наблюдать рядом однородные излившиеся и глубинные породы. Это объясняется тем, что нужен долгий период денудации, чтобы глубинная порода вышла наконец наружу; но этот же период денудации разрушает относящиеся сюда жильные и излившиеся породы.

В соответствии с этим нам и кажется, что вулканиты моложе, чем плутониты. В Европе последние имеют преимущественно палеозойский или допалеозойский возраст. Однако чем больше распространяются наши познания за пределы Европы, тем чаще становятся нам известны геологически более молодые глубинные интрузии.

Это различие происхождения массивных горных пород обуславливает и различие их структуры. Излившиеся породы — преимущественно порфировые, глубинные породы — преимущественно зернисто-кристаллические. У эффузивных пород часто встречаются лористопопуричатые, шлаковые, равно как и флюидально-стекловатые образования; у глубинных (интрузивных) пород подобные образования отсутствуют.

Наконец заметно также различие и в минеральных примесях. Так например хотя бы лейцит, нозеан, гаюин встречаются преимущественно в излившихся породах; нефелин также встречается в них гораздо чаще, чем в породах глубинных.

Для минерального, а значит и для химического состава массивно-кристаллических горных пород особенно характерно содержание в них кремнекислоты. На этом основании уже давно различают две главных группы: кислые (богатые кремнекислотой) породы и основные (бедные кремнекислотой). Кислые породы отличаются присутствием в них свободной кремневой кислоты (кварца) и кислых полевых шпатов (в особенности ортоклаза); основные — отсутствием кварца, наличием основных полевых шпатов (известково-натровых полевых шпатов) и большим содержанием минералов, богатых железом, кальцием и магнием, каковы в особенности авгит и роговая обманка, оливин, магнитный и титанистый железняки. Кислые породы содержат 60—80% кремнекислоты, основные — 45—60%. Содержание железа, кальция и в особенности магния в основных породах выше. Наконец удельный вес кислых пород равняется от 2,3 до 2,7 а основных — от 2,7 до 3,2.

Если связать различия геологического происхождения и структуры с различием химического состава, то все эруптивные породы расположатся в виде нижеследующей таблицы на стр. 71.

Нижний горизонтальный ряд таблицы занимают глубинные породы. В среднем стоят те излившиеся породы, которые, по крайней мере в Германии, соответствуют более древнему третичному возрасту и которые поэтому у нас всегда будут обозначаться как древневулканические или палеовулканические. Наконец в верхнем ряду стоят позднейшие третичные и современные излившиеся породы —

е о вулкани ты. Каждый ряд начинается (слева) с самого кислого и оканчивается самым основным членом. Все три горизонтальных ряда представляют в этом отношении параллельные ряды, тем более что все помещенные в одном вертикальном столбце по существу химически и минералогически однородны.

Излившиеся породы (вулканиды)	Липарит	Трахит	Фонолит Лейцитог- фир	Андезит	Базальт	Пикрит
	Кварцевый порфир	Бесквар- цевый порфир		Порфи- рит	Мелафир Диабаз	Пикрито- вый порфирит
Глубинные породы (плутониты)	Гранит	Сиенит	Элео- лито- лейцитог- сиенит	Диорит	Габбро и норит	Пироксе- нит. Оли- виновые породы

Важно также разделение изверженных пород в обоих рядах на известково-щелочные породы и щелочные породы. Это имеет значение как для химического, так и для минералогического состава и действительно и для плутонических и для вулканических пород. В известково-щелочных породах отсутствуют лейцит, нефелин, содалит, мелилит, натровый авгит и другие минералы. Особенно хорошо выражены щелочные породы элеолито-сиенитовой группы. Но и среди гранитов, липаритов, трахитов, базальтов и т. п. встречаются иногда щелочные породы.

Широкое распространение у русских геологов, особенно у московской школы, получила таблица (см. стр. 72) массивно-кристаллических пород, составленная академиком А. П. Павловым (ум. в 1929 г.).

1. Группа гранита. ✓

Гранит. Смешение кристаллов кварца, от грубо- до тонкозернистых, полевого шпата и слюды, иногда роговой обманки, реже авгита. Из полевых шпатов кроме ортоклаза чаще всего встречается плагиоклаз. Слюда часто встречается в двух видах: темного биотита и светлого мусковита. Граниты, содержащие обе слюды, называются настоящими или д в у с л ю д и с т ы м и гранитами. Те же, которые содержат лишь биотит, называют г р а н и т и т а м и. Кварц в гранитах отличается обилием микроскопических включений.

Гранит — типичная зернисто-кристаллическая порода без каких бы то ни было аморфных промежуточных субстанций. Если же его структура порфировая, как часто наблюдается в жилах, его называют тогда гранитопорфиром. Некоторые жильные граниты, так называемые п е г м а т и т ы, или п и с ь м е н н ы е граниты, отличаются очень крупной зернистой структурой. Содержание кремнекислоты в среднем до 70%.

Гранит принадлежит к самым распространенным плутонитам. Он наблюдается преимущественно большими штоками или лакколитовыми массивами, но встречается также и в жилах. Большинство подобных образований архейского или палеозойского возраста, — таковы например граниты Саксонии, Силезии, Фихтельгебирге, Гарца, Тюрингии, Оденвальда, Шварцвальда, Бретани, Скандинавии и большинство гранитов СССР. В южно-американских Андах, на Эльбе, в южном Граубюндене и в других местах известны и третичные граниты.

Степень кислотности	Минералы показатели степени кислотности	Ортоклазовые	Фельдшпатовые	Плагиоклазовые	Бесполевчатые	Темные силикаты
Кислые SiO_2 65 — 75%	Кварц	Липарит		Кварц-андезит		Биотит
		Фельзит	—	Кварцевый порфир	—	Роговая обманка (авгит)
		Гранит		Кварц-диорит		
Средние SiO_2 от 55 до 65%	—	Трахит	Фонолит	Андезит		Роговая обманка
		Порфиновый сиенит		Порфирит	—	Биотит
		Сиенит	Нефелин-сиенит	Диорит		Авгит
Основные SiO_2 от 45 до 55%	Оливин		Лейцитовый базальт	Базальт		Авгит
		Очень редки	Тералит	Габбро и диабаз	—	Роговая обманка
Ультраосновные: $\text{SiO}_2 < 45\%$	Оливин		Лимбургит		Пикрит-авгит	Авгит
		—	Очень редки	—	Пироксенит	

Кварцевый и фельзитовый порфир. Он состоит из светлосерой, красноватой или зеленоватой на вид плотной основной массы (фельзитовой), состоящей из кварца, полевого шпата и стекловатых частиц: в ней наблюдаются кристаллы кварца, полевого шпата (ортоклаза, часто и олигоклаза) и немного биотита. Содержание кремнекислоты в среднем 74%. Плотную, не содержащую отдельных крупных кристаллов разновидность называют фельзитом или фельзофиром; если строение основной массы стекловатое — витрофиром или пехштейном. Породы с флюидальной структурой встречаются довольно часто.

Кварцевые порфиры часто встречаются в жилах, штоках, залежах и покровах. В последнем случае они тесно примыкают к туфам. Время их извержения совпадает главным образом с верхнекаменноугольным и в особенности с нижнепермским временем. Это относится ко всем германским выходам — к обширнейшим покровам Боцен-Мерана, к порфирам Лугано. Пользуются известностью выходы пехштейна у Мейссена.

Липарит (кварцевый трахит, риолит) — соответствующая кварцевым порфирам порода, которая в фельзитовой или в более или менее стекловатой пористой основной массе содержит кристаллические отдельные стекловатого полевого шпата (санидина), кварца, роговой обманки и биотита. В маленьких пустотах встречается еще и тридимит. Породы с флюидальной структурой здесь также часты. Содержащие воду липаритовые стекла (с 5 — 9% H_2O) называют липаритовыми пехштейнами, бедные водой или безводные — липаритовыми обсидианами, пузырьчатые (пенистые) — липаритовыми пемзами. Встречаются преимущественно в Венгрии, в Евганее и на Липарских островах. Содержание кремнекислоты от 72% до почти 80%.

2. Группа сиенита.

Сиенит. Зернисто-кристаллическое смешение ортоклаза и роговой обманки или авгита; здесь же часто встречается еще плагиоклаз, биотит и приводящие минералы: титанит, циркон и др. Различают биотитовый, роговообманковый и авгитовый сиенит (монзонит). Содержание кремнекислоты в среднем 60%. Выходы — сходные с выходами гранита, но порода гораздо менее распространенная. Известен выход близ Дрездена.¹

Бескварцевый или ортоклазовый порфир (ортофир). В коричневатой основной массе лежат крупные порфирные включения ортоклаза, более мелкие — плагиоклаза, роговой обманки, биотита и авгита. Содержание SiO_2 — 55 — 69%.

Встречается в виде потоков и покровов в Тюрингии; в той же форме и в жилах — в девоне Гарца и Рейна (кератофир). Мощные покровы и жилы — у Христиании (ромбический порфир).

Бескварцевый трахит. Порода почти такого же состава, но еще более позднего происхождения. Основная масса светлосерая, ортоклаз светловатый (санидин); содержание SiO_2 — 57 — 69%. Стекловатость такая же, как у кварцевого порфира и липарита.

Трахиты выходят в виде куполов, покровов, потоков и жил, например в Вестервальде, в Италии — лавовый поток Арсо на Ишии, кратер Астрони близ Поццуоли, в Оверни и т. д.

¹ В СССР известен например на Южном Урале. *Ред.*

3. Группа эеолитового и лейцитового сиенита.

Ясно выраженные щелочные породы относительно ограниченного распространения.

Эеолитовый сиенит. Порода очень изменчивого состава. Главные составные части — щелочные полевые шпаты и эеолит, кроме того биотит, роговая обманка, авгит, содалит, титанит и т. п. 51 — 56% SiO_2 . Норвегия, Португалия, Венгрия, Урал, Бразилия.

Зуда относятся и более молодые излившиеся породы — нефелинофонолит и лейцитофонолит (лейцитофир).

Нефелинофонолит образует тонкозернистые желто-серые смешения санидина, нефелина, авгита, роговой обманки, гаюина и т. д. Он выходит в виде куполов, покровов, потоков и жил. Обладает преимущественно пластовой отдельностью. В друах и трещинах часто содержит натронит и другие цеолиты. Гогентвиль (Гегау), Кейзерштуль, Рён (Милзебург), северная Богемия, Овернь и т. д.

Нефелиновые лейциты и лейцитофонолиты отличаются малым количеством или отсутствием нефелина. Область Лахернского озера, Кейзерштуль, Италия. Эта порода содержит 51—58% SiO_2 .

4. Группа диорита.

Диорит. Зернистое смешение плагиоклаза и роговой обманки; часто содержит авгит, биотит, кварц и др. Содержащие SiO_2 — 41—66%. Диориты также образуют массивы в форме штоков в области гранита и кристаллических сланцев. Кифхаузер, Оденвальд и т. д.

Порфирит. В темной красно-бурой основной массе включения олигоклаза, роговой обманки, авгита, часто также биотита и кварца (кварцевый порфирит). Разновидности, богатые стеклом, называют мехштейновым порфиритом. Покровы и жилы в красном лежне Гарца, Тюрингенского леса, Саарской области и в Саксонии.

Андезит. Серые, до темных, преимущественно порфиновые породы, состоящие из авгита или роговой обманки и плагиоклаза, содержат также примесь биотита, магнетита, апатита, оливина и т. д., в редких случаях встречается санидин. Иногда они содержат немного кварца (дацит или пропилит Венгрии). Стекловатость очень распространена. Содержание SiO_2 — 57—62%.

Андезиты всегда связаны с трахитами и образуют конусообразные, иногда куполообразные вершины, часто обширные покровы, потоки и жилы. Особенно распространены в южно-американских Андах, откуда они и получили свое название, в Японии, на Зондских островах, в Венгрии и Трансильвании, в Оверни и т. д.

5. Группа габбро и норитов.

Габбро образует зернистые породы, часто очень грубого зерна, и состоит из основного плагиоклаза и диалага, к которым в оливиновом габбро присоединяется оливин. Норит состоит из основного плагиоклаза, ромбического авгита (гиперстен, энстатит), а в оливиновом норите сюда присоединяется и оливин. Содержание SiO_2 — 47,5—49%.

Палеозойские габбро встречаются в штоках и жилах в Радаутале у Гардбурга, в Силезии, Саксонии и т. д. В Италии они очень распро-

странены в древнетретичных отложениях Апеннин (Генуя), равно как и в Боснии.

Диабаз, мелафир и базальт являются излияниями габбровой магмы. Диабаз состоит из плагиоклаза и авгита от плотной до грубозернистой структуры (часто с особенной интерсертальной структурой), всегда с железной рудой (магнитным или титанистым железняком). Преимущественно зеленая окраска получается от замещения хлоритом авгита. В оливиновых диабазах есть еще и оливин. Порфиновые разновидности называют диабазовыми порфиритами. Путем заполнения в породе маленьких пустот (образовавшихся от прежних газовых пузырей) получается диабазовый миндальный камень, так называемый варнолит, или перлдиабаз, который содержит в плотной стекловатой основной массе маленькие радиально-лучистые шарики. Содержание SiO_2 — 47—53%.

Диабазы особенно часто встречаются в мощных и обширных залежах, а также и в более мелких линзообразных и штокообразных жилах, реже в виде настоящих жил. Они найдены преимущественно в древнем палеозое, часто сопровождаются туфами.

Мелафир. Плотные до порфировых (авгитопорфир) смешения плагиоклаза и авгита, часто бывает и оливин. Миндалевидная структура (мелафирный мандельштейн) очень распространена. Мелафирные пехштейны богаты стеклом. Содержание SiO_2 — 50—54%.

Мелафиры выходят жилами, куполами или мощными залежами, часто в сопровождении туфов, в Германии — в красном лежке окрестностей Наге, нижнего Гарца, Тюрингии, Саксонии, в Альпах (южный Тироль) — в триасе, в Крыму — в мелу. Древнему палеозою принадлежат мелафиры области медных руд к югу от Верхнего озера в Северной Америке.

Базальтами в общем обозначают темные, на первый взгляд малоразличимые породы. Исключительно распространенные плагиоклазовые (полевошпатовые) базальты состоят преимущественно из плагиоклаза, авгита, оливина, железных руд (магнитного и титанистого железняка).

К базальтам присоединяется целый ряд пород, которые в строго петрографической системе занимают особое место: базанит и тефрит, содержащие наряду с плагиоклазами лейцит или нефелин, и нефелиновые и лейцитовые базальты, у которых часто нефелин и лейцит замещают плагиоклаз. Трапп соответствует интерсертальным диабазам и содержит преимущественно титанистый железняк. Трахитовый долерит (трахитовый базальт) богаче SiO_2 , чем обычный базальт, и содержит ортоклаз. Почти все базальты содержат оливин, хотя чистые стекловатые массы (так называемые тахилиты) ограничены зальбандами жил или натеками потоков. Необыкновенное тонковолокнистое немзвое стекло, род естественной шлаковой шерсти, представляют собой «волосы Пеле» с Гавайских островов. Широко распространены шлаковые и пузырьчатые образования. Пустоты шлаков и базальтовых мандельштейнов часто заполнены хорошо выкристаллизовавшимися цеолитами, известковым шпатом, арагонитом, халцедоном, кварцем и другими минералами. Содержание SiO_2 в базальтах колеблется между 40 и 55%.

Базальты часто образуют конусо- и куполообразные горы. Они встречаются в виде мощных и широко распространенных потоков, покровов, иногда являясь прослоями между осадочными породами; часто сопровождаются туфами. В виде жил находят их повсюду. Обширная базальтовая зона пересекает Среднюю Европу от Эйфеля через Вестервальд, Фогельсберг, Рён, Франконию до Богемии и Силезии включительно. В южной Германии они встречаются на Швабском Альбе, в Италии, Сардинии, на Фарерских островах, Исландии, вулканических островах Атлантического океана, Гавайских островах и т. д.

Как диабазы, так и мелафиры и базальты на застывших стекловатых поверхностях прекрасно обнаруживают признаки когда-то бывшей текучести (волокнистые и волнистые лавы).

6. Группа оливина или перидотита, авгитовых пород или пироксенитов.

Группы эти стоят близко к габбро, родственны некоторым членам диабазовых и базальтовых горных пород, отличаются отсутствием полевых шпатов. Оливиновые породы (дунит, лерцолит) содержат наряду с преобладающим оливином (перидот) еще и диалаг, энстатит или гиперстен, роговую обманку, шпинель (пикотит), хромистый железняк и др.¹ Пироксениты (авгититы) тоже лишены полевых шпатов, состоят преимущественно из пироксенов (диалаг, энстатит, гиперстен), также из оливина, граната и других руководящих минералов.

Зелено-черные п и к р и т ы, образующиеся вследствие уменьшения количества плагиоклазов в оливиновых диабазах, составлены главным образом оливином (серпентин) и авгитом наряду с биотитом, роговой обманкой и т. д. Встречаются в палеозое Рейнских шиферных гор, Фогтланда, Фихтельгебирге и Англии. Пикрито-порфир или кимберлит Южной Африки известен содержанием в нем алмазов.

Согласно Розенбушу, к пироксенитам можно причислить и лимбургит («магмабазальт») из Кейзерштуля у Фрейберга, богатую стеклом породу, состоящую из оливина и авгита. Подобные излившиеся третичные породы встречаются также в Гессене, в Саксонии и т. д. Роговообманковые лимбургиты известны на острове Пальма, на Килиманджаро.

Весьма распространенным видоизменением вышеназванных оливиновых пород является с е р п е н т и н.

Приложение: вулканические туфы.

Нами уже не раз упоминались туфы, встречающиеся вместе с изверженными породами; иногда они наблюдаются как спутники жил или как массы заполнения современных или древних вулканических горловин, иногда же переслаивают излившиеся покровы, как это часто встречается среди германских диабазов, базальтов и порфиров.

Все эти туфовые породы образовались путем накопления вулканических продуктов извержения (вулканического пепла, песка, ляпили и бомб), которые падали частью на сушу, частью в водные бассейны. В последнем случае они нередко содержат окаменелости—иногда рас-

¹ В СССР основные породы (дунит) развиты например на Урале, причем в долине р. Миасса в этих породах и в змеевиках встречаются многочисленные месторождения хромистого железняка и золота, а в Нижнетагильском округе — хромистого железняка и платины. *Ред.*

тительные остатки — и могут переходить в настоящие осадки, в глины, песчаники и т. п. Иногда они состоят из более крупных обломков, тогда их называют уже вулканическими брекчиями и агломератами; обычно же они более или менее мелкоземисты и благодаря связующим растворам, а также давлению уплотнены; в этом случае их называют туфами. Большинство из них явно слоистые, хотя бывают и слабослоистые и неслоистые туфы.

По характеру исходного материала различают базальтовые, гранитовые (к ним принадлежит трассе), порфировые туфы (к ним относят особенные тонкозернистые, образованные может быть благодаря смыву глинистые разности в красном лежне Саксонии и окрестностей Наге), диабазовые туфы (сюда же относят большинство явно слоистых богатых известковым шпатом так называемых шальштейнов Нассау, восточной Тюрингии и т. д.). Особенную разновидность представляют собой туфы, составленные кристаллами авгита, роговой обманки, лейцита и т. п., так называемые кристаллические туфы, которые встречаются в Италии, Вестервальде и других местах.

Так как туфы представляют собой отложения, осажденные из воздуха и воды, они близко подходят к осадочным породам, и их можно было отнести к ним. С другой стороны, их связь с излившимися породами так тесна, что лучше присоединить их к последним.

ОСАДОЧНЫЕ ПОРОДЫ.

Их характеристика в главном была нами уже дана. Они были отложены или из воздуха или из воды. Большинство из них образовалось в море.

В отличие от более или менее закономерного во всех своих частях по существу однородного состава изверженных пород состав осадочных пород беспорядочен и более случаен. Это зависит от способа их возникновения: во всяком случае они произошли путем механического раздробления или выщелачивания более древних горных пород, преимущественно изверженных, или же от смеси продуктов разрушения подобных пород с веществами, выделившимися из растворов, или органического происхождения.

По свойствам составляющего их вещества осадочные породы разделяются так:

1. Груша грубо-, средне- и тонкокластических пород: конгломераты и песчаники.

Эти породы названы Науманном (K. Friedr. Naumann) псефитами и псамитами. Они разделяются на рыхлые и цементированные обломочные осадки.

Рыхлые образования. Валуны, галька, гравий, крупный песок — все они состоят из более или менее округленных обломков пород, из которых самыми большими являются валуны, самыми мелкими — гравий. Щебень отличается угловатым строением обломков. Если величина отдельных зерен меньше 1 мм, это считают песком.

Песок. Некоторые пески состоят из одних кварцевых зерен (кварцевые пески), другие содержат наряду с ними и зерна полевых шпатов,

слюд, авгита и других минералов. Полевошпатовые пески северо-германских четвертичных отложений содержат многочисленные зерна красного ортоклаза, глауконитовые пески — зерна глауконита. Тончайшие пески называются там ш л ю ф (Schluff).

К тонким пескам примыкает л ё с с; это исключительно тонкозернистое землистое, водопроницаемое, преимущественно неслоистое образование, состоящее главным образом из кварцевой пыли с примесью небольшого количества глины, гидрата окиси железа и извести.

Пески повсюду играют большую роль в третичных и четвертичных образованиях. Одинаково широко распространены в них отложения и гравия и гальки.

Цементированные отложения. Они получаются из предыдущих путем добавочного уплотнения, которое вызвано или механически, или примесью глины, или благодаря водным растворам (кремнекислоты, извести и т. п.). Известковая и кремневая цементация и придает породе часто очень большую твердость.

Сюда принадлежат конгломераты, образовавшиеся из окатанных валунов и гальки, а также брекчии, образованные из осыпей остроугольных обломков.

Замечательный конгломерат (в несколько тысяч метров мощности) представляет собой так называемый н а г е л ь ф л ю швейцарского моласса; но и в каменноугольных отложениях и в красном лежне выступают мощные конгломераты.

Так называемые с е р ы е в а к к и образованы преимущественно из угловатых обломков кварца, от грубо- до тонкозернистых (среди них чаще всего встречаются куски молочного кварца), глинистых и кремнистых сланцев, полевого шпата. В Германии они встречаются главным образом в палеозое; в Апеннинах сходные породы встречаются во флише.

Путем цементации песков образуются песчаники. Смотря по составу цементирующего вещества и минеральных зерен, различают кварцевые, полевошпатовые, слюдястые, глауконитовые, кремневые, глинистые, железистые, известковые и иные песчаники. Песчаники, богатые каолинизированным полевым шпатом и содержащие рядом листочки слюды, называются а р к о з а м и. Так называемые т и г р о в ы е песчаники получают свой пятнистый вид благодаря содержанию маленьких железистых и марганцовистых включений.

Песчаники широко распространены во всех фациях.

Рядом с песчаниками стоят к в а р ц и т ы: светлые очень твердые породы, цементированные кремнекислотой. Они особенно свойственны древнему палеозою.

2. Группа глинистых пород.

Эти скрыто кластические (Науманн назвал породы этой группы пелитами) породы образовались путем выветривания полевошпатовых пород и состоят главным образом из водосодержащих глиноземовых силикатов. Кроме того они содержат кварцевую пыль, частицы слюды и других минералов; благодаря содержанию окиси железа или гидрата окиси железа они окрашены в красный, желтоватый или буроватый цвета, хотя органические примеси придают им иногда серую, голубоватую или черную окраску.

Глина — продукт разрушения полевых шпатов, оставшийся на месте своего образования; в чистейшем своем виде она называется каолином. Большинство глин обычно перемыто, часто много раз перетолжено и загрязнено посторонними примесями, чаще всего песком. Глины преимущественно серого цвета, слоисты, водонепроницаемы. Под именем обыкновенного ила и лаглубоководного понимают глинистые осадки в устьях больших рек и на дне озер и морей. Глины с большой примесью песка и содержанием железа называются суглинками. Глины, разделяющиеся по поверхности слоев и вследствие этого ставшие сланцеватыми, называются сланцеватыми глинами; глины с большим содержанием извести называются мергелями.¹

Глинистые породы, уплотненные давлением выше лежащих горных пород, иногда давлением при горообразовании, сделались сланцеватыми и называются глинистыми сланцами. При большой прочности и более совершенной сланцеватости они образуют кровельные сланцы, с примесью аспидных частиц называются аспидными сланцами; при очень большой твердости они образуют точильный камень. Глины, содержащие большое количество углистых веществ, называются рисовальными, углистыми и горючими сланцами. Глинистые породы принадлежат к распространеннейшим осадкам земного шара во все времена его существования. В более молодых системах они появляются в виде неслоистых и слоистых глин, в более древних — в виде глинистых сланцев.

3. Группа известковых пород.

Относящиеся сюда породы имеют большей частью органическое происхождение и образуются благодаря деятельности животных и растений, частью в море (глобигериновый и другие глубоководные илы, коралловые и иные рифы, известняки, отложенные водорослями и т. д.), частью (как например озерный мел) в пресной воде. Известковые породы могут образоваться также и неорганическим путем, а именно выпадением из горячей или холодной воды (известковые туфы или известковые натёки). Большинство известковых пород явно слоисто или даже тонкослоисто, либо имеют плитняковую отдельность. Только рифовые известняки отличаются отсутствием слоистости.

Мрамор: чистый зернисто-кристаллический известняк.

Обыкновенный известняк: тонкозернистый или массивный известняк серого, желтоватого, черного и других цветов. С примесью глины он переходит в глинистый известняк, добавка карбонатов магния делает его доломитом, прибавка кремнекислоты — кремнистым известняком. Богатые битумом известняки называются битуминозными; если известняк содержит во множестве шарики мелких конкреций, его называют оолитовым известняком.

¹ Сюда же можно отнести и бокситы, глинистую породу с преобладающим содержанием окиси алюминия, являющуюся рудой этого металла. Содержание Al_2O_3 в одном и том же месторождении колеблется иногда от 40 до 76%. Ред.

Мел: белый землистый известняк, состоящий преимущественно из микроскопически малых скорлупок животных.

Известковые натёки, известковый туф, травертин — пористые, корковидные, преимущественно светлые выделения частью известкового шпата, частью арагонита из воды источников.

Доломиты: плотные до зернистых, по большей части пористые до ноздреватости, слоистые или плотные желтовато-серые доломитовые породы; ячеисто-ноздреватая разновидность называется рауваккой.

Известковый мергель (глинистый) и мергелистый сланец (глинистый и к тому же сланцеватый известняк) образуют переходные члены между известковой и глинистой группами.

Известняки распространены во всех геологических формациях. В Германии в чистом виде и с большой мощностью — преимущественно в девоне Вестфалии, Нассау; в Гарце, в Мальме южной Германии; менее чистые в виде раковистого известняка, в виде мела — в южной Англии, северной Франции, прибалтийских странах; в виде доломитов в большом количестве в триасе — преимущественно в восточных Альпах.

4. Группа кремнистых пород.

Образовавшиеся частью в море, частью в пресной воде кремнекислые отложения одни органического происхождения, другие — выделенные химически из теплых или холодных водных растворов (кремневые натёки, опал).

Кремневые туфы — выделение горячих ключей (Исландия, Йеллостонский парк и т. д.). Пресноводный или жерновной кварцит — выделенные пресной водой пористые образования. Роговик, яшма, кремь, кремнистый сланец — образования аморфного кварца. Последний (сланец) бывает часто земного цвета от примеси угля; часто полосатый и политомически расщепавшийся. Опал — аморфное выделение SiO_2 ; кизельгур, трепел — светлосерый, землистый, состоит из микроскопических панцирей диатомовых водорослей, образуется в болотах и озерах. Диатомовый и радиоляриевый ил (глубоководный) — ил, состоящий главным образом из кремнистых скелетов диатомей и радиолярий.

Распространение этих пород довольно ограниченное. Кремнистые сланцы преимущественно принадлежат палеозойским отложениям, кремь встречается в конкрециях или в пропластках в пишущем меле; пресноводный кварц и трепел — в третичных отложениях, опал — часто в вулканитах (у Ганау — в базальтах, в Саксонии — в порфире, в Силезии — в серпентинах, в Венгрии — в трахитах), а также и в третичных осадках.

5. Группа солей и гипса.

Легкорастворимые массы, образовавшиеся путем осаждения во внутренних морях и озерах пустынь.

Каменная и калийные соли. Гипс и ангидрит (водный и безводный сульфат кальция). Сюда можно присоединить селитру (NaNO_3), которая образует громадные поверхностные за-

лежи в сухой области северного Чили. Распространение ее также довольно ограниченное. Каменная соль в сопровождении ангидрида и гипса встречается в различных системах. В Германии эти отложения преимущественно развиты в цехштейне (здесь также мощные залежи калийных солей), кроме того в рете, в среднем раковистом известняке, в среднем кейпере. Третичные соляные залежи — в верхнем Эльзасе (здесь же и калийные соли) и в Галиции ¹.

6. Группа руд.

Она обнимает собой некоторые из наиболее распространенных металлических, в особенности железных руд, которые часто встречаются в виде больших скоплений:

а) окисленные железные руды: железный блеск и красный железняк, магнитный железняк, бурый железняк;

б) углекислые железные руды: железный шпат или сидерит и белая железная руда;

в) сульфидные руды: железный колчедан или пирит (FeS_2), магнитный колчедан (Fe_3S_4), медный колчедан (CuFeS_2), цинковая обманка (ZnS), свинцовый блеск (PbS);

г) марганцовые руды (широлюзит и др.).

Все названные руды залегают или большими линзообразными массами или в виде прослоек и жил между кристаллическими сланцами и массивными породами, или в осадочных породах; реже, — например бурые железняки и залежи марганцовых руд, — как позднейшие (третичные или четвертичные) поверхностные образования.

7. Группа углеродистых пород.

Сюда входят все органические породы, образовавшиеся главным образом вследствие изменения растительных веществ: гумус (при разложении остатков отмерших растений и животных), торф и сапропель, или гнилостный ил, бурый уголь, каменный уголь, антрацит. О способе их образования будет сказано впоследствии.

К этой группе можно еще присоединить жидкие и твердые углеводородистые соединения, в особенности нефть и асфальт. Сюда можно также отнести и гуано.

8. Группа снега и льда.

Эти на первый взгляд столь непостоянные золотые осадки покрывают большие площади не только полярных областей и высоких гор. В северной Сибири и других местах они могут быть рассматриваемы как четвертичные образования, в Исландии они наблюдаются даже в чередующемся залегании с вулканическими изверженными породами.

¹ В самое последнее время мощные залежи калийных солей, превосходящие все мировые месторождения, открыты работами Геологического комитета в пермских отложениях Соликамского района (северный Урал). Мощные залежи каменной соли известны в СССР уже давно и в разных районах: близ г. Артемовска, у Илецкой защиты, в Соликамском районе, в Якутской АССР. *Ред.*

Вап-Хайз (v. Hise)¹ считает, что глинистые породы составляют 65% всех существующих слоистых пород, песчаники — 30%, известковые породы — 5%. Кларк² предполагает, что глинистые породы занимают 80%, песчаники — 15% и известковые породы — 5%. По его мнению все осадочные породы вместе образовали бы вокруг Земли оболочку в 800 м мощности.

Осадочные породы могут быть разделены не только по своему составу, но и по способу своего образования.

Их удобно разделить на три главных класса: на механические, химические и органические осадки.

Механические осадки (их называют также обломочными или кластическими осадками) обнимают отложения, вещество которых было механически раздроблено, измельчено. В зависимости от того, образовались ли они вследствие работы воды, ветра или льда, их в дальнейшем разделяют на гидатогенные осадки (конгломераты, песчаники и пр.), эоловые (лёсс) и ледниковые (валунные глины).

Химические осадки являются выделениями из растворов, обыкновенно водных (каменная соль, гипс), только снег осаждается из атмосферы. Его считают поэтому то гидатогенным, то воздушным осадком.

Наконец к органическим осадкам относятся такие, которые образовались за счет накопления и изменения органических веществ. Их разделяют по растительному или животному происхождению на фитогенные породы (например угли) и зоогенные (мел, глобигеринный ил и т. д.). Это разделение можно представить так:

1. Механические осадки	{	а) гидатогенные
		б) эоловые
		в) ледниковые
2. Химические "	{	а) гидатогенные
		б) воздушные
3. Органические "	{	а) фитогенные
		б) зоогенные

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ УЧЕНИЯ О СТРОЕНИИ НАПЛАСТОВАНИЙ (ТЕКТОНИКА).³

По способу своего образования осадки должны были всегда отлагаться почти горизонтально. Во многих местах они до настоящего времени и сохранили это горизонтальное положение. Так ровно, как ковер, расстилаются мезозойские осадки на значительной части Германии; так же обстоит дело с палеозойскими напластованиями южной Швеции и отчасти Европейской части СССР. В других странах, наоборот, они сравнительно «нарушены» или «дислоцированы» позднейшими движениями земной коры.

¹ V. Hise, Treatise on metamorphism. U. St. Geol. Surv., Mon. 47, p. 940. 1904.

² Zr. W. Clarke, Data of geochemistry. U. St. Geol. Surv., Bull. Nr. 491, p. 30, sgg., 1911.

³ Heim und Margerie, Die Dislokationen der Erdrinde, Zürich 1888.

Сообразно с характером движения земной коры, вызвавшего нарушения, можно разделить все виды дислокации на две группы:

1) горизонтальные дислокации, вызванные главным образом боковым, тангенциальным давлением вследствие стягивания, сморщивания земной коры и

2) вертикальные дислокации, обязанные главным образом вертикальным или радиальным движениям земной коры.

К горизонтальным нарушениям относятся главным образом наклон пластов, разнообразная складчатость и надвиги перекрытия; к вертикальным — флексуры и сбросы.

НАКЛОН ПЛАСТОВ.

Простейший случай нарушения залегания состоит в том, что пласты приобретают более или менее наклонное положение. Нередко наблюдают



Рис. 42. Разрез через Швабскую область между Шварцвальдом и Дунаем.

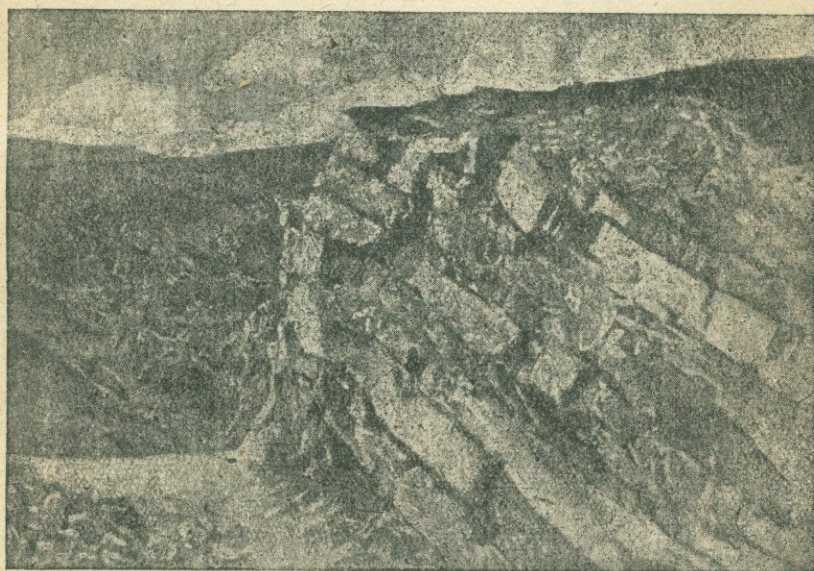


Рис. 43. Полого падающие пласты верхнедевонских песчаников и сланцев. Биденкопф на Лане.

целые свиты значительной мощности, где все слои падают в одну сторону и являются таким образом примером «моноклинального» строения (рис. 42 и 43). Величина наклона очень различна. Слои, которые отклоняются на 90° от горизонтального положения, называются вертикаль-

ными, поставленными на голову. Если наклон больше 90° , пласты называются опрокинутыми. Опрокинутое залегание



Рис. 44. Опрокинутые складки по северному краю Гарца.

S — Сланцевые горы Гарца. Z — K' — более поздние окраинные образования.

господствует например по северному краю Гарца (рис. 44), а также в Исполиновых горах.

СКЛАДЧАТОСТЬ

Почти всюду, где удается проследить приподнятые пласты по направлению их падения, обнаруживается, что наклон потом изменяется и принимает обратное направление. Эта картина повторяется несколько раз; таким образом получается целый ряд последовательных складок.

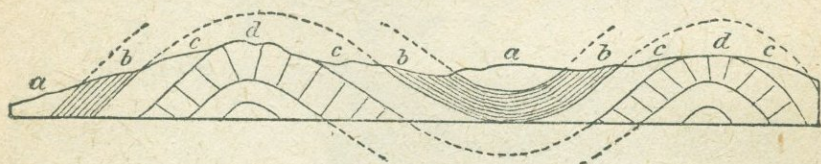


Рис. 45. Поперечный профиль складчатой системы слоев.

Рис. 45 дает представление об этом строении, явившемся следствием бокового давления. Здесь мы видим повторяющееся чередование различных членов системы пластов a, b, c, d в последовательности a, b, c, d, — d, c, b, a и т. д.

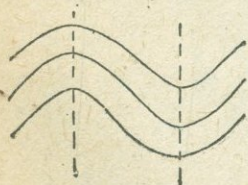


Рис. 46. Прямые складки.

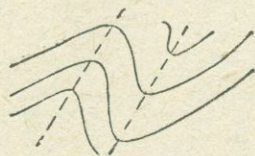


Рис. 47. Наклонные складки.

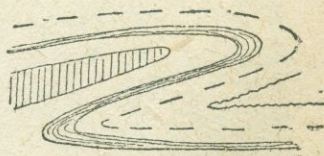


Рис. 48. Лежачие складки.

Во всех подобных случаях можно различать: 1) мульды, или синклинали, бока или крылья которых сходятся книзу (средняя часть рис. 45) и 2) седла, или антиклинали, крылья которых книзу расходятся (боковые части рис. 45).

Строение складок очень разнообразно. Различают н о р м а л ь н ы е

складки с падающими навстречу крыльями (рис. 46, 47), изокли-
нальные складки с параллельными крыльями (рис. 49) и ве-
ерообразные (рис. 50). Смотря по положению оси седла, различают
прямые, наклонные (косые) и лежащие (рис. 46—48)
складки.

Своими исключительно правильными зигзагообразными
складками известна с давних пор каменноугольная горная цепь
Аахена и Монса (Бельгия).

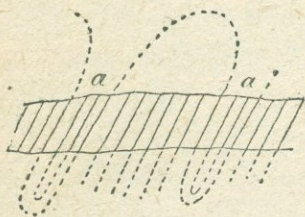


Рис. 49. Изоклиальные складки.

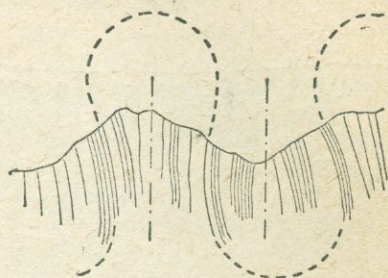


Рис. 50. Веерные складки.

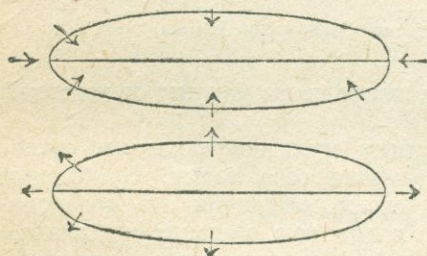


Рис. 51. План мульды (вверху) и седла (внизу).

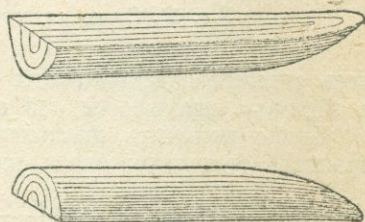


Рис. 52. Наглядное изображение мульды (вверху) и седла (внизу).



Рис. 53. Продольный и поперечный разрезы мульды (вверху) и седла (внизу).

Мы до сих пор рассматривали мульды и седла в поперечном разрезе. Каковы же они по направлению оси и как они затухают. Их затухание (замыкание) определяется оконтуривающим простиранием. Оба крыла-складки, которые сначала были параллельны, начинают сходить, наконец соединяются по кривой линии. Простирание вблизи точки соединения постепенно изменяется, например переходит с западного направления в северо-западное, с северного в северо-восточное

и наконец в восточное, т. е. завершает поворот. Это огибание называется поворотом (загибом) мульды или седла. Верхний рис. 51 представляет горизонтальную проекцию мульды, т. е. корытообразно вогнутой свиты слоев. Это видно из обозначенных стрелками направлений падения. Стрелки падения обоих крыльев направлены в середину мульды, т. е. указывают на находящуюся в ее глубине ось мульды. Нижний рис. 51, наоборот, представляет проекцию седла, следовательно выпуклости слоев.

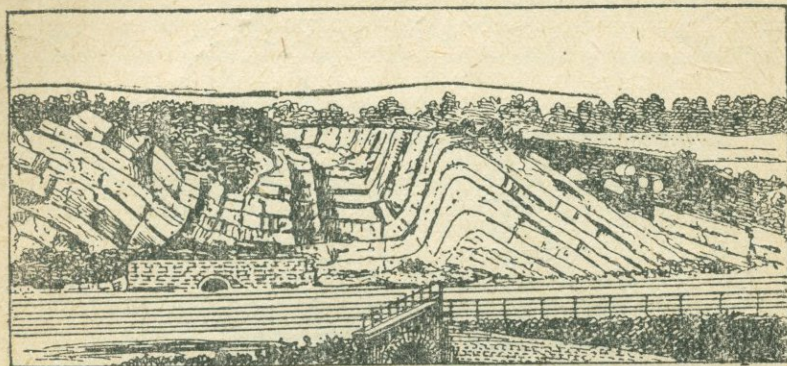


Рис. 54. Смятый в складки известняк. Блейберг и Аахена.

Здесь стрелки падения обоих крыльев направлены наружу от лежащей на вершине выпуклости оси седла.

Чтобы получить правильную картину мульдообразного и седлообразного залегания слоев, надо представить себе лодку. В обычном

своем положении она воспроизводит всю мульду: ее длинные бока соответствуют крыльям, загнутый нос и корма — загибам мульды, ее киль — оси мульды. Лодка, опрокинута так, чтобы киль очутился наверху, является моделью седла. Киль будет здесь соответствовать оси седла. Но в природе мульды и седла состоят не из одного, а из многочисленных налегающих друг на друга слоев, вроде оболочек луковицы; поэтому для вполне наглядной картины нужно представить себе

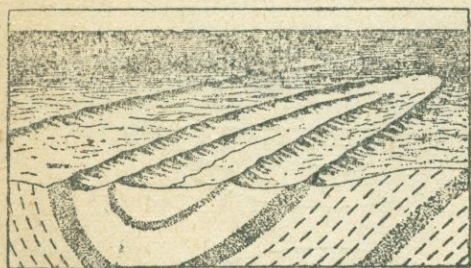


Рис. 55. Вид сильно размывтой мульды с оконтуривающими слоями (по Виллису).

много лодок, вложенных одна в другую (рис. 52, 53). Внутреннюю часть мульды, состоящую из самых молодых пластов, называют ядром мульды; внутреннюю часть седла, состоящую из самых древних пластов, называют ядром седла.

Складчатость представляет одно из самых важных геологических явлений. Складки редко появляются в одиночку, чаще группами. Обширные страны всех частей света построены сложенными в складки пластами. В Германии не только древнейшие горные массивы, как Фихтельгебирге,

Франконский лес, Гарц, Рейнские пиферные горы и т. п., состоят из сильно смятых пород, но и вся область между Тюрингенским лесом и Гарцем и местность на север от них также сложены из складок, хотя и более плоских (рис. 54 и 55). Складчатое строение имеет важное значение для всех как древнейших, так и более юных складчатых гор. Большинство высоких гор обязано не только своим происхождением, но и своей внешней формой и своим построением из параллельных цепей высоко поднятым и далеко продолжающимся складкам.

В таких горах можно найти примеры самых разнообразных складок. Там, где давление было относительно не очень велико, как в Юрских горах, мы увидим главным образом простые, прямые или слабо наклонные нормальные складки; там, где, наоборот, складчатость проявлялась сильнее, как например в Альпах, правильно построенные складки уступают свое место изоклинальным, опрокинутым, лежащим и веерообразным складкам (рис. 69).

НАДВИГИ

В тех случаях, когда опрокинутая складка продолжает подвергаться боковому давлению в направлении, вызвавшем ее образование, она будет

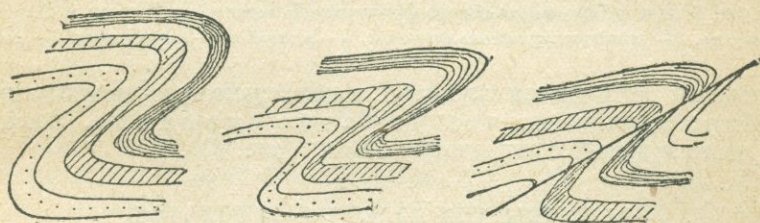


Рис. 56. Переход складки в надвиг.

все больше сжиматься, седло ее подниматься все выше, а мульда все глубже вдавливаясь. Параллельно с этим происходит растягивание и расплющивание среднего крыла, что наконец может привести к его разрыву. Здесь тогда образуется трещина, по которой при продолжающемся давлении верхняя часть или вся чече крыло надвигается на лежащее. Подобные надвиги называются *наволоками*. Они существуют во всех областях с сильно развитой складчатостью и частыми тектоническими явлениями. Все в большем количестве они обнаруживаются особенно в Альпах при их подробном изучении (рис. 56 и 57).

В Германии уже давно например известен наволок в окрестностях Мейсена, доходящий до Цитау (рис. 58). Здесь на протяжении 170 километров граниты надвинуты на сеноманские песчаники богемского мела по трещине, круто падающей на север. Между этими породами в разных местах наблюдаются опрокинутые юрские слои.

Другой большой надвиг от окрестностей Аахена через Бельгию

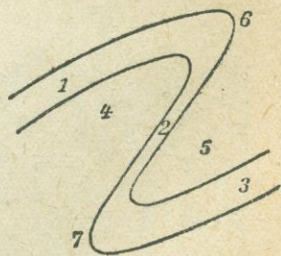


Рис. 57. Расплющивание среднего крыла.

1 — крыло седла, 2 — среднее крыло, 3 — крыло мульды, 4 — ядро седла, 5 — ядро мульды, 6 — седло, 7 — перегиб мульды.

и северную Францию доходит до Па-де-Кале, на протяжении 380 км образует границу между каменноугольными отложениями и Арденским массивом, надвинутым с юга на каменноугольные отложения (рис. 59).



Рис. 58. Схема большого Мейсенского надвига.

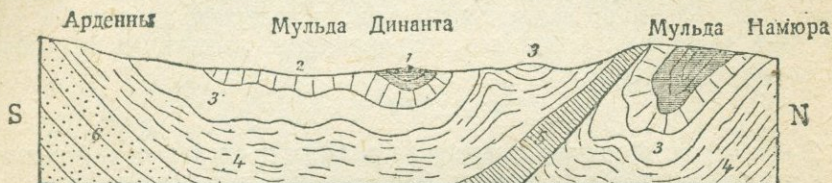


Рис. 59. Большой Бельгийско-северо-французский надвиг (по Госселе и Барруа).
1 — верхне-, 2 — нижнекаменноугольные отложения, 3 — верхний и 4 — нижний девон, 5 — силур, 6 — кембрий.

Если надвиги встречаются группами, параллельно простиранию слоев, то образуется так называемое *чешуйчатое строение*. Это наблюдается часто в древних складчатых горах (рис. 61).

ФЛЕКСУРЫ ИЛИ КОЛЕНЧАТЫЕ СКЛАДКИ.

Флексурой называется перегиб горизонтально лежащего пласта к более низкому уровню, где пласт лежит также горизонтально (рис. 62). Они образуются лишь в тех областях, где слои лежат более или

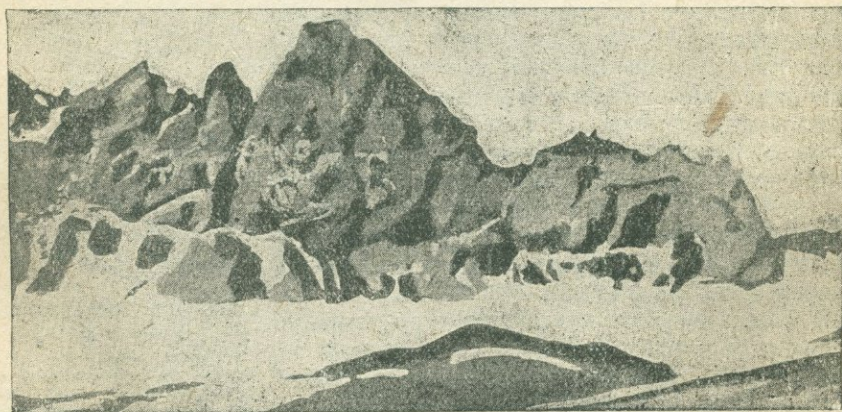


Рис. 60. Участок большого Гланднеровского надвига у перехода Сегне (по фотографии Анр. Гейма).

(Темные зубцы левее от высоты перехода Верукано, снизу подстилают светлые массивы—Мальма и Флишгаг).

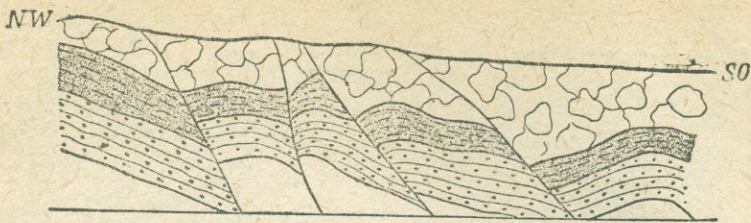


Рис. 61. Чешуйчатое строение в верхнем девоне у Дилленбурга.

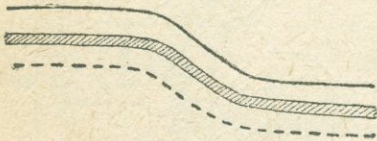


Рис. 62. Флексура.

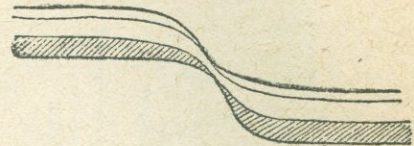


Рис. 63. Разорванная флексура.

менее горизонтально, и являются следствием растяжения, а не сжатия, как складки. Этим они приближаются к сбросам, в которые они часто и переходят (рис. 63).

СБРОСЫ.

При надвиге всякий бок поднимается по образовавшейся трещине, при сбросе же, наоборот, всякий бок опускается по поверхности раскола. Величина опускания называется высотой сброса и равняется часто всего лишь нескольким сантиметрам, а иногда и тысячам метров.



Рис. 64. Профиль Саарбрюкенского каменноугольного района и области красного лежня.

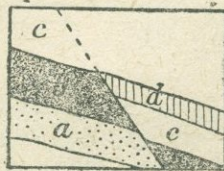
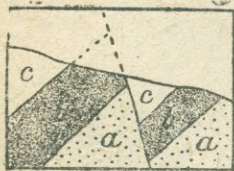


Рис. 65 и 66. Повторение и опускание пластов вследствие продольного сброса (в разрезе).

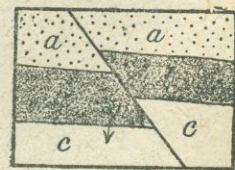


Рис. 67. Перемещение пластов вследствие поперечного сброса (в плане).

Болез мжодые покрывающие породы (мезозойские и четвертичные).

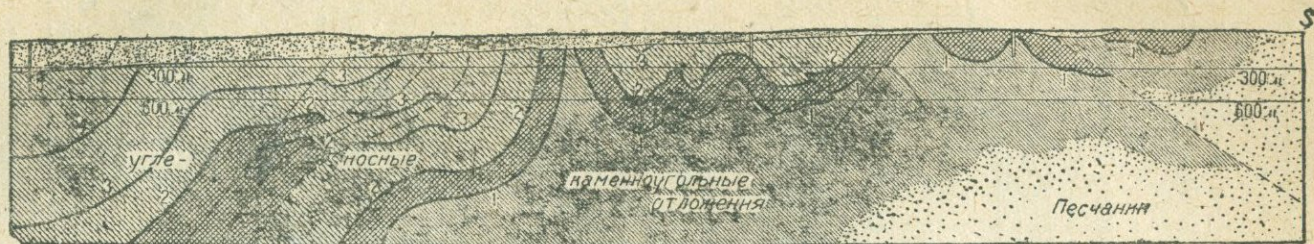


Рис. 68. Разрез через Вестфальский каменноугольный бассейн.

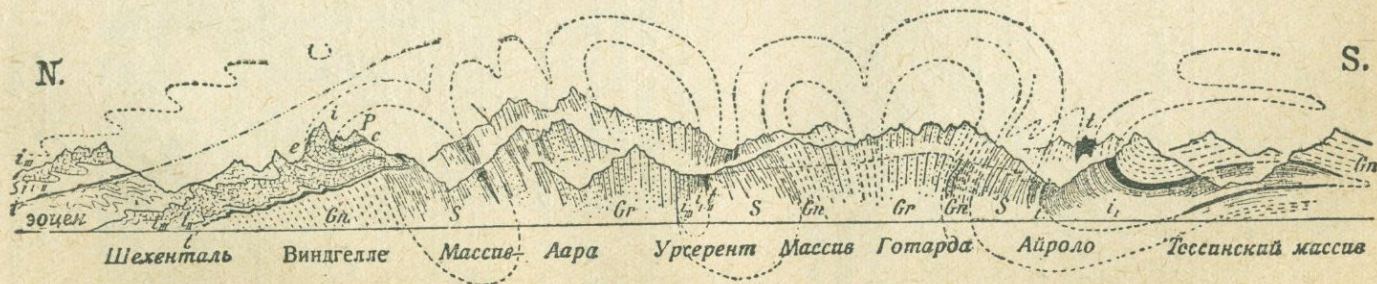


Рис. 69. N — S профиль через Готтардский массив (по Геймсу); Gn — гнейс, Gr — гранит, S — слюдястый сланец и филлит, с — каменноугольные осложнения, P — пермь, t — триас, i — юра, e — эоцен.

По положению сбрасывающей трещины относительно простирания слоев различают продольные (или по простиранию), поперечные и диагональные сбросы.

Рис. 64 изображает два больших продольных сброса, которые отделяют саарбрюкенский каменноугольный кряж на севере от более древних сланцев Гунерюка, а на юге от области пфальцских пестрых песчаников.

Действие сброса по простиранию выражается или в повторном чередовании пластов [в отличие от такового же, вызванного складчатостью (рис. 45), в следующей последовательности слоев: *a, b, c — a, b, c* и т. д.]

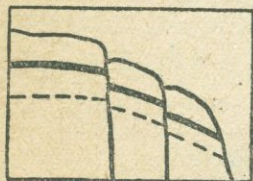


Рис. 70. Ступенчатый сброс.

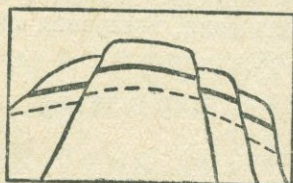


Рис. 71. Горст.



Рис. 72. Грабен.

или в смещении пластов вниз. Влияние поперечного и диагонального сбросов почти всегда вызывает боковое смещение пластов вдоль по трещине сброса (рис. 67).

Наличие большого числа параллельных сбросов образует часто:

1) ступенчатые сбросы: повторные опускания пластов (рис. 70);

2) горсты: опускание по краям массива, остающегося неподвижным (рис. 71);

3) грабен, сбросовый ров; опускание средней, часто очень длинной, но узкой глыбы между двумя, остающимися неподвижно (рис. 72).



Рис. 73. Разрез через большой Среднерейнский грабен.

1 — четвертичные отложения, 2 — третичные отложения, 3 — юра, 4 — кейлер и факонинский известняк, 5 — пестрый песчаник и красный лежень, 6 — каменноугольные отложения, 7 — гнейс и гранит.

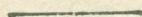
Многие германские горы: Тюрингенский лес, Гарц, Шварцвальд и Вогезы представляют хорошие примеры горстов. Долина Рейна между Базелем и Майнцем (рис. 73), долина Лейне у Гёттингена и многие иные — примеры грабенов.

Сбросы дугообразной формы часто образуют ступенчатые провалы вокруг глубоко погруженного центрального поля: так образуются поля опускания и котлообразные провалы (Адриа-

тическое море с его северным очертанием). Скрещивающиеся и пересекающиеся сбросы часто вызывают наконец образование сбросовых ж и л (рис. 33).

Поверхности, вдоль которых скользят сброшенные или смещенные глыбы, часто обнаруживают сильную полировку (зеркала скольжения) или глубоко изборождены по направлению движения: это вполне понятно, если принять во внимание объем двигавшейся глыбы и величину тех сил давления, которые при этом развивались.

Также понятно, что в других случаях дислокационные трещины заполняются брекчией трения или дислокационной брекчией или же глинистым материалом. В подобных случаях всегда получают продукты раздробления, размельчения, истирания горных пород, прилегающих к трещине сброса.



ДИНАМИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

А. ЭБЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ (ВНЕШНЯЯ ДИНАМИКА)

І. ДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ

Значение атмосферы заключается прежде всего в том, что она является главным условием развития органической жизни; кроме того благодаря ей совершается постоянный, никогда не прерывающийся круговорот воды в природе: вода постоянно поднимается в виде пара с земной поверхности в атмосферу, сгущается здесь до жидкого или твердого состояния и вновь возвращается на землю.

Геологическое действие атмосферы отчасти химическое, отчасти механическое. В первом отношении особенно имеет значение содержание в воздухе водяного пара, углекислоты и кислорода; во втором случае она является источником метеорных осадков и следовательно поверхностных и подземных вод; CO_2 и O служат могучим средством, усиливающим действие воды при процессах разрушения и выветривания горных пород. Эти процессы будут нами рассмотрены подробно впоследствии, при изучении деятельности воды, с которой они тесно связаны. Здесь мы ограничимся рассмотрением лишь механического влияния атмосферы.

В отличие от действия воды мы называем деятельность атмосферы эоловой или субэроальной и различаем при этом: 1) явления разрушения и развевания и 2) процессы отложения или созидания.

ЭОЛОВОЕ РАЗВЕВАНИЕ

Интенсивность его зависит конечно от силы ветра: ветер, омывая поверхность земли, отрывает и уносит все находящиеся там мелкие результаты выветривания, осколки горных пород, песок и пыль. Это тем более важно, что унесенные твердые частицы постоянно истирают, сверлят и бороздят поверхность горных пород, придавая этим ветру его разрушительную силу.

Ветер в данном случае обладает свойствами текучей воды: она также приобретает свою эрозионную (размывающую) силу лишь благодаря увлекаемым ею твердым частицам. Но между размывающей деятельностью

воды и развевающей деятельностью ветра имеется существенная разница: работа воды направлена лишь с высших точек на низшие, тогда как работа ветра может проявляться и вниз и вверх, и ее направление не зависит от влияния силы тяжести.

На суше явления эолового развевания проявляются резче всего в сухих областях, в пустынях и степях.

Независимо от геологических соотношений они встречаются на всех материках, на любых высотах, в низменностях, столовых странах и горных областях. Обширная область пустынь лежит в Средней Азии (огромная пустыня Гоби, Такла-Макан в Таримской впадине, туркменские и арало-каспийские пустыни). Пустыни Индии, Персии, Аравии и Сирии, которые в свою очередь соединяются с пустынями Египта и пустынными областями Северной Африки, окружающими Сахару, служат лишь западным продолжением этого обширного сухого пояса. Остальные сходные области Северной Америки (бассейн Великих соленых озер, южная Калифорния), Южной Америки (пустыня Атакама и др.), Южной Африки (Намиб и Калахари) и Австралии (почти вся центральная часть страны) значительно уступают по величине той испанской зоне пустынь, которая простирается от Атлантического и почти до Великого океана (см. карту, рис. 7). Мы уже указывали, что все области такого рода очень бедны осадками, а вследствие этого здесь отсутствуют длинные реки, имеющие сток в море. Следовательно это — области, лишенные стока. Несмотря на это, многие пустыни и степи отнюдь не совсем лишены воды. Некоторые из них (Египет, бассейн Тарима) прорезаны большими реками, другие пустыни скрывают большие запасы воды под почвой. В общем сухость подобных областей настолько велика, что все осадки быстро испаряются и не могут произвести сколько-нибудь значительной развевающей или транспортирующей работы. Поскольку же и здесь встречаются подобные явления, их следует отнести за счет иных сил, а именно ветра, инсоляции, механического и химического выветривания.

Вальтер¹, который изучил особенности пустынь во всех частях света, и Э. Кайзер² (Erich Kayser), который в течение многих лет наблюдал пустыню в Намибе, обозначают термином дефляция (сдувание) процесс сдувания ветром поверхности породы, разрыхленной инсоляцией, механическим и химическим выветриванием. Термином коррозия обозначают они истачивающее, шлифующее, сверлящее действие несомого ветром материала. Оба процесса идут параллельно, и их трудно разделить.

В сухих областях разрушению породы очень способствует инсоляция, которая нагревает сухую поверхность пустыни иногда выше 80°. Вследствие того, что эта же поверхность почью охлаждается часто ниже точки замерзания, породы испытывают попеременно то расширение, то сжатие. В результате ни одна порода не может выдержать их продолжительного действия и распадается на обломки и щебень, массой покрывающие утесы и склоны.

Рядом с сильным механическим выветриванием постоянно идет и химическое. Осадки (роса, дождь), правда, в большинстве случаев не

¹ Walther, Das Gesetz der Wüstenbildung, 2 Aufl., Leipzig 1912.

² Kayser, Zeitschrift d. Deutschen geol. Ges., 1920, und Abh. der Gissener Hochschulgeseellschaft, 1920.

проникают глубоко в почву; наоборот, гораздо чаще они возвращаются на дневную поверхность, поднимаясь по капиллярам, потому что поверхностный слой очень скоро вновь нагревается и высыхает. Но теперь они представляют собой уже растворы, которые обладают свойствами сильных минеральных растворителей, и потому действуют в высшей степени разрушительно. Для всех пустынь и полупустынь характерно осолонение



Рис. 74.

почвы, связанные с этим выцветы соли и скопления соли в безводных речных руслах и озерах, затем столь распространенное образование корок гипса, извести, железа и кремния, — все эти явления суть последствия непрерывно происходящих процессов разложения и выщелачивания верхних слоев почвы.

Главная роль эрозии ветра проявляется в ее шлифующей деятельности. Выступающие поверхности скал, открытые напору ветра, несущего песок, сильнее всего испытывают ее действие. Кроме того ветер образует многогранные или пирамидальные гальки (золотые многогранники). Во всех областях, где развиты летучие пески, встречаются эти золотые многогранники со слабо закругленными и блестящими, словно лакированными поверхностями (рис. 74).

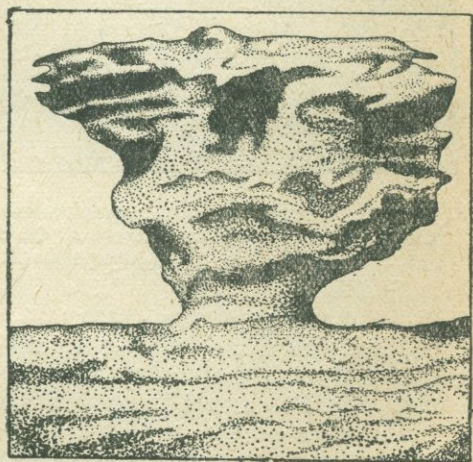


Рис. 75. Грибообразная скала. Ливийская пустыня.

При дальнейшем разрушении поверхности пустыни ветер образует и другие поразительные сооружения: возвышающиеся на каменной подставке золотые столы и грибообразные скалы (рис. 75), в особенности же островные горы или «свидетели», — холмы, которые возвышаются над окружающей местностью в одиночку или группами, представляя последние остатки бывшей ранее более высокой местности.

Совершенно для нас необычным проявлением эрозии ветра являются описанные для лёссовых степей Китая Рихтгофеном узкие теснины с крутыми склонами, достигающими 30 м высоты, образовавшиеся путем

углубления дорожной колеи. Дорога с одного конца в них спускается, на другом — опять поднимается. Далее ветер производит так называемые эоловые и споллиновые котлы, глубокие котлообразные пустоты, а также больших размеров понижения и углубления, например в Ливийской пустыне. Прекрасный пример формирования работой ветра замечательного куполообразного ландшафта изображен на рис. 76.

Многие исследователи приписывали действию эоловой эрозии образование замечательных часто безводных «ваади» Египетской пустыни с крутыми склонами, с разнообразными их переплетениями, с неправильным поднятием и опусканием их почвы, но это объяснение встретило вполне справедливые возражения.



Рис 76. Отшлифованные развеванием кембрийские (?) доломиты с накоплением осыпей и летучих песков в низинах. Намиб, германская Юго-западная Африка (фотография Е. Кайзера).

По Рихтгофену можно различать три главных вида пустынь:

1. Песчаные пустыни, — они возникают там, где почти все более мелкие частицы развевания унесены и остаются лишь грубые зерна песку. Это самый распространенный тип пустынь.
2. Щебневые пустыни, — где сильные ветры унесли всю массу тонкой пыли и песку и оставили лишь крупный гравий.
3. Каменные скалистые пустыни, — где ветры развеяли все продукты выветривания, так что всюду выступают лишь голые скалы.

Кроме этих видов пустынь Вальтер различает еще:

4. Глинистые и солончаковые пустыни, свойственные впадинам сухих областей; их место между щебневыми и песчаными пустынями.

Все названные формы не разделяются резко, но могут переходить одна в другую и встречаться в разнообразном сочетании. Песчаная пустыня по отношению к каменной лежит всегда по направлению господствующих ветров, потому что материал первой отлагается за счет развевания каменной пустыни.

ЗОЛОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Пустыни, как мы уже видели, представляют собой области сильного эолового развевания и уноса. Вследствие выветривания, дефляции, инсоляции, корразии в них непрерывно образуются большие количества грубого и тонкого обломочного материала. Все эти продукты выветривания не остаются лежать на месте своего образования, но скоро уносятся ветром. Перенос этот совершается различным образом в зависимости от величины и тяжести обломков горной породы: более грубый материал, подобно гальке ручьев и рек, перекачивается по земле; более мелкие обломки перекидываются, как из пращи, и наконец наиболее тонкие частицы уносятся в виде облаков пыли, подобно тому как переносятся в речной воде взвешенные частицы ила.

Материал первого и второго рода отлагается недалеко от места своего образования, мелкая же пыль оседает часто лишь на очень большом расстоянии. Первый является причиной образования своеобразных форм рельефа земной поверхности (дюны и т. д.); тончайшая минеральная пыль, наоборот, заполняет все углубления земной поверхности и таким образом способствует выравниванию и уничтожению всех неровностей не только в самих пустынях, но и в отдаленных от них областях.

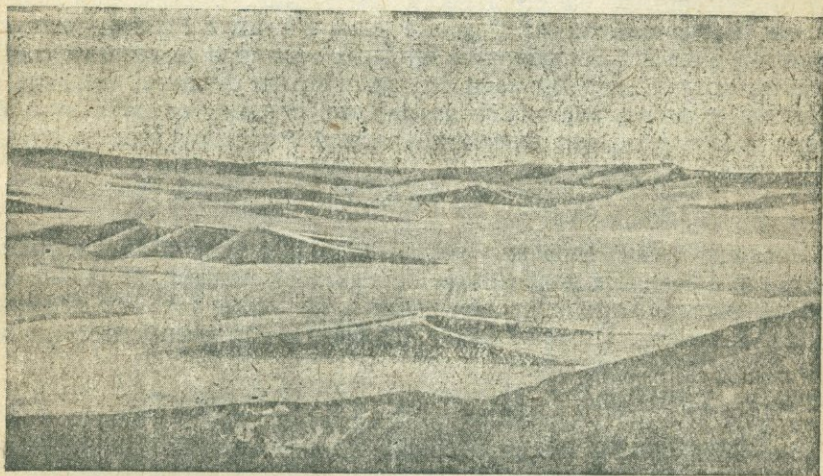


Рис. 77. Неправильные ложины пустыни, глубоко засыпанные щебнем. Спереди типичный бархан. Намиб, юго-западная Африка.

1. Нивелирование углублений в сухих областях. Образование степей

Образование часто очень обширных равнин путем отложения продуктов выветривания — процесс в геологическом отношении чрезвычайно важный; он совершается во всех пустынях и их окрестностях. Отложение этого материала совершается прежде всего в руслах долин, рывтинах, оврагах, в ложбинах, котловинах и других депрессиях поверхности, которые особенно часто встречаются в горных пустынях. Все подобные углубления постепенно заполняются и выравниваются отложением

продуктов выветривания, принесенных ветром. Но и склоны соседних гор и холмы со временем все больше и больше покрываются эоловыми отложениями, пока наконец лишь высочайшие горные хребты и вершины будут выступать из песчаного моря, — «горы утопают в своих обломках» (рис. 76). Рядом с ветром большую роль в этих процессах играет и вода.

Дождевые потоки — не частое явление в пустыне. Но если они проявляются, то с очень большой силой. Они омывают тогда страну на большом расстоянии; водные потоки уносят с собой весь тот обломочный материал, который накопился в течение сухого времени, и отлагают его снова в более глубоких депрессиях. Поэтому понятно, что среди образующихся здесь отложений тонкоземистого состава изредка попадаются прослойки более грубого обломочного материала.

Степи также представляют собой результат отложения материала, образовавшегося в соседних пустынях. Они имеют вместе с тем совершенно сходное происхождение с пустынными равнинами, возникшими путем постепенной нивелировки углублений поверхности. Их отличие заключается лишь в том, что почва степей состоит из гораздо более тонкого материала, образованного вследствие накопления тончайшей пыли, лишь кое-где переслоенной песком. Из такого способа возникновения степей с травяным покровом выясняется очень тесная связь, которая существует между ними и лишенными растительности пустынями, причем переходными формами являются так называемые степи-пустыни, или пустыни-степи. Большинство пустынь граничит со степями или же окружено поясом степей, но и внутри пустыни местами, там, где они защищены от ветра, выступают маленькие степные оазисы; они обращаются в пустыню, как только покроются более грубыми продуктами разрушения.

2. Дюны.¹

Носящие такое название песчаные холмы или гряды возникают всюду, где в больших количествах накапливается рыхлый, не защищенный никаким растительным покровом песок и где кроме того нет недостатка в сильных ветрах. Поэтому дюны особенно часто встречаются по мор-



Рис. 78. Профиль через ряд движущихся дюн обычного типа (с плоской наветренной и крутой подветренной стороны).

ским побережьям; в таком случае они называются береговыми дюнами. Они бывают также и внутри материков и особенно сильно распространены в сухих областях; подобные отложения легучего песка называются внутренними дюнами или барханами. И те и другие дюны очень сходны между собой; но прибрежные состоят из чистого песка без примеси пыли, тогда как внутренние материковые дюны более или менее богаты пылью.

¹ Соколов, Дюны и их образование, 1884; Solger u. a., Dünenbuch, Stuttgart, bei Enke, 1910.

Дюны обычно представляют собой длинные песчаные гряды, расположенные параллельными рядами; в Германии они не превышают 10 — 20 м, но в Сахаре достигают 150 м. Нормальная береговая дюна обладает всегда более отлогой (5—10°), обращенной к сильным ветрам наветренной стороной и более крутой (падающей под 25—30°), защищенной от ветра подветренной стороной. Обычные дюны — поперечные — расположены перпендикулярно к господствующим ветрам; но в азиатских

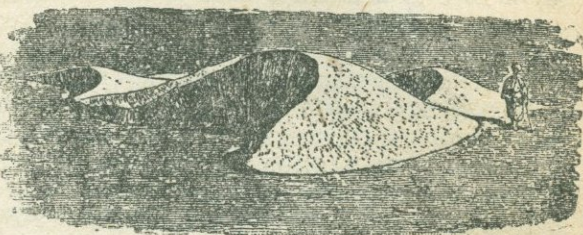
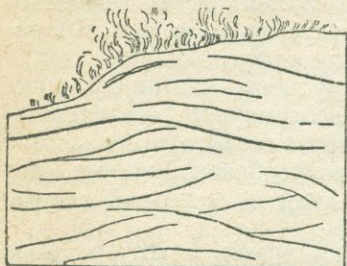


Рис. 79. Диагональная слоистость дюн. Остенде.

Рис. 80. Туркестанский бархан.

и других пустынях существуют **продольные дюны**, расположенные по направлению главных ветров. Наконец последнюю форму представляют собой серпообразные дюны (рис. 80), или **барханы**.

Поверхность дюны покрыта маленькими бороздками (рябью), параллельными между собою и отделенными друг от друга плоскими понижениями. Они всегда возникают под прямым углом к направлению ветра и



Рис. 81. Схема движения дюны.
Большая стрелка указывает направление господствующих ветров.

образуются также при подходящих условиях на дне плоских водоемов, на рыхлом снегу и т. д., как следствие того трения, которое производит струящийся воздушный или водяной слой по песку, илу или снегу.

Наоборот, во внутреннем строении дюн преобладает диагональная и перекрещивающаяся слоистость.

Известно, что всюду, где дюны не закрепляются искусственно растениями, они передвигаются по направлению ветров. Это обуславливается тем обстоятельством, что при более сильном ветре поверхностные зерна песку переносятся через гребень дюны и отлагаются на заветренной ее стороне. Быстрота передвижения колеблется приблизительно от 6 до 20 м в год. Вследствие передвижения дюн обширные участки германских северного и восточного побережий, а также многие другие области обратились в незаселенные песчаные пустыни.¹

¹ Кроме приморских дюн существуют дюны речные, высота которых 5 — 10 м, хотя доходит иногда до 20 м, например в долине р. Дона у станции Усть-Медведицкой. Значительного развития у нас достигают эти дюны в долинах Волги, Мологи, Оки и Днепра. *Ред.*

3. Золотые глины и лёсс.¹

Типичный лёсс, имеющий распространение от Нидерландов через всю среднюю и южную Германию до Галиции и южной части УССР представляет собой пылеобразное, тонкопесчанистое, желтоватое образование, отличающееся капиллярной структурой (происшедшей от остатков корешков прежних степных трав) и отсутствием слоистости или очень слабым ее развитием. Мощность его колеблется преимущественно от 3 до 8 м и лишь в виде исключения достигает иногда 20 м. Кроме известковых конкреций (так называемых дутиков или лессовых куколок), он содержит раковины различных наземных улиток, остатки больших травоядных (лошадей, мамонтов и т. д.) и степных грызунов; раковин водных животных обычно здесь нет. Лёсс отличается свойством образовывать отвесные стены и встречается на самой разнообразной высоте, но особенно часто в долинах, где он под названием лессовидной глины развит в весьма значительных размерах.

Лёсс, отложившийся у нас в четвертичное время, благодаря этим особенностям надолго сделался геологической загадкой. Его рассматривали первоначально как последний остаток большого наводнения, но отсутствие слоистости в его строении, обычное отсутствие пресноводных раковин, случайное нахождение у его подошвы отшлифованных ветром граненых галек, его положение в виде лёссовидной глины склонов, в особенности же его присутствие на водоразделах—все это вместе противоречит возможности его отложения в воде. Поэтому почти все современные геологи во главе с основателем золотой теории происхождения лёсса Рихтгофеном (который первоначально применил ее к китайскому лёссу) видят в нем результат отложения ветром и дождевыми струйками тончайших пылеобразных продуктов выветривания горных пород.²

Образование лёсса уже не происходит теперь в наших областях, потому что вследствие влажного климата нигде не могут накапливаться в достаточном количестве все продукты выветривания. Нужно ехать в сухие континентальные страны, например в степи дальней Монголии и Туркестана, чтобы наблюдать образование лёсса теперь. Здесь скоро убеждаешься, что для образования лёсса кроме больших количеств пыли нужны еще обширные пространства, поросшие травой, потому что только трава может задерживать падающую пыль. Даже совершенно исчезнув под слоем пыли, травяные стебли скоро опять пробиваются через ее толщу. При наличии этих двух условий (отложения пыли и роста травы) лёсс может достигнуть мощности в несколько сот метров, что наблюдается например в Китае. Остатки той фауны, которую находят в лёссе и которая подобно пеструшке, степному сурку, дикому ослу, степной антилопе и другим является характерной для современных азиатских степей и тундр, указывают, что во время отложения лёсса, т. е. в четвертичный период, существовали климатические условия, сходные с теми, которые господствуют и теперь в степных областях.

По Тилло (Van Tillo)³, не менее 4% всей поверхности суши покрыто лёссом.

¹ V. Richthofen, China, I, 1877.

² Гл. обр. ледниковых отложений. Ред.

³ Van Tillo, Pelerrmanns geogr. Mitteil 1893, S. 17.

II. ДЕЙСТВИЕ ВОДЫ.

Вода существует в парообразном, жидком и твердом состояниях, но непосредственно геологическое воздействие производит лишь в жидком и твердом видах. В твердом состоянии, в виде льда, она действует лишь механически; в жидком она влияет столько же механически, сколько и химически.

Химическая деятельность воды проявляется и на земной поверхности, где ею обусловлены важнейшие процессы выветривания, и внутри горных пород. Механическое воздействие приурочено главным образом к текучей воде земной поверхности. Кроме разрушения берегов прибоем волн особенно значительны процессы образования долин или эрозий.

Однако во всех своих проявлениях вода действует не только разрушительно, но и созидательно. Ее химическая деятельность состоит не только в выщелачивании и выветривании горных пород: путем выделения растворенных в ней веществ она образует минеральные отложения на земной поверхности, равно как в трещинах и пустотах. Действие эрозии и денудации также не только разрушительно: отлагая переносимые водой продукты разрушения пород, они вызывают образование осадков на дне спокойных водных бассейнов, преимущественно морей.

МЕТЕОРНАЯ ВОДА И ВЫВЕТРИВАНИЕ.

1. Деятельность метеорной и просачивающейся воды.

Водяные пары постоянно выделяются всеми водными бассейнами; в верхних слоях атмосферы они сгущаются, чтобы в виде дождя, снега и т. п. опять вернуться на земную поверхность. Это исключительной важности явление называется круговоротом воды.

Количество осадков измеряется той высотой, которой достигли бы осадки в течение года, если бы они оставались на месте. Она подвержена большим колебаниям. В общем количество дождя уменьшается по мере удаления от морских берегов и увеличивается с поднятием над уровнем моря. Следовательно на побережьях выпадает осадков больше, чем внутри материков, а в горах больше, чем в равнинах.

Среднее годовое количество (средняя высота) осадков равняется 750 мм. Области с большим количеством осадков называются богатыми осадками, с меньшим — бедными осадками.

Для некоторых пустынь высота осадков равняется 0, для севергерманской равнины она равна 460—820 мм, для центральной германской горной области — 600—1200 мм, для альпийских стран — 1000—1700 мм и наконец для южного склона Гималаев (максимум) — 10000 мм и больше.¹ Главная роль при сгущении водяного пара принадлежит высоким горам, на холодных хребтах которых выпадают громадные количества осадков. В более низких местах большое влияние на обилие воды в какой-нибудь области имеет лес. Правда, он не действует непосредственно на увеличение количества осадков, зато он отлично сохраняет выпавшие и возвращает их лишь постепенно. Поэтому лес весьма заметно

¹ Для отдельных частей СССР среднее годовое количество осадков различно: в Сочи и Батуме оно доходит до 2000 мм, в Киеве — 490 мм, в Астрахани — 120 — 130 мм, в Кызыл-Орде (б. Перовск) — до 67 мм. *Ред.*

влияет на сохранение влажности почвы и на поднятие уровня грунтовых вод, а тем самым и на обилие источников.

Количество осадков в какой-нибудь области имеет геологическое значение, потому что от этого зависит величина выветривания и эрозии, а в связи с ними и весь внешний облик данной страны.

В этом отношении резко противоположны те два типа стран, которые вместе с Рихтгофеном мы назовем периферическими и центральными областями.

Раньше мы говорили уже об этом различии и выяснили, что периферической областью является такая, где осадки преобладают над испарением и где поэтому существует сток воды в море; к центральным же областям принадлежат те, где испарение преобладает, и потому нет стока воды в океан. Кроме того мы указывали на тот факт исключительного значения, что все продукты выветривания горных пород в периферических областях почти целиком уносятся, тогда как в центральных областях, наоборот, остаются на месте и отлагаются вновь в виде осадочных образований.

Теперь вместо выражений периферическая и центральная область употребляются термины влажные области и пустынные или сухие области. Последние преимущественно лишены стока. По Вальтеру¹ около пятой части земной поверхности принадлежит областям, лишенным стока.

Брюкнер² первый указал, что годовое количество осадков ни для какой области не остается постоянным.

Он сумел доказать правильное чередование влажных и холодных периодов с теплыми и сухими и указал, что эти колебания климата обнаруживаются не только в движениях (отступлениях и наступаниях) ледников, в высоте стояния вод в реках, но что вообще они действительны для всей земли. Продолжительность этого брюкнеровского климатического периода обнимает в среднем 35 лет.

Метеорные воды получают многие минеральные вещества уже непосредственным растворением. Сюда относится например каменная соль (NaCl), которая при $12 - 15^\circ$ растворяется не меньше как 36 частей в 100 частях воды. Среди вод озер и ключей встречаются растворы, насыщенные поваренной солью. Самое существование залежей каменной соли возможно лишь там, где они покрыты водонепроницаемым, защищающим их от растворения пластом глины.

К другим легко растворимым минералам, залегающим большими скоплениями, принадлежат гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{aq}$), известь (CaCO_3) и доломит (CaMgC_2O_6). В 10 000 частях воды растворяется около 25 частей гипса; известь в чистой воде растворяется от нескольких десятых и до 1 части; в воде, содержащей углекислоту, в среднем около 10 частей. Этим объясняется большое распространение карбонатов Ca и Mg во всех естественных водах, а также обилие пустот и пещер во всех известковых и доломитовых горах. Силикаты, которые имеют такое большое значение в составе горных пород, хотя хуже растворимы, но все же растворимы. Если их в порошке полить горячей водой, фильтрат уже в скором времени обнаружи-

¹ Walther, Gesetz der Wüstenbildung, S. 17.

² Brückner, Klimaschwankungen seit 1700; Pencks, Geogr. Abh., IV, 2, 1890; Тот же автор, Verh. d. 8. Deutsch. Geographentages, Berlin 1889.

вает следы щелочей и щелочных земель. Тот факт, что на земле вообще не существует химически чистой воды, имеет большое значение для разлагающего действия просачивающейся воды. Вода всегда содержит различное количество веществ, сильно повышающих ее растворяющую и разлагающую способность.

Среди этих веществ прежде всего надо назвать свободную углекислоту (H_2CO_3), которая не только действует на углекислые соединения Ca, Mg и Fe (так называемые железистые соединения), но также и на силикаты, причем она растворяет содержащиеся в них K, Na, Mg и Ca. Уже падая через воздух, дождевая капля захватывает углекислоту, но она обогащается ею еще более, проникая через верхний гумозный слой почвы, который вследствие разложения содержащихся в нем органических веществ всегда содержит большие количества этого газа. Поднимающиеся во многих местах из земных недр вулканические газы образуют другой важный источник углекислоты естественных вод.

Просачивающиеся воды кроме углекислоты содержат еще другие химически весьма активные составные части: кислород и органические вещества. Первый получается из воздуха и сообщает воде ее окислительную способность; органические вещества образуются за счет разложения истлевших животных и растительных веществ и являются, наоборот, сильными восстановителями.

Насыщенные упомянутыми веществами метеорные воды по бесчисленным трещинам, разрывам и расселинам проникают внутрь горных пород и вызывают в них разнообразные, частью простые, частью очень сложные явления, продолжительному действию которых ни одно минеральное вещество не может противостоять. В познании этих исключительно разнообразных гидрохимических процессов минерального царства мы особенно обязаны работам Бишофа¹ (Bischof). Гораздо позже, благодаря исследованиям Ван-Беммелена² (Van Bemmelen) и других, мы узнали, какую большую роль играют возникающие при минерально-химическом разложении коллоидальные вещества.

В противоположность «кристаллоидам», которые кристаллизуются и диализируют (т. е. проникают через пленки), коллоиды не диализируют. Они повидимому представляют тончайшие плавающие в растворе аморфные частицы, которые стремятся со временем выпасть из своих растворов в виде студенистой или илистой водосодержащей массы. Вода в них не связана химически, но лишь адсорбтивно и легко выделяется, причем студенистое вещество тогда легко переходит в твердое состояние, или аморфное, или кристаллическое, — таким образом каолиновый коллоид переходит в каолинит, коллоид кремневой кислоты в опал или кварц и т. д. Эта неустойчивость коллоидов увеличивается еще их адсорбтивными свойствами, их способностью адсорбировать различнейшие кислоты и основания, а именно соли щелочей и щелочных земель, что служит причиной разнообразнейших химических превращений.

Здесь надо уже подчеркнуть, насколько поглощающая способность коллоидов важна для всего растительного мира. Большинство коллоид-

¹ G. Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. 2 Aufl., Bonn 1863 — 1871; I. Roth, Allgemeine und chemische Geologie, Berlin 1879 — 1890.

² Van Bemmelen, Die Absorption (nach heutigem Ausdruck — Adsorption), Gesammelte Abhandlungen, herausgegeben von Ostwald, Dresden 1910; Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl., Berlin 1911.

дальних алюмосиликатов, равно как и гумусовых веществ почвы, поглощает в первую очередь именно те вещества, которые встречаются в почве только в очень небольших количествах, а между тем необходимы для питания растений, а именно: калий, азотистые вещества и фосфорную кислоту. Они задерживаются коллоидами и сохраняются надолго в пахотной земле.

Вследствие такого сохранения калия в почве лишь очень небольшая его часть попадает в воду рек, а через них и в моря. Совершенно иначе обстоит дело с натрием, который не задерживается почвой, и поэтому должен накапливаться в морях, — исключительное значение этого процесса ясно без всяких объяснений.

Эти распространенные в почве коллоидальные водные соединения вследствие сходства их химического состава с цеолитами, называли раньше «почвенными цеолитами», теперь их называют пертурбитами.

Рассмотрим здесь некоторые из важнейших гидрохимических процессов минерального царства.

Окисление. Здесь мы должны особенно отметить железистые соединения. Таким образом магнетит (Fe_3O_4) переходит в красный железняк (Fe_2O_3), а этот последний при помощи воды в бурый железняк ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{aq}$). Сернистые металлы, в особенности же сернистое железо [пирит (FeS_2), марказит и магнитный колчедан] легко усваивают кислород и переходят в железный купорос ($\text{FeSO}_4, 7\text{aq}$), причем иногда выделяется столько тепла, что загораются богатые колчеданом угли и возникают подземные пожары. Как общее правило, железистые силикаты сильно подвержены окислению. При этом они теряют свою характерную зеленоватую окраску и приобретают знакомую красно-бурю окраску железной ржавчины.

К сходным, но медленно протекающим процессам относится обезвреживание многих осадочных пород (известняков, мергелей, глин, глинистых сланцев) при выветривании. Оно является результатом распада многих органических красящих веществ при окислении.

Гидратация. К ней склонны многие руды и силикаты. Таковы, кроме сернистых руд (серного, медного, мышьякового колчедана и т. д.), особенно красный железняк (Fe_2O_3) и магнетит (Fe_3O_4), которые таким путем переходят в плаковидный бурый железняк ($2\text{Fe}_2\text{O}_3, 3\text{aq}$).

Еще большее значение имеет превращение ангидрита (CaSO_4) в гипс ($\text{CaSO}_4 + 2\text{aq}$).

Под влиянием влажного воздуха ангидрит усваивает воду и очень скоро переходит в гипс. Но так как его удельный вес меньше удельного веса ангидрита, с этим переходом связано сильное разбухание. На практике оно вызывает перекашивание креплений штолен, заложённых в ангидритах: лежащие вначале горизонтально слои гипса делаются складчатыми (плотчатый гипс).

При этом всякие бока больших гипсовых залежей бывают подняты и разбиты, как например покрывающие цехштейн пестрые песчаники южного Гарца.

С процессом гидратации связан и переход оливина ($2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) в серпентин ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{aq}$), так называемая серпентинизация, причем Mg с помощью воды, содержащей CO_2 , часто переходит далее в магнезит MgCO_3 , а свободная SiO_2 — в кварц и опал.

На том же процессе гидратации основано главным образом и образование цеолитов. Они ведь являются водосодержащими силикатами, заключающимися из металлов преимущественно Ca и Na, и произошли главным образом из полевых шпатов и подобных им минералов (лейцит, нефелин). В пахотной земле тоже очень распространены сходные силикаты, которые называют «измененными цеолитами». Это по всей вероятности коллоиды смеси гидрата окиси алюминия и кремнекислоты.

Процессы восстановления. Они проявляются там, где просачивающиеся воды содержат органические восстанавливающие вещества. Особенно важно их значение тем, что они восстанавливают железистые соединения.

Разлагающиеся органические вещества превращают также серные соединения в сернистые, чем и объясняется обилие серного колчедана во всех окаменелостях. Таким же образом действием битуминозных веществ гипс переводится сначала в CaS, а далее действием освободившейся CO_2 в углекислую известь и серу. Это характерно для серы, находимой в третичных отложениях Сицилии в сопровождении известкового шпата.

Из остальных неорганических восстановителей минерального царства назван еще сероводород. Однако восстанавливающее действие всех перечисленных веществ ничтожно по сравнению с деятельностью бактерий, отнимающих весь потребный им кислород у самых разнообразных органических и неорганических веществ, играющих также большую роль в превращении окисей железа в закиси.

Образование карбонатов. Оно происходит в широких размерах под влиянием находящейся в водных растворах углекислоты. Таким образом самородная медь вследствие окисления обращается сначала в красную медь (Cu_2O), а эта последняя благодаря соединению с O, CO_2 и водой превращается в малахит ($2\text{CuO} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{aq}$).

Образование углекислых соединений очень широко распространено при упомянутых процессах серпентинизации, а также при разложении известковых, железистых и щелочных силикатов.

Разложение силикатов водой, содержащей CO_2 , является важнейшим среди других процессов разложения минерального царства, ибо самыми распространенными из породообразующих минералов (полевые шпаты, авгиты, слюды и т. д.) являются силикаты алюминия, щелочи и щелочно-земельные металлы. Это рассматривается теперь главным образом как результат гидролитического действия воды. При этом щелочи, часто щелочные земли освобождаются как гидроксиды, и переходят в раствор; глины же и окислы кремния выделяются в коллоидальной форме, как водосодержащие аломосиликаты. Процесс разложения протекает полнее еще и потому, что свободная CO_2 воды действует также разлагающе и способствует образованию углекислых соединений: с одной стороны она освобождает образовавшиеся в породах углекислые соли (в особенности соли Ca, Mg и Fe, которые выделяются в виде двууглекислых соединений), а с другой — она разлагает свободные щелочные и щелочно-земельные силикаты и переводит их в углекислые соединения.¹

¹ Как между прочим показали новейшие исследования Раманна (Ramann), более сильное разложение силикатов наступает тогда лишь, когда вода не содержит углекислых или двууглекислых солей. Если же они налицо, то достаточно уже самого ограниченного их количества, чтобы совершенно ослабить, даже прекратить

Та гидролитическая реакция, о которой мы говорили подробно, вполне зависит от степени диссоциации воды. Последняя же, как известно, возрастает с температурой. Это и является причиной, почему химическое выветривание силикатов под тропиками значительно сильнее, чем в наших широтах.

Особенно важно при разложении силикатов помнить следующее:

В раствор переходят щелочи, водные щелочные силикаты, углекислые щелочи и щелочно-земельные металлы, а также гидраты окислов кремнекислоты.

Остаются нерастворимыми: 1) коллоидальные водные глиноземистые силикаты, главным образом состава каолина; 2) коллоидальные гидраты окислов железа, получающиеся при разложении силикатов, содержащих окислы железа; 3) водные силикаты магния при разложении содержащих магний силикатов.

Отсюда понятно, почему в природе имеют такое большое распространение именно водные глиноземы (каолин, глины, суглинки) и силикаты магния (серпентин, жировик и т. п.). Они представляют собой последние почти недоступные дальнейшему разрушению остатки от разложения, большей части силикатовых пород.

Самым чистым продуктом разложения полевошпатовых пород, в особенности гранитов и кварцевых порфиров, является каолин ($H_2Al_2Si_1O_8$).

Обычные же глины представляют не что иное как уже много раз переотложенные и при этом более или менее загрязненные каолины; они содержат посторонние примеси: зерна кварца (песок), остатки полевых шпатов и гидраты окислов железа. Последние и придают им желтую окраску, органические же примеси — серую.

Под тропиками образуется наравне с глиной латерит, другой конечный продукт разложения силикатовых пород; он характерен своей красной окраской. В Бразилии, в Центральной Америке, в экваториальной Африке и т. д. он занимает обширные площади, — он является не алюмосиликатом, а железосодержащим гидратом алюминия. В нем сохраняется структура материнской породы, тогда как при образовании глины она большей частью исчезает.

Разложение силикатов гумусовыми веществами. Эти в большинстве случаев коллоидальные вещества тоже оказывают сильное разлагающее влияние на минералы. Образование каолинов например многими исследователями рассматривается, по крайней мере отчасти, как результат выщелачивания древних почв болотной водой. Главная особенность такого процесса заключается в том, что разлагаются не только щелочи и щелочные земли, но делаются растворимыми почти недоступные действию CO_2 железистые соединения.

действие углекислоты. Двууглекислые соли таким образом действуют, как «пугач», на свободную углекислоту.

Это «ужасное действие» принадлежит всем двууглекислым соединениям, но в особенности двууглекислой извести $[H_2Ca(CO_3)_2]$ вследствие ее обширного распространения. Если даже легче всего разложимые, образующиеся при углекислом выветривании соединения, коллоидальные глиноземисто-щелочные силикаты пертурбитов не могут быть совершенно отняты от почвы; если даже, несмотря на продолжающееся выветривание и вымывание, эти столь важные для питания растений вещества все же остаются в известном количестве, — эти мы прежде всего обязаны углекислой извести. Она сохраняет почве ее плодородие.

Так возникают более или менее лишённые железа обесцвеченные почвы, столь широко распространенные в холодных и умеренных богатых осадками областях Северной Европы.¹

Весьма подробно заглянуть в гидрохимические процессы минерального царства заставило нас изучение псевдоморфоза. Это минеральные образования, являющиеся в кристаллической форме, не свойственной их химическому составу, но присущей другому минералу; так например кварц в форме известкового шпата, красный железняк в форме магнетита. Теперь известно до 200 случаев псевдоморфоза. Различают: 1) псевдоморфозы превращения, при которых новый материал находится в ясной химической связи с предыдущим; так например гипс с ангидритом, самородная медь с красной медной рудой, жировик с тальковым шпатом и т. д.; 2) псевдоморфозы замещения, где новое минеральное вещество возникает после окончательного вытеснения предыдущего: кварц вместо плавикового шпата, гипс вместо каменной соли и т. д. Часто встречающиеся окремненные деревья, кораллы и т. д. также представляют собой псевдоморфозы замещения.

Как одиночные кристаллы, так и минеральные массы также подвержены псевдоморфозу. Таким образом красные железняки заменили известняк, кварц — барит, а барит, наоборот — кварц.

2. Процессы выветривания ²

Под выветриванием понимают результат совокупной деятельности химических и механических процессов. С химическими процессами, происходящими за счет просачивающейся воды, мы только что ознакомились; нам нужно узнать еще те механические причины, которые помогают разрушению горных пород. Ими являются ветер, дождь, колебания температуры (в особенности мороз) и деятельность организмов. Ветер и дождь имеют при выветривании значение постольку, поскольку они постоянно сносят поверхностные частицы выветривания горных пород и таким образом обнажают действию атмосферы все новые поверхности. В сухих областях главное значение при этом принадлежит ветру, во влажных — дождю.

Колебание температуры вызывает распад породы потому, что при быстрой смене температуры внешние и внутренние части породы неравномерно нагреваются и охлаждаются; вследствие этого получают растяжения и как следствие раскалывание и растрескивание породы.

Уже раньше указывалось на то значение, которое имеет в пустынях разрушение горных пород от инсоляции; в том же смысле действует мороз в северных широтах, а равно и высоко над уровнем моря. Вода, находящаяся в трещинах и пустотах внутри породы, под влиянием мороза и вызванного охлаждением увеличения объема расклинивает их и разрывает больше.

В процессах выветривания растения имеют такое же значение, как и животные; животные действуют разрушающе, благодаря роющей

¹ Ramann, *Bodenkunde*, 1911, S. 30; Wiegner, *Boden und Bodenbildung*, Dresden und Leipzig 1918.

² Alb. Heim, *Einiges über die Verwitterung der Berge*, *Züricher Naturf. Ges.*, 1874; Ramann, *Bodenkunde*, 3 Aufl., 1911; Richard Lang, *Verwitterung und Bodenbildung*, Stuttgart 1920.

деятельности многочисленных форм, живущих в почве, благодаря также многим получающимся при их разложении веществам, в особенности углекислоте, аммиаку и азотной кислоте.¹

Растения тоже действуют и механически, проникая корнями внутрь породы и тем разрушая ее, и химически благодаря своим органическим кислотам, а также образующейся при их гниении углекислоте.

Действие выветривания на породу сказывается прежде всего образованием коры выветривания. У темных пород (известняков, кремнистых сланцев, глинистых сланцев), она вследствие окисления органических веществ имеет более светлую окраску, чем свежая порода; у пород, содержащих окислы железа, в свежем виде окрашенные в зеленоватые и черноватые цвета, она становится красно-бурой.

Выветриванию в слоистых породах сильно способствуют трещины между слоями, в сланцеватых — поверхности сланцеватости, в массивных — трещины отдельности. Так как при выветривании трещины все больше увеличиваются, то некоторые отдельности, например шаровая, обнаруживаются ясно только после выветривания. Сильно выветрелые диабазы, базальты и другие породы обращаются в дресву, в груды осыпей, которые то здесь, то там содержат еще сфероиды более или менее свежей породы. Когда мелкие обломки сносятся, сфероиды остаются на месте и образуют так называемые «моря скал».

Песчаные породы и конгломераты, цементирующее вещество которых также растворимо, распадаются, когда оно исчезает; мергели разрушаются при выщелачивании содержащейся в них извести. Все породы утрачивают со временем благодаря выветриванию свою цельность и обращаются в отдельные обломки. По мере приближения к поверхности они все более смешиваются с гумусовыми составными частями рыхлой почвы.

Окончательные продукты выветривания всех горных пород, как бы различен ни был их первоначальный состав, всегда по существу одни и те же: это глины, суглинки и пески. Во всех случаях эти продукты разрушения более или менее бедны известью, что в особенности справедливо для почти лишенных извести гумусовых почв.

Ход выветривания, его результаты, а также и его интенсивность зависят от климатических условий.

Наиболее сильно проявляется выветривание в жарких и влажных тропических областях, где вследствие высокой средней годовой температуры и большого количества осадков гидролитические процессы разрушения проходят очень живо. При этом вместе с тропическим дождем проникают внутрь пород CO_2 , азотная кислота и аммиак, почему и понятно, что выветривание здесь распространяется глубже, чем в наших средних широтах.

Почва подобных областей имеет латеритный состав. Так как мощный растительный покров защищает от переноса, то образовавшиеся продукты разрушения остаются на месте своего образования и обуславливают так называемое аккумулятивное выветривание. Гумусовое выветривание имеет в тропических странах меньшее значение.

Менее сильно действует выветривание в жарких, но сухих странах, в саваннах, степях и пустынях. Здесь главное влияние оказывает механи-

¹ Так же действуют и нитрифицирующие почвенные бактерии; они отнимают из воздуха N, который переводят в азотистую, часто в азотную кислоту.

ческое выветривание, которому способствуют инсоляция и ветер. Большая часть продуктов выветривания сносится водой и ветром лишь до ближайших депрессий поверхности, где они присоединяются к ранее уже скопившемуся материалу; лишь самые мелкие частицы выветривания попадают к окраинам пустыни и там отлагаются. Химическое выветривание в этих сухих областях проявляется слабо, потому что большая часть осадков не проникает глубоко; они остаются в верхних слоях почвы и очень быстро испаряются. Поднимающаяся по капиллярам вода богата солями, которые при испарении выделяются и обуславливают стол



Рис. 82. Климатические почвенные зоны Европы (по Раманну).

характерное для данных областей осолонение верхней почвенной зоны. Здесь наблюдается также образование соляных озер и соляных, гипсовых, известковых и железистых корок. Сколько-нибудь значительные гумусовые отложения не могут здесь возникнуть уже вследствие бедности растительного покрова.

В переходных от сухого к влажному климату областях, которые называются полупустынями, богатые гумусом почвы образуются в значительно большем масштабе.

Так например южно-русские степи с их длинной холодной зимой и коротким сухим летом, обилием питательных веществ своего знаменитого по плодородию чернозема обязаны органическому выщелачиванию.

Во влажных областях при обилии осадков химическое и механическое выветривание идет более или менее равномерно. Главную роль играет тут выветривание при помощи углекислоты; вместе с тем находящиеся почти всегда остатки не вполне разложившихся растений благоприятствуют здесь образованию гумуса, а следовательно и гумусовому выветриванию. Оно преобладает в северных широтах (сев. часть СССР, Скандинавия, северная Германия), где холодный и сырой климат вызывает образование обильных болот и подзолистых почв.

В холодных областях, богатых осадками и бедных испарениями, наконец в зоне умеренного или холодно-умеренного климата, такого, как мы имеем например внутри полярного круга или на высоких горах выше снеговой линии, наибольшее влияние при механическом разрушении пород принадлежит морозу. Мы не будем здесь останавливаться на различных свойственных подобным областям видах почв.

Вместе с Е. Раманном для Европы можно различать три главных климатических зоны выветривания (рис. 82):

1. Южно-европейская или зона красных почв. При преобладающем химическом выветривании здесь образуются мало выщелоченные, более или менее бедные гумусом и богатые железом почвы (Terra rossa). Это — почти вся область Средиземного моря.

2. Средне-европейская или зона бурых почв. При господствующем углекислом выветривании и средней интенсивности выщелачивания образуются бурые, содержащие окислы железа суглинистые и глинистые почвы с небольшим содержанием гумуса. Сюда принадлежит черноземная область юга Европейской СССР, а также Германия, Австрия и почти вся Франция.

3. Северо-европейская или зона серых почв. При господствующем гумусовом выветривании в холодном, сыром климате образуются богатые гумусом, сильно выщелоченные и вследствие уноса железистых соединений светлые почвы серого, доходящего до белого цвета. Под конец они почти исключительно состоят из порошка кремнекислоты (север СССР, Нидерланды, Дания, Скандинавия и Финляндия).¹

3. Влияние выветривания на формы рельефа.

Можно смело утверждать, что образование какого-нибудь ландшафта, расчленение и величина его поднятий и депрессий определяются скорее выветриванием слагающих его пород, чем способом их залегания.



Рис. 83. Лавовые жилы в туфе Баль-дел-Бове на Этне (по Сарториусу, фотография Вальтерсаузена).

Прочные трудно поддающиеся выветриванию горные породы уже потому всегда возвышаются над окружающей их местностью, что они медленнее поддаются разрушению; наоборот, легко разрушающиеся породы вследствие своего более быстрого сноса образуют со временем углубления.

Геологи заходят этому подтверждению на каждом шагу. Там, где мы встречаем горные массивы, возвышающиеся над окружающей их мест-

¹ В СССР такие почвы называют подзолистыми или «подзолом». *Ред.*

ностью в виде скал, имеющих форму стрел, обелисков, башен или замков (так называемые о с т а н ц ы), можно быть уверенным, что мы имеем дело с исключительно твердой и потому сохранившейся горной породой.

Это относится к изображенным на рис. 83 высоко выступающим лавовым жилам Валь-дель-Бове у Этны, равно как к стенообразным кварцевым жилам шиферного плато Таунуса, стрелам из песчаника Саксонской Швейцарии и Пфальцкого леса и другим многочисленным скалам странного вида.

Естественно, что это влияние выражается как в малом, так и в большом масштабах. Там например, где слои раковинного известняка Тюрингии лежат горизонтально, твердый волнистый известняк поднимается крутыми склонами над гораздо легче разрушающимся и потому имеющим

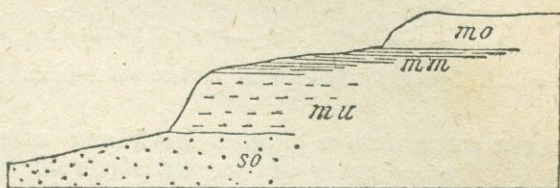


Рис. 84. Профиль тюрингенского раковинного известняка при пологом залегании.

so — третичский ярус; и — волнистый известняк, т т — средний, т о — верхний раковинный известняк.

пологие склоны красным мергелем. Залегające над волнистым известняком мергели среднего раковинного известняка составляют опять группу слоев, гораздо легче разрушимую; ей соответствует новый пологий склон. Только некоторые слои верхнего раковинного известняка образуют благодаря своей твердости новую крутую ступень (рис. 84).

Эти различия делаются еще более резкими при наклонном положении пластов, например там, где волнистый известняк со своими особенно



Рис. 85. Идеальный профиль через среднюю часть серии слоев среднегерманского триаса.

твердыми известковыми банками (рис. 85x) и верхний раковинный известняк у выступают в виде гребней; мергели же рета и средний раковинный известняк образуют, наоборот, мульдобразные понижения, часто переходящие в долины.

Форма куполов, хребтов, склонов зависит главным образом от отношения к выветриванию составляющих их пород.

Для куполов различают три главных формы: 1) купола о с а д о ч н ы х п о р о д, которые вследствие различного выветривания отдельных слоев получили ступенчатую форму; 2) купола с л о и с т о - к р и с т а л л и ч е с к и х п о р о д, слои которых обладают приблизительно равной устойчивостью и потому имеют одинаковые склоны и острые, слегка зубчатые гребни, и 3) купола массивных горных пород, которые вследствие одинакового во всех направлениях строения образуют куполообразные горы (рис. 86 — 88).

Склоны круче 45° гораздо реже, чем часто думают. Это уже почти вертикальные стены, которые появляются лишь местами, в особенности там, где горизонтально лежащие известняки и доломиты прорезаны вертикальными трещинами и налегают на легко выветривающиеся мергели; последние часто сопровождаются пустотами, вызывающими разломы и обвалы покрывающих их твердых пород (южно-тирольские доломиты).

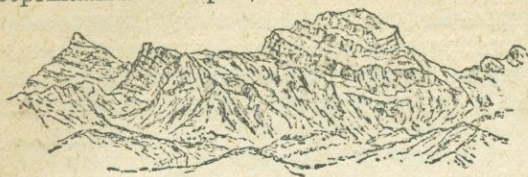


Рис. 86. Куполообразная форма полого залегающих осадков.

Нужно особенно подчеркнуть, что каждой породе определенной прочности соответствует определенный так называемый максимальный наклон. У легко выветривающихся пород он меньше, у более устойчивых пород он больше. Только временно и случайно он может быть превзойден



Рис. 87. Куполо- и гребнеобразная формы сланцевых пород.



Рис. 88. Куполообразная форма массивных пород.

например благодаря углублениям на склоне какого-нибудь массива вследствие выветривания или мороза. Подобное явление имеет всегда следствием нарушение вышележащей части склона, которое перемещается все дальше вверх, пока не достигнет вершины и не восстановит снова прежнего угла падения склона. Нечто подобное относится и к нависающим стенам, которые иногда образуются на склонах вследствие разрушения особенно легко выветривающихся пород; выступы этих стен никогда не могут иметь большой величины благодаря постепенному обрушению верхних надламывающихся частей.

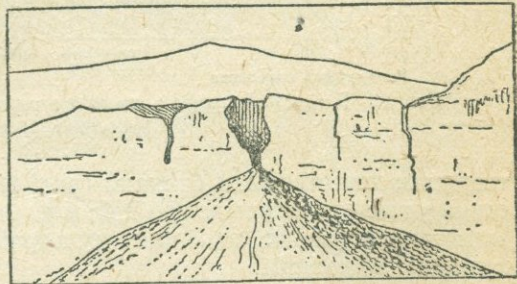


Рис. 89. Конус выноса.

Возникшие при выветривании обломки пород уносятся обвалами или потоками в долины и скопляются у подножия склонов в виде конусов (рис. 89) и накоплений на склонах (Schutthaldden). Особенно часто они встречаются в областях высоких гор; в центральных континентальных областях они приобретают иногда такие размеры, что достигают горных вершин.

От конусов выноса и обвалов надо отличать осыпи склонов, которые образуются скоплением продуктов выветривания у подножия

гор. Они не остаются на месте, находясь хотя и в медленном, но постоянном движении книзу. Это медленное соскальзывание называют осыпанием, а массу обломков — осыпью.

Земляными потоками (Solifluktion) называют распространенное в более высоких широтах медленное сползание со склонов в долины пропитанного водой обломочного материала.

Если подобные сползания имеют место по берегам озер в виде грязевых потоков под водой, их называют подводными оплывинами. Такие явления очень часто встречаются и по берегам морей, где они возникают в особенности вследствие землетрясений и производят по берегам мощные грязевые оплывины и оползни осыпей, которые в свою очередь могут вызвать новые опустошительные волны, как это было при большом землетрясении в Атакаме (Чили) 10 ноября 1922 г.

Если большие скалы и массы обломочного материала устремляются в долины, — говорят о горных обвалах.¹ Они могут быть вызваны самыми различными причинами; но всегда нужно отличать области возникновения обвала, его движения и отложения. Продолжительность обвала никогда не превышает нескольких минут, скорость движения от 50 до 150 м/сек. Масса обломков всегда образует при этом замкнутый, резко ограниченный поток, который течет по долине на много километров и вздымается подобно волне прибоя, встречая препятствия. Многочисленные примеры исторических и доисторических горных обвалов известны например в Альпах (Гольдау, Эльм, Флиме и т. д.).

4. Механическое действие метеорной воды.

Вследствие малой механической силы дождевых капель дожди не могут оказывать сильного механического воздействия. Тем не менее уже с древних времен истории Земли мы знаем так называемые ископаемые следы дождевых капель; они образовались, правда, большей частью от падения капли не непосредственно на еще пластичный слой осадка, а на скопившуюся на его поверхности лужу.²

Сюда не принадлежат дождевые желобки и бороздки, которые образуются на склонах поверхностей скал вследствие стока воды. В наших широтах это явление наблюдается лишь на таких легко растворимых породах, как гипс, но во влажных тропических странах оно встречается даже на гранитах и т. п.

Сходное образование имеют карры и шратты; это — неправильные чашеобразные пустоты и жолоба, до фута глубиной, возникающие преимущественно вблизи снеговой линии в направлении склона не на слишком круто наклоненных поверхностях известковых слоев, лишенных глины. Ясно, что они образуются вследствие работы стекающих вод, причем главное значение принадлежит ее химически растворяющему действию.

Другой поразительный результат действия дождевой воды представляют собой известные земляные пирамиды (Кавказ, Алтай, Боцен, Меран и т. д.), высокие образования, обычно состоящие из непрочного материала (большей частью из ледниковой валунной

¹ Heim, Über Bergstürze, Neujaarsblatt d. Züricher Naturf. Ges., 1882.

² Падающая капля вызывает некоторый нисходящий водоворот, благодаря которому на дне лужи образуется маленькое углубление.

глины), на вершине которых почти всегда лежат большие камни; их за-
щите они и обязаны своим возникновением (рис. 90).

Нами было уже отмечено то большое значение, которое оказывают
дождевые струйки на смывание мельчайших частиц выветривания пород
и следовательно на окончательное формирование склонов гор
и долин и—совместно с ветром— на образование золо-
вых суглинков.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ.

1. Грунтовая вода, источники, термы и гейзеры.

Значительная часть метеорных осадков, обычно считают— добрая
треть их, возвращается обратно в атмосферу или непосредственным испа-
рением или с помощью растений. Вторая треть стекает по поверхности
в ближайшие ручьи и реки, и лишь остаток проникает в почву и служит
для питания источников и колодцев.

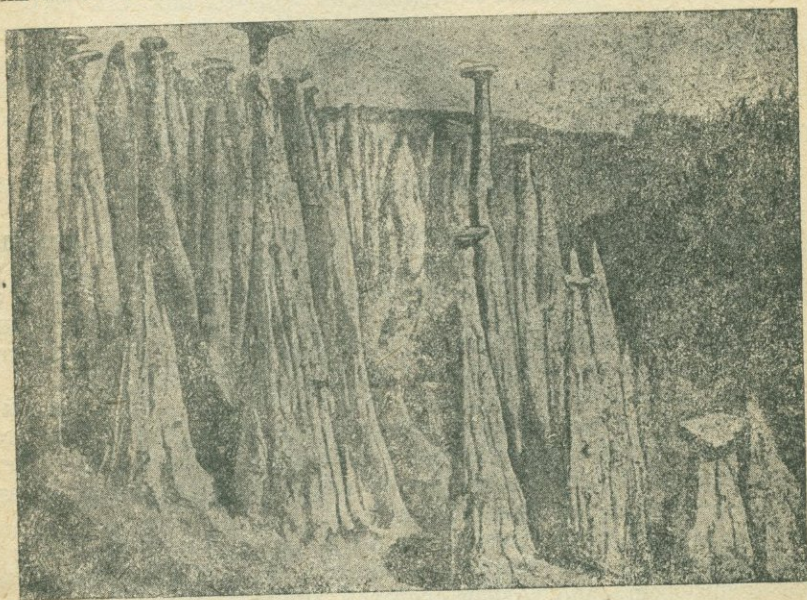


Рис. 90. Земляные стрелы у Боцена.

Конечно вода тем легче проникает вглубь, чем водопроницаемое
почва. Скалистая поверхность воспринимает значительные
количества воды, лишь когда она покрыта трещинами. Так как это встре-
чается в природе почти всегда, то даже после сильных ливней скоро высы-
хают обнаженные скалистые поверхности. Большинство известняков
также сильно трещиноваты и потому представляют тоже водопрони-
цаемые поверхности. Легче всего пропускают воду рыхлые пески
и гравий. Большая часть песчаников также водопрони-
цаема. Во вспаханную землю даже самые сильные дожди

редко проникают глубже, чем на $1/2$ м. Почти непроницаемы для воды глины, мергели и суглинки. Сланцеватые породы, благодаря выветриванию делающиеся глинистыми, становятся мало проницаемыми для поверхностных вод. Совершенно водонепроницаем промерзший грунт.

Различия в водопроницаемости пород имеют большое влияние на характер ландшафта какой-нибудь местности.

На водонепроницаемой почве легко образуются поверхностные скопления воды (болота, топи, небольшие озера). Луга, поля, леса подобных областей влажны; источников мало, и они слабы, так что количество воды в ручьях и реках зависит лишь от осадков; поэтому их уровень сильно колеблется.

При хорошей водопроницаемости в почву могут проникать большие количества воды. Вследствие этого образуются обильные, даже после продолжительной засухи не иссякающие источники, а потому количество воды в реках и ручьях здесь гораздо устойчивее.

Наконец при еще более сильной водопроницаемости почвы ею поглощается почти все количество метеорной воды; при этом образуются мощные равномерно действующие источники. В таких случаях, лишь после сильных ливней и таяния снегов, при промерзшей еще почве, часть дождевой воды стекает по поверхности. Поэтому уровень воды в реках, текущих здесь преимущественно в глубоких долинах, подвергается лишь небольшим колебаниям.

Так как все породы вблизи поверхности вследствие выветривания становятся более или менее рыхлыми и разбитыми бесчисленными трещинами, то метеорная вода легко в них проникает и опускается до тех пор, пока не встретит водонепроницаемый слой, являющийся непреодолимым препятствием для ее дальнейшего продвижения. Воду, скопившуюся в глубине и вполне насытившую верхние слои, называют грунтово́й водо́й. В областях, богатых дождями, уровень грунтовых вод лежит на глубине одного-нескольких метров ниже поверхности земли; в сухих областях и там, где поверхностные слои сильно водопроницаемы, грунтовые воды часто лежат на глубине 50—100 м.

Движение грунтовых вод подчинено тем же законам, как и движение поверхностных вод. Только оно несоизмеримо медленнее вследствие сильного трения, которое получается от прохождения воды через промежутки между мельчайшими частицами пород при очень небольшом падении. Скорость течения поверхностной воды может равняться 2—3 м/сек; грунтовой же воде понадобится примерно час на прохождение такого же расстояния.

Грунтовая вода значительно богаче минеральными веществами, особенно карбонатами кальция, чем речная вода. Так как она свободна от механического загрязнения и обладает сравнительно постоянной довольно низкой температурой, ее употребляют для питья. Водоснабжение почти всех больших городов производится за счет грунтовых вод. В Германии Бреславль, Берлин, Франкфурт-на-Майне и многие другие большие города лежат в обширных равнинах, верхние сильно водопроницаемые, сложенные песками и гравием грунты которых подстилаются уже на небольшой глубине водонепроницаемыми глинистыми и мергелистыми слоями. Стекающая со склонов грунтовая вода собирается в массах песку и гравия и наполняет их до уровня прорезающих долину потоков.

В общем уровень грунтовых вод следует строению рельефа; только подъемы и понижения здесь более плоски, более смягчены, чем на рельефе земной поверхности. С приближением к перегибу долины понижается и уровень вод. Всюду, где поверхность уровня грунтовых вод встречается с дневной поверхностью, образуются небольшие источники.

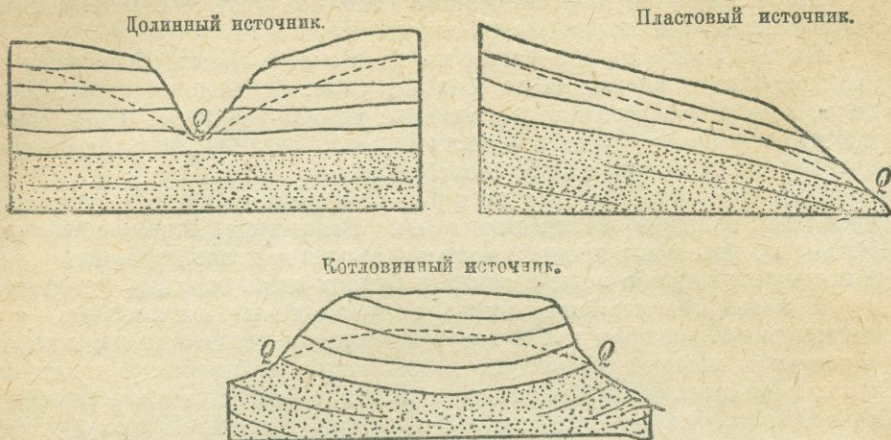


Рис. 91. Долинный, пластовый и котловинный источники; светлые — водопроницаемые, темные — водонепроницаемые слои. Пунктирные линии — уровень грунтовых вод.

Количество источников, ¹ их распределение, обилие водой и постоянство зависят не только от климата, но и от геологических соотношений.

Их различают по тому, выходят ли они из твердых пород или из рыхлого обломочного материала. Следующее различие заключается между источниками долинными, пластовыми и котловинными или перегибающимися. Первые образуются там, где разрез долины спускается

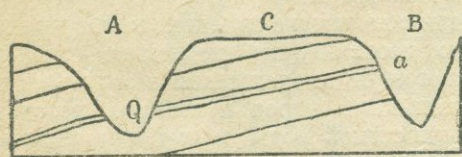


Рис. 92. Нисходящий источник.
a — водоносный горизонт, q — источник.

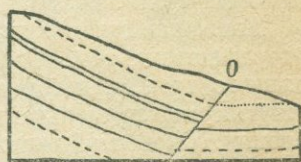


Рис. 93. Восходящий источник.

ниже уровня грунтовых вод. Пластовый источник лежит на границе водопроницаемого и водонепроницаемого пластов. Грунтовая вода скопляется на последнем, следует его наклону и в нижней точке его выходит на поверхность в виде источника. Больше всего источников относится к этой категории. Часть их изобилует водой. Наконец котловинные источники возникают там, где уровень грунтовой воды, скопившейся внутри пластовой мульты на водонепроницаемых слоях, прорезается на крутом

¹ Keilhack, Lehrbuch der Grundwasser und Quellenkunde, Berlin 1912.

склоне дневной поверхностью (рис. 91). Все источники разделяются на восходящие и нисходящие.

В нисходящих источниках вода стекает по наклонному каналу, причем она входит в верхнем конце и снова выходит в его нижнем конце в виде ключа (Q на рис. 92). При этом безразлично, течет ли вода по водонепроницаемому или водопроницаемому слою, заключенному между двумя водонепроницаемыми слоями, или наконец следует по открытой трещине. Источник будет вытекать с тем большей силой, чем выше точка его питания лежит над точкой выхода. К нисходящим относится большинство источников.

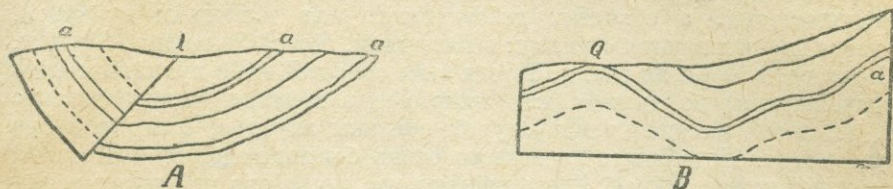


Рис. 94. Различные виды восходящих источников.

Путь восходящих источников распадается на две различных части: одна, как и у нисходящих, направлена книзу; другая представляет собой восходящую ветвь, по которой вода поднимается благодаря гидростатическому давлению (рис. 93). Как и в системе сообщающихся сосудов, вода стремится достигнуть со стороны, где она поднимается, той же высоты, как и с той, где она опускается. Источник будет бить с тем большей силой, чем ниже на восходящей ветви лежит точка его выхода относительно верхнего конца нисходящей стороны.

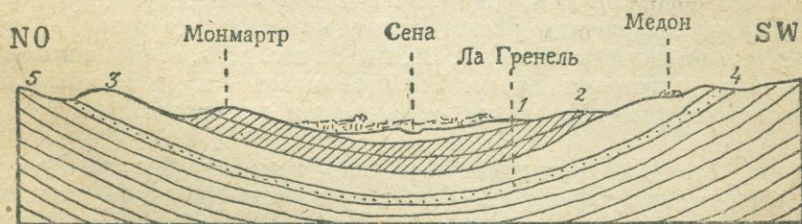


Рис. 95. Разрез через окрестности Парижа.

1 — четвертичные, 2 — третичные, 3 — верхний мел, 4 — зеленые пески, 5 — нижний мел и юра.

Условия выхода этих ключей гораздо разнообразнее, нежели нисходящих. В некоторых случаях нисходящую ветвь образует водоносный слой (рис. 94А), наоборот, восходящую ветвь образует разрезающая этот слой, направленная вверх трещина или расселина (трещинные восходящие источники); в других случаях восходящая ветвь встречает мульдообразный изгиб пластов (рис. 94В). Чаще всего восходящие источники встречаются в областях нарушенного строения пластов, где трещины разлома представляют пути восхождения воды. Так как часто они поднимаются с большой глубины, количество воды в них мало подвержено колебаниям в соответствии с временами года. Их температура бывает часто повышенной, они содержат много минеральных веществ.

Если из трещины выхода источника выделяется CO_2 , источник называется углекислым.

Артезианские колодцы представляют собой искусственно восходящие источники, при которых скопившаяся в глубине пластовой мульды вода, находящаяся часто под большим напором, восходит по буровой скважине (рис. 95).

Дебит ключей при средней норме осадков и водопроницаемости грунта составляет в Средней Европе от 1 до 5 л/мин на гектар площади питания (собирающей площади).

Теплые или горячие ключи называют термами. Они существуют преимущественно в областях действующих или потухших вулканов, где часто насчитываются сотнями: в Исландии, Новой Зеландии, Японии, на Кавказе, в Богемии и т. д. Термы этих областей явно вулканического происхождения, но другие, как например аахенские, вильдбаденские и т. д., своей высокой температурой обязаны глубине, с которой они поднимаются. Подобные термы часто очень богаты водой и отличаются постоянной температурой. Нисходящая вода, когда она проникает достаточно глубоко в недра земли, может также выйти на поверхность в виде термальной, например термы Гаштейна и Бормио, которые по всей вероятности питаются ледниковой водой соседних вершин, покрытых вечными снегами.

Вулканическое происхождение большинства терм нашло себе в последнее время веского защитника в лице Эдуарда Зюсса. Он считает, что их вода подобно водяным парам вулканов образовалась вследствие сгущения вулканических паров. Зюсс называет термы этого рода ювенильными в противоположность обычным вадозовым источникам, питаемым с поверхности. Для ювенильных источников, поднимающихся с большой глубины, кроме их высокой температуры характерно еще большое содержание растворенных минеральных веществ, среди которых можно назвать: В, Cl, F, Br, As, Sn и т. д., т. е. составные части извергаемых вулканами паров. Зюсс называет смешанными те источники, которые образуются от смешения ювенильной и вадозовой воды.

Среди горячих источников особенно замечательны гейзеры, бьющие периодически фонтаном. Они получили свое название от знаменитого Большого Гейзера Исландии. Исландия, Новая Зеландия, Йеллоустонский национальный парк в Северной Америке (он содержит тысячи горячих источников, сольфатар, грязевых источников и до сотни гейзеров) — вот три главных области распространения таких источников.¹

Бунзен (R. Bunsen) первый удовлетворительно разъяснил деятельность гейзеров. Кратко ее объясняют периодическим вскипанием или взрывами, которые связаны с тем, что резервуару гейзера сообщается больше тепла снизу, чем может вывести посредством конвекционных токов верхнее в большинстве случаев суженное сечение источника. Вследствие этого получается перегревание и вскипание. Оно влечет за собой выталкивание верхней части водяного столба и внезапное уменьшение давления водяной массы, которая при этом сейчас же обращается в пар и вызывает явление взрыва.

¹ В СССР гейзеры имеются на Камчатке.

2. Минеральный состав воды источников и их отложения.

Воды источников подобно всем водам, циркулирующим внутри горных пород, содержат большое количество минеральных веществ, которые они при благоприятных условиях снова отлагают в другом месте.

К наиболее распространенным составным частям этих вод принадлежат во-первых углекислые соединения; среди них преобладают карбонаты Ca, потом карбонаты Mg и щелочей. Второе место занимают сульфаты, в особенности сульфаты Ca и Na. Сюда же относится поваренная соль (NaCl), которая, правда, в небольших количествах содержится едва ли не во всякой натуральной воде; в небольших количествах кроме того содержится еще фосфаты, нитраты, силикаты, соли аммония, а из газов — CO_2 и N.

В среднем вода источников содержит на 10 000 частей всего лишь 1—3 части твердых составных элементов. Значительно богаче ими так называемые минеральные источники; они содержат более чем вдвое минеральных примесей. Воды, богатые растворенными веществами и в особенности карбонатами кальция, подобно воде большинства источников, называются жесткими водами; вода, бедная ими подобная речной воде, называется мягкой.

Отложения источников на поверхности. Там, где источники выступают на дневную поверхность, их температура и давление изменяются, вода испаряется; CO_2 , которая содержится в растворе карбонаты Ca и Fe, удаляется, а усваивается кислород воздуха; все эти обстоятельства приводят к образованию минеральных осадков.

CaCO_3 является самым обычным осадком, отлагаемым в бесчисленном количестве мест. Он выделяется непосредственно в связи с удалением CO_2 ; быстрое движение воды на воздухе еще более ускоряет этот процесс. Поэтому спокойно текущий ручей не отлагает известковых образований, но как только вода начинает быстро падать тонким слоем с крутого склона, сейчас же образуются известковые отложения. Водоросли, мхи и другие живущие в воде растения также вызывают выделение известки, потому что они отнимают CO_2 у воды. Все известковые отложения источников называются известковыми туфами или травертинами. В Германии мощные отложения такого рода встречаются у Каннштадта, Штейнгейма, Веймара, Бургтонна и т. д.

Если температура воды низка, выделяется известковый шпат; если же вода теплая, образуется арагонит (Шпрудель в Карлсбаде).

Еще легче, чем карбонат кальция, выделяется из источников, содержащих карбонаты железа, лимонит или железная охра; этому способствует, кроме улетучивания свободной углекислоты, еще и окисление кислородом воздуха.

Источники вулканических областей, например поименованных выше областей гейзеров, благодаря содержанию в них карбонатов щелочей, богаты растворенным в них SiO_2 ; вследствие этого они выделяют кремневые туфы.

Отложения внутри горных пород. Здесь имеет место отложение минералов частью в самых маленьких пустотах горных пород, частью в пещерах, частью в промежутках между слоями, в разломах и трещинах. Во всех случаях выде-

ляющиеся образования принимают форму той пустоты, в которой они отлагаются.

Вследствие выполнения друз и небольших пустот образуются известные минералы кварца, халцедона, известкового шпата и т. д. Особенно богаты минералами некоторые мелафиры и базальты.

Отложения в пещерах, вследствие того что они встречаются преимущественно в известковых горах, состоят главным образом из известковых образований.

Здесь воды, содержащие известь, образуют иногда налеты в виде корок. Чаще же вода падает из отдельных точек каплями; тогда образуются натеки в виде каменных сосулек. Натёки, которые спускаются с потолка и растут книзу, называются сталактитами; те же,



Рис. 96. Часть пещеры Германа у Рюбеланда в Гарце.

которые образуются упавшими каплями и растут вверх, называются сталагмитами (рис. 96). Реже встречаются в пещерах отложения кварца, барита и сернистых металлов (железного колчедана, свинцового блеска и цинковой обманки).

Пещеры в гипсовых горах украшены в этом же роде гипсовыми кристаллами; пещеры в гнейсах Бердских Альп украшены кристаллами горного хрусталя.

К отложениям пещер часто относят широко распространенные гнездообразные или штокообразные залежи различных металлических руд, в особенности свинцового блеска, цинковой обманки, галмея, пирита, бурого железняка и марганцовых руд; они встречаются в известняках и доломитах различного возраста.

Тонкие темные выделения окислов железа и марганца из растворов, проникающих по поверхностям слоев и по трещинам, образуют так называемые дендриты. Они появляются в самых разнообразных породах; особенно они красивы и сильно развиты в литографском известняке Золенгофена.

Наибольшее значение имеют те минеральные и рудные жилы, которые образовались путем выполнения трещин в породах. Минеральные жилы состоят главным образом из кварца, барита, известкового шпата и плавикового шпата; рудные жилы состоят из руд и неметаллических минералов.

Минеральные жилы, так же как и всякие жилы, имеют падение и простирание, лежащий и висячий бок и зальбанды. Они могут выклиниваться, подниматься, соединяться вместе и опять расходиться. Зональные скопления жил называются «жилными гнездами».

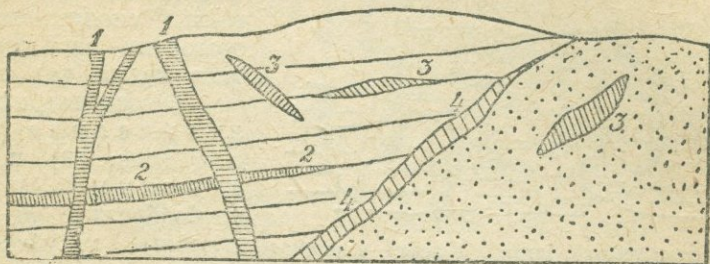


Рис. 97. Различного рода рудные и минеральные жилы (по Котта).

1 — простые жилы, 2 — пластовая жила, 3 — лентиковидные жилы, 4 — контактовая жила.

По способу залегания различают: 1) настоящие жилы, которые разрезают прилегающую породу под большим или меньшим углом, 2) лежащие жилы (пластовые жилы), которые залегают правильно между пластами прилегающей породы, 3) лентиковидные жилы, которые то лежат правильно, то отклоняются и отличаются линзовидным строением и 4) контактовые жилы, образующиеся на границе двух различных массивов горных пород (рис. 97).

Образование минеральных и рудных жил происходит разными путями. 1. Трещины могут быть выполнены гидохимическим путем, т. е. выделением минеральных веществ из просачивающейся воды. Этот род образования подтверждает обычно симметрично слоистая структура минеральных жил; она совершенно ясна и является следствием постепенного выполнения жильной трещины от зальбандов (рис. 98). Этот род образования жил называется латеральной секрецией. 2. Жильные минералы могут быть отложены восходящими источниками, часто обладающими более высокой температурой; такой способ образования называется термальным. 3. Наконец выполнение жильной трещины может последовать сублимативным или пневматолитическим путем, т. е., возгонкой тех паров и газов перегретых растворов, которые выделяются из магмы. Частое нахождение железного блеска и других возгоняемых минералов в трещинах лавовых потоков, киновари в областях с сольфатарами в Калифорнии и т. д. позволяет считать этот

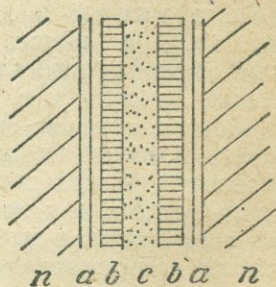


Рис. 98. Симметрично-продольная структура рудной жилы.

последний способ образования очень вероятным для определенных рудных жил, в особенности для жил оловянного камня. Понятно поэтому, что Фогт (Fogt) и многие другие геологи предполагают нахождение источника происхождения руд в глубине земных недр.¹

3. Выщелачивание и его последствия.

Как уже было сказано, к наиболее легко растворимым горным породам после каменной соли принадлежат гипс, известняк и доломит, встречающиеся в природе большими скоплениями. Из этого их свойства вытекает целый ряд явлений.

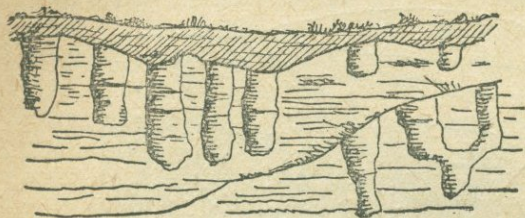


Рис. 99. Геологические органы. Юрский известняк Пуатье.

Таковы например геологические органы (рис. 99) и естественные шахты: трубообразные и шахтообразные углубления на выходах известняков, которые представляют собой не

что иное как местное расширение трещин вследствие просачивающихся в них сверху вод. С ними сходны карстовые воронки или воронки вымывания: воронкообразные углубления на поверхности известковых плато — главным образом карста, в которых исчезают дождевые воды, а иногда и целые ручьи. Им родственны также более корытообразные карстовые ванны и долины (рис. 100), а также гораздо более обширные поля карста Боснии, Албании и т. д.

Все эти явления связаны с областями, где поверхностная эрозионная деятельность воды гораздо слабее, чем ее подземная растворяющая работа; последняя сосредоточивается особенно на трещинах разломов и сбросов.

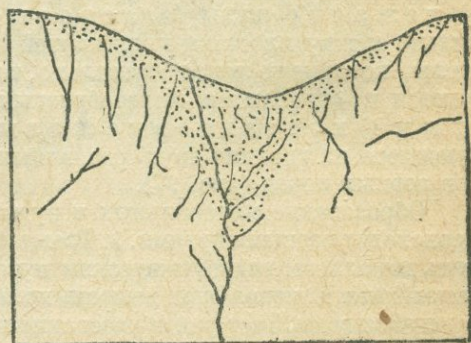


Рис. 100. Разрез долины Крайна (по Цвьяку).

Образование пещер, как об этом уже говорилось, тоже явление выщелачивания. Известковые горы насквозь пронизаны пещерами. Большинство из известнейших пещер Германии находится в Швабской и Франконской Юре, в Вестфалии и на Гарце. Величайшая пещера Европы — Адельсбергский грот — находится в карсте и имеет 4 — 6 км общей длины.

Продолжающееся сильное расширение подобных пещер может легко повлечь за собой их провал. Эти провалы, подобно проваливающимся старым горным выработкам, могут постепенно дойти до поверхности

¹ J. Svižić, Das Karstphänomen, Peņcks Geogr. Abh., 1898.

и вызвать здесь воронкообразные углубления — так называемые земляные провалы.

Все выходы цехштейна на северном краю Тюрингенского леса и на южной границе Гарца обнаруживают многочисленные земляные провалы, часто наполненные водой. Они иногда образуют длинную цепь маленьких озер. Еще раньше было указано на те нарушения в залегании, которые могут явиться вследствие сильного выщелачивания горных пород, особенно в всячем боку сильно размытых гипсовых масс.

ДЕЙСТВИЕ ТЕКУЧЕЙ ВОДЫ. ¹

Только часть атмосферных осадков, которую для Средней Европы можно считать приблизительно равной одной трети, проникает в почву чтобы в более пониженных точках вновь выйти на поверхность источниками. Большая часть дождя, равно как и вода от таяния снега и льда, если она не вернулась испарением в воздушную оболочку, стекает по поверхности, следуя ее уклону, и питает ручьи и реки. Упавшие дождевые капли, стекая по бороздкам, объединяются в маленькие струйки-ручейки, а эти — в большие водные потоки-ручьи, которые стремятся в ближайшие углубления поверхности. Вследствие захвата других соседних ручьев скоро образуются более мощные водные потоки, которые — смотря по своей величине — разделяются на ручьи, речки и реки. Вся эта вода по закону тяготения стремится постоянно книзу, пока не достигнет наиболее низко лежащего сборного бассейна моря, где водяные частицы находят наконец покой.

На своем пути с высот в низины вода отрывает и уносит все попадающиеся ей на пути частицы выветривания пород, зерна песку и пыли. Мутная вода каждого потока после сильного ливня показывает, какое количество твердых частиц уносится вместе с водой. Количество твердых частиц может настолько увеличиться после сильного ливня, что протекающий по оврагу поток более похож на грязевой или илистый, чем на воду.

При таких обстоятельствах уносятся обломки пород часто такой величины, что потом трудно себе представить, каким образом вода могла их сдвинуть с места. Так например Линт (кантон Гларус) при высокой воде уносит камни в 50 кг весом. Маленькие швейцарские бурные ручьи иногда сдвигали камни в 10 м³. Надо однако помнить, что большинство горных пород обладает удельным весом немногим больше 2¹/₂; кроме того уже в чистой воде они теряют половину своего веса. При сильном наклоне ложка очень сильно действующее водяное давление все же слабее, чем удар перекачиваемого водой камня о другой камень.

Твердые частицы, несомые текучей водой, в особенности грубая галька, являются главным средством, при помощи которого проявляется углубляющая, бороздящая деятельность воды. Ее называют эрозией. Чистая вода, даже если бы она протекала и с большой силой по поверхности скалы, не могла бы оставить сколько-нибудь заметных следов. В тех же случаях, когда вода несет с собой твердые частицы, каждое зерно песка, каждая галька выпахивает, углубляет, бороздит и шлифует дно. При этом вода служит движущей силой, галька же и песок действуют как напильник.

¹ Penck, Morphologie der Erdoberfläche, I, S. 259, ff., 1894.

1. Деятельность ручьев, рек и рек.

Движение воды в ручьях и реках, ее течение, вызвано действием силы тяжести, падением по наклонной плоскости, при котором происходит постоянное внутреннее трение водяных частиц между собой. Скорость движения воды зависит: во-первых—от величины ее падения, во-вторых—от количества воды и в-третьих—от трения. Скорость находится в прямом отношении к величине падения и количеству воды, но в обратном к трению.

Измеряется скорость секундомерами. Судоходные реки с умеренным течением обладают скоростью в $\frac{2}{3}$ — $1\frac{1}{3}$ м/сек, с быстрым—до 3 м/сек. Гораздо значительнее скорость полноводных бурных потоков; она может достигать 10 — 12 м/сек.

Как общее правило, наибольшая скорость течения принадлежит истокам ручьев и рек, потому что там падение их ложа наибольшее. На протяжении реки скорость ее течения все уменьшается; всего меньше она в устье, где у реки самое небольшое падение. В этих соотношениях

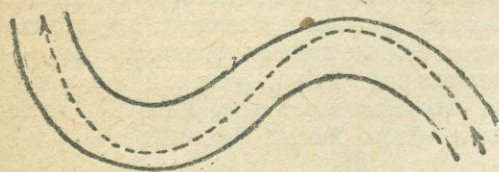


Рис. 101. Положение стрежня реки в речной излучине.

бывают все же исключения. Так например Рейн у Мангейма при небольшом падении обладает скоростью течения всего лишь 1,5 м, тогда как в ущелье Бингер (Binger-Loch) она равняется 3,4 м; у Кобленца она опять уменьшается до 1,9 м. В таком же роде течение Дуная в узком его прорыве известно под именем «Железных ворот». Река, имевшая до этого 2 000 м ширины, суживается до 130 м. Скорость при этом значительно увеличивается по сравнению с той, которая была выше, в Верхне-Венгерской низменности.

О берега, как и о дно реки, производится известное трение. Этим задерживается движение воды, почему наибольшая скорость течения, так называемый **стрень**, наблюдается почти всегда на середине реки. Однако там, где вследствие изгиба реки наибольшая глубина подходит к берегу, за ней следует и стрень (рис. 101).

Многоводие какой-нибудь реки зависит не только от величины области ее питания, но и от климата, именно от соотношения количества выпадающих осадков и их испарения. В общем оно представляет очень переменную величину в зависимости от времен года. Если масса воды в период дождей или после таяния снегов увеличивается, еще сильнее возрастает при этом интенсивность эрозии. У большинства рек количество воды постоянно возрастает с длиной их течения. Но это не относится к степным и пустынным рекам, которые по мере своего течения обыкновенно теряют все больше воды, пока наконец совсем не иссякнут. Реки таких сухих областей могут перерезать всю пустыню лишь в тех случаях, если они спускаются с извне лежащих богатых осадками гор (как например Колорадо или Нил).

Там, где при слабом падении река встречает более прочные отложения галечников или гравия, она отклоняется от своего первоначального

направления к берегу. Отброшенная здесь, она ударяется о противоположный берег, чтобы оттуда опять отклониться назад. Она обычно начинает при этом змееобразно и з в и в а т ь с я в среднем течении, где вертикальная эрозия уравнивается отложением. Змееобразные излучины быстро исчезают и заменяются в нижнем течении в области дельты р а з в е т в л е н и е м реки. Величина излучин возрастает с величиной самой реки. Они увеличивают не только длину течения реки, но и ширину ее долины.

В каждом большом речном изгибе внешний вогнутый берег испытывает весь напор течения, который очень слаб у внутреннего выпуклого берега. Поэтому внешняя сторона подмывается и обращается в крутой берег, на внутренней же стороне отлагается песок и образуется плоский берег (рис. 102). Там, где обе петли родной излучины сильно сближаются, промежуток может быть прорезан водой; при этом образуется речной остров. Если главная масса воды течет по новому пути, прежний извилистый участок реки закупоривается у своих концов отложением осадков и превращается в м е р т в ы й р у к а в (с т а р и ц а).

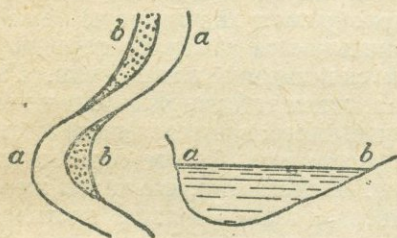


Рис. 102. Речная излучина в плане и разреза. Показано обычное расположение крутого (а) и пологого (b) берегов.

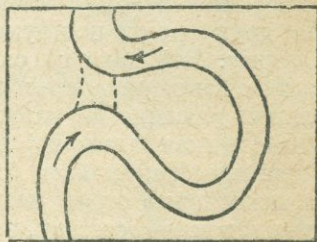


Рис. 103. Образование островов речными излучинами.

Перенос твердых веществ в ручьях и реках совершается тройным образом:

1. В растворенном виде, причем твердые вещества переходят в водные растворы и движутся так же легко и быстро, как и вода.

2. Во взвешенном состоянии, причем твердые частицы плавают и следовательно уносятся с той же скоростью, как и вода.

3. В виде валунов и гальки, которые перекатываются по дну потоком воды.

Обычно в наших реках растворенные вещества составляют от $\frac{1}{8000}$ до $\frac{1}{5000}$ всей массы воды. Это количество гораздо меньше, чем то, которое содержится в воде источников; реки питаются главным образом поверхностными водами, бедными содержанием растворенных веществ.

Большая часть растворенных составных частей в зависимости от времени года подвержена большим колебаниям. В сухие периоды, когда реки питаются главным образом водой источников, они содержат наибольшее количество растворенных веществ. Поэтому зимние воды в общем богаче ими, чем летние. Наоборот, влажные периоды, когда реки получают воду преимущественно от дождей и таяния снега, количество растворенных веществ уменьшается. Согласно Пенку, среднее количество

содержащихся в реках растворенных веществ равняется $\frac{1}{6000}$ веса воды, приносимой ими в море.

Что же касается химического состава растворенных веществ, то во всех реках преобладает карбонат кальция. За ним следуют сульфаты кальция, хлористый натр, карбонат и сульфат магния и кремнекислота, — как известно, все очень распространенные и вместе с тем легко растворимые составные части горных пород и наиболее обычные продукты выветривания.

Количество переносимых ручьями и реками твердых составных частей гораздо больше. Эти частицы в виде пыли несутся водой во взвешенном состоянии, а более тяжелые, как галька или валуны, перекачиваются по дну реки.

От живой силы реки зависит ее способность переноса. Живая сила прямо пропорциональна половине произведения массы воды M на квадрат ее скорости v , следовательно $= \frac{Mv^2}{2}$. Величина передвигаемых камней, наоборот, зависит лишь от быстроты течения и возрастает вместе с ней.¹

Уносимые рекой обломки горных пород вследствие постоянного трения друг о друга шлифуются и приобретают характерную яйцеобразную форму. Величина их сильно уменьшается книзу по течению реки вследствие непрерывно продолжающихся истирания и шлифовки. Гальку небольших размеров мы наблюдаем в нижнем течении реки еще и потому, что более мелкая галька передвигается быстрее; в определенный промежуток времени она пройдет большее расстояние. Таким образом происходит постоянный отбор по величине. Естественно, что такой же отбор происходит и по составу, причем твердая галька дольше противостоит трению, чем более слабая. Поэтому состав гальки в нижнем течении реки иной, нежели в ее истоках.

Количество гальки, уносимой некоторыми реками, исключительно велико. Это в особенности относится к таким рекам, как р. По, каждый приток которой приносит новое количество гальки. Но река тем не менее в состоянии переносить весь этот материал; это происходит оттого, что движущая сила двух соединенных рек больше, чем сумма сил обеих рек в отдельности.

Годовое среднее количество механически уносимых твердых веществ исчисляется следующим образом:

для Темзы	в	0,5 млн. м ³
» По	»	11,5 » »
» Дуная	»	35,3 » »
» Миссисипи	»	211,5 » »

Количество взвешенного материала для большинства европейских рек в среднем равняется 100 г на 1 м³ воды. В противоположность перекачиваемому материалу, количество которого вниз по течению все уменьшается, количество взвешенных частиц все увеличивается. В среднем они превосходят перекачиваемый материал в 10 — 50 раз.

Всюду, где падение речного ложа внезапно уменьшается, сразу уменьшается и движущая сила воды, а вместе с тем и ее способность

¹ К устью быстрота течения уменьшается и делается недостаточной для передвижения крупных валунов. Поэтому там переносятся лишь более мелкая галька и песок. *Ред.*

переноса. Во всех подобных местах происходят отложения гравия и гальки, возникают косы и отмели из гравия и песка. Они обычно обладают удлиненной формой и очень запутанной разнородной внутренней слоистостью. При низком стоянии воды они выступают наружу. Течение отрывает от их нижнего конца песок и гальку, чтобы вновь их перестолжить на верхнем конце следующей косы. Поэтому может казаться, что эти косы или отмели передвигаются вверх по течению. При разливе их покрывает вода, верхние слои гальки сносятся и переоткладываются на нижнем конце косы, почему в данном случае они передвигаются уже вниз по течению. Отмели Дуная выше Вены ежегодно передвигаются на 5.—100 м вниз по течению, отмели Рейна ниже Базеля — в среднем на 200—400 м.

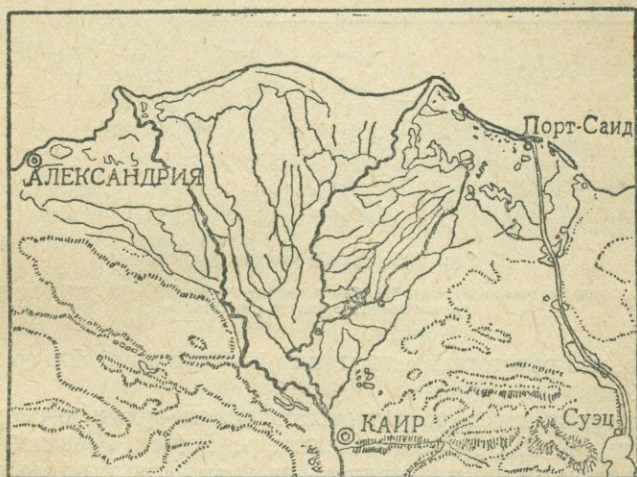


Рис. 104. Карта дельты Нила.

В нижней части течения большие реки передвигают свою гальку лишь при высокой воде, в остальное время галька отлагается; таким образом речное ложе здесь постепенно поднимается. В виде примера часто приводится река По, которая против всяких правил с течением времени так подняла свое ложе, что уже, начиная от Феррары, течет по хребту, все более возвышающемуся над низменностью.

*Образование дельт.*¹ Насколько велико количество взвешенных веществ, переносимых реками в озера и моря, ясно видно из образующихся в этих местах наносов — дельт.

Их форма очень разнообразна и зависит главным образом от строения берега. Дельтой заполнения называют дельту, выполняющую залив; если же она вдается в море дальше края берега, ее называют вступяющей дельтой. Для всех дельт очень характерно разветвление реки на отдельные рукава.

Проще всего происходит образование дельт во внутренних озерах; здесь отложение не нарушается ни прибоем волн, ни приливами и отливами, ни морскими течениями. В морских дельтах отложение взвешенных

¹ Rud, Credner, Die Deltabildungen. Peterm. Mitt. Erg., Bd. 1878.

частиц совершается менее правильно; здесь, как правило, отлагаются лишь тонкоземистые вещества, которые, при небольшом удельном весе пресной воды сравнительно с морской, попадают значительно дальше в море.

В общем дельты представляют собой большие конусы выноса, которые очень сходны с такими же конусами бурных потоков, но только отложены они с гораздо меньшим наклоном. Они всегда наслоены соответственно величине зерна и составу приносимого материала и состоят из чередования слоев гальки, песку, ила с включением органических остатков (древя, раковин и т. д.). В начале дельты наклон ее слагающих пластов бывает часто очень велик (до 30°), но быстро уменьшается с глубиной, принимая мало-помалу горизонтальное положение морского дна (рис. 105). Бурением

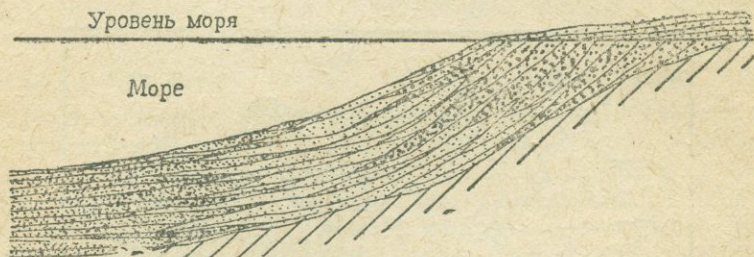


Рис. 105. Разрез конуса дельты.

Заштрихованы коренные породы; крупный пунктир — галька; мелкий пунктир — песок; густым мелким пунктиром показан ил.

установлено, что некоторые дельты имеют мощность от 100 до нескольких сот метров.

На основании исторических фактов можно судить о скорости роста некоторых дельт. Так например дельта р. Роны в Женевском озере со времен древних римлян увеличилась на 2 км. Еще быстрее рост дельты р. По. Известно, что Равенна во времена готов была приморским городом; теперь же она отстает от моря на 6,5 км. Современный рост этой дельты исчисляють до 70 м в год.

2. Эрозия.

Так называется углубляющая, бороздящая, размывающая деятельность текучей воды. Ее сила зависит: 1) от механической силы воды, 2) от сопротивления породы разрушающему действию этой силы и 3) от первоначального строения местности.

Механическая сила воды зависит от величины падения и от количества воды. При этом надо принимать в расчет не столько среднее количество воды в реке, как то, которое бывает при в высочайшем стоянии воды. Если удваивается например масса воды, то ее механическая сила возрастает гораздо больше. Эрозия многих рек связана поэтому лишь с коротким периодом их половодья.

Для учета сопротивления породы действию эрозии надо принимать во внимание прежде всего ее твердость, затем степень ее трещиноватости, ее залегание и ее водопроницаемость. При водопроницаемой поверхности дождевые воды быстро всасываются почвой, тогда как, наоборот, при водонепроницаемой поверхности осадки

скопляются во многих местах и образуют многочисленные ручьи; после ливней они быстро вздуваются и сильно размывают.

Наконец первоначальное строение местности уже потому имеет большее значение, что естественно все главные понижения поверхности (мульды, грабены и т. д.), равно как и уступы, образующие водопады, имеют большое влияние на положение, форму и направление возникающих долин.

Начало каждой долины идет с образования борозды-канавки на наклонной поверхности. В этой борозде вода сначала направляет всю свою деятельность на ее дальнейшее углубление и на разветвление кверху.

Таким образом долина растет снизу вверх. Вниз она расширяется и углубляется, вверху она все дальше врезается в свое ложе и таким образом увеличивает свой бассейн. Например известные точки в определенное время лежат на краю замыкающей долину сборной воронки (на рис. 106, a, b, c), со временем они переместятся в a', b', c' , а еще позже — в a'', b'', c'' . С этим отступанием всегда связано все большее разветвление и грушеобразное расширение сборного бассейна. Явления протекают в следующей последовательности: 1) углубление, 2) подмывание склонов, 3) нарастание вверх, 4) все большее разветвление вверх.

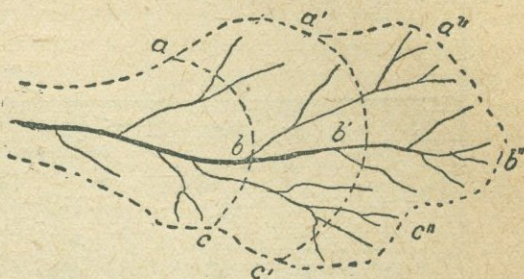


Рис. 106. Постепенное отступление сборной воронки долины.

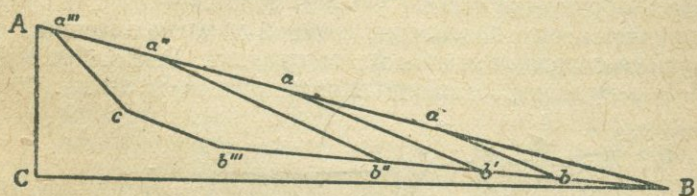


Рис. 107. Изображение последовательного образования долины.

При дальнейшем развитии долины скоро наступит несоответствие в работе воды в верхней и нижней частях долины; в верхней части ab на рис. 107 вся деятельность воды направлена на размывание, т. е. на дальнейшее углубление русла. Здесь сосредоточена сильнейшая эрозия. Склоны имеют здесь наибольшую (максимальную) крутизну. Весь спустившийся в долину обломочный материал уносится рекой. Поэтому здесь не может образоваться ни пологого ложа, ни отложений обломочного материала. Поперечный разрез долины здесь имеет форму V. В нижней части долины (Bb на рис. 107) размывающая деятельность воды, наоборот, уступает место отлагающей. Только во время половодья река в состоянии сносить все количество приносимого сверху материала: обычно же она здесь больше отлагает, чем сносит. Вследствие этого здесь образуется ровное ложе, в пределах

которого река блуждает от одного берега к другому. Благодаря этому, а также наступающему во время половодья затоплению, долина становится все шире. Наконец наклон берегов делается гораздо меньше максимального, и осыпавшийся материал скопляется у подножья их склонов. Вследствие блуждания речного русла от одной стороны долины к другой и связанного с этим выравнивания поперечный разрез долины получает форму \setminus .

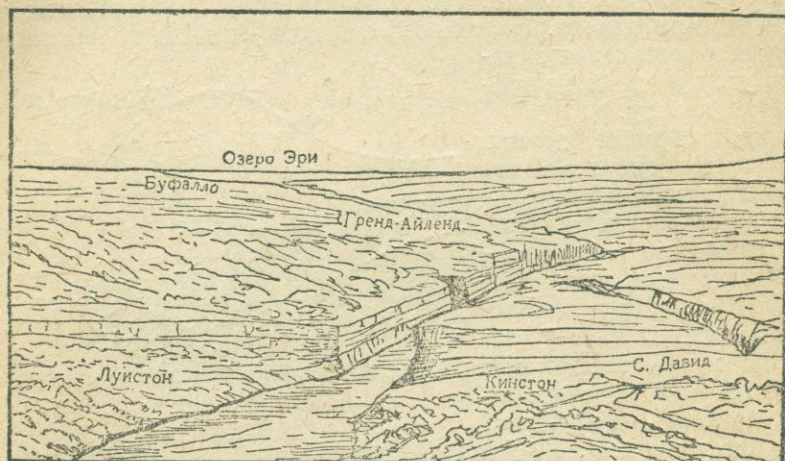


Рис. 108. Вид Ниагарского водопада с птичьего полета.

Если же верхний конец высокогорной долины подходит к снеговой границе, здесь образуется особый участок долины — *са'''* (на рис. 107), который отличается еще большей крутизной и расположенным амфитеатром с крутыми склонами задним планом долины. Рютимейер¹ называет его областью водопадов, низвергающихся ручьев и лавин.

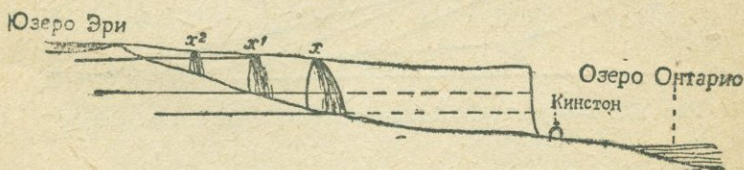


Рис. 109. Разрез через Ниагарский водопад и его окрестности.

x — место современного водопада; x¹, x² — будущие его положения при дальнейшем отступании.

В зависимости от первоначального строения местности и состава пород, форма и протяжение всех трех частей долины — верхнего, среднего и нижнего течения реки — могут быть очень различны. В долине, которая находится в стадии своего образования, всегда можно ясно различить два или три участка. Только когда обе силы, действующие взаимно противоположно, — эрозионная сила воды и способность сопротивления горных пород, — всюду придут в равновесие, заканчивается процесс образования долины. Верхнее, среднее и нижнее течения не будут тогда

¹ Rüttimeyer, Tal- und Seebildung in der Schweiz, Basel 1869.

составлять ломаной линии, но весь тальвег будет представлять собой однообразную, равномерно падающую кривую. В такой долине не будет больше происходить значительных изменений, кроме тех случаев, когда большие климатические или тектонические изменения вновь оживят эрозионную силу.

Признаками незаконченного образования долины могут служить частые изменения наклона, резкие сужения русла, подводные камни, водовороты, исполиновые котлы, водопады и озера. Мы остановимся подробнее на рассмотрении двух последних из названных явлений.

Все в о д о п а д ы врезаются в край уступа долины, через него они падают и образуют здесь постепенно отступающее вверх ущелье с отвесными стенами. Если наконец весь уступ разрушен, новое ущелье образуется (вместе с ниже и выше его лежащими участками долины) равномерно падающий тальвег. Известный пример большого отступающего все дальше водопада представляет собой Ниагарский водопад ¹ (рис. 108 и 109). Ляйелль считал величину его годового отступления равной $\frac{3}{4}$ м, причем река потребовала бы 70 000 лет, чтобы пройти те 7 английских миль ущелья, которое лежит теперь ниже водопада. ²

Еще сильнее проявляется эрозия в водоворотах, где вода сильно движется, в особенности там, где она низвергается, но не течет, как например у подножья быстрин и водопадов. Они возникают вследствие вращательного движения воды, причем приведенные во вращение гальки быстро высверливают скалы и образуют котлообразные углубления. Не подлежит сомнению, что многие узкие ущелья известковых Альп обязаны своим возникновением цепи все глубже врезывавшихся котлов водоворотов.

Образование долин пойдет различными путями в зависимости от того, происходит ли оно в области нарушенного или ненарушенного напластования.

В области ненарушенного напластования на большом пространстве способность поверхности сопротивляться эрозионной деятельности воды остается одинаковой. Поэтому образование долины протекает здесь при относительно простых условиях. Долины в ненарушенных слоях называют «чисто эрозионными долинами», чтобы показать, что они образовались исключительно под действием текучей воды.

В областях с нарушенным напластованием на образование долины влияют и другие обстоятельства, в особенности же меняющиеся залегающие, разная твердость и устойчивость пород. Вследствие этого особенности верхнего, среднего и нижнего течений проявляются не однажды, а повторяются много раз, и один и тот же участок долины может из одного состояния переходить в другое. Трудно прорезаемые скалы, горные утесы и т. д. образуют поперечные преграды, которые подпруживают воду, как мельничные плотины, и вызывают более или

¹ Grabau, Bull. New-York State Museum, 1904.

² Шафгаузенский Рейнский водопад как-будто не следует закону, по которому все водопады отступают назад, потому что за последние 200 лет он едва сдвинулся с места. Но это зависит от многих особых причин: отсутствия мягких пород, которые у Ниагары подстилают твердые породы, отсутствия галек и валунов в реке ниже Боденского озера и защиты, которую дают Рейнскому водопаду различные водоросли, покрывающие юрские известняки.

менее продолжительное расширение долины и образование широкого речного ложа. Лишь когда эта преграда прорезана, может последовать дальнейшее углубление данного участка. Это чередование прорезания (I), расширения (II), выполнения (III) и (после окончательного разрушения поперечной преграды) вновь энергичного размывания (IV) изображено на рис. 110.

Все долины, залегающие в областях ненарушенного напластования, однообразны; наоборот, долины, расположенные в нарушенных областях, разделяются по своему отношению к простиранию слоев на **продольные**, **поперечные** и часто **диагональные**. Поперечные

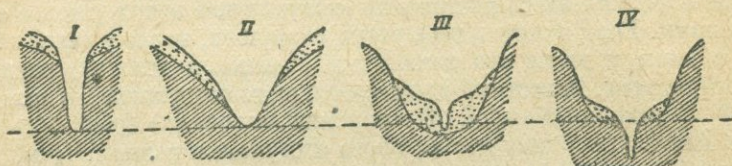


Рис. 110. Различные моменты образования одной и той же долины.

долины не имеют дальнейших подразделений; продольные, наоборот, разделяются на **мульдовые** или **синклинальные** долины (рис. 111а), **антиклинальные** (b), **изоклинальные** (с) и **сбросовые** долины (d). К этим последним принадлежат не только долины, ось которых совпадает со сбросовой линией, но также и те, которые лежат между двумя или несколькими параллельными линиями разлома. Долины этого рода могут быть также названы **долинами опускания**. Прекрасный пример представляет в Германии среднерейнский грабен между Базелем и Франкфуртом, другой пример — долина Лейна у Геттингена.



Рис. 111. Различные виды продольных долины в поперечном разрезе.

Между всеми этими подразделениями лучше всего обосновано то различие, которое существует между продольными и поперечными долинами. Тем не менее бывает, что в различных своих частях одна и та же долина может быть и продольной и поперечной. Так например долина Роны от своего истока до Мартины определено продольная, отсюда же до Женевского озера столь же определено поперечная. Подобные долины называются **сложными**.

Мы уже достаточно выяснили значение текучей воды при образовании долин. Теперь скажем о **выветривании**, явлении хотя и совершенно различном, но постоянно действующем совместно с первым. Процесс выветривания срезает склоны берегов водного потока и придает им максимальный для данной породы уклон. Выветривание отбирает при этом более твердые породы от легко разрушимых и таким образом до-

ставляет обломочный материал, который текучая вода употребляет как орудие для разрушения. Таким образом текучая вода углубляет и уносит, выветривание же формирует склоны и образует обломки и щебень.

Согласно этому все долины как продольные, так и поперечные обязаны своей современной формой не только эрозии, но в равной степени и выветриванию. И синклинальные и антиклинальные долины только намечены складками пластов, но не сформиро-

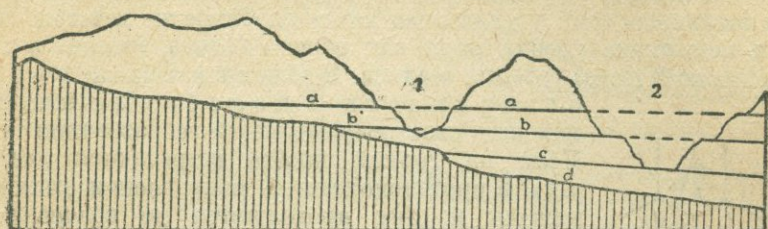


Рис. 112. Продольный разрез террасы главной долины с перерывами, от впадения боковых долин (1, 2).

a — древнейшая, *c* — позднейшая терраса, *d* — современное дно долины.

ваны ими окончательно в своих теперешних очертаниях. Сбросовые долины и долины опускания возникают, правда, оттого, что вода следует по направлению трещины; но современная моделировка долин не является только формой трещин: она создана позднейшим размыванием и выветриванием.

Явление образования террас наиболее ясно рисует нам процесс образования долин путем продолжительной эрозионной работы.

Террасы долин. Они представляют собой врезанные в склоны долины ступени, наблюдающиеся почти во всех значительных долинах и лежащие на одном или на обоих ее склонах, более или менее высоко над уровнем современной долины. Крутой склон их всегда обращен к руслу долины, поверхность же их плоская, часто покрытая галькой. Долинные террасы представляют остатки более древнего дна долины, существовавшего в то время, когда она не достигала еще своей настоящей глубины. Уже после того как образовалось это первоначальное дно долины, в него врезалось новое, расположенное более глубоко. Этот процесс мог повторяться несколько раз и всегда приводил к образованию новой террасы (рис. 112, *a*, *b* и т. д.). Там, где боковая долина соединяется с главной, террасы прерываются (1, 2). Когда они хорошо сохранились, то выступают, как резко очерченные ступени. Но часто, вследствие позднейшего размывания и выветривания склонов, они становятся менее ясными и образуют тянущиеся вдоль склонов перемытые отложения. Иногда наблюдается целый ряд террас, расположенных одна над другой; каждая вышележащая терраса

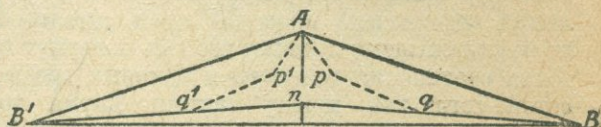


Рис. 113. Постепенное разрушение раздела двух долин (А) и его превращение в низкий водораздел (n).

и выветривания склонов, они становятся менее ясными и образуют тянущиеся вдоль склонов перемытые отложения. Иногда наблюдается целый ряд террас, расположенных одна над другой; каждая вышележащая терраса

отделена от предыдущей более или менее высокой крутизной. Так в долине Рейна и Мозеля в пределах Шиферных гор развито большое число терас, из которых первая поднята всего лишь на 5 м выше современного дна долины, тогда как верхняя лежит на высоте 200 м.

Можно объяснить образование терас, приняв, что каждая из них соответствует времени, в продолжение которого приостанавливалось дальнейшее углубление долины и вместо него наступало расширение и заполнение. Каждый уступ терасы соответствует, наоборот, новому оживлению эрозии, которое в большинстве случаев связано с поднятием поверхности и вызванным этим увеличением наклона. Такое же действие может иметь и понижение уровня моря как общего базиса эрозии, а также увеличение количества годовых осадков. В общем и изменение уровня поверхности и колебания климата находят свое выражение в образовании терас. Если на горном хребте встречаются две идущих в противоположном направлении долины, — каждая из них продолжится до водораздела и будет стремиться его понизить. В результате поперечная преграда будет все более и более размываться и наконец обратится в невысокий порог, а разделенные раньше долины сольются в одну. Такой случай наблюдается у Тоблахерского седла в Тироле, где находится плоский, лежащий в широкой продольной долине водораздел между



Рис. 114. Направление водораздела в Bad Lands, районе западных притоков Миссиссипи.

стекающей на восток Дравой и направленной на запад к Эйзаку Риенцей. Здесь проезжают по железной дороге через низкий разделяющий порог, не подозревая того, что переступают водораздел между Черным и Средиземным морями.¹

Эту борьбу за водораздел можно хорошо видеть на западных притоках Миссиссипи, текущих в легко разрушаемых мергелях. Главная линия водораздела проходит здесь зигзагообразно, причем к каждому противолежащему притоку гребень повернут выдающимся углом. Каждая точка соединения главного и боковых гребней отличается большей высотой, тогда как между такими двумя точками хребет седловидно прогибается (рис. 114).

В этой борьбе за водораздел может быть следующий случай: какой-нибудь из притоков размывает сильнее или благодаря своей мощности или вследствие большей податливости окружающих его горных пород. Поэтому он проникает со стороны в долину соседней речки и захватывает себе ее притоки. Это часто встречающееся в природе явление называют ретрессивной эрозией (рис. 115).

¹ У нас в СССР всего лучше выражено это явление на Урале. Подъезжая по Северной жел. дор. к Свердловску, совершенно незаметно перерезаешь Урал на водоразделе между р. Чусовой, притоком Камы и р. Исетью, относящейся к системе р. Оби.

По другой железной дороге на пути от Уфы к Челябинску почти так же незаметен у города Златоуста водораздел между р. Ай, притоком р. Уфы (система Волги), и р. Миасом, принадлежащим к системе р. Оби. А между тем оба эти пункта, перерезанные теперь железными дорогами, лежат на гребне когда-то высокого Уральского хребта, являющегося и теперь водоразделом между Ледовитым океаном и Каспийским морем. *Ред.*

Регрессивная эрозия лучше всего объясняет нам разветвление горных долин. Известный пример дает Рейн у Зарганса. Вместо того чтобы продолжить свое течение на северо-запад в открытой долине в направлении озер Вааль и Цюрихского, река внезапно поворачивает на север, чтобы прорвать высокую горную цепь. Другой пример представляет прорыв Везера через Востфальские ворота. Вместо того чтобы продолжить свое течение по долине, не представляющей никаких препятствий, у подножья Везерских гор, река у Флото внезапно резко поворачивает на

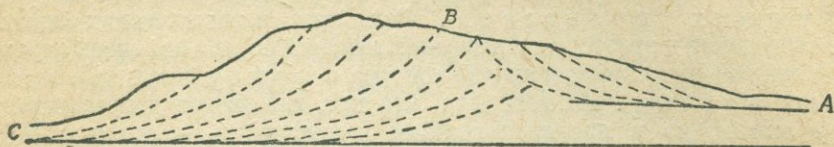


Рис. 115. Захват вышележащей медленно развивающейся долины (АВ) направленной ей навстречу более быстро вырабатывающейся долиной (СВ).

север, чтобы прорваться через узкое ущелье преграждающих ее известняков Везерской цепи (рис. 116 и 117).

Раньше такое отклонение от естественного пути объясняли образованием глубокой боковой трещины, уводящей реку от ее прежнего пути. Но и регрессивная эрозия до известной степени также может проложить брешь в долине, — теперь в большинстве случаев именно на этом объяснении и останавливаются.

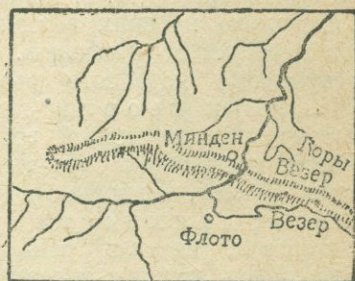
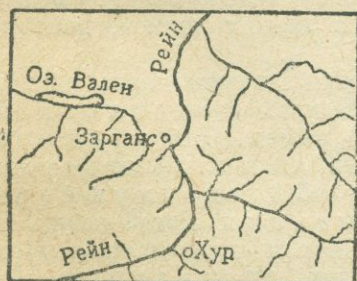


Рис. 116 и 117. Направление Рейна у Зарганса и долина Везера у Флото.

Очень долго не понимали причины происхождения поперечных долин, в особенности тех, которые, образуясь в сравнительно невысоких местностях, пробивают высокие горные цепи. Эти долины прорыва старались объяснить раньше лишь двумя способами: или подруживанием рек горной цепью, вследствие чего вода переливалась через гребень и прорезала его, или же трещинами, образовавшими брешь в горной цепи. Но все это объясняется гораздо легче, если принять, что горная цепь моложе прорезающей ее реки. Река в большинстве случаев обладает силой сохранять свое русло на постоянном уровне, размывая постепенно поднимающиеся поперек горные цепи; таким образом прорезаются даже самые высокие хребты.

Существует иной взгляд для объяснения подобных случаев положения и формы долин. Они выводятся из условий, существовавших в отдаленное время, когда русла рек располагались на гораздо более высоких и теперь

уже совершенно размытых поверхностях. Раз возникнув, подобные каналы могли сохранять и в подстилающей более древней свите слоев свое первоначальное положение, врезааясь отвесно в глубину при постоянно продолжающемся течении. Подобные долины, образование которых можно объяснить только на основании условий прежних геологических периодов, называют эпигенетическими.

Нужно всегда помнить, что большинство наших больших долин являлось результатом длинной, полной перемен истории. Эта история представляет собой в общем борьбу тектонических и эрозирующих процессов. Вследствие климатических изменений, оледенений и других геологических явлений борьба эта очень сложна.

В заключение коснемся кратко вопроса о конечных результатах эрозии. Мы говорили, что там, где две реки врезаются по одной линии, но в противоположном направлении, разделяющий их водораздел постепенно все больше размывается пока обе долины наконец не сольются. Возможно, что нечто подобное образуется в случае, когда находятся рядом две параллельных долины: разделяющий их хребет будет все понижаться, пока обе эти долины не сольются в одну.

Этот процесс можно распространить и на делую горную область с многочисленными прорезанными по всем направлениям долинами. Тогда можно представить, что окончательным результатом длительной эрозии и смывания дождевой водой является настоящая равнина, совершенно независимо от того, каково было ее первоначальное строение. Уровень, такой равнины будет находиться лишь немного выше самого низкого базиса эрозии, т. е. морского уровня; только кое-где она будет иметь несколько плоских волнистостей и низких холмов, последних остатков прежних водоразделов.

Рассуждения подобного рода привели американского географа Девиса (Devis) к теории так называемого пенеплена как конечного результата долгой эрозионной работы. Этот термин можно перевести «почти равнина», «размытая равнина» или «глыбовая равнина».¹ По мнению Девиса, пенеплен представляет собой конечную форму или состояние дряхлости размывания какой-нибудь поверхности, главная роль при котором принадлежит рекам. Эта поверхность должна образовать почти предельную равнину, высота ее над уровнем моря будет тем меньше, чем дольше продолжался процесс ее размывания.

Дальше мы увидим, что и прибой морских волн может также отшлифовать и выровнять опускающийся материк; в этом случае возникающая плоская равнина также будет лежать приблизительно на уровне моря. Но можно ожидать, что материковая равнина размывания (в отличие от морской) все же будет иметь по крайней мере признаки бывшей системы долин и обнаружит следы разделявших ее водораздельных хребтов.

Понятно, что этому окончательному формированию пенеплена предшествуют состояния меньшего размывания, которые Девис, сообразно периодам жизни человека, называет юностью, зрелым возрастом и старостью. В юном состоянии (разрезы долин на возвышающейся над морем поверхности еще узки, с крутыми берегами,

¹ Академик А. П. Павлов дает перевод этого термина — предельная равнина. *Ред.*

без пологих речных пойм. Они быстро понижаются, на них появляется много уступов, водопадов и озер. Реки в этом состоянии развития текут быстро, водоразделы испытывают постоянные перемещения.

В зрелом возрасте мы уже не встречаем водопадов и озер. Долины становятся шире и отложе, обладают более ровным дном. Реки блуждают в многочисленных излучинах по отложенным наносам. Размывание отступает к истокам, а водоразделы превращаются в низкие плоскозакругленные хребты. Это состояние постепенно переходит в старчество [или «презрелость» (Зупан)]. Долины здесь преобразованы в широкие равнинные понижения, реки имеют силы лишь настолько, чтобы переносить в море продукты выветривания в виде тончайшего ила. Хребты между соседними долинами и системами долин обращаются в широкие плоские увалы. Таким образом под конец возникает, совершенно незаметно поднимающаяся от моря к области истока, волнистая поверхность с плоско округленными очертаниями, на которой только кое-где, вследствие большей способности противостоять разрушению, сохранились останцы или «свидетели».

Этим заканчивается географический цикл эрозии,¹ как его называет Девис, но если выровненная поверхность будет вновь поднята, то может начаться новый цикл эрозии: тогда реки начнут вновь размывать, и через некоторое время старая «почти равнина» может обратиться в область со всеми признаками юного состояния, за которым после будет следовать новое состояние зрелости, а потом и старости. В действительности в горах Швейцарской Юры можно найти следы двух циклов эрозии, в Аллеганских горах — трех.

Этому нормальному циклу эрозии Девис подчиняет (как подвиды) цикл пустынь или сухих областей и холодный нивальный цикл (или ледниковый), принадлежащий высоким широтам. Он противопоставляет их морскому циклу, который обуславливается прибоем волн к морским берегам, где тоже существует последовательный переход от первоначального и среднего состояния к конечным формам.

Мы все же сомневаемся, что этим теоретическим представлениям соответствуют действительные факты; что реки, дожди и выветривание сами по себе в состоянии обратить обширную, сильно расчлененную область в «почти равнину». Для участков с однообразным составом из легко размываемых пород еще можно допустить возможность их выравнивания, но можно ли это себе представить для местностей с разнородным геологическим строением? Тогда надó предположить, что более прочные массивы все же поднимались бы над более податливыми, и таким образом полного выравнивания никогда не было бы достигнуто. Образование пенеплена во всяком случае предполагает длинные промежутки времени, в течение которых оба условия, имеющие особенное значение для образования долин, — количество годовых осадков и высота базиса эрозии, — не изменялись. Возможно ли на самом деле, чтобы климат и высота поверхности не изменялись в течение целых геологических периодов?

Поэтому положения Девиса нашли мало поддержки в геологических кругах, их также в большей или меньшей степени отклоняют и многие известные географы.

¹ Выражение «цикл» не должно здесь означать «круговорот», а только последовательность.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОЗЕР. ¹

Озера существуют при самых разнообразных географических и геологических условиях и часто встречаются группами. Их глубина всегда относительно не велика. Глубочайшее озеро Байкал с глубиной, превосходящей 2 000 м, не достигает и четверти наибольшей морской глубины.

Стоком обладают не все озера. В сухих областях большинство рек оканчиваются в озерах, не имеющих стока. Обычное содержание соли в подобных озерах происходит не от залежей соли из их окрестностей, а из состава воды питающих их рек.

В то время как в озерах с постоянным стоком вытекающая вода вновь уносит соль, в озерах без стока она все накапливается, так что со временем они становятся солеными.

Когда говорилось об образовании долин, озера упоминались как признак юности долин. На деле трудно найти другое такое непостоянное явление как озеро. Говоря геологическим языком, сравнительно

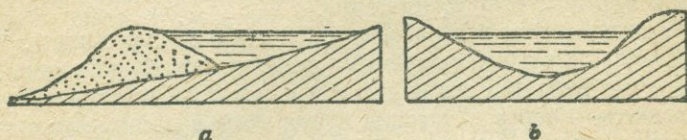


Рис. 118. Плотинное озеро (а) и озеро котловинное (б).

в небольшой промежуток времени его бассейн может заполниться его собственными образованиями, или же, наоборот, продолжающееся размывание опустошает его бассейн.

При попытках разделить озера по способу их образования надо различать образование озер во-первых вследствие действия экзогенных, т. е. внешних сил, и во-вторых вследствие действия эндогенных, т. е. внутренних (тектонических) сил; в пределах первых различают образование озер путем запруживания и путем углубления.

В результате мы получаем следующее разделение:

- 1) озера, образованные экзогенными силами: $\left\{ \begin{array}{l} а) \text{ плотинные,} \\ б) \text{ котловинные,} \end{array} \right.$
- 2) озера, образованные эндогенными силами (дислокационные).

1. Происхождение экзогенных озер.

а) *Озера плотинные.* Сюда принадлежат главным образом озера, запруженные горными обвалами, конусами выноса и т. д., моренные озера, запруженные конечной мореной древних ледников, береговые озера, лагуны и внутренние заливы, возникшие благодаря береговым валам, дюнам и т. д., атолловые озера, образовавшиеся вследствие отделения маленьких морских бассейнов кольцеобразными коралловыми постройками.

б) *Котловинные озера.* Сюда принадлежат эрозийные озера, образовавшиеся в котловинах размыва действием текущей воды. Сюда —

¹ Foler, Handbuch der Seenkunde, Ratzels Geogr. Handb. IX, 1901.

в качестве котловинных от размыва — принадлежат узкие, длинные котловинные озера Северо-германской низменности.

в) *Ледниковые озера.* К ним относятся маленькие круглые котловинные озера вблизи снеговой границы Альп и сходные с ними цирковые озера Татр и других покрытых ледниками горных областей. Пенк и Брюкнер объясняют возникновение и больших альпийских озер глубиной от 200 до 300 м также деятельностью ледников. Озера в ущельях, провальные озера, образуются вследствие растворения подземных гипсовых и соляных залежей (Мансфельдское озеро и др.).

2. Озера эндогенного происхождения.

К ним относятся главным образом тектонические озера, у которых бассейн образовался вследствие тектонических процессов, в особенности вследствие опускания пластов или складчатости. Таковы например озера грабенов (озера Гарда, Платтенское озеро, Мертвое море)

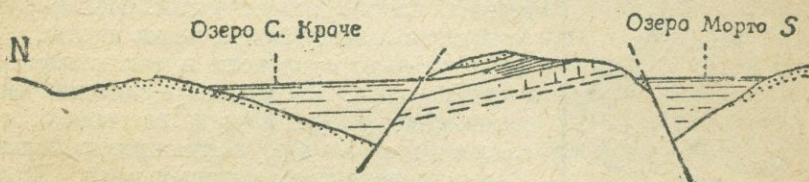


Рис. 119. Профиль Лаписинских озер (Венецианские Альпы). 1 : 100 000 (по Фюттеру).

и другие сбросовые озера;¹ но согласно Рютимейеру, Гейму и др. большая часть альпийских краевых озер также относится сюда. Они считают, что образование трогов связано с опусканием, следовавшим за возникновением альпийских гор, достигавшим на северной их окраине приблизительно 400 м и захватившим все главные долины.

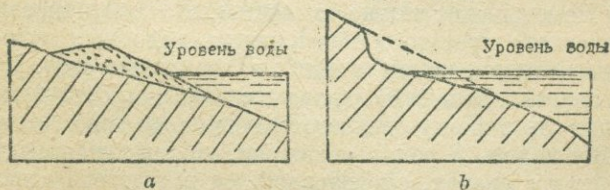


Рис. 120. Образование береговых валов и терас по берегам озер.

Вследствие отмеченного уже нами непостоянства озер их геологическое действие сравнительно незначительно. Озера имеют значение «регуляторов и очистителей» для протекающих через них рек, количество воды которых гораздо равномернее после выхода из озер, чем до впадения в них. Затем, нужно отметить образование береговых валов, которые образуются в бурную погоду выбрасыванием галек и песка и накоплением их в длинные дамбы (рис. 120, а).

¹ Сюда же относится например Байкальское озеро. Ред.

Другим обычным явлением у крутых берегов озер являются береговые террасы (рис. 120, б). Они образуются ударами волн прибою, которые (как и у крутых морских берегов) выбивают большие пустоты, постепенно преобразующиеся в плоские, наклоненные к озеру, ограниченные сзади крутой стеной (Kliff) ступени. Если вследствие климатических и других перемен уровень озера понижается, береговая терраса становится высокой террасой, в то время как на уровне опустившегося озера образуется новая береговая терраса. Подобные террасы известны, между прочим, у Мертвого моря, Верхнего озера и в особенности у Большого соленого озера Северной Америки. Еще больше действие волн прибою сказывается в образовании скалистых пещер — ворот, столбов, — наблюдаемых у скалистых берегов больших озер, например Верхнего озера Северной Америки.

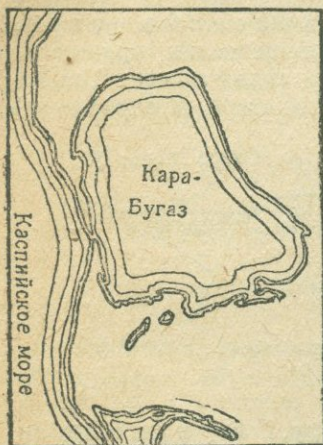


Рис. 121. Карабугаз.
1 : 5 000 000.

Озерные осадки принадлежат частью к механическим, частью к органическим, частью к химическим. Механические состоят из галек, гравия, песка и ила, органические — из сапропеля и так называемого озерного мела. Но особенное значение имеют химические осадки озер и главным образом соленых озер, как например больших северо-американских соленых озер, Ельтонского озера, ¹ Мертвого моря и т. д. Вода всех этих озер представляет большей частью насыщенный соляной раствор, где наряду с преобладающим NaCl или MgCl₂ содержатся еще CaSO₄, MgSO₄, Na₂SO₄, K₂SO₄, CaCl₂, KCl и др. Отсюда ясно, что в сухое время года по краям и на дне подобных озер осаждаются

большое количество солей, — в Ельтонском озере ежегодно 1¹/₂ — 2 млн. центнеров. ² Не подлежит также сомнению, что многочисленные залежи соли геологического прошлого образовались подобным путем, т. е. возникли путем осаднения из внутренних материковых озер. Обычно время образования соляных залежей совпадает с периодом отступления морей, — так было например в эпоху среднего раковинного известняка и верхнего цехштейна. Все подобные соляные залежи, можно предполагать, отложились в бассейнах и озерах, образовавшихся вследствие отделения прежних морских заливов.

Хороший пример того, как соль обширных внутренних озер, — если даже они составляют часть моря, — может быть отложена в отдельной бухте, представляет Карабугаз: это большой мелкий залив, расположенный на восточной стороне Каспийского моря и соединенный с ним посредством узкого мелкого канала (рис. 121). Карабугаз, лежащий в очень сухой и жаркой местности, был бы давно осушен, если бы в него не было постоянного притока воды Каспийского моря.

¹ Кроме этого озера в пределах СССР находится еще много соленых озер. Из них необходимо упомянуть Баскунчакское (45 км в окружности) и Индерское (до 40 км в окружности). *Ред.*

² В Германии 1 центнер равен 50 кг. *Ред.*

В Карабугаз таким образом постоянно проникает с водой новое количество соли; его вода постепенно превратилась в насыщенный соляной раствор, из которого в продолжение длинного периода времени выделилось большое количество солей.

Последовательность выпадения солей таких озер зависит, как и при процессе искусственного осаждения, исключительно от их растворимости. При искусственном осаждении первой, как наиболее трудно растворимая, выпадает состоящая из CaSO_4 с а м о с а д к а, а потом главным образом NaCl ; под конец в растворе останутся легко растворимые соединения K и Mg , так называемые соли маточного рассола. В природе также первыми отлагаются гипс, часто ангидрит, потом главная масса каменной соли и лишь под конец соли K и Mg .

Знаменитые Стассфуртские залежи солей, где различные соли залегают в последовательности, соответствующей их растворимости, ясно доказывают, что естественное осаждение протекает именно так. На мощной подстилке ангидрита непосредственно залегают толща каменной соли, приблизительно около 360 м, с включенными в нее банками ангидрита, иногда полигалита, далее зона каменной соли мощностью в 56 м с пропластками калиевых и магниевых солей (карналлита, кизерита) и только потом зона собственно калийных солей в 42 м мощностью, состоящая главным образом из карналлита с примесями кизерита, каменной и других солей.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЛЬДА.¹

Известно, что средняя годовая температура постепенно понижается во-первых в направлении от экватора к полюсам, во-вторых по мере поднятия над уровнем моря. На известном расстоянии по этим обоим направлениям существуют области, где большая часть годовых осадков выпадает в виде снега; далее наконец следуют области, где летнее солнечное тепло не в состоянии согнать весь снег и где следовательно он сохраняется в течение целого года. Такую область называют областью в е ч н о г о с н е г а, а ее границу — с н е г о в о й г р а н и ц е й (снеговой линией). Накапливающиеся в области вечного снега снеговые массы попадают в долины двояким путем: или стремительно опускаются в виде л а в и н или постепенно сползают в виде л е д н и к о в.

Л а в и н ы представляют собой внезапно отрывающиеся снеговые массы. Они очень обычны на высоких горах с крутыми склонами, но изредка встречаются и в области средних гор, как например Шварцвальда и Исполиновых гор.

Гораздо большее значение имеют л е д н и к и (глетчеры). У каждого настоящего ледника надо различать: 1) ф и р н о в о е п о л е, лежащее в ы ш е снеговой линии и питающее ледник; оно состоит из мульды, зажатой между более или менее высокими вершинами и гребнями хребта, 2) собственно л е д н и к, ледниковый поток, спускающийся н и ж е снеговой линии.

Ст р у к т у р а л ь д а. Фирн представляет собой з е р н и с т о к р и с т а л л и ч е с к у ю м а с с у, в которой каждое ледяное зерно соответствует одноосному кристаллу (совершенно индивидуально ориенти-

¹ А. Heim, Handbuch der Gletscherkunde, Stuttgart, 1885.

рованному) (рис. 122). Он сильно отличается от того рыхлого агрегата, каким является снег, и образуется из него под постоянным действием теплого воздуха, дождя и талых вод. Вверху, там где он переходит непосредственно в фирновое поле, фирновый лед имеет беловатый и мутный цвет от множества заключенных в нем воздушных пузырьков; в направлении же к долине, воздушные пузырьки все больше вытесняются, и лед постепенно приобретает большую прозрачность и чистый голубой цвет. Он сохраняет свою слоистость вследствие образования из налегающих друг на друга снеговых масс.

Не совсем еще выяснен вопрос о происхождении голубой ледяной структуры (полосатости) ледникового льда, которая заключается в чередовании бедных воздухом голубоватых ледяных слоев с белыми слоями, богатыми воздухом. Полосатость у краев ледника круто идет вглубь, а в средней его части полосы плоски. В общем они повторяют корытообразную форму ледникового ложа. Некоторые хотели связать ее со слоистостью, но Тиндаль и др. объясняли ее образование результатом давления, как своего рода сланцеватость.

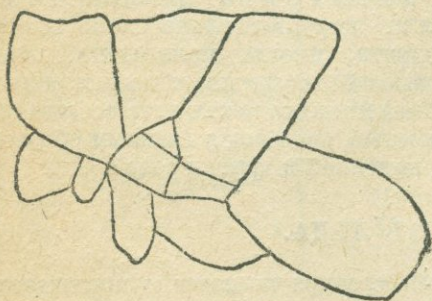


Рис. 122. Зернистая структура гренландского глетчерного льда.



Рис. 123. Линия наибольшей скорости движения ледника.

Последние исследования пытаются свести происхождение полосатости к результату скольжения отдельных слоев ледника по другим, по концентрическим ложкообразным плоскостям сдвигов — трещинам разрыва, которые заполняются льдом замерзающей водой.

Движение ледников. Вполне ясно, что лед ледника не стоит неподвижно, но постоянно движется вниз: если бы постоянная потеря вследствие таяния нижнего конца не возмещалась непрерывным продвижением сверху, ледники постепенно отступали бы и наконец должны были бы совсем исчезнуть. Движение ледников непрерывное и возрастает пропорционально падению ложа и массе льда. У самых больших альпийских ледников оно равняется сотым метра в день, у испанских ледников высоких азиатских гор и Гренландии — от нескольких до многих метров. Движение при этом совершается подобно медленно текущей массе; середина, как и у каждого потока, движется быстрее краев (так называемое дифференцированное движение) (рис. 123).

Это пластическое состояние льда в ледниках долго занимало геологов и физиков. На первый взгляд оно совершенно противоречит всем известной хрупкости и неупругости льда, которые ясно обнаруживаются в трещинах, обычно пронизывающих ледник. Главная причина движения ледника заключается отчасти в сильном давлении, которое испытывает лед во всех частях ледника, а частью так называемой реж-

л я ц и и. Вследствие давления лед превращается в скопление маленьких частиц, которые, уступая давлению, передвигаются относительно друг друга так, что могут принять любую форму. Это усиливается еще тем, что вследствие давления точка таяния льда понижается. Благодаря давлению лед превращается в смесь воды и льда. Но как только смесь эта примет новую форму, давление ослабляется, точка замерзания вновь поднимается до нуля (0°), образовавшаяся вода вновь превращается в лед и связывает ледяные частицы в одно плотное целое; это и называется режелацией. Ее вполне достаточно для объяснения подвижности и пластичности льда. ¹

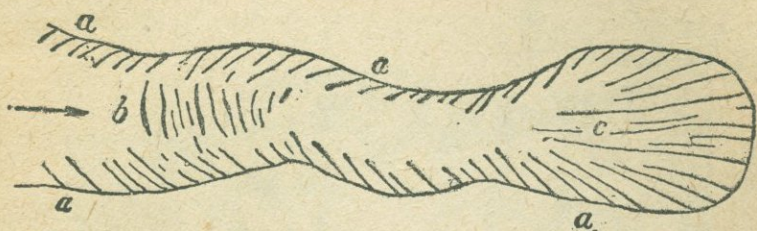


Рис. 124. а — краевые, б — поперечные и с — продольные трещины ледника.

В тесной связи с движением ледника находится образование трещин во льду. Чаще всего это краевые трещины; образовавшиеся у краев ледника, они наискось направляются к его середине. Поперечные трещины образуются там, где ледник проходит через неровности или где его ложе сразу становится крутым; наконец продольные трещины появляются в тех случаях, когда ледник вступает в более широкую долину и как бы растекается (рис. 124).

Ледники бывают двух видов: 1) относительно короткие языкообразные потоки, собственно ледники, и 2) мощные и обширные покровы материкового или внутреннего льда.

1. Собственно ледники.

Долинные ледники (рис. 125) часто спускаются далеко вниз и доходят до области лесов и лугов, причем подобно рекам они сливаются с боковыми ледниками. Кроме того существуют еще небольшие ледники, всей своей массой прикрепленные к крутым склонам и не выходящие из пределов снеговой области, так называемые вислячие ледники.

Нижний край ледника находится всегда там, где напор льда сверху и убыль его снизу вследствие таяния находятся в равновесии. Ледник подвергается таянию и с поверхности и со дна. Все талые воды выходят у нижнего конца ледника из ледниковых ворот часто в виде бурного потока.

В более высоких широтах, куда не проникает теплый воздух долин, ледники обычно доходят до моря или даже спускаются в него, отламываются большими глыбами и уплывают в виде айсбергов.

¹ Этому же способствует так называемая трансляция, т. е. скольжение кристаллических частиц по кристаллографическим плоскостям.

Если в трещины проникают поверхностные воды, они, с силой в них устремляясь, образуют так называемые ледниковые мельницы, камни, находящиеся на дне, приводятся поступающей водой во вращательное движение и высверливают в каменном ложе ледниковые или исполиновые котлы.

Находящиеся на поверхности ледника каменные обломки постепенно поднимаются на ледяных подставках над окружающей местностью, защищая подстилающий их лед от таяния и образуя так называемые ледяные столы.

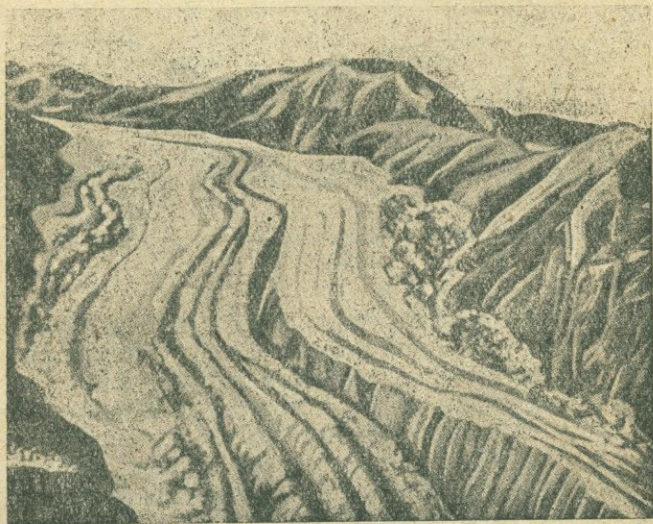


Рис. 125. Большой долинный ледник (Алечский ледник).

Морены. Весь материал выветривания, осыпавшийся со склонов на ледник по мере его продвижения, располагается по его обеим сторонам в виде сопровождающих его валов из обломков щебня, так называемых боковых морен (рис. 126). Они состоят из угловатых, неправильных кусков, насыпанных без всякого порядка. Там, где два ледника сливаются, их боковые морены соединяются в одну срединную морену. Боковые и срединные морены являются поверхностными моренами. Наряду с этим существуют и донные морены; они образуются на дне ледника из обломков, падающих с боков и сверху. В результате раздробления и истирания всех более мягких пород давлением ледника донная морена образует глину, в которой включены самые разнообразные валуны; у этих обломков грани и углы лишь слабо округлены; вследствие сильного давления, которому они подвергались при продвижении ледника, их поверхности по большей части отполированы и изборозжены шрамами (рис. 127).

Весь уносимый ледником материал постепенно отлагается у его нижнего конца в виде вала, который называется конечной или лобовой мореной (Stirnmoräne).

Разрушительные действия ледника. Шлифующему и истачивающему действию ледника подвергаются и его каменное ложе, его дно и боковые его склоны: они покрываются шрамами и шлифуются. Таким же образом отшлифованы и обращены в круглые холмы все вы-

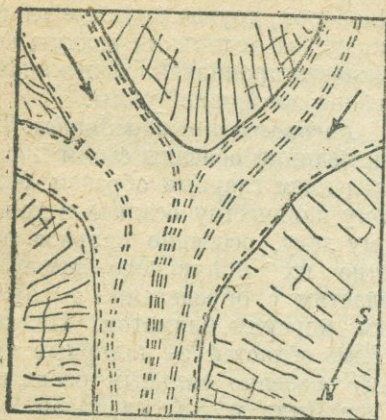


Рис. 126. Карта части ледника „Mer de glace“ у Шамони.
Образование средней морены путем слияния боковых морен.

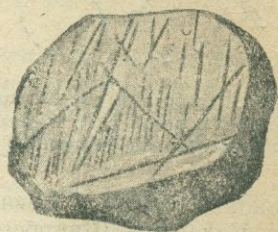


Рис. 127. Ледниковые валуны со шрамами.

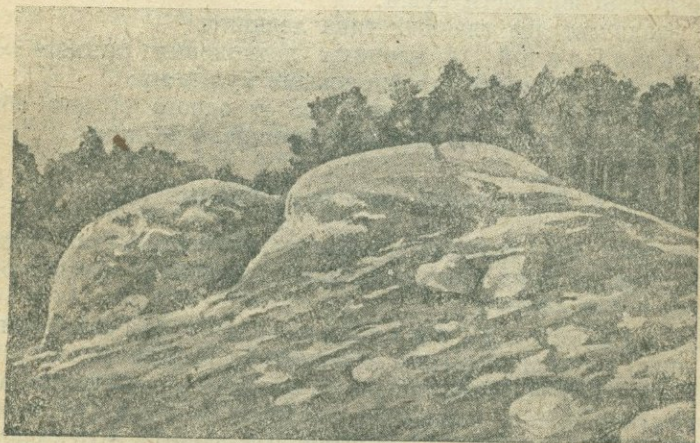


Рис. 128. Четвертичные бараньи лбы (гранит) Каменец в Саксонии.

ступавшие со дна долины и покрывавшиеся ледником скалы, так называемые курчавые скалы или бараньи лбы (рис. 128).

Глядя на эту шлифующую работу ледников, наблюдаемую во всех ледниковых областях, можно приписать им еще и дальнейшую эрозионную деятельность. Такие известные исследователи, как Девис, Пенк

и др., приписывают ледникам большое значение в деле формирования занятых ими долин. Так например, строение долины в виде трога¹ при ее большой ширине и крутизне ее склонов (рис. 129), более значительное углубление главной долины сравнительно с боковыми (впадающими на высоком уровне в виде «висячих долин»), одиночные скалы, поднимающиеся над дном долины, — все это рассматривается как характерные признаки ледникового выпахивания. Наоборот, другие крупные гляциологи, как Рютимейер, Гейм и др., отрицают за ледниками всякую возможность проявления более значительной эрозивной силы.

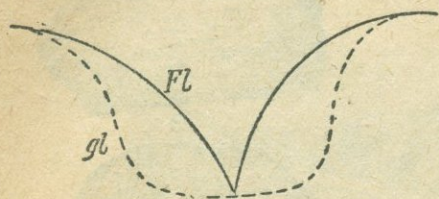


Рис. 129. Поперечный разрез через долину, выработанную рекой (Fl), и через долину, выработанную ледником (gl).

Распространение ледников. Так как ледники обязаны своим происхождением главным образом большому количеству осадков и холодному лету, особенно сильное развитие их приурочено всюду к областям с определенно выраженным морским климатом. Поэтому (кроме областей за полярным кругом) особенно сильным развитием

ледников отличаются Новая Зеландия, юг Чили и Аляска, затем Норвегия, Исландия, Шпицберген и т. д.

Альпы тоже принадлежат к числу гор, наиболее богатых ледниками. В Центральной Азии (в Гималаях и Тянь-Шане) встречаются ледники гораздо больших размеров, чем в Альпах.

Гесс (Hess) считает величину ледяного покрова всей Земли равной одной десятой поверхности суши.²

Гейм различает два главных типа ледников:

- 1) альпийский с длинным ледниковым потоком = языком (Zunge) и резко ограниченными фирновыми мульдами;
- 2) норвежский, при котором от одного общего обширного плоского фирнового поля отходит большое число ледников.

2. Внутренний или материковый лед.

Существуют два главных примера распространения этого вида полярного льда на двух противоположных полюсах: материковый лед Гренландии и Антарктики.

Гренландский материковый лед стал нам хорошо известен лишь после знаменитого путешествия Нансена, который пересек всю эту страну. Как известно теперь, он занимает пространство в 1,5 млн. км² и достигает 1000 м мощности. Начиная от краев, он поднимается быстро, потом все медленнее, а под конец чуть заметно.³ Вся центральная часть Гренландии представляет собой покрытую снегом ледяную пустыню совершенно лишенную трещин и каких бы то ни было каменных обломков. Лишь у берегов материковый лед дает от себя ответвления, которые

¹ Корытообразной долины. Ред.

² Hess, Die Gletscher, Braunschweig 1904.

³ Nansen, Auf Schneeschuhen durch Grönland, Leipzig 1889; V. Drygalski, Grönlandsexpedition der Berliner Ges. f. Erdkunde, Berlin 1892; O. Nordenskjöld, Die Polarwelt, Leipzig, 1909.

идут в ущелья фьордов и вполне сходны с настоящими глетчерами. Только здесь выступают из-под льда скалы (нунатаки) и отлагаются морены.

Антарктическая материковая ледниковая область еще мало известна. Она также представляет ровную или слабо волнистую поверхность, лишенную нунатаки и трещин и покрытую твердым

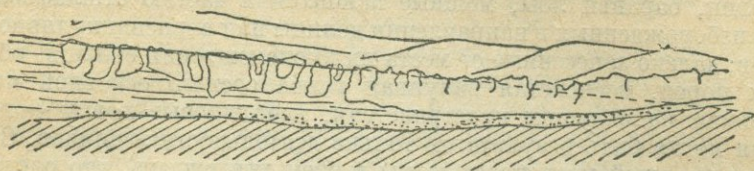


Рис. 130. Ледник, спускающийся в море

фирновым снегом. Большое значение в движении и накоплении льда, кроме снегопада, имеют сильные ветры южной полярной области. Тем, что они наметают в одном месте снег и сдувают его в другом, они обуславливают и рост и убыль льда. При влажном морском ветре ледник может расти у самого берега. Движения материкового льда походят скорее на волнуемое по всем направлениям под влиянием разнообразных ветров море, чем на течение ледникового потока. Лед с краев континента спускается сперва на шельф, а потом, когда море становится глубже, обламывается глыбами и ушльзывает в виде ледяных полей (рис. 130).¹

Айсберги. Ледники полярной области, как мы уже говорили, спускаются до самого моря. Лед погружается при этом под морскую поверхность, но всплывает потом, обламывается и поднимается на поверхность в виде больших глыб. Эти глыбы, айсберги или пловучие горы, достигают часто нескольких миль длины и больше чем 100 м высоты. Надо иметь в виду, что над водой выступает лишь одна девятая их масс, а остальные восемь девяток скрыты под уровнем моря (рис. 131).

Некоторые айсберги достигают почти 1 000 м мощности; это указывает на то, что они представляют собой обломки либо ледника, либо материкового льда, но отнюдь не являются льдом замерзшего моря, который редко превышает 2 м мощности. Айсберги бывают часто покрыты морской,

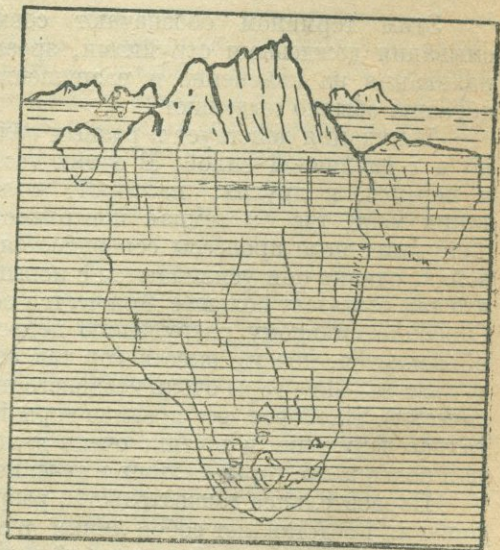


Рис. 131. Плавающий айсберг.

¹ V. Drygalski, Die Antarktis und ihre Vereisung, Sitzungsber. Bayer. Akad., 1919, I; тот же автор, Das Eis der Antarktis, Berlin, 1921.

что также свидетельствует об их происхождении из ледников. Раньше чем успевают растаять, они часто заносятся морскими течениями в низкие широты. Такое замедление в таянии объясняется сильным охлаждением около них воды и воздуха.

Из всего изложенного видно, что деятельность льда очень своеобразна и не может быть смешана ни с какой другой. Шлифы и прамамы на склонах долин, бараньи лбы, мощные накопления частью отшлифованных, частью изборозженных в направлении долины или перпендикулярно к ней валунов; далеко занесенные от места их происхождения большие обломки горных пород, неслоистая валунная глина состава основной морены, отложенная на больших пространствах, исполиновые котлы — все эти явления могли быть результатом только деятельности ледников. С большей или меньшей уверенностью мы можем утверждать, что оледенение существовало раньше всюду, где мы встречали совокупность этих признаков, если даже в настоящее время ледники там и отсутствуют. Это особенно относится к четвертичному оледенению, а также и к некоторым древним оледенениям.

ДЕНУДАЦИЯ.

Этим термином обозначают совместное влияние выветривания, смывания дождевыми струйками, эрозии, дефляции и ледникового выпаживания на изменение и разрушение земной поверхности. Морскую абразию обычно выделяют.

Денудация действует в разных областях не только разным образом, но и с различной силой. В одних местностях преобладают разрушение и перенос, в других, наоборот, отложение. Не существует однако таких мест, где бы земная поверхность не подвергалась разрушению. Денудационные процессы совершаются при всяких климатах и во всех зонах, однако они усиливаются с повышением над уровнем моря, потому что там выпадает большее количество осадков и сильнее действует мороз. Особенно сильному разрушению подвергаются высокие вершины. Этим объясняется, почему высота гор так зависит от их возраста. Все современные высокие горы очень недавнего происхождения (понимая это геологически). Наоборот, все древние горы не высоки, потому что они подвергались денудации в течение очень долгих геологических периодов, тогда как более юные горы — лишь в течение относительно короткого времени.

Поразительное доказательство разрушительной силы действия выветривания представляет собой линия равных высот гор (Пенка), т. е. тот поразительный на первый взгляд факт, что все вершины какой-нибудь горной области, независимо от различия их состава и строения, имеют приблизительно одну и ту же высоту; она лишь очень медленно возрастает от края горной области к ее середине. Высота вершин выравнивается также денудацией, «этим всемогущим горообразователем, всюду действующим и никогда не отдыхающим» (Альб. Гейм).

Много раз пробовали вычислить величину речной денудации для отдельных речных областей. Согласно мнению Пенка, реки среднеевропейской равнины требуют приблизительно 164 000 лет, а большие реки Индии — всего лишь 5 200 лет, чтобы понизить область своего питания на 1 м. Согласно этому же автору вся земная поверхность будет на столько же понижена реками в течение 12 400 лет.

Целые горные цепи и большие плоскогорья были уничтожены денудацией в течение геологического времени. На большие расстования средняя Германия была первоначально покрыта сверх пестрых песчаников целой свитой слоев в тысячи метров мощности. Раковинный известняк, кейпер, лейас и более поздние юрские отложения — все они постепенно были уничтожены. Древние складчатые горсты (Франкония и Шварцвальд), теперь открытые, раньше также были под покровом названных осадков, от которых уцелели лишь кое-где жалкие остатки.

Рядом с этими «реликтами денудации», прекрасное представление о значении денудации дает нам глубоко проникающее разрушение верхних слоев складок горных пород, а также и более или менее полная нивелировка всех больших неровностей земной поверхности, некогда возникших в результате сбросов. Уже совершенно незаметны опускания на несколько тысяч метров, которые испытал Пфальцский триас на южной границе Саарбрюкенской каменноугольной области. Нивелирующей силой денудации уничтожены последние следы бывших некогда неровностей. Иногда можно на основании геологических фактов вывести заключение о скорости денудационного процесса: так например Бранка (Branca)¹ утверждает, что край Швабского Альба, который лежит теперь в 23 км к югу от Штуттгарта, в миоценовую эпоху находился вблизи этого города. Край Альба отступил в этот с геологической точки зрения короткий промежуток времени, и возможно, что не нужен слишком большой срок, чтобы уничтожить и остальные горы Альба шириной всего в 38 км и таким образом стереть с лица земли все отложения Альба.²

При изложении хода эрозионных процессов мы касались воззрений американского географа Девиса об образовании пeneпленов или «почти равнин» путем длительной размывающей деятельности рек. Гораздо скорее, чем от действия рек, можно представить себе возникновение более или менее ровной поверхности размыва или глыбовой поверхности вследствие денудации. Исследователи, подобные Госселе (Gosselet), держатся того мнения, что платообразная поверхность Рейнских сланцевых гор, а также Арденн, представляет собой исключительно результат долгой денудационной работы. Филиппи (Philippi) определенно утверждает, что глыбовая поверхность Франконско-Тюрингенских сланцевых гор есть результат «субаэральной денудации». По его мнению, они, как и Рейнские сланцевые горы, возникли в течение верхнего мезозоя и древнетретичного времени.³ Кроме этих областей, которые обычно называются «доолигоценными», но которые правильнее было бы назвать «досреднеэоценовыми», в германских горах (Рейнские сланцевые горы, Шварцвальд, Оденвальд) сохранились остатки поверхностей размыва еще более древних: пермских или допермских, которые определенно образовались действием денудации, а не морской абразии.

¹ J. Branca, Ein neuer Tertiärvulkan bei Stuttgart, Sonderabdr. Univers. Progr., Königsberg 1892.

² Это отступление зависит от того, что верхнеюрские известняки, образующие поверхность Альба, подстилаются менее устойчивыми породами. Вследствие того, что последние быстро разрушаются, они вызывают разлом венчающей их плиты, северный край которой при этом непрерывно медленно отступает на юг.

³ Philippi, Über die präoligozäne Landoberfläche in Thüringen, Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges., 1910, S. 304.

⁴ Strigel, Permische Abtragungsfäche im Odenwald, Verh. Naturhist.-Mediz. Ver., Heidelberg, Bd. II и XIII, 1912—1914.

Современные морфологи придают большое значение глыбовым поверхностям, потому что по ним различают периоды или циклы эрозия и. Согласно учению об изостазии при этом принимают, что за каждым образованием глыбовой поверхности следовало новое поднятие и новая эрозия, а следовательно начинался новый цикл.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МОРЯ.¹

В деятельности моря, как и в работе атмосферы и текучей воды, надо различать разрушающие и вновь созидающие процессы. Сообразно с огромной величиной океана, процессы эти протекают в грандиозных размерах. Это особенно относится к морскому прибою, всегда служившему главным фактором видоизменений земной поверхности, а также и к морским осадкам; вследствие необыкновенно широкого распространения этих осадков, отложение их представляет один из важнейших процессов образования горных пород.

1. Разрушающая деятельность моря.

Она обусловлена прибоем волн, т. е. постоянными ударами океана о берег, вызванными ветром, приливами и отливами и морскими течениями, а также и движениями воды, причина которых заключается в приливах и отливах.

а) Разрушение посредством прибоя. Оно совершается за счет механической силы набегающих на берег волн; большое значение вместе с тем, как и текучих вод суши, в качестве обтачивающих и истирающих орудий, имеют твердые тела, приводимые в движение волнами. К этому надо прибавить химическое воздействие морских солей, разрыхление горных пород связанными с ними животными и растениями, а в высоких широтах действие проникающей в трещины и расселины и замерзающей в них морской воды.

Разрушающее действие волн будет тем сильнее, чем они выше и чем быстрее они ударяются о берег; имеет также значение и направление их удара. Действие последнего будет наиболее сильно, если он будет направлен под прямым углом к берегу. При наличии крутого берега и неустойчивости образующих его пород, разрушающее действие будет возрастать. У плоских низменных берегов разрушение прибоем ограничено, здесь преобладает отложение. У крутых берегов оно, наоборот, очень велико и может сравниться с действием могущественнейших водопадов. Можно поэтому сказать, что открытые морские берега представляют места наиболее сильных постоянных разрушений горных пород. Надо при этом заметить, что влияние прибоя строго ограничено лишь верхней морской зоной и быстро уменьшается с глубиной; подводные сооружения не страдают поэтому от действия бурь. В Средиземном море на глубине 5 м, в Атлантическом океане на глубине 8 м они уже не разрушаются бурями; в каналах волны достигают не глубже 40 м, а в открытых океанах — 200 м.

Эрозия у берегов. В береговых утесах образуются углубления, жолоба и исполиновые котлы; у всех крутых отвесных

¹ Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, 2 Aufl., I, 1907; II, 1911.

берегов можно наблюдать еще образование пустот, пещер и скалистых ворот. Дальнейшее действие морской эрозии выражается в образовании шtrandовых или береговых терас, которые первоначально представляют собой пещерообразные жолоба в скалистых берегах, но постепенно отступают по направлению к матерiku

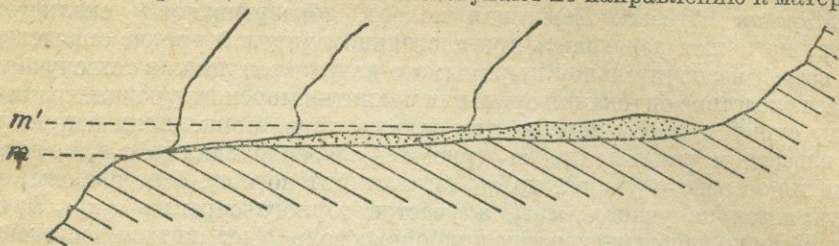


Рис. 132. Образование и постепенное расширение морской береговой терасы.

m и m' — наиболее низкий и самый высокий уровень воды.

и оставляют за собой ровную шtrandовую, береговую полосу, ограниченную сзади почти отвесной стеной, так называемым клиффом (рис. 132).

Само собой понятно, что быстрота действия эрозии зависит от способности сопротивления пород. Поэтому там, где берег состоит из чере-



Рис. 133. Скалы Хенчст и Нордгорн у берегов Гельголанд.

дования твердых и слабых пород, первые образуют береговые выступы и мысы, а вторые — бухты и заливы. Хорошие примеры ко всему вышесказанному представляют берега Шотландии, Ирландии и Бретани. Кроме того они служат хорошим доказательством постоянного разрушения (убыли) суши, происшедшего уже в течение исторического времени. Например остров Гельголанд (рис. 133), который еще в четвертичное время был соединен с материком, с тех пор уже оторвался от него и уменьшился. Само собой понятно, что особенно быстро происходит убыль суши там, где берег подвержен вековым колебаниям, как у германского и нидерландского берегов Северного моря. Море здесь несомненно на-

двигается на сушу, несмотря на огромное количество ежегодно приносимого реками Маасом, Шельдой, Рейном и Эмсом взвешенного материала.

Так возник в XIII столетии, как результат многократного вторжения моря, залив Зюдерзе, который еще во времена Тацита был сушей. Таким же образом в последнее тысячелетие образовались заливы Долларт и Яде.

Морская абразия. Береговая полоса, образующаяся у скалистого берега, не может переходить при постоянном морском уровне определенной, всегда незначительной ширины; это изменяется лишь в тех случаях, когда, вследствие опускания суши или поднятия морского уровня, граница между сушей и морем переносится дальше на материк. Если например, при известном уровне моря m_1 (рис. 134) берег доходил до a_1s_1 , то после поднятия морского уровня до m_2 он отступит до a_2s_2 , береговая тераса расширится на участок a_1a_2 , а участок горного берега $s_1a_1a_2s_2$ будет смыт. Если подобное наступание прибойных волн будет длиться достаточно долго, то вся горная цепь будет постепенно смыта до поверхности

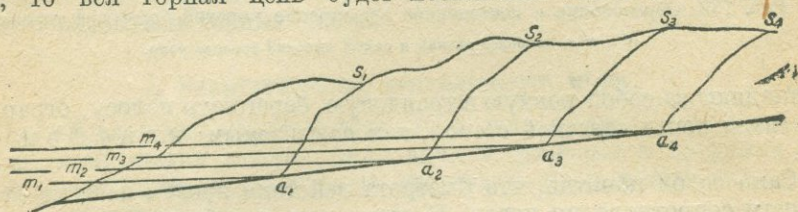


Рис. 134. Образование абразивной поверхности вследствие постепенного опускания материка.

$a_1a_2a_3$ и т. д. и превращена в ровное морское дно. Рихтгофен назвал этот нивелирующий процесс абразией. Им могут быть срезаны и превращены в низменные равнины не только мощные выступы высоких складчатых гор, но при благоприятных обстоятельствах могут быть сглажены и целые материки.¹

Заслуга Рихтгофена в том, что он первый указал на этот процесс совершенно исключительного значения.

Обыкновенно абразированные поверхности покрываются уцелевшими от смывания остатками, конгломератами, песчаниками, которые трансгрессивно и неравномерно залегают на более древних абразированных слоях.

В доказательство этого можно привести мощные конгломераты, лежащие в основании богемского кембрия, или значительно слабее развитые конгломераты, подстилающие германский цехштейн.²

По мнению Рихтгофена, прекрасный пример грандиозной морской абразии представляет собой Урал.³ Этот могучий хребет, разделяющий Европу и Азию, в западной своей половине состоит из палеозойских осадков, а в восточной — из кристаллических сланцев. Тот факт, что эти сланцы не оканчиваются Уральскими горами, но подстилают третичные осадки прилегающей азиатской равнины, доказывает, что эти горы первоначально продолжались далеко на восток. Но так как современная

¹ V. Richthofen, China, II, S. 766, 1882.

² Конгломерат такого же происхождения подстилает, например, мощную угленосную толщу Кузнецкого бассейна, трансгрессивно налегая на размытой поверхности ниже-каменноугольных отложений. Ред.

³ Kayser, Lehrbuch der Allg. Geologie, 1924, I, S. 650.

граница гор никоим образом не обусловлена ни сбросом, ни опусканием, то она может обозначать лишь предел абразии проникнувшего сюда из Азии третичного моря. Это море и смыло большую часть гор и даже под конец отшлифовало значительную часть центральной кристаллической зоны и превратило ее в плоскую равнину, падающую на восток.

Очень интересны известные нам, благодаря работам Барелля,¹ морские абразионные террасы, расположенные в Соединенных Штатах Америки между Атлантическим океаном и Аллеганскими горами, в так называемой Пьедмондской равнине. Эта широкая береговая равнина поднимается от моря к горам не равномерно, а целым рядом плоских, расположенных один над другим уступов. Под влиянием теории Девиса о пенепленах Пьедмондскую равнину рассматривали раньше как результат речной денудации, пока тщательные исследования Барелля не показали, что она возникла вследствие морской абразии. Древнейшие самые высокие террасы (лежащие около 700 м

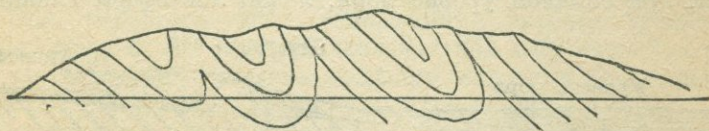


Рис. 135. Схема абразированной складчатой горной цепи (по Рихтгофену).

выше уровня моря) образовались в меловое время; более низкие, прилегающие к морю — в третичное и четвертичное время. По мнению Барелля, Северная Америка, начиная с мелового периода, находилась в состоянии медленного векового поднятия, которое совершалось не непрерывно, а с повторяющимися остановками и даже небольшими опусканиями, во время которых каждый раз море затопляло сушу и образовывало абразионную поверхность.

Абразионные террасы, сходные с Пьедмондскими равнинами, находятся также в части прежней германской Юго-западной Африки, где они образуют пояса шириной в 150 км, сопровождающие берег и постепенно поднимающиеся внутрь страны.

б) *Эрозионная деятельность морских приливов.* Сюда принадлежат так называемые ватты немецкого и голландского берегов Северного моря. Целые группы каналов и борозд образовались здесь на илистой морской поверхности, в результате ежедневного двукратного затопления приливами плоского берега. Эти каналы остаются наполненными водой даже во время отлива, когда мелкое морское дно, лежащее между ними, остается сухим и по нему можно безопасно ходить.

Так называемые эстуарии тоже являются результатом действия приливов: это — трубообразные расширения устьев рек, как например Эльбы, Везера, Темзы и т. д. Они образуются проникающим в устье реки приливом, который в виде волны высотой в несколько метров поднимается со скоростью от 60 до 150 км/час. Так как этим вызывается подпруживание речной воды, то подобные речные устья должны иметь размеры, способные сдержать все это задержанное количество воды. Приливы

¹ Barell, Amer. Journ. of Science, Bd. XLIX, 1920.

и отливы влияют следовательно как шлюзы; то открываясь, то закрываясь, они вызывают то запруживание, то, наоборот, опорожнение реки. Отлив идет с такой силой, что все отложившиеся во время прилива осадки уносятся. Это препятствует образованию дельты. Эстуарии и дельты взаимно исключают друг друга.

2. Созидающая деятельность моря.

Здесь необходимо сказать об образовании береговых валов или валов штранда (рис. 136). Особенно интенсивно они образуются, как и по берегам материковых озер, в период морских бурь. Каждая достигающая до берега волна несет с собой взвешенный материал, который выбрасывается на берег и нагромождается вдоль берега длинными валами. Береговые валы могут быть образованы лишь рыхлым материалом при переменном уровне моря; выброшенный при высоком стоянии воды материал, при обычном уровне моря, лежит вне сферы влияния волн.

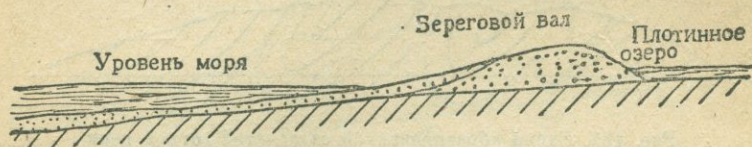


Рис. 136. Береговой вал с расположенным за ним плотинным озером.

Береговые валы образуются поэтому всюду, где приливы и бури постоянно изменяют морской уровень и где есть наносы и подходящие береговые условия для их образования. У крутых берегов они часто бывают прислонены непосредственно к скалам.

Особую форму береговых валов представляют собой *нерунги* (косы), узкие, длинные полосы суши. Они выступают впереди широких бухт и отделяют их от открытого моря, обращая в лагуны и гафы, которые в большинстве случаев соединяются с морем лишь посредством узкого пролива. Известными примерами подобного рода береговых валов служат *нерунги Куриш и Фриш*, длинные косы в 97 км с лежащими позади них гафами (*Куришгаф и Фришгаф*).

Подводные процессы морских отложений имеют большее значение, чем поверхностные.

Образование морских осадков. Морские осадки по происхождению отлагающихся веществ разделяются на механические, химические и органические. Все они могут встречаться в чистом виде без иных примесей; но большая часть всех морских отложений состоит из смешения механических, химических, а часто и органических веществ. Осаждению взвешенных в морской воде веществ очень способствует то, что в соленой воде они гораздо быстрее садятся на дно, чем в пресной.

Этим объясняется, почему большая часть приносимых в море твердых частиц отлагается уже вблизи берегов, и только самая небольшая часть попадает во внутренние глубокие морские бассейны. Лишь для самых мельчайших частиц не существует никакого ограничения в распространении: они не только исключительно далеко уносятся морскими течениями, но могут быть развеяны по всей земле и ветрами.

По почину Меррея (Murray) и Ренара (Renard)¹ уже давно различают два главных класса морских осадков: 1) береговые или литоральные осадки и 2) глубоководные, или пелагические осадки.

1) *Береговые* или *прибрежные осадки* образуются вблизи берегов, на небольшой морской глубине, преимущественно из разрушенных и свесенных частей береговых пород и вообще суши. Их разделяют на 1) отложения мелкого моря и 2) отложения более глубоких вод. Отложения мелкого моря в свою очередь делят на отложения береговые и отложения шельфов.

1. Отложения мелкого моря образуются в мелководной полосе, которая окружает материки и острова и включает их шельфы. Ширина этой полосы равняется в среднем 250 км, а глубина ее не превосходит 200 м. В свою очередь они распадаются на:

а) *Береговые (прибрежные) отложения*. Отложения самой верхней береговой зоны, которая в периоды отлива не покрыта водой. Они характеризуются отложениями грубого гравия, песка, остатками раковин и сложной диагональной слоистостью, бороздами, трещинами высыхания и следами ползания животных. Сюда принадлежат устричные и раковинные банки, коралловые рифы.

б) *Отложения шельфов*. Сюда относятся отложения немого более глубокой береговой зоны, лежащей между 20 и 200 м глубины и принадлежащей преимущественно шельфу. Отложения состоят из более тонких правильно наслоенных песков. Это — самые распространенные современные мелководные отложения.

2) *Отложения более глубокой береговой полосы, или гемипелагические отложения Крюммелля (Krummell)*. Они образуются от берега на глубине, превышающей 200 м и до 400 м, и состоят из тонкого измельченного материала горных пород, из «терригенового ила». Его называют еще *береговым илом*.

Сюда принадлежат: а) темные (голубые) илы, окрашенные сернистым железом, и, как их разновидность, красные илы, окрашенные латеритом, б) зеленоватый, содержащий глауконит² (зеленый ил), в) известковые пески и известковые илы, встречающиеся особенно часто вблизи коралловых островов.

II. *Отложения глубокого моря*. Они отлагаются за пределами береговых осадков, внутри больших океанических бассейнов на глубине 700 — 900 м и далее почти до глубины 10 000 м. Их распространение исключительно велико: отложения глубокого моря занимают не менее половины земной поверхности. Они образуются чрезвычайно медленно и преимущественно за счет остатков организмов. Кроме того они характеризуются большим однообразием в фациальном и фаунистическом отношениях. Среди глубоководных отложений различают отложения: 1) богатые известью, 2) бедные известью и 3) совершенно лишенные извести.

¹ Murray et Renard, *Sédiments de mer profonde*, Bull. Mus. Roy. d'hist. nat. Belg., III, p. 25, 1884; K. Andrée, Geol. Rundschau, 1912 и 1916; тот же автор, *Geologie des Meeresbodens*, Bd. II, Leipzig 1920.

² *Глауконит* — водный железистый алюмосиликат с содержанием калия, один из немногих силикатов, образующихся в современном мелком море (повидимому под влиянием органических кислот ила).

1. Известковые пелагические осадки встречаются на глубине от 7 000 м и более. Сюда принадлежат: а) глобигериновый ил, известковый ил от беловатого до сероватого цвета, состоящий преимущественно из раковин пелагических фораминифер (глобигерин) (рис. 137); это — самый распространенный из всех морских осадков; б) его разновидность — птероподовый ил состоит преимущественно из раковин птеропод и гетероподия.

2. Безизвестковые пелагические отложения — преимущественно осадки абиссальных океанических впадин. Сюда главным образом принадлежат глубоководные красные глины:

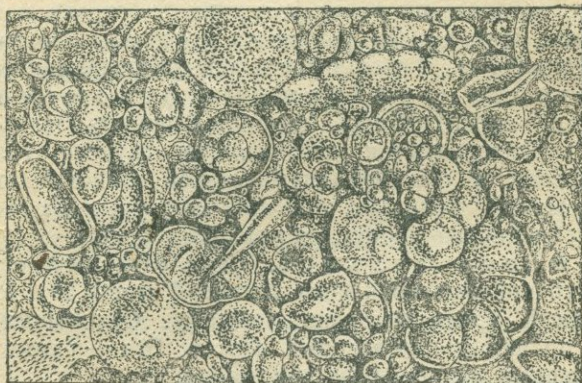


Рис. 137. Глобигериновый ил, увеличенный в 20 раз (по Меррею и Ренару).

в свежем виде это пластическая глина, лишенная извести и окрашенная окислами железа в красный цвет. Она заполняет глубочайшие морские впадины наряду с глобигериновым илом и представляет распространеннейший тип морских отложений. Радиолариевый ил представляет собой местную разновидность красных глин. Это — глина от темношоколадного цвета до соломенно-желтого с примесью организмов, имеющих кремневую раковину (радиоларии, иглы кремневых губок). Сюда же принадлежит окремнелый желтоватый диатомовый ил, встречающийся преимущественно в высоких широтах.

На основании изложенного различные морские осадки можно распределить следующим образом:

I. Прибрежные отложения	{ 1) отложения мелкого моря { а) отложение штранда { б) отложения шельфа
II. Глубоководные отложения	{ 1) богатые известью { а) глобигериновый ил { б) птероподовый ил
	{ 2) бедные известью или лишенные извести { а) красная глубоководная глина и радиолариевый ил { б) диатомовый ил

Геологические фации. Этим термином обозначают всю совокупность особенностей какого-нибудь слоя. Три главных фации наиболее резко отличаются друг от друга: фация изверженных пород, континентальная фация и морская фация. О фации изверженных пород мы здесь не будем говорить; о континентальной фации мы только заметим, что она в частности бывает очень разнообразна и что ее, в свою очередь, можно разделить на эоловую (лесс и летучие пески), речную (отложения дельт), флювиогляциальную и озерную (травертины, минеральные угли), лагунную (гипс и соль) и др. Подробнее мы рассмотрим здесь лишь морскую фацию.

Главные различия обозначаются терминами: литоральные, пелагические и абиссальные осадки; они совпадают в главных чертах с теми различиями, которые зависят от того, на какой глубине и в каком расстоянии от берега, возникли эти отложения. Это прежде всего сказывается на их петрографическом и палеонтологическом составе. Отложения, образовавшиеся вблизи берегов, представляют собой крупные, песчанистые конгломераты, но по мере удаления от берега и возрастания глубины они переходят в более тонкие осадки; сначала идут пески, далее различные иловатые образования, затем известковый ил и наконец, вследствие растворения известки содержащейся в воде углекислотой, — чистый глинистый ил. Уже на основании петрографического состава можно вывести заключение об условиях образования данного осадка. Существуют кроме того и другие признаки.

Отложения литоральной фации отличаются неправильной слоистостью, волноприбойными знаками, следами ползания животных, трещинами высыхания, истертой галькой. Встречающиеся здесь ископаемые имеют преимущественно толстую раковину, бывают окатаны и разбиты; кроме того здесь попадаются остатки принесенных с берега наземных растений и животных. Сюда же принадлежат устричные банки всех формаций, гишуриты, неринеи и другие подобные известковые образования, а также кораллы, известковые водоросли, бризоии и другие рифовые известняки (рифовая фация).

Отложения фации мелководного моря преимущественно песчанистые, но более тонкозернистые и наслоенные более правильно; находящиеся в них ископаемые обладают более нежной раковинной и лучшей сохранностью. Сюда принадлежат многие морские песчаники (альпийский молассовый песчаник и флиш, рейнский спириферовый песчаник, многие кварциты, зеленые меловые пески и др.).

По почину Ога (Naug) и других французских геологов, теперь принято называть обе эти фации мелководных образований, отложенные на глубине от 0 до 200 м, перитическими.

Раньше к пелагической фации причисляли также и отложения, возникшие на глубине в среднем от 200 до 1 000 м, соответствующие главным образом современным цветным береговым илам. Теперь их называют батальными, — термином, введенным в употребление тоже французскими геологами. Осадки батальной зоны отличаются еще более тонкопесчанистым и мергелистым составом, а главным образом содержанием глины и мергеля. Среди ископаемых большую роль играют обитатели открытого моря — цефалоподы, птероподы, двустворки с тонкими раковинами и одиночные кораллы в форме бокала. Сюда принадлежит большинство мергелисто-известковых отложений всех систем.

Отложения фации глубокого моря во всех системах встречаются очень редко; сюда принадлежат: радиоляриевый мергель, некоторые кремнистые породы (кремнистый сланец, радиоляриты). Отложения абиссальных глубин нигде с достоверностью не известны.¹

Фации могут изменяться как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Появляющиеся внезапно конгломераты всегда указывают на изменения в условиях отложения и иногда на наличие стратиграфического перерыва. Далее легко понять, что всякое значительное изменение морской глубины отражается на составе осадков. При поднятии и опускании все точки морского дна последовательно проходят весь ряд вышеперечисленных фаций.

В натуре часто встречается следующая последовательность пород: конгломераты, песчаники, известняки и глины, кремнистые породы или наоборот. Хорошим примером служит германский к у л ь м. Повидимому на значительной глубине отложился основной кремнистый сланец с радиоляриями; покрывающий его сидониевый сланец образовался вероятно уже на меньшей глубине; над ними лежат литоральные серые важки, сначала тонкозернистые, но постепенно переходящие в грубые береговые конгломераты; на них наконец залегают озерные отложения продуктивной каменноугольной толщи. Само собой разумеется, что подобная последовательность может быть и нарушена и изменена целым рядом разнообразнейших влияний (изменения течений, колебания уровня, оледенения и т. д.)

III. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОРГАНИЗМОВ.

Здесь, как и в деятельности атмосферы и воды, нужно различать процессы разрушения и образования.

РАЗРУШИТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ.

Здесь надо отметить влияние растений на выветривание горных пород и на образование почвы. Они действуют не только механически, образуя пустоты и трещины, но и химически, растворяя и разлагая. Важное значение при этом преобразовании имеют углекислота и гумусовые вещества, получающиеся при разложении отмерших растений. Лишь с примесью этих гумусовых веществ верхние слои почвы образуют то, что называется перегноем или плодородной почвой, т. е. смешение продуктов разрушения горных пород с остатками разложившихся растений.

Нами уже раньше было подчеркнуто значение гумусовых веществ при разложении горных пород; при этом было отмечено, что при выветривании с помощью гумуса удаляются не только щелочи и щелочные земли, но и железистые соединения, пока не останется состоящая почти из чистого кремния подзолистая почва. Широко распространенный в лесных и рав-

¹ Возможно, за них надо считать известные красные, лишенные извести юрские и меловые породы с радиоляриями с Борнео и Тимора. В них Моленграф (Molengraaf) нашел марганцовые стяжения, очень характерные и для современных глубоководных океанских отложений (Koninkl. Akad. Wetensch., Bd. XVIII, S. 415, Amsterdam, 1915).

нинных областях северной Германии и СССР подзол и является именно таким образованием, тогда как сопровождающий его орт-

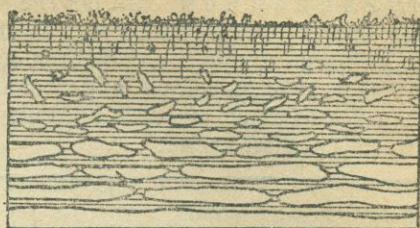


Рис. 138. Образование почвы.

штейн представляет собой вследствие выпадения гуматов песчаник, окрашенный в цвета от ржавого до черного.¹

Как показали новейшие исследования, наряду с высшими растениями разрушению горных пород сильно способствуют и низшие и особенно бактерии.

Особое значение имеют при этом нитрифицирующие бактерии. Благодаря своим ничтожным размерам, они проникают в тончайшие поры и трещинки горных пород и, после своей смерти, выделяют в виде гумусовых соединений захваченные ими из воздуха углекислоту и азот, давая этим первый толчок разрушению горных пород.

Морские сверлящие моллюски, выкапывающие норы в земле мыши, кролики, дождевые и многие морские черви доказывают, что и животные могут проявлять разрушительную деятельность.

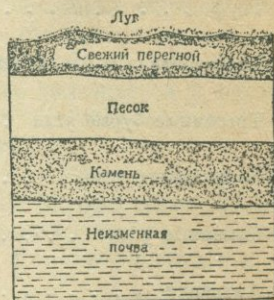


Рис. 139. Разрез через подзол и ортштейновый слой в северной Германии.

СОЗИДАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ.

Одним из самых важных процессов такого рода является усвоение растениями углерода из углекислоты воздуха и связанное с этим образование минерального угля.

Растительная масса, состоящая главным образом из клетчатки или целлюлозы (состава $C_6H_{10}O_5$) и около 30% лигнина, при истлевании на открытом воздухе распадается, при содействии бактерий, на газы простого состава, в особенности на углекислоту и воду. При таком процессе, называемом гниением, не образуется твердых углеродистых веществ.

Совершенно иначе протекает процесс разложения при недостаточном доступе воздуха или же при полном его отсутствии, например под водой. В этом случае также образуются CO_2 и H_2O . Но рядом с ними получается еще болотный газ или метан (CH_4); а так как при этом процессе

¹ Ramann, Bodenkunde, 3 Aufl., 1911, S. 199.

водород и кислород выделяются быстрее, чем углерод, то количество последнего накапливается по мере хода процесса.

Вот в кратких словах то химическое превращение, которое называют **обугливанием** или **обуглероживанием**. В данном случае повидимому отсутствует деятельность бактерий. В противоположность процессу тления здесь процесс начинается превращением растительного вещества в торф и заканчивается образованием антрацита, а иногда графита.¹ Что действительно процесс протекает в этой последовательности, показывает следующая схема:

	С	Н	О
Древесная целлюлоза ²	50	6	44
Торф {	55	6	39
	60	6	34
Послетретичные сланцеватые угли . . . {	57	}	—
	63		
Третичные бурые угли {	66	}	5 {
	70		
			25
Кеннельские угли {	75	6	}
	80	5	
Каменные угли {	80	6	14
	90	4	6
Антрацит {	94	}	3 {
	96		
Графит	100	—	—

С увеличением обуглероживания растет и удельный вес. Для бурого угля он равняется лишь 1,2 — 1,4, для каменных углей — 1,25 — 1,5, для антрацита — 1,5 — 1,7 и для графита — около 2.

Самое молодое, находящееся до сих пор в процессе образования ископаемое горючее — торф — обладает самым неполным, незаконченным обуглероживанием. Он соединяется постепенными переходами с такими, у которых обуглероживание достигло высших степеней, — с антра-

¹ С этим утверждением автора нельзя согласиться — образование торфа, происхождение каменного угля и антрацита представляют различные процессы, а не являются звеньями одной цепи. Многие ученые необходимым условием этих процессов считают жизнедеятельность микроорганизмов. *Ред.*

² По исследованиям Франца Фишера (Fischer) и Шрадера (Schrader) (Über die Entstehung und chem. Struktur der Kohle. Brennstoff. Chemie, II, S. 37, 1921), настоящим материнским веществом торфа, равно как и бурых каменных углей, является не целлюлоза, а лигнин. В то время как целлюлоза быстро уничтожается вследствие деятельности бактерий, содержание лигнина с возрастом угля все увеличивается. Сначала из лигнина образуется гуминовая кислота, а из гумина вследствие дальнейшего выделения H_2O , CO_2 и CH_4 , и следовательно дальнейшего обуглероживания — бурый или каменный уголь. Но Потонье (Potonié) (№ 20 и 39 Braunkohle, 1922) считает, что геологические и палеонтологические факты противоречат этому положению. Было бы правильнее принять, что в углях имеются продукты распада не только лигнина, но и целлюлозы.

цитом и графитом¹. Что процесс углеобразования не закончился и у самых древних углей, доказывает постоянное выделение в угольных шахтах углекислоты и рудничного газа метана (CH_4), который вызывает такие опасные рудничные взрывы.

Степень обуглероживания зависит не только от возраста угля: высокая температура и давление могут ускорить этот процесс и сократить время превращения. Этим объясняется наблюдаемое часто в контакте с изверженными породами превращение бурого угля в антрацит, например у Мейснера в Гессене. Подобным образом действует и дислокационный метаморфизм. Мы можем иметь представление о способе образования минеральных углей, изучая образование современных болот.²

Уже Броньяр (Brongniart), этот «отец науки об ископаемых растениях», призвал, что каменные угли образовались на месте произрастания растений. Когда затем в нижнем течении Миссисипи обнаружили громадные скопления пловучего леса, вполне, казалось, удовлетворявшие условиям образования мощных залежей каменного угля, стали считать, что уголь образовался из наносного леса путем следовательно не автохтонным, а аллохтонным. Это новое воззрение господствовало долго, и лишь в последнее десятилетие опять склонились к прежнему мнению, что большинство каменноугольных залежей отложилось на месте произрастания образовавших их растений.

Сильнее всего опровергает аллохтонную теорию огромное протяжение продуктивных каменноугольных слоев, занимающих часто сотни³ квадратных километров, а также их мощность, часто не меняющаяся на огромном расстоянии, и отсутствие в них посторонних примесей.

В пользу автохтонного происхождения угольных залежей свидетельствуют часто находимые вертикальные древесные стволы, прикрепленные корнями к глинистому или песчаному слою, подстилающему уголь, а также и прекрасная сохранность самых нежных частей растений (листьев папоротника) в сопровождающих каменные угли глинистых сланцах.

Наоборот, доказательством в пользу аллохтонного происхождения каменноугольного пласта можно считать его небольшое иногда протяжение, быстрое выклинивание, различные в нем посторонние примеси и плохую сохранность тонких частей растений.

Большая часть мощных и широко распространенных залежей бурого и каменного углей рассматриваются теперь как автохтонные. Гораздо реже встречаются аллохтонные угли. К ним причисляют каменноугольные залежи Лобеюна и Штокгейма, а также отмеченные большим содержанием водорода угли типа богхеда с Haliserites из нижнего девона Нейкирхена в Эйфеле; их кроме того рассматривают как угли, образовавшиеся

¹ С этим «постепенным переходом» автора нельзя согласиться. Торфяно-антрацитовая теория теперь оставлена. Нет прямой зависимости между возрастом угля и его свойствами. Могут быть угли типа бурых палеозойского возраста (подмосковные нижне-каменноугольные угли) и молодые каменные угли (типичные каменные консующиеся угли Сахалина третичного возраста). *Ред.*

² Potonié, Entstehung der Steinkohle usw., 5 Aufl., Berlin 1910.

³ Даже тысячи и десятки тысяч квадратных километров, например Донецкий и Кузнецкий бассейны. *Ред.*

из скоплений морских водорослей. В Швейцарском молассе наряду с типичными автохтонными углями находятся и сомнительные аллохтонные.¹

Колоссальные скопления пловучего леса в низовьях Миссисипи, известные под именем «rafts», необыкновенные количества леса, извергающиеся с высоты почти отвесных (до 70°) берегов в новозеландские фиорды, затем огромные скопления леса (преимущественно сибирской лиственницы) у берегов Новой Земли, Гренландии и Ирландии, дают нам понятие о том, как могло идти образование аллохтонных месторождений. Мы не можем вполне отказаться от аллохтонной теории происхождения каменного угля, хотя бы девять десятых всех залежей каменного угля и образовались автохтонным путем.

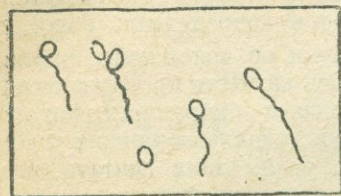


Рис. 140. Морские бактерии, выделяющие известь, — Florida Keys. Сильно увеличенные (по Колерману и Смуту).

Еще большее значение, чем образование минеральных углей, имеет отложение в море мощных известковых осадков как результат деятельности растений и главным образом животных.

В открытом океане нет ни одного из тех условий, при которых может выпасть из одного раствора углекислая известь. Из теплой воды известь выпадает потому, что углекислота, которая держит в растворе карбонат, улетучивается при обычном атмосферном давлении. Из холодной воды осаждается известковая накипь тогда, когда испаряется вода с содержащейся в ней углекислотой. В свою очередь вода должна была бы на три четверти испариться, раньше чем могло бы последовать осаждение извести. Но после испарения несколько более чем одной трети воды начинается выделение гипса. Таким образом осаждение всего находящегося в море гипса должно было бы закончиться раньше, чем сделалось бы возможным осаждение извести. Но так как трудно себе представить, чтобы большое количество воды могло испариться на одну треть, то мы не можем принять, по крайней мере для открытого океана, осаждения извести химическим путем; многочисленные мощные и широко распространенные морские известковые отложения всех систем скорее всего органического происхождения.

Раньше считали, что организмы заимствуют выделяемую ими известь непосредственно из морской воды. Но судя по тому, что карбонат кальция почти отсутствует в воде открытого моря, это мало вероятно; гораздо правдоподобнее, что животные получают известь путем замещения образующегося в их теле карбоната натрия и аммония находящимся в большом количестве в морской воде сульфатом кальция.

Количество отнимаемой у моря деятельностью организмов извести едва ли может быть правильно подсчитано. Среди растений и известковых водоросли (*Lithothamnium* и др.), которые определенно живут за счет извести, выделяемой морской водой, имеют существенное значение в образовании многих известняков (третичный лейтапоровый и нуплипоровый известняки, гипорелловые и диплопоровые известняки

¹ Возможно, что к типу аллохтонных углей в СССР можно отнести многозольные угли Кизеловского месторождения на Урале; угли же Донецкого и Кузнецкого бассейнов в большинстве автохтонные. *Ред.*

альпийского триаса). Среди животных, способствующих образованию известняков, надо указать многочисленных моллюсков, плеченогих, мшпанок, иглокожих и т. д., в особенности же фораминифер и кораллов. Значение глобигерин и других фораминифер при образовании органического глубоководного ила было уже затронуто. Мы сейчас подробнее остановимся на грандиозных сооружениях рифообразующих кораллов.

Согласно новейшим утверждениям Гарольда Дрю (Drew),¹ большую оставшуюся до сих пор неясной роль при осаждении известняков играют известные денитрифицирующие (поглощающие азот) бактерии или нитробактерии, в особенности *Bacterium (Pseudomonas) calcis* (рис. 140).

СОВРЕМЕННЫЕ И ИСКОПАЕМЫЕ КОРАЛЛОВЫЕ РИФЫ.

Распространение строящих рифы кораллов, насколько до сих пор известно, ограничено тропическим морем, и притом лишь его верхней зоной, не более 40 м глубины. Сооружения их встречаются в трех видах: в виде береговых рифов, в виде барьерных рифов и атоллов. Первые находятся непосредственно у берегов, вторые лежат в известном отдалении, а

третьи образуют в мелком море замкнутые кольца вокруг лагун. Измерением посредством лота установлено, что некоторые барьерные рифы и атоллы поднимаются с глубины многих сотен и даже тысяч метров.

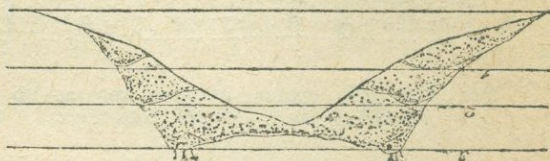


Рис. 141. Превращения берегового рифа в барьерный риф и атолл (по Дарвину).

Дарвин (Ch. Darwin)² считал, что кораллы первоначально селились в мелком море; по мере опускания морского дна они должны были надстраивать все выше свои постройки, потому что могли жить лишь вблизи морской поверхности. Вначале эта теория встретила большое сочувствие: она просто объясняла способ, которым вследствие продолжительного опускания береговой риф (рис. 141, положение 1) превращается в барьерный (положение 2), и наконец после окончательного исчезновения того острова, у которого кораллы поселились первоначально, образуется атолл. Позднее она встретила возражение со стороны зоологов; но геологи не оставили ее совсем, потому что лишь дарвиновской теорией можно удовлетворительно объяснить громадную мощность ископаемых коралловых рифов, во много раз превосходящую своими размерами глубину морской зоны, в пределах которой кораллы могут жить.

Что геологи правы, доказывает знаменитое бурение, произведенное на атолле Фунафуту в южной части Тихого океана в конце прошлого столетия; там почти до глубины 400 м продолжался коралловый известняк, причем под конец он состоял из *Milleropora* и *Pocillopora*, т. е. из мелководных форм.³

¹ Drew, Publ. Carnegie Inst. № 182, Wash. 1914.

² Darwin, Bau und Verbreitung der Korallenriffe, Gesammelte Werke, Bd. XI.

³ The atoll of Funafuti, Report coral reef. comm. Roy. Soc., Lond. 1904.

Ископаемые рифы известны во всех системах. Они не всегда состоят из одних только кораллов, часто также из *Stromatopora*, мшанок, губок, известковых водорослей и т. д. Они могут быть до нескольких сот метров мощностью, залегают сплошными неслоистыми массами между обыкновенными слоистыми пластами осадочных пород, в которые они вклиниваются языками, или линзами.

Ископаемые углеводороды земной коры состоят главным образом из соединений метанового ряда состава C_nH_{2n+2} . Самыми распространенными среди них являются метан или рудничный газ (в состоянии газообразном), нефть (в жидком состоянии) и асфальт (твердый).

Нефти или минеральные масла приурочены особенно часто к седлам антиклиналей и часто заполняют там большие подземные пространства. Главными областями добычи нефти являются Соединенные штаты и окрестности Баку на Каспийском море.¹ В Германии нефть



Рис. 142. Риф среднедевонского кораллового известняка. Вилламевиля, Нью-Йорк.

добывается преимущественно в Ганновере и Эльзасе. Теперь обычно считают, что нефть органического происхождения и что она образовалась из растительных и животных жиров. Потонье видит главный источник образования нефти в так называемых гнилостных илах или сапропелях.

Местные выделения рудничного газа производятся сальзами или макалубами (в Италии и в Крыму). Так как одновременно с газами часто выбрасывается и глинистый ил, здесь могут образоваться плоские холмы, по которым текут потоки ила; их поэтому называют «грязевыми вулканами», хотя по существу они конечно совершенно отличаются от вулканов.

Проф. Самойлов доказал, что многие интересные месторождения минералов в морских и пресноводных осадках обязаны своим происхождением главным образом деятельности организмов. Таковы например стяжения тяжелого шпата (барита), необыкновенно широко распространенные в верхнеюрских глинах северо-востока Европейской части СССР и образующиеся на дне современных морей; сюда же надо отнести месторождения целестина в верхнем мелу на востоке Каспийского моря и в Туркестане; а также некоторые железистые и марганцевые конкреции и т. п.

¹ Необходимо упомянуть обширный Грозненский район на Кавказе, дающий за последнее время много фонтанной нефти; важное значение для нас имеют также Урало-Эмбенский район и новые месторождения нефти — Сахалинские и Уральское.

Самойлов считает, что здесь имеют место биохимические процессы, вследствие которых некоторые вещества, встречающиеся в воде только в очень ничтожных, почти незаметных количествах (например Ba и Sr), накапливаются в телах животных и растений и служат источниками для образования названных минералов (барит, целестин). Минералы, возникшие таким путем, Самойлов называет биолитами.

Тот же исследователь предполагает органогенное происхождение и для других минеральных образований, например для широко распространенных пермских медных руд. Он при этом основывается на присутствии редких металлов в крови различных организмов.¹

В. ЭНДОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ (ВНУТРЕННЯЯ ДИНАМИКА).

Совокупность относящихся сюда процессов может быть разделена на две больших группы: I) явления вулканических извержений и II) процессы движения литосферы. Эти последние можно разделить на: 1) землетрясения или сейсмические процессы, 2) горообразующие процессы, 3) дислокационный метаморфизм и 4) вертикальные перемещения частей земной коры.

I. ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ.

Под вулканическими извержениями подразумевают все явления, связанные с процессом поднятия горячих газообразных, жидких и твердых веществ из недр земли. О вулканизме нельзя судить лишь по той форме, в которой он проявляется на нашей Земле. С его проявлениями мы встречаемся и на других небесных телах, но в той форме, которая соответствует существующим там условиям. Мы знаем, что так называемые солнечные протуберанцы представляют собой колоссальные извержения газов; мы уже видели раньше, что тела, из которых произошли метеориты, а равно и Луна имели свои вулканы. Следовательно, как уже отмечали Чермак², Зюсс, Штюбель (Stübel) и др., вулканизм свойственен не исключительно Земле, но представляет явление космическое, которое вместе с Бранка можно в общем понимать, как всякий выход на поверхность единственным путем раскаленных или расплавленных внутренних масс какой-нибудь звезды. Как доказывает только что упомянутый исследователь,³ пока звезда находится в состоянии холодной туманности, на ней не происходит явлений, которые можно было бы назвать вулканизмом. Лишь после того как она вследствие уплотнения (или радиоактивных процессов) перейдет в раскаленное состояние, наступает первоначальная фаза

¹ Samoiloff, Paläophysiologie (Paläochemie) und ihre geologische Bedeutung, Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. LXXIV, Mon. Ber., S. 227, 1922.

² Tchermak, Über den Vulkanismus als kosmische Erscheinung, Sitzungsber. d. Wien. Akad., 1887.

³ Branka, Die vier Entwicklungsstadien des Vulkanismus, Sitzungsber. d. Berl. Akad., 1915.

вулканизма, проявляющаяся в вихрях раскаленных газов, как например мы наблюдаем это в солнечных протуберанцах. Позднее, по мере охлаждения образуется жидкое ядро, вместе с раскаленными газами выбрасываются и расплавленные массы (магма). Этим начинается вторая фаза вулканической деятельности. При дальнейшем развитии звезды, после того как образуется кора охлаждения, вулканические извержения начинают оставлять прочные следы на местах извержений. Эту третью фазу вулканизма представляет нам поверхность Луны с ее бесчисленными пирками. Они возникли по всей вероятности вследствие взрыва исполинских газовых пузырей, сперва поднявшихся в виде вздутия тонкой коры охлаждающегося мирового тела, потом провалившихся внутрь. Последнюю, высшую фазу в развитии вулканической деятельности при сильно уплотнившейся коре охлаждения представляет наша Земля. Вулканические явления проявляются на ней очень разнообразно, но всюду ее кора прорывается лишь в самых слабых и тонких частях и всегда лишь соответственно небольшими штокообразными массами или горловинами. Наконец в старческом возрасте звезды, связанном с сильным охлаждением, потерей газов и развитием мощной коры, вулканизм совершенно замирает. В тех случаях, когда вулканическим массам удастся достигнуть поверхности, они образуют поверхностные извержения, которые ведут к образованию кратеров, конусообразных гор накопления, а иногда и плоских или иного вида накоплений массивных изверженных пород. Подобные извержения имеют место как на материках, так и в морских глубинах.

Как мы уже раньше упоминали, при вулканических извержениях выбрасываются газообразные, жидкие и твердые вещества. Между ними главное значение принадлежит магме, расплавленной, горячей, пропитанной газами силикатовой массе. При застывании магмы большая часть содержащихся в ней газов улетучивается, остаток представляет собой или пористую лаву или массивные изверженные породы.

Однако не всегда расплавленные массы могут достигнуть поверхности; часто они застывают в пути. Так образуются интрателлурические или глубинные извержения, результаты которых делаются доступными наблюдению лишь после того, как в течение последующих геологических периодов будет снесен лежащий на них слоистый покров.

Вулканические извержения были научно исследованы лишь в последнее время. Вернер и представляемая им школа нептунистов свели их до степени подземных пожаров местного значения. Только Гумбольдт (Humboldt) и Бух, эти немецкие основатели школы вулканистов, впервые объяснили их расплавленным состоянием внутренних частей земного шара. Согласно предложенной ими теории поднятия вулканы образовались благодаря пузырьобразному вспучиванию поверхности, следовательно благодаря поднятию ее по вертикальной оси.

Если бы вулканы действительно возникали таким образом, можно было бы встретить такие вулканы, которые — по крайней мере в своих нижних частях — состояли бы не только из вулканических, но и из осадочных пород, например песчаников, известняков и т. д. Затем надо было бы ожидать, что не только слои самого вулкана, но и подстилающих его осадочных пород всюду падают к периферии от центральной оси горы. Однако

это нигде не подтверждается. Наоборот, все наблюдения показали, что слои самого вулкана и подстилающих его пород залегают совершенно независимо друг от друга. Во многих случаях подстилающие слои лежат совершенно спокойно, ничем не нарушенные, тогда как слои самой огнедышащей горы всегда закономерно падают наружу, т. е. имеют «перекли-нальное» слоистое строение (рис. 143).

Ляйелль и Скром (Scrope) еще в середине прошлого столетия заменили теорию поднятий теорией накопления. Согласно этой теории вулканические горы возникли оттого, что вулканический пепел, песок и лавы накаплиются в виде конуса вокруг кратера канала извержения.

Хотя теория поднятия и может считаться теперь опровергнутой, но все же надо заметить, что в последнее время условно возвращаются к представлениям Буха-Гумбольдта: в некоторых частных случаях изверженная магма бывает в состоянии вызвать небольшие поднятия и нарушения прорываемых ею слоев.

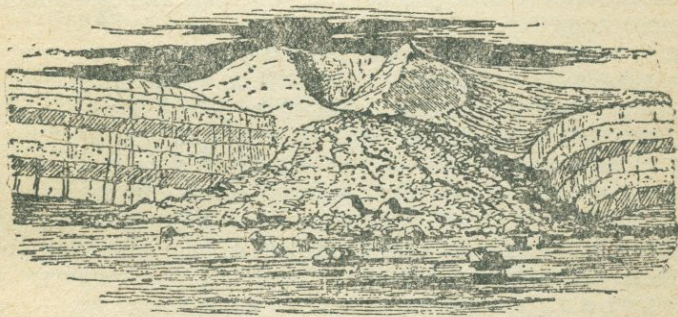


Рис. 143. Шлаковый конус с потоком лавы на полого лежащих третичных осадках. Аукленд, Новая Зеландия.

Дальнейшим успехом новейших вулканических исследований является установление того факта, что не все вулканы, как это считалось раньше, приурочены к большим трещинам и линиям разлома земной коры, что часто вулканы расположены совершенно независимо от трещин. Положение это с большой энергией защищал Бранка.¹

Другая новая теория о периферических вулканических очагах принадлежит Штюбелю.² Эта теория, основываясь на большой мощности коры охлаждения, опровергает прежнее представление о происхождении вулканов из одного общего расплавленного очага, лежащего глубоко внутри земного шара. По Штюбелю, уже в первое время существования Земли, благодаря массовым извержениям, поверхность охлаждения образовалась замкнутая оболочка, так называемый «панцирный покров» (Panzerdecke), который не могли прорвать никакие позднейшие извержения. Все последующие извержения исходили уже не из центрального очага, а из периферических, замкнутых, постепенно истощающихся очагов магмы, которые при достаточной величине могли в течение миллионов лет оставаться в жидком состоянии.

¹ Branca, Neues Jahrb. f. Min. 1898, I, S. 175.

² Stübel, Vulkanberge von Ecuador usw., Berlin 1897.

Нельзя отрицать, что на основании этого положения делается понятным столь быстрое истощение некоторых вулканических областей (Эйфель, Овернь). Это было бы трудно объяснить, предполагая, что они питаются из центрального земного очага. Хорошо также объясняется столь часто наблюдаемая полная независимость соседних вулканов друг от друга: один из них может быть деятельным, в то время как другой будет находиться в полном покое. Мнение Штюбеля о том, что магма происходит из очагов земной коры, а не из недр земного шара, мы считаем бесспорным, потому что по новым воззрениям земное ядро состоит из металлов (никеля и железа), тогда как все наши изверженные породы образованы силикатами. Тем не менее теория Штюбеля не в состоянии объяснить все совершающиеся явления. Так не выяснено, почему вулканическая деятельность проявлялась столь неравномерно в различные геологические периоды и почему на громадном протяжении изверженные породы некоторых геологических периодов носят совершенно определенный по своему химическому и минеральному составу характер. Этим последним фактом воспользовался Беке (Becke) для установления больших петрографических провинций.

Мы уже раньше отделили поверхностные извержения от глубинных. Глубинные извержения образуют батолиты и лакколиты; среди поверхностных извержений уже давно различают: 1) обычные извержения, которые приводят к образованию кратеров и вулканических конусов, и 2) так называемые массовые извержения, которыми создаются мощные лавовые покровы, типа базальтовых покровов Исландии и других областей. Извержения первого рода направляются от центральной вертикальной оси, во втором случае излияния происходят вдоль трещин. Американский геолог Дэли (Daly)¹ и другие называют первые центральными извержениями, вторые — трещинными. Третьей формой извержений Дэли считает проплавающие извержения — могучие инъекции магмы типа батолитов, которым удается после расплавления выше лежащей слоистой толщи достигнуть поверхности и здесь образовать эффузивные горные породы. Так образовались большие массивы гранитных пород, которые встречаются во многих областях распространения архейских, алгонских и палео-войских горных пород.

В своей новой работе о вулканизме Вольф² присоединился к этой классификации и принял соответственно этому кроме центральных и линейных извержений, исходящих от одной точки, часто от одной линии, еще и ареальные с выделением магмы целой поверхностью.

По мнению Дэли и Вольфа, ареальные извержения принадлежат преимущественно древнейшим геологическим периодам. Они дали самые крупные изверженные образования и являются самыми могучими проявлениями поверхностных излияний. Центральные извержения, наоборот, должны рассматриваться как более поздний, уже значительно ослабленный тип извержений, а трещинные излияния занимают промежуточное положение. Отсюда вытекает и во времени такая последовательность: 1) ареальные, 2) трещинные и 3) центральные излияния.

¹ Daly, *Igneous rocks and their origin*, New York 1914.

² V. Wolf, *Der Vulkanismus*, I, Stuttgart 1914.

Мы также присоединяемся к этой классификации, но предпочитаем называть их извержениями площадными (Flächen), трещинными (Spalten) и извержениями по каналам (Schlotausbrüche). Таким образом мы получаем следующую схему:

1. Глубинные (интрателлурические) извержения.

Они связаны с вторжением в верхние зоны литосферы больших изверженных масс типа батолитов. Наружу они выступают лишь после уничтожения покрывающих их горных пород.

2. Поверхностные извержения.

1. Площадные (ареальные) извержения, связанные с батолитовыми штоками. Тип самых древних и самых сильных извержений; не проявляется при современных условиях.

2. Трещинные извержения, вызывающие большие покровные излияния, связанные с жилами. От палеозоя и до настоящего времени.

3. Извержения по каналам, вызывающие образование кратеров и вулканов, связанных с трубообразными каналами, — самый слабый тип извержений, господствующий в настоящее время.

Вряд ли нужно подчеркивать, что между всеми этими типами существуют переходы. Так например не всегда легко отличать глубинные извержения от поверхностных. Но могут быть сходны площадные извержения с трещинными, встречаются также промежуточные типы между трещинными извержениями и извержениями по каналам.

ГЛУБИННЫЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ.¹

Они вызывают образования мощных интрузий в форме штоков, которые называются батолитами. Эти «лишенные dna интрузии» состоят преимущественно из гранитных пород с вполне кристаллической структурой, но в них совершенно отсутствуют все шлаковые, пузырчатые и стекловатые образования, равно как и эруптивные брекчии и туфы. И то и другое зависит от их уплотнения на большой глубине, а также от отсутствия процессов взрыва при их застывании. Все прилегающие к ним горные породы испытывают сильное воздействие контактового метаморфизма.

Батолиты преимущественно залегают в складчатых областях и образуют там ядра широких антиклинальных сводов. Хорошими примерами выходов такого рода являются лежащие по простиранию, вытянутые в длину гранитные массивы Монблана, Mont Pelvoux, а также Аарский и Готардский массивы. Клоос описал батолиты Столовой области.²

Если принять во внимание необыкновенную величину многих батолитов, заключающих тысячи и сотни тысяч кубических километров гранитных пород, то невольно возникают вопросы, какие силы создали те пу-

¹ Н. Cloos, Der Mechanismus tiefvulkanischer Vorgänge. Sammlung Vieweg, 57, Braunschweig, 1921; тот же автор, Tektonik und Magma. Untersuchungen zur Geologie der Tiefen, Abh. Preuss. Geol. Landesanstalt. N. F., Heft. 89, 1922.

² Cloos, Geologie des Erongo im Hererolande, Beitr. z. Erforsch. d. Deutsch. Schutzgeb., Heft 3 u. 7, Berlin 1911 u. 1917.

пустоты, в которых застыли эти исполинские изверженные массы, и куда девались те горные породы, которые раньше наполняли эти пространства?

На эти вопросы отвечали различным образом. Согласно мнению французских ученых гранитная магма проплавила насквозь поверхность земной коры и поглотила таким образом все встретившиеся на ее пути горные породы. По гипотезе американца Дэли [Саломон (Salomon) называет ее гипотезой замещения] изверженная порода освобождает себе место механическим срезанием, обламыванием, частью даже истиранием пород всякого бока. Клоос, наоборот, с успехом пробовал придать

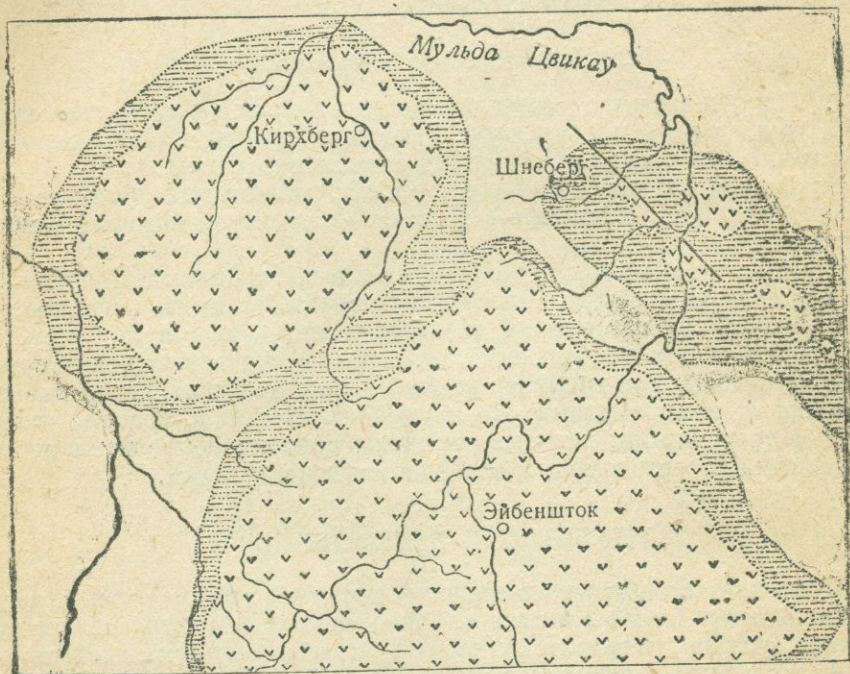


Рис. 144. Гранитные массивы Кирхберга и Эйбенштока в Рудных горах.

Масштаб 1 : 250 000, Гранит залегает на филлитах, которые в контакте с гранитом метаморфизованы (заштриховано).

главное значение при перемещении пород горообразовательным движениям.¹ Изверженные расплавленные массы должны быть вдавлены в пустоты, которые образовались частью вследствие складчатости, частью вследствие опускания больших глыб по сбросам.

Горы средней Германии содержат многочисленные гранитные штоки размера батолитов, которые можно рассматривать как результат глубинных извержений. Например большой гранитный массив Брокена в Гарце, который перекрывает у Реберского грабена, у горы св. Андрея, большими плоскими глыбами сильно метаморфизованной (обращенной в «роговик») серой каменноугольной вакки. Те же большие массивы застывших на глубине эруптивных пород представляют собой Рудные горы (рис. 144),

¹ См., помимо работы об южно-африканском Erongo, Cloos, Arbeit über schlesisches Tiefengestein, Abh. d. Preuss. Geol. Landesanst. N. F., Heft 81, 1920.

Исполиновые горы, Фихтельгебирге, Шварцвальд, а вне Германии Бретань, Корваллис и многие другие области.

Прекрасный пример батолита позднейшего времени являются южноамериканские Анды,¹ где в третичный период застыли в качестве глубинных изверженных образований исполинские массивы гранодиоритов и андезитов.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ.

а) *Площадные (ареальные) извержения.* При этих извержениях, так же как и при глубинных, образуются большие изверженные массивы типа батолитов или лакколлитов. Отличие их от глубинных заключается в том, что здесь магме удается достигнуть поверхности, проплавив покрывающие горные породы, и перейти в эффузивное состояние, т. е. образовать извержения на большой плоской поверхности.

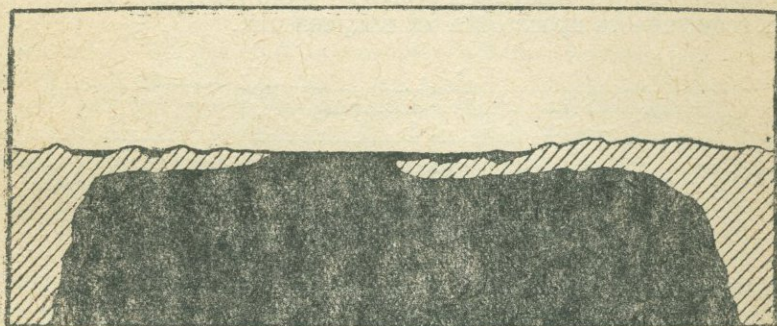


Рис. 145. Разрез излияния риолита, образованного ареальным извержением большого третичного гранитного батолита. Йелоустонский парк (по Дэли).

Чтобы объяснить прорыв, Дэли выдвинул упомянутую нами выше гипотезу. Скопившиеся над изверженными массами магматические газы постепенно взорвали или проплавили крышу, причем разломанные и потонувшие в магме глыбы во многих случаях оказали свое влияние и при известных условиях превратили первоначально основные магмы в кислые.

Площадные извержения представляют собой таким образом большие участки проплавленной и насквозь земной коры. В древнейшие геологические периоды, которые английский петрограф Гаркер (Harker) назвал «плутонической фазой истории Земли», когда земная кора была еще тоньше, они проявлялись чаще и в допалеозойское время являлись господствующим типом извержений. Позднее подобные прорывы земной коры становятся все реже, хотя в единичных случаях мы встречаем их включительно до третичного периода.

Самые грандиозные примеры подобных извержений, по мнению Дэли, встречаются в Канаде и в области Верхнего озера. Лавовые потоки, переходящие книзу в глубинные породы типа батолитов, были наблюдае-

¹ Steinmann, Gebirgsbildung und Massengesteine in der Kordillere Südamerikas. Geol. Rundschau, 1, S. B., 1910.

мы и в других частях Соединенных штатов (рис. 145), а также в Шотландии, Швеции и других местах.

б) *Трещинные или массовые извержения.* Относящиеся сюда изливания изверженных пород расположились по более или менее длинным трещинам, которые предварительно возникли тектонически или образовались лишь под напором поднимавшейся магмы. Восходящий поток расплавленной магмы сначала заполнил трещину, а потом выступил из ее краев и разлился в одну или в обе стороны. Так образовались часто очень мощные и обширные эрузивные массы типа покровов. В некоторых случаях из трещины произошло лишь одно извержение, в других они повторялись и образовали большое число перекрывающих друг друга покровов.

Интересно отметить, что магма, излившаяся из трещин, всегда была более основной (состава базальтов) и бедной газами. Эти извержения лишь в исключительных случаях сопровождались взрывами, которые вызывали распыление магмы и образование туфов, а также возникновение маленьких слоистых вулканических конусов. Подобные конусообразные горы находятся особенно часто на трещинах извержений и дают возможность проследить их направление.

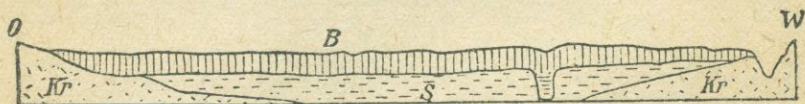


Рис. 146. Разрез большого трещинного извержения Вильямсканьона в Аризоне.

Kr — кристаллические породы, S — песок и гравий, B — базальт.

Единственной страной, где до настоящего времени происходят сильные трещинные извержения, является Исландия. Они стали нам хорошо известны главным образом благодаря работе Тордсена (Thoroddsen).¹

По Гауталу (Hauthal), и в Патагонии происходили большие трещинные излияния, которые покрыли значительную часть страны,² причем ширина этих трещин часто не более 1 м., зато их длина прослеживается на много миль.

В третичный период трещинные или массовые извержения повидимому происходили в гораздо большем объеме, чем теперь. Так было в особенности на северо-востоке Исландии, в северо-западной Шотландии, на Гебридских и на Фаррерских островах и в Гренландии. Но их значительно превосходят колоссальные излияния базальтов, которые при мощности во много сотен метров занимают площади в тысячи квадратных миль. Они составляют большую столовую область Колумбии, Орегона, Идаго, Невады, Оризоны и Новой Мексики. Здесь главные трещины извержения параллельны берегам Тихого океана.

В меловое время огромные покровные потоки (так называемые траппы) образовались на Деканском полуострове; в пермское время излились порфировые покровы Воцен-Мерана.

в) *Извержения по каналам.* Сюда относится большая часть всех современных вулканических изверже-

¹ Thoroddsen, Island. Peterman. Mitt., 1906. Erg.—Hefte 152 u. 153.

² Hauthal, Peterm. Mitt., 1903, S. 97.

и й. Извержения такого рода уже давно известны и сравнительно хорошо изучены, почему и можно сказать, что на них основаны все наши знания о вулканических явлениях. Поэтому мы можем остановиться на этих извержениях несколько подробнее, чем могли это сделать, говоря о трещинах и площадных извержениях.

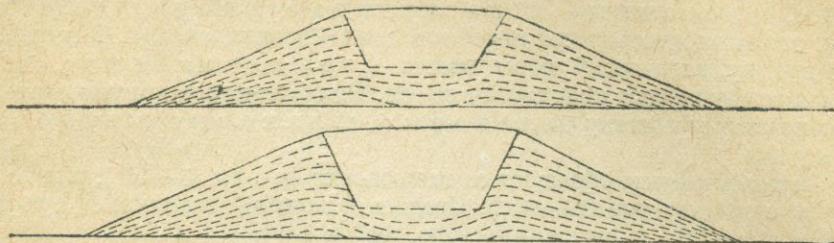


Рис. 147. Разрезы шлакового конуса Монте-Нуово (наверху) и туфового конуса мыса Мизен (внизу) близ Неаполя.

Особенность извержений по каналам состоит в том, что вулканический очаг сосредоточен в одной точке земной поверхности в отличие от площадных извержений, в основе которых лежит расплавление большого участка земной поверхности, и от трещинных извержений, которые исходят от трещин. Эта точка предста-

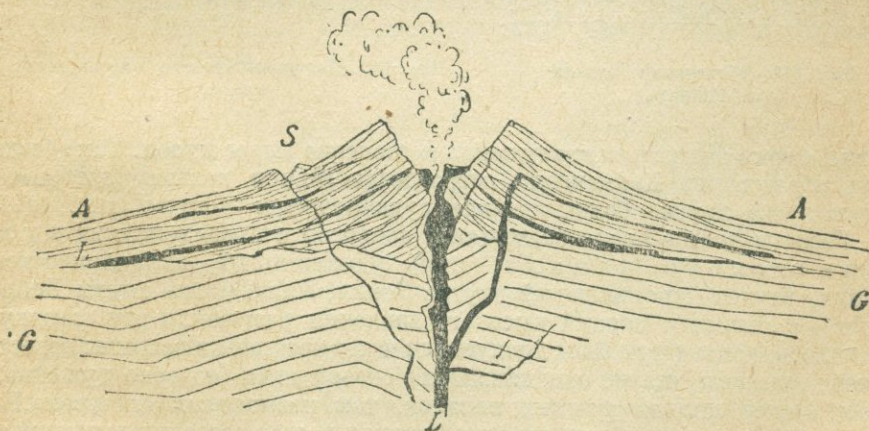


Рис. 148. Разрез смешанного конуса.

S — шлак, *A* — пепел, *L* — лава, *G* — невулканические подлежащие породы.

вляет собой устье вертикальной оси извержения, которое обычно идет по каналу, глубоко проникающему внутрь Земли, — так называемому каналу извержения. Канал является тем путем, по которому вещества, образовавшие вулкан, достигли поверхности, поэтому он является важнейшей частью вулкана. Он открыт лишь во время извержения; к концу каждого извержения он закупоривается спускающейся назад и застывающей лавой.

Устье подающего канала называется кратером. Он является главным источником извержения и поэтому главной исходной точкой

роста вулкана. Этот рост, как показывает рис. 147, объясняется тем, что вследствие постоянного выбрасывания пепла, шлаков и лавы гора постепенно все поднимается над окружающей местностью, причем естественно поднимается все выше и кратер.

Большинство вулканов, представляющих конусообразные горы, срезанные в месте кратерного углубления, вполне подтверждают подобный способ возникновения. Внутреннее строение вулканической горы всегда периклинальное, т. е. ее слои всюду падают кнаружи от ее оси. Вулканические конусы разделяются по своему составу на лавовые, шлаковые и туфовые конусы.

Лавовые конусы образуют самые отлогие склоны (3—10°), шлаковые конусы самые крутые (25—45°). Среднее положение занимают туфовые конусы (15—30°) и смешанные (рис. 147 и 148).

Наконец совершенно особый тип вулканической горы представляют собой кучевые вулканы. Они образовались по видимому от продолжительного выдавливания из глубины в высшей степени вязкой

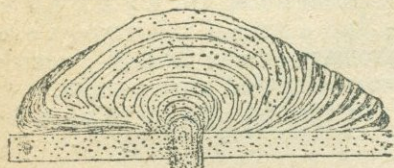


Рис. 149. Образование купола (по Рейеру).

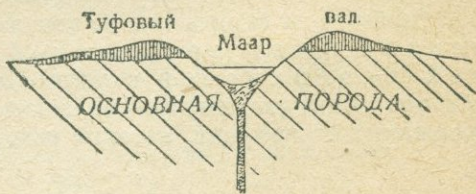


Рис. 150. Идеальный разрез Эйфельского маара.

магмы, отчего над устьем извержения постепенно вырос купол. Так объяснили образование Кайменских островов (в горном кольце Санторина) и некоторые другие более древние вулканические конусы (рис. 149).

Геологи долгое время занимались вопросом о происхождении в вулканического канала, этой удивительной цилиндрической трубки, глубоко проникающей внутрь Земли. Лишь новые опыты Добре (Dobré) с газами и парами высокого давления разрешили эту загадку. Оказалось, когда такие газы пропускали через трещины и разрывы известняков, гранитов, стали, они придавали своему пути (подобно ружейной пуле) форму цилиндрических каналов, так называемых «диатрем». На этом основании можно принять, что главная роль в создании вулканического канала принадлежит газам, освобождающимся из магмы и находящимся под давлением в несколько тысяч атмосфер. Как только вулканический канал постепенно удлинится до поверхности, они взрывают, образуя подобие минной воронки.

Подобные воронкообразные отверстия кратеров в осадочных породах известны во многих вулканических областях: например в Эйфеле, где их называют маарами. Они окружены обычно невысоким валом, образовавшимся из изверженного материала (рис. 150).

Маар представляет собой самый первоначальный тип кратера и вулкана. Правда, у большинства вулканов мы находим совершенно другое строение, где вместо углубления образуется возвышение, но это происходит оттого, что почти во всех случаях после образования воронкооб-

разного углубления типа маара следует целый ряд извержений, которые постепенно насыпают конусообразную гору над первоначальной воронкой. Все вулканические конусообразные горы считают — по наиболее известному европейскому вулкану Везувий — принадлежащими к типу Везувия.

Очень характерно, что у вулканов типа Везувия каждое большое извержение начинается образованием воронкообразного жерла в устье канала извержения. Только после следующего выбрасывания шлаков и пепла в основании жерла образуется дно кратера; в середине его возвышается конус извержения, указывающий окончание канала извержения.

Гавайский тип представляет собой третий тип строения вулканов: исполинские куполообразные огнедышащие горы, но с очень



Рис. 151. Разрез верхней части вулкана Гавайского типа.

пологими склонами, которые состоят исключительно из натекших друг на друга потоков базальтовой лавы. Вершина их представляет собой обширнейшее плато, в середине которого углубляется огромный кратер, расположенный в большей своей части терасой (рис. 151). Сюда принадлежат исполинские вулканы Гавайских островов Мауна-Лоа, Килауэа (с озером кипящей лавы в кратере), а также многие вулканы Исландии и других местностей.

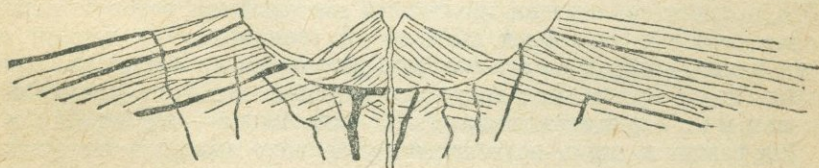


Рис. 152. Разрез сложного вулкана (Сомма-вулкана).

Независимо от этого деления уже давно различают простые и сложные вулканы. Простые состоят из простой конусообразной горы, сложные — из центральной конусообразной горы и окаймляющего ее кольцевого вала. Везувий совместно с Соммой представляют пример подобного сложного вулкана. У всех до сих пор деятельных вулканов этого рода их деятельность приурочена исключительно к центральной горе. Материал, из которого она состоит, всегда отличается от слагающего окружающий вал. Последний образован падающими наружу слоями; его надо рассматривать как остаток наиболее древнего потухшего вулкана большого размера, в середине которого при вторичном пробуждении вулканической деятельности надстроилась более поздняя центральная гора (рис. 152).

Паразитические конусы. Так называют маленькие шлаковые конусы, выступающие на склонах больших вулканов. На Этне их несколько сот. Они обозначают места боковых извержений вулкана. Когда лава поднимается по главному каналу какого-нибудь вулкана,

давление, производимое ею на его стены, настолько велико, что обычно гора уступает этому давлению. Задолго до того как лава успеет достигнуть кратера, от канала извержения отходят радиальные трещины, которые тотчас же наполняются лавой и благодаря выбросам шлака и пепла образуют паразитические конусы.

Величина вулканов. Истинная величина вулканов характеризуется гораздо меньше их абсолютной высотой, чем высотой относительной. Так например мексиканский вулкан Котопахи со своей абсолютной высотой в 6 000 м, с относительной всего лишь в 2 200 м, расположенный на высоком плоскогорье в 3 800 м высоты, менее значителен, чем Стромболи, который достигает, правда, всего лишь 900 м высоты над уровнем моря, но зато поднимается с морской глубины в 2 300 м. К наиболее могучим из всех известных вулканов принадлежат вулканы Гавайских островов, которые при высоте, превосходящей морской уровень на 4 000—6 000 м¹ поднимаются с глубины моря в 4 000 м. Этна достигает 3 300 м абсолютной и 2 200 м относительной высоты, относительная и одинаковая абсолютная высота Везувия равняется 1 300 м.¹ Диаметр кратера вулкана средней величины редко бывает больше 1 км; но все же на Яве и в Восточной Африке есть кратеры, диаметр которых превышает 20 км.

ДЕЯТЕЛЬНЫЕ ВУЛКАНЫ.

Даже те вулканы, деятельность которых отличается особым оживлением, не могут извергать непрерывно: чаще всего короткие, скоро преходящие извержения чередуются с продолжительными периодами очень слабой, до известной степени дремлющей деятельности, которую называют состоянием покоя. Наряду с огнедышащими горами существуют также, которые за все историческое время не обнаружили ни малейших следов проявления деятельности; такие вулканы называют потухшими и, в противоположность обыкновенным — деятельными.

Это различие имеет во всяком случае мало значения; исторические примеры показывают, что многие вулканы, считавшиеся в течение столетий потухшими, вдруг становились деятельными. Прекрасным примером может служить Везувий, который в древности даже не считался вулканом. Но вдруг в 79 году нашей эры наступило внезапное ужасное извержение, совершенно изменившее строение горы и уничтожившее города Геркуланум и Помпею. С тех пор Везувий все время оставался деятельным, за исключением 300-летнего периода покоя, наступившего в начале XIV столетия.

Хотя и есть примеры огнедышащих гор, которые никакими внешними признаками не обнаруживают продолжения своей деятельности, все же у большинства вулканов это можно узнать по непрерывному выделению газов из кратера и окружающей его местности.

До сих пор всеми признавалось, что главную роль среди этих газов играет водяной пар. Только новые подробные исследования Брюна (A. Brun)² поколебали это мнение и привели к предположению,

¹ Самым высоким вулканом на Земле по относительной высоте является Ключевская сопка на Камчатке, имеющая 4 560 м относительной высоты. *Ред.*

² Brun, Recherches sur l'exhalaison volcanique, Gené, 1911.

что содержание воды в вулканических выделениях не первичное, но заимствовано частью из атмосферы, а частью из просочившейся в глубину воды, которая достигла соприкосновения с магмой и превратилась там в пар. Лишь после того как американцам Шеферду (Shepherd)¹ и Дею (Day) удалось в 1912 г. обнаружить бесспорно ювенильный водяной пар в лаве кратера Килауэа (Гавайские острова), утверждение Брюна об отсутствии водяного пара во всех извержениях признано неправильным.

Наряду с водяным паром (возможно, иногда и отсутствующим) газовые выделения вулканов состоят из H_2S , SO_2 , HCl , Cl , CO_2 , CH_4 , H , N , B_2O_3 , Fe_2Cl_6 , $AsCl_3$ и т. д. Все эти соединения, бесспорно принадлежащие самой магме, никогда не выделяются одновременно: в самых горячих местах (где температура достигает 500° и выше) выделяются главным образом Cl и его соединения, в менее горячих — $ClNH_4$ и SO_2 , затем CO_2 и H_2S и при самых низких температурах — NH_3 и H .

Все эти выделяющиеся газы образуют облачко, которое парит над любым действующим вулканом и позволяет заметить его уже издали.

Потухающий вблизи Неаполя кратер Сольфатара отличается исключительно сильными выделениями газов. Поднимающиеся здесь серные соединения обуславливают возгонку S , которая и добывается в этих местах с давних времен. Все вулканы, деятельность которых ограничивается подобным выделением газов и паров, называются сольфатарами; говорят о деятельности сольфатара или о вулканах, находящихся в стадии сольфатара.

Стромболи может служить примером вулкана со слабой, но все же несколько более оживленной деятельностью. У него слабые извержения сопровождаются по временам излиянием лавы; обычно его деятельность ограничивается тем, что приблизительно раз в каждые полчаса лава медленно поднимается в кратер, происходит небольшое извержение плака, после чего лава опять опускается и наступает временный покой.

✓ Это проявление вулканической деятельности типа Стромболи, известное и у других вулканов, является переходом к гораздо более грандиозной, но также очень спокойно протекающей деятельности огромных огненных озер Мауна-Лоа и Килауэа Гавайских островов. Здесь лава перед извержением также почти до краев наполняет кратер, хотя все последние большие излияния происходили не через края кратера: лава вытекала по трещинам гораздо ниже вершины. В этих случаях могучие потоки чрезвычайно жидкой, почти лишенной газов лавы вытекают до того спокойно, что местные жители замечают наступившее извержение лишь по яркому огненному зареву.

У большинства вулканов, в особенности у Везувия и Этны, извержения протекают более бурно. Незадолго до начала извержения здесь наступает усиленное выделение паров, которые вырываются толчками (как при работе паровой машины) с сильным свистом. Мы уже раньше отметили, что здесь действует не только водяной пар, в иных случаях совсем отсутствующий, но и различные другие пары и газы. Пары соединяются и образуют как бы поднимающийся столб, который иногда достигает нескольких километров высоты. Он часто окрашен в черный цвет вследствие захваченных частиц пепла; на боль-

¹ Shepherd and Day, Journ. Wash. Acad. Sc., 1913, 3, p. 457.

шее расстояние кругом он затемняет атмосферу. Благодаря сгущению паров разражаются сильные ливни, которые смешиваются с пеплом и вызывают потоки грязи, действующей часто не менее разрушительно, чем потоки лавы. Одновременно с этими явлениями и с выбрасыванием пепла, шлаков и бомб происходят иногда землетрясения и образование трещин во всей окружающей вулкан местности.

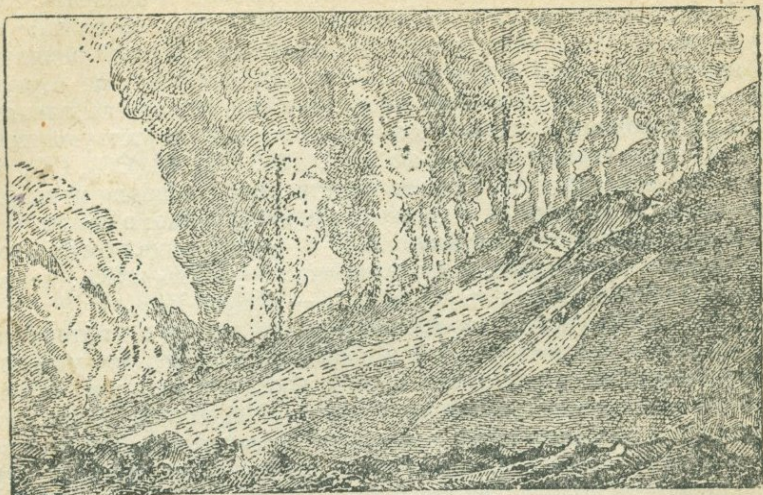


Рис. 153. Трещина извержения с действующими эруптивными конусами на Везувии.



Рис. 154. Деятельность паразитических конусов Этны. Извержение в августе 1892 г.

ваются с пеплом и вызывают потоки грязи, действующей часто не менее разрушительно, чем потоки лавы. Одновременно с этими явлениями и с выбрасыванием пепла, шлаков и бомб происходят иногда землетрясения и образование трещин во всей окружающей вулкан местности.

Все эти явления продолжают с возрастающей силой, пока наконец вулкан не прорвется боком и из трещины извержения или из образовавшегося над ней шлакового конуса не появится лава.

Извержения большинства вулканов протекают в описываемой последовательности, но бывают вулканы, извержение которых представляет собой лишь один ужасающей силы взрыв.

К этому типу принадлежат некоторые огнедышащие горы юго-восточной Азии. Грандиозный пример подобного взрыва представляет собой бывшее в 1883 г. извержение вулкана Кракатау, расположенного в Зондском архипелаге. При этом извержении, наступившем после двухсотлетнего периода покоя, взлетела на воздух большая часть того острова, на котором возвышался вулкан, так что на этом месте образовалось море более 300 м глубиной. Одновременно на пространстве 20 000 км распространилось небывалое количество пепла, камни величиной с кулак были отброшены на 40 км, а тончайшие пылевые частицы были унесены на высоту 70—80 км и вызвали удивительные явления сумерек в течение нескольких лет в большей части Азии, Европы и Северной Америки.

Подобный же характер носило извержение японского вулкана Бандайсан, который был разрушен внезапным взрывом в 1883 г. после почти тысячелетнего полного покоя. При этом получились колоссальные массы раздробленного твердого материала, но не выделялось ни одной канли лавы.

Такого же рода было всем памятное извержение вест-индского вулкана Мон-Пеле 8 мая 1902 г., которое помимо всех прочих опустошений уничтожило 40 000 человеческих жизней. И здесь все главным образом заключалось в единственном извержении раскаленных паров и газов, происшедшем в течение всего нескольких минут, причем туча пара и газа вследствие своей перегруженности пеплом подобно лавине катилась вниз по склону прямо на город С.-Пьер. При этом извержении также не было лавового потока.

Внезапность и сила, с которой протекают подобные извержения, составляют удивительный контраст с тем спокойствием, с которым совершаются извержения гавайских вулканов. Извержения Везувия и остальных вулканов занимают промежуточное положение между этими обоими типами извержений. Основанием к этому различию служит разное количество паров и газов, содержащихся в магме. Чем это количество больше, тем более бурно будет протекать процесс выделения газов из поднимающейся лавы, а ход всего извержения примет характер взрыва. Наоборот, магма,



Рис. 155. Выпадение пепла (пунктир) и потоки лавы (черные) при извержении Везувия в апреле 1906 г.

бедная газамп, выступает спокойно и без явлений взрыва. При взрыве Кракатау должны были освободиться грандиозные объемы пара, находившегося под исключительно сильным давлением.

Потоки лавы. Жидкая лава представляет собой силикатовую массу, в которой плавают уже образовавшиеся большие кристаллы. Лавы, богатые кремнекислотой, вязки; наоборот, лавы, бедные кремнекислотой,

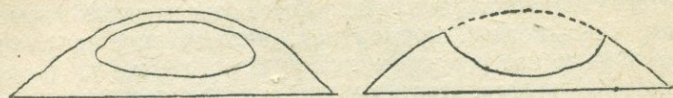


Рис. 156. Разрез лавового потока с сохранившейся и обрушенной шлаковой кровлей.

жидки подобно растительному маслу или воде. Температура лавы меняется сообразно времени и месту, но все же в среднем равняется 1 000 — 1 100°. Большинство лав содержит много газов и паров, которые с большой силой выделяются из отдельных точек — фумаролл — часто в продолжение нескольких лет. Их химическая природа, так же как природа других вулканических выделений, зависит главным образом от температуры; среди продуктов возгона поваренная соль и нашатырь играют главную роль.



Рис. 157. Карта острова Пальма (Канарские о-ва).

Потоки лавы текут так, как могли бы течь стеклянные и силикатовые реки. Скорость их движения зависит от наклона поверхности, от степени разжижения и от количества текущей лавы. Уже на небольшом расстоянии от своего выхода потоки лавы покрываются шлаковой коркой. Так как подобная корка образуется и на дне и с боков потока, то текущая лава двигается в шлаковом чехле, который постепенно удлиняется. Если изливание лавы ослабевает, то уровень лавы в этом чехле понижается. Между ней и шлаковой крышкой образуется пустота, после пролома которой поток получает строгое провалившегося посредине хребта (рис. 156). Свойства затвердевшей лавы зависят главным образом от содержащихся в ней паров. Различают лаву глыбовую и волнистую. Первая состоит из отдельных зубчатых и шероховатых кусков, последняя обнаруживает соединенные между собой вытянутые плоские волны. Первая остывает при сильном выделении паров, с чем связана потеря больших количеств тепла, поэтому остывание наступает внезапно. Волнистая лава, наоборот, затвердевает, почти не выделяя паров; ее переход от жидкого состояния в твердое совершается через промежуточное вязкое состояние, которое ясно обнаруживается в струйчатой, петлеобразно растянутой форме ее поверхности.

Мы уже говорили, что деятельность многих потухающих вулканов ограничивается выделением паров и газов. Они находятся в состоянии

сульфатар, как например Сульфатара, Суффриера Гваделупы, вулкан св. Винченца в Вест-Индии и т. д. В состоянии сульфатар могут находиться как отдельные вулканы, так и целые вулканические области, как например Йелоустонский парк в Соединенных Штатах Америки. Там рядом с сотнями гейзеров и горячих источников находятся многочисленные паровые фонтаны, фумароллы и грязевые источники.

Последним проявлением вулканической деятельности являются выделения углекислоты; образуются так называемые м о ф е т ы или, в тех случаях когда газ поглощается восходящими источниками, у г л е к и с л ы е и с т о ч н и к и. Последние например встречаются в Германии в Эйфеле в области Лаахернского озера, на нижнем Лане и во всей обширной зоне, продолжающейся оттуда на восток и доходящей до Богемии.

*Подводные извержения.*¹ Не только вулканы, расположенные на островах, подобно гавайским, но и многие другие из находящихся теперь на суше поднялись некогда с морского дна. Подводные извержения имеют место до настоящего времени. Известным примером служит остров Юлия или Фердинанда, который образовался в море к югу от Сицилии в 1831 г., но потом вскоре был снова разрушен волнами. Более постоянный остров образовался таким путем в 1796 г. В Беринговом море—это вулкан св. Иоанна Богослова.

ПРОЦЕСС ДЕНУДАЦИИ ВУЛКАНОВ

Само собой понятно, что вулканы, образованные главным образом из рыхлого материала извержений, легко подвергаются разрушению. Это относится особенно к их внешнему шлаковому покрову, который очень быстро уничтожается. Кратер, после того как воды прорежут ряд борозд или узких оврагов в его склонах, также быстро размывается и превращается в глубокую впадину, подобную Валь-дель-Бове Этны или огромной Кальдере на острове Пальма (Канарские острова) (рис. 157).

Подобные сильно разрушенные вулканы называются в у л к а н и ч е с к и м и р у и н а м и. Хороший пример представляет собой остров Санторин в Греческом архипелаге (рис. 158), где прибоем волн на две части разбита его кольцевая гора.

Если разрушение заходит дальше, то первоначально конусообразная гора постепенно превращается в группу холмов и отдельных гребней; лишь благодаря строению из нериклиально расположенных шлаковых и лавовых банок можно обнаружить здесь остатки древнего слоистого вулкана. Под конец могут совершенно исчезнуть и туфы и шлаки, сохраняется лишь центральное ядро, т. е. древний очаг вулкана, наполненный лавой. Англичане обозначают эту трубку извержения вулкана, обнаруженную вследствие денудации, термином п е с к s (горловина). Большинство базальтовых гор Гессена и других областей представляет собой не что иное, как более или менее сильно разрушенные глубокие части древних вулканических очагов (рис. 159).

Полное соответствие современных вулканических пород древним

¹ Rudolph, Über submarin. Erdbeben und Eruptionen, Gerlands Beitr. z. Geophysik, 1887, I; 1897, III.

дотретичным изверженным массивам свидетельствует о том, что, несмотря на значительно большую мощность последних, они образовались совершенно так же, как современные вулканические породы, образованные

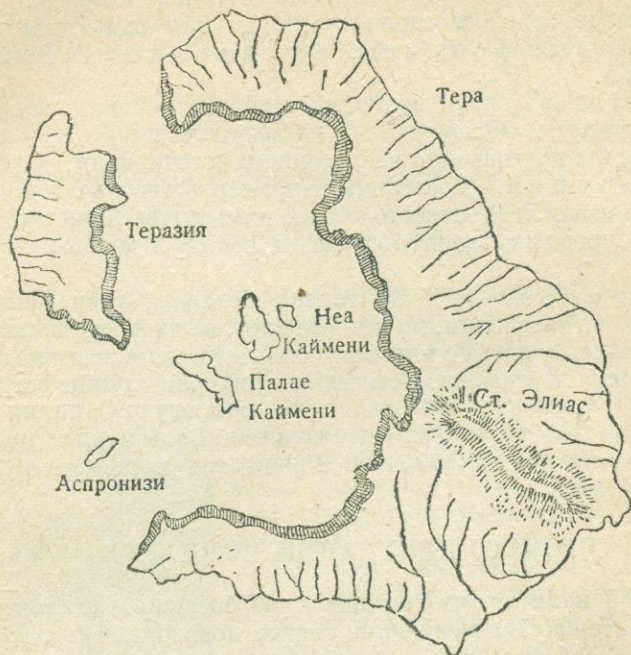


Рис. 158. Карта разрушенного вулкана Саятория.

частью извержениями по каналам, частью трещинными излияниями. Форма поверхности некоторых пермских порфиров и девонских диабазов является точным аналогом современных волнистых лав. Вполне соответ-

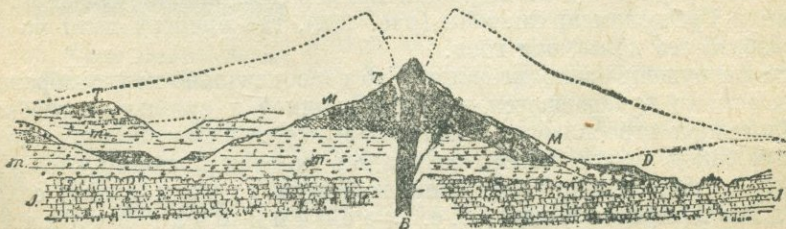


Рис. 159. Вулканический купол в Хегау (по Альб. Гейм 1913).

D — четвертичные галечники, *M* — морены, *T* — вулканические туфы, *B* — базальт и фолонит, *т* — миоценовый пресноводный известняк, *J* — юрский известняк (Мальм).

ствуют современным образованиям и встречающиеся в сопровождении древнейших изверженных пород туфы, брекчии и аггломераты.

Можно поэтому смело сказать, что и в древнейшие периоды истории Земли можно обнаружить следы вулканической деятельности, подобной современной.

В древнейшее докембрийское время вулканическая деятельность должна была проявляться с особой силой и на огромных пространствах. С полным правом можно поэтому утверждать, что современный вулканизм представляет собой лишь слабый отголосок того, что совершалось в первое время существования Земли.

ЧИСЛО И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВУЛКАНОВ, ПРИЧИНЫ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.

Несколько раз произведенные подсчеты показали, что число вулканов, действующих в течение исторического времени, достигает 400¹. Число потухших вулканов приблизительно в 10 раз больше, ибо существуют области, где один вулкан соприкасается с другим, как например Овернь или Флегрейские поля близ Неаполя.

Распределение вулканов очень неравномерно: некоторые области изобилуют ими, в других они совершенно отсутствуют (Скандинавия, Европейская часть СССР, Сибирь, Австралия и т. д.). Главная область распространения вулканов совпадает с поясом экватора, отсюда число их уменьшается к полюсам.

Очень интересна связь вулканов с береговой линией. Лишь очень немногие вулканы, как например восточноафриканские и некоторые манджурские, удалены от моря до 1 000 км; кроме того поразительно линейное или зональное расположение вулканических очагов, их нахождение вдоль длинных линий (рис. 160, 161 и 162).

Две величайших вулканических зоны огибают бассейн Тихого океана. Западно-тихоокеанская зона при длине в 16 000 км имеет более 150 действующих вулканов, т. е. около половины всех действующих вулканов, а восточно-тихоокеанская — всего лишь около 100. Третьей вулканической зоной, также меридиальной, является среднеатлантическая зона, протягивающаяся во всю длину Атлантического океана.

Наряду с этим существует еще большой широтный пояс, который совпадает с вышеупомянутой центральной зоной разлома земного шара, проходящей через Средиземное море.

Линии расположения вулканов частью имеют прямолинейное направление, частью дугообразное, а иногда (Мексика и северная Япония,

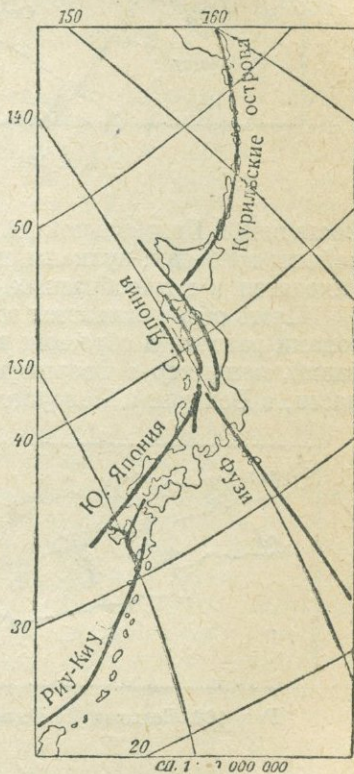


Рис. 160. Карта расположения вулканов Японии.

¹ K. Sapper, Katalog der geologischen Vulkanausbrüche, Strassburg. EIs., 1917.

рис. 160 и сл.) выступают в виде параллельных линий (рис. 162). Также встречаются трещины, расколы и пересечения.

Если внимательно изучить направление вулканических линий, почти всюду можно заметить самую тесную их связь с главной тектонической линией данной области, а во многих случаях даже ее совпадение с большими линиями разлома, а также и с зоной опускания. Так например вулканы Камчатки,

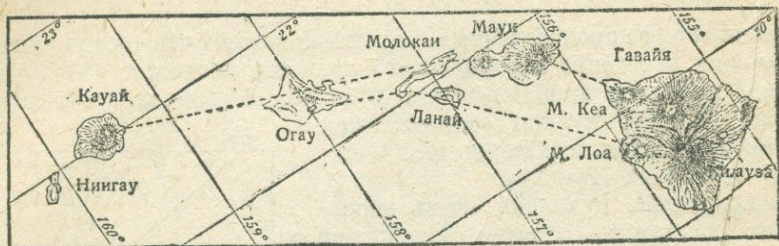


Рис. 161. Карта Гавайских островов.

Восточной и Центральной Африки, японский Fossa Magna лежат в крупнейших грабенах; вулканы окрестностей Неаполя и Липарских островов находятся в котлообразных провалах.

Часто обнаруживается зависимость от тектоники и связь с большими зонами разлома и сбросами и у древних третичных изверженных образований, например в Оверни, в Веронско-Винцентинской иверженной области, в Венгрии и Иелоустонском национальном парке.

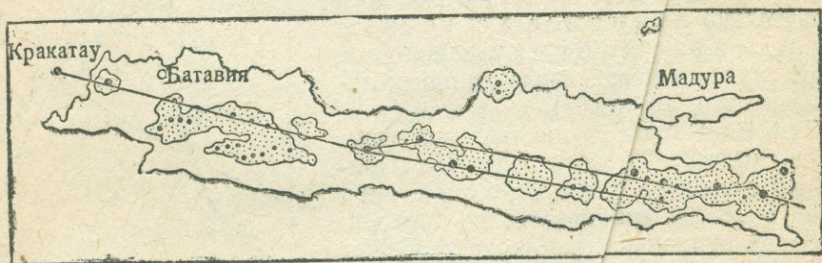


Рис. 162. Большая Явайская вулканическая цепь в масштабе 1: 10 000 000.

Из всего сказанного мы вправе заключить, что, несмотря на способность магмы самостоятельно прокладывать себедуть к земной поверхности, все же главное количество современных и древних изверженных масс приурочено к зонам разлома и вообще более слабым зонам литосферы.

Этим объясняется то значение, которое принадлежит при современных извержениях окраинам берегов Тихого океана, этой величайшей области опускания, а также и широтной зоне разлома. Но это обуславливается не тем, что зоны разлома вызывают явления извержения, а тем, что они им способствуют.

Вопрос о причинах вулканической деятельности, несмотря на существование многочисленных теорий, все же остается неясным. Согласно очень распространенному мнению извержения объясняются давлением кверху газов, освободившихся из магмы. Этим они сводятся к процессам взрыва в большом масштабе и являются следствием охлаждения магмы и ее освобождения от газов. Другое мнение, наоборот, предполагает, что причину вулканических извержений надо искать в гидростатическом давлении, которое оказывает совокупность опускающихся глыб земной коры на магматическую зону земного шара. Это представление можно легко объединить с теорией изостазии, которую мы впоследствии рассмотрим подробнее.

ДРЕВНЕЙШИЕ ИЗВЕРЖЕННЫЕ ПОРОДЫ, КОНТАКТОВЫЙ И ПНЕВМАТОЛИТИЧЕСКИЙ МЕТАМОРФИЗМ.

Лавовые потоки лишь на поверхности обладают характерной шлаковой, пузырьчатой, пенистой и стекловатой структурой. Уже сравнительно на небольшой глубине мощные потоки приобретают массивное и более кристаллическое строение. Это объясняется тем, что структурные соотношения и текстура горных пород определяются глубиной и зависящей от нее скоростью охлаждения. На поверхности или вблизи нее порода застывает очень быстро; процесс идет тем скорее, чем больше под влиянием уменьшения давления выделится паров с большим количеством тепла: на большой глубине, наоборот, застывание происходит гораздо медленнее. В то время как в первом случае наряду с шлаковыми и стекловатыми породами образуются порфиры, во втором образуются более раскристаллизованные породы, в которых совершенно отсутствуют шлаковые образования, равно как и туфы— последние являются в результате распыления магмы взрывами.

Долго думали, что различие изверженных пород по структуре и текстуре зависит от их древности. Это положение основывалось на том, что большинство гранитов, сиенитов, диоритов наших мест принадлежат древнейшим породам истории Земли, в то время как кварцевые порфиры, порфириды и т. д. значительно моложе, а трахиты, липариты, андезиты, фонолиты и базальты образовались лишь в третичный период и еще позднее. Между тем Котта¹ (Cotta) уже в 50-х годах прошлого столетия отметил, что это совпадение лишь кажущееся. Если гранит почти всюду, где мы его наблюдаем, и обладает большой древностью, то это лишь потому, что всегда он образовался на большой глубине и что для того, чтобы он выступил на поверхность, понадобился долгий период размывания. Наоборот, базальты и трахиты, которые застыли на наших глазах или незадолго до этого, являются образованиями поверхностного застывания, одновременные части которых, застывшие на глубине, остаются недоступными непосредственному наблюдению. В тех редких случаях, когда вследствие денудации и дислокации более молодые глубинные породы выходят на поверхность, они ничем не отличаются от более древних диоритов, сиенитов, гранитов

¹ Cotta, Geologie der Gegenwart, Leipzig 1866, 2 Aufl., 1867.

и габбро. Так многие несомненно третичные габбро верхней Италии ничем не отличаются от древних габбро. У Предаццо (южный Тироль) известны послетриасовые граниты и кварцевые порфиры, а на Эльбе, в Андах Южной Америки и на западе Северной Америки даже третичные.

Если мы, наоборот, встречаем очень редко в палеозойских и других еще более древних системах породы явно эффузивные, то это потому, что подобные породы всегда были образованы на поверхности и почти во всех случаях уничтожались позднейшими денудациями. Нахождение в силурийских и девонских отложениях различных местностей порфировых и диабазовых туфов, а также мандельштейнов, стекла, волокнистых лав и прдуктов вулканических извержений в диабазе рейнского девона свидетельствует о том, что при благоприятных обстоятельствах даже в древнейших палеозойских слоях можно встретить горные породы со всеми признаками поверхностного извержения.

Если во многих случаях современные эффузивные породы и отличаются от таких же горных пород более древних систем и по внешнему виду и по составу отдельных минералов (например уралитизация и хлоритизация авгитов, превращение полевых шпатов, изменение основной массы), то это надо отнести за счет тех диагенетических и вызванных выветриванием изменений, которым подвергались породы более древних систем.

Благодаря этим изменениям, которые в отдельных случаях так различны и по интенсивности и по характеру, в одних случаях породы сравнительно недавнего происхождения (третичные риолиты и дациты Венгрии) могут быть сильно изменены, а в других (например многие мелафиры) относительно гораздо более древняя порода может сохраниться совершенно не измененной. Различные названия, введенные в употребление для пород одинакового химического и минерального состава (так например мелафиры противоплагаются базальтам), первоначально вводили понятие известного периода времени, в действительности же они обозначают лишь степень сохранности горной породы.

Такого рода факты заставили отказаться от старого представления, что свойства изверженных горных пород зависят от их древности. Гораздо правильнее будет признать, что одинаковые породы могли образоваться во всякое время. Гранит и обсидиан являются конечными звеньями одной и той же цепи. Та же самая магма, которая на поверхности затвердела в виде липаритового стекла или липаритового порфира, на большой глубине застывает в виде гранита. Отсюда, как следствие, вытекает, что излившиеся породы (как например кварцевый порфир и липарит, часто диабаз и базальт) по существу имеют тот же химический состав, как и соответствующие им глубинные породы (гранит и габбро).

Контактный метаморфизм. Под этим названием подразумевают изменения, которые испытывают горные породы от соприкосновения с изверженными породами, являющимися носителями и причиной изменений.

Вызванный эффузивными породами контактный метаморфизм существенно отличается от вызванного глубинными изверженными породами. В то время как действие первого особенно выражается влиянием высокой температуры (так называемый к а у с т и ч е с к и й

метаморфизм), приведением в красное каление, в расплавленное состояние; оплавление, обугливание и коксование, контактовый метаморфизм глубоких горных пород идет значительно дальше и связан с перегруппировкой молекул и минеральными новообразованиями (так называемый гидатотермический метаморфизм).

Известковые породы при этом превращаются в мрамор, часто при одновременном образовании кристаллических известковых силикатов (воластонит, везувиан, гранат и т. д.), в то время как сланцевые породы путем образования маленьких желваков и почек переходят в узловатые сланцы, а также в твердые роговики. Все эти изменения всегда связаны с изверженными горными породами и захватывают более или менее широкую прилегающую контактовую зону (контактовое кольцо, контактовый пояс) (рис. 144).

Особой формой контактового метаморфизма является так называемый инъекционный метаморфизм. При глубоких интрузиях, а именно интрузиях гранитных пород, изверженная порода проникает в прилегающую породу бесчисленными маленькими ответвлениями, отходящими от контактовой поверхности.

В таких случаях газообразные и жидкие составные части магмы пронизывают прилежащую породу на далекое расстояние и образующиеся в трещинах и между слоями осадочной породы пегматитовые и аплитовые выделения могут создать породы типа гнейсов (ленточные гнейсы, артериты).

Близко к такого рода контактовому метаморфизму стоит пневмолитический метаморфизм, при котором главное значение принадлежит растворам и газам, содержащимся в магме.

Это превращение, при котором вместе с водой действуют фтористые соединения Si и Fe, затем Ba_2O_3 , Cl и другие газы, приводит к образованию топаза, плавикового шпата, турмалина, аксинита и других минералов.

Давно известный прекрасный пример пневмолитического превращения представляют связанные всюду с гранитными породами залежи цинковой руды, а также залежи железного блеска на Эльбе. Другой пример представляют наполненные выкристаллизовавшимися силикатовыми минералами образовавшиеся путем метаморфизации мезозойских известняков глыбы Соммы (Sommablöcke) Везувия. Сюда же относятся известные пегматиты, образующиеся по краям больших интрузий.

Если мы захотим резюмировать главные признаки горных пород изверженного происхождения, получим следующую сводку:

Залегание. Жилы, купола, штоки, лакколиты, потоки, покровы, апофизы и инъекции, — следовательно пронизывающее залегание.

Контактовый метаморфизм, в особенности каустический.

Текстура. Массивная, флюидальная, пузырчатая, шлаковая, миндалевидная.

Структура. От настоящей стекловатой до вполне кристаллической.

Отдельность. Закономерная внутренняя.

Сопровождающие породы. Часто вулканические туфы и аггломераты.

II. ПРОЦЕССЫ ДВИЖЕНИЯ ЛИТОСФЕРЫ. ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ИЛИ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ.¹

1. Предварительные замечания.

Под землетрясениями понимают все колебания земной поверхности, исходный пункт которых лежит в глубине и которые вызваны естественными причинами. Поэтому движения поверхности, ощущаемые на большом пространстве, но вызванные взрывами, обвалами горных разработок и тому подобными нарушениями, не могут быть причислены к землетрясениям. Если сотрясения захватывают не сушу, а морское дно, говорят о подводных землетрясениях.² Они воспринимаются проходящими по морю судами как сотрясения моря причем толчки передаются по воде и таким образом сообщаются судну.

Всюду, где землетрясения проявляются часто и с большой силой, они принадлежат к ужаснейшим явлениям природы. Так в несколько часов или даже минут при большом калабрийском землетрясении 1783 г. погибло до 30 000 человек при Лисабонском землетрясении 1755 г. более 60 000 человек, а в 1906 г. в Мессине — около 200 000 человек.

Сила колебаний различна. Иногда вызванные ими сотрясения земной поверхности до того слабы, что их отмечают лишь самые чувствительные измерительные приборы. В других случаях движения бывают настолько сильны, что здания колеблются и дают трещины. Иногда же сотрясения принимают такие размеры, что растрескиваются стены и многие дома разваливаются; наконец при очень сильных землетрясениях земная поверхность вздымается и колеблется, как бурное море: ни одно здание не остается неповрежденным, целые города обращаются в груды обломков, разрушаются горы и холмы.

Число и продолжительность толчков при различных землетрясениях очень различны. Иногда бывает достаточно немногих толчков, продолжающихся всего лишь несколько секунд, чтобы произвести самые ужасные опустошения. Если многочисленные толчки следуют друг за другом через короткие промежутки времени, говорят о кучевых землетрясениях.

В странах, где сейсмичность проявляется слабо, как например в Германии,³ землетрясения все же наблюдаются чаще, чем это можно было бы предполагать. Так например в Рейнской долине под Бингеном с IX столетия землетрясения происходили более 600 раз; а в странах сильно сейсмичных, как например в Японии, в среднем землетрясения происходят через каждые четыре дня. Поэтому можно сказать вместе с Гумбольдтом, что земля ежедневно колеблется во многих точках, что она находится в процессе беспрестанного колебания и трепетания.

¹ Montessus de Ballore, Les tremblements de terre et la science seismologique, Paris 1906 et 1907.

² Rudolph, Submarine Erdbeben und Eruptionen, Gerlands Beitr. z. Geophysik, I, II, III (1887, 1895, 1898).

³ И у нас в Европейской части СССР. *Ред.*

2. Сущность землетрясений, их проявление и распространение.

Земной шар представляет собой упругое твердое тело; поэтому каждое землетрясение из своего подземного исходного пункта, г и п о ц е н т р а или очага землетрясений, должно передаваться во все стороны. Возникающие при этом и передающиеся внутри земного шара упругие волны двойного рода: 1) продольные волны уплотнения, зависящие от сопротивления изменению объема, и 2) поперечные, зависящие от сопротивления изменению положения. Продольные волны более быстрые и потому скорее достигают поверхности, где они являются так сказать первыми предвестниками. Только после них достигают поверхности более медленные поперечные волны — вторичные предвестники. Когда толчок достигнет земной поверхности, то в результате соединения продольных и поперечных волн возникает третий род волн — так называемые длинные или поверхностные волны. Они исходят из так называемого эпицентра, центральной точки на поверхности, и вызывают самые сильные сотрясения. В отличие от предвестников их скорость остается без изменений, но значительно меньше, чем скорость первых двух видов волн.

Вполне ясно, что при шарообразном строении земного тела эпицентр должен всегда находиться отвесно над гипоцентром, и волны должны передаваться от эпицентра радиально во все стороны, но с постепенно ослабевающей силой. Вследствие этого через определенный промежуток времени

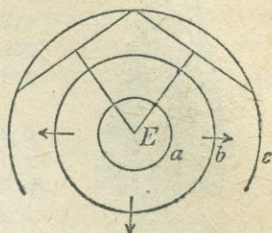


Рис. 163. Распространение центрального землетрясения от эпицентра.

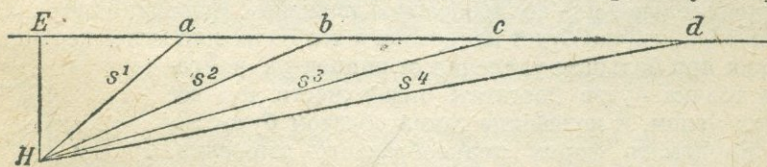


Рис. 164. Уменьшение выхода угла (EaH , EbH и т. д.) с возрастанием расстояния от эпицентра.

волна достигнет кривой a , потом кривой b и т. д. (рис. 163). Кривые, соединяющие точки, испытывающие одновременное сотрясение, называются гомосейстами. При однообразном составе и геологическом строении области, охваченной землетрясением, если очаг землетрясения является точкой, гомосейсты располагаются концентрическими кругами, огибающими эпицентр; но обычно они более или менее отступают от этой идеальной формы, потому что нигде в природе нет строго выполненных указанных условий.

Особенно сильно влияют на скорость распространения сейсмических волн различия геологического строения отдельных частей области, охваченной землетрясением, в особенности большие тектонические линии, определяющие сбросы.

В самом эпицентре толчок ощущается идущим как бы отвесно из глубины; по мере удаления от эпицентра угол, под которым луч толчка,

т. е. тот путь S_1 , S_2 и т. д. на рис. 164, который пробегает толчок от гипоцентра до наблюдаемой точки, достигает поверхности, так называемый угол выхода удара (EaH , EbH и т. д.) становится все меньше. Это в том случае, если мы, как это видно на рис. 164, примем по отношению к области, охваченной землетрясением, прямолинейное распространение волн землетрясения и не учтем кривизны земной поверхности. Наконец этот угол становится настолько мал, что вообще больше уже не чувствуется вертикально поднимающегося из глубины толчка; кажется, что это горизонтальный удар, доходящий со стороны.



Рис. 165. Обелиск св. Стефана, частично повернутый во время землетрясения.

Отсюда ясно, почему в старинной литературе о землетрясениях выделяют два рода колебаний: сотрясательные движения и волнообразные движения. При первых удар как бы поднимается из глубины, и все недостаточно хорошо укрепленные предметы отскакивают вверх. В подтверждение приводят например наблюдения в 1797 г. при землетрясении в Риоамба, когда трупы убитых жителей были подброшены, как говорят, кверху на высоту многих сотен футов. При волнообразных толчках, наоборот, движение протекает тангенциально. Вертикально стоящие предметы в известный момент выводятся из своего положения и наклоняются к горизонту.

На основании этого можно заключить, что сотрясательное и волнообразное колебания одинаковы по существу. Лишь от расстояния, в котором данная точка находится от эпицентра, будет зависеть ли она сотрясательное или волнообразное движение. Если данная точка вблизи эпицентра, толчок будет направлен в ней более или менее вертикально, тогда как при большом удалении от эпицентра направление толчка будет достигать поверхности под все меньшим углом, и колебание таким образом будет все более принимать форму волнообразного движения. При каждом землетрясении внутренние части сейсмических областей будут испытывать сотрясательное колебание, а внешние — волнообразное.

Кроме сотрясательных и волнообразных колебаний раньше различали еще вращательные движения; в доказательство приводили вращение вокруг вертикальной оси отдельных частей обелиска (как это изображено на рис. 165). Это объясняли взаимным столкновением волн, идущих по различным направлениям. Маллет (Mallet) между тем указал, что вращательные движения возникают также вследствие прямолинейных толчков, но лишь тогда, когда точка прикрепления данного тела и центр его тяжести не лежат на одной вертикальной линии, как требует условие устойчивого равновесия.¹

Это можно объяснить простым примером. Представьте себе каменный куб, который вблизи одного из своих углов прикреплен вертикальным стержнем к подставке (на рис. 166 точка a). Толчок волны, направленный

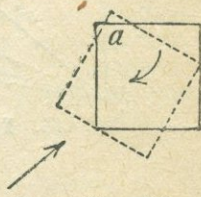


Рис. 166. Образование вращательного движения.

¹ Ср. Kayser. Allgem. Geol., II, 3, 144, 1921.

ный горизонтально, действует на центр тяжести камня, который вследствие инерции поворачивается навстречу направлению толчка. Но так как камень кроме вертикальной оси своего центра тяжести задерживается еще стержнем, то он должен повернуться вокруг последнего. Подобное же вращение последует и в том случае, если подставка в месте, которое не совпадает с осью центра тяжести, обладает маленьким выступом, производящим в этой точке более сильное трение.

Точные наблюдения над действием сильных землетрясений вполне достоверно установили, что даже вблизи эпицентра вместе с чисто вертикальными и горизонтальными движениями поверхности проявляются наклонные волны (рис. 167). Не исключена здесь также возможность вращения почвы вокруг вертикальной оси.

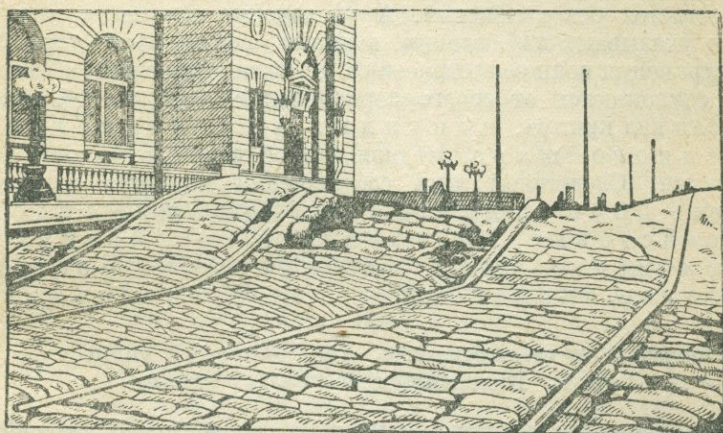


Рис. 167. Улица в Сан-Франциско после землетрясения.

Понятно, что в эпицентре и его ближайших окрестностях ощущаются самые сильные толчки. Здесь находится так называемая *плейсто-сейстовая зона землетрясения*, где сотрясения сильнее всего и где происходят наибольшие разрушения. По мере удаления от эпицентра сила колебаний постепенно все более и более ослабевает, так что люди наконец перестают их ощущать. Но колебания часто распространяются на тысячи километров и за пределы этой области сотрясения, а при исключительно сильных землетрясениях, так называемых мировых землетрясениях, и по всему земному шару. Естественно, что в очень удаленных местах землетрясения наблюдаются лишь в виде исключительно слабых колебаний поверхности, которые могут быть обнаружены только с помощью сейсмографических инструментов.

Это дает нам повод делать существенное различие между *макросейсмическими* и *микросейсмическими* колебаниями. *Макросейсмическими* называют те движения, которые ощущаются непосредственно человеком; те же движения, которые могут быть обнаружены лишь посредством чувствительных приборов, носят названия *микросейсмических*. Под область со-

т р я с е н и я подразумевают обычно лишь сферу действия макросейсмических колебаний; ее граница обозначается линией, соединяющей именно те точки земной поверхности, где колебания могут ощущаться непосредственно. (Граница приблизительно совпадает с направлением изосейсты два балла, стр. 194 и 195).

До восьмидесятих годов включительно по почину Гопкинса (Hopkins) всюду было принято, что волны землетрясения распространяются от гипоцентра концентрическими шаровыми поверхностями и направления толчков представляют собой прямые линии, — хотя бы до тех пор, пока они проходят по одинаковым горным породам. Ошибочность этого положения впервые выяснил Август Шмидт (Schmidt).¹ Вследствие все увеличивающегося давления плотность и упругость пород должны с глубиной постепенно возрастать даже в тех случаях, когда состав горных пород остается без изменений. А увеличение плотности и упругости, как нам указывают наблюдения, вызывает все возрастающую быстроту распространения волн землетрясения. В связи с этим линии направления толчков отклоняются от своего первоначально прямого направления и принимают вид кривых, выпуклых в направлении центра земного шара. Вблизи земной поверхности они опять выпрямляются. Следствием этих соотношений является то, что следующие друг за другом объемлющие гипоцентр концентрические сфер, но принимают постепенно все более эксцентрическое расположение.

3. Сейсмографы и сейсмограммы. Расстояние от эпицентра. Глубина очага. Интенсивность землетрясения.

Для точного исследования природы и способа распространения волн землетрясения пользуются так называемыми сейсмографами или сейсмометрами. Мы не можем здесь подробно останавливаться на их устройстве.

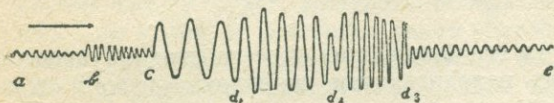


Рис. 168. Изображение нормальной сейсмограммы (по Омори).

Записи, которые делаются этими инструментами, называются сейсмограммами. Много данных получается от правильного объяснения этих записей, большей частью сильно запутанных интерференциями, местными изменениями, отражениями и т. д. Рис. 168 представляет собой нормальную сейсмограмму, которая позволяет различать 4 фазы: ab и bc представляют вызванные первыми предвестниками первую и вторую фазы; главная фаза cd_2 , вызванная длинными поверхностными волнами; и наконец d_3e является конечной фазой, указывающей на затухание колебаний.

Вид сейсмограмм очень различен в зависимости от степени удаления эпицентра от пункта наблюдения. Если место наблюдения удалено от эпицентра по крайней мере на 1 000 км, — так называемые отдаленные землетрясения, — то упомянутые выше четыре фазы

¹ Schmidt, Württemb. Jahreshb, 1888.

наблюдения резко отличаются друг от друга (рис. 168). Наоборот, при небольшом расстоянии от очага землетрясения, при так называемых близких землетрясениях, отдельные фазы сближаются, налегают друг на друга, а при полной близости к очагу землетрясений — при так называемых местных землетрясениях — их вообще нельзя уже различать.

Растяжение, удлинение сейсмограмм по мере удаления от эпицентра является неизбежным следствием неравномерной скорости передачи различных типов главных волн: быстрее всего движется волна первой предварительной фазы — P (7,2 км/сек), менее быстры (4 км) волны второй предварительной фазы — S , еще медленнее (3,5—4 км) распространяются поверхностные волны L .

Поэтому, понятно, что волны обеих предварительных фаз и главная достигнут поверхности в различное время, причем эти промежутки времени все увеличиваются с расстоянием; поэтому на основании диаграммы отдаленного землетрясения возможно установить степень удаления очага. Это особенно верно при соблюдении обоих правил Ляски (Láska):

$$1) (S-P) \text{ минут} - 1 = \Delta \text{ мегаметр и}$$

$$2) \frac{L-P}{3} \text{ минут} = \Delta \text{ мегаметр}^1.$$

Совершенно точные данные получаются лишь тогда, когда известно время прохождения, т. е. то время, которое необходимо для отдельных видов волн, чтобы успеть пройти расстояние от эпицентра до места наблюдения землетрясения. Это время прохождения и его графические кривые позволяют на основании микросейсмических показаний получить не только вполне точные данные о расстоянии эпицентра, но кроме того дают нам возможность точнее проследить путь сейсмических волн через земной шар.

Данные, полученные до сих пор Вихертом и его учениками², выяснили, что скорость продольных и поперечных волн сначала (до глубины 1 200 км) быстро, затем (до 1 700 км) медленнее возрастает, чтобы потом (до 2 900 км глубины) оставаться неизменной; далее она вдруг резко уменьшается, а в центральной части Земли опять медленно возрастает. На основании этого Вихерт заключает, что в земном шаре существует следующее распределение вещества: он состоит из легкой внешней зоны, из более тяжелой средней зоны и из еще более тяжелого (железного) ядра. Это представлено на нашем рисунке 5 (стр. 26).

Глубина гипоцентра имеет громадное значение для всего проявления землетрясения. Если гипоцентр расположен неглубоко, эпицентральная зона будет испытывать сильное сотрясение, но захваченная землетрясением область будет невелика; наоборот, если он расположен глубоко, сила землетрясения будет невелика, но зато оно будет распространяться на огромное пространство. Было предложено много методов определения глубины гипоцентра; но надо признать, что ни один из них не приводит к серьезным результатам. Одно только удалось уста-

¹ Один мегаметр равен 1 000 км; P , S и L — время прихода волн первой и второй предварительных фаз и главной волны, Δ — расстояние от эпицентра.

² Wiechert, Zöppritz, Geiger, Guttenberg, Über Erdbebenwellen, Nachr. Gesellsch. Wiss., Göttingen 1907—1919.

новить бесспорно, — что очаги всех землетрясений расположены не глубже 100—200 км.

Как нами было уже отмечено, наибольшая сила сотрясения проявляется в плейстосейстовой зоне, далее она быстро уменьшается и в скором времени настолько ослабевает, что может быть обнаружена лишь с помощью сейсмометрических инструментов. Однако эта микросейсмическая область может простираться часто на тысячи километров и даже распространяться по всему земному шару.

Для определения силы ударов пользуются десятичной шкалой интенсивности землетрясений, установленной Росси (Rossi) и Форелем (Forel).

Разрушительные действия землетрясения зависят не только от его силы, но также и от направления его ударов. Под влиянием толчков предметы

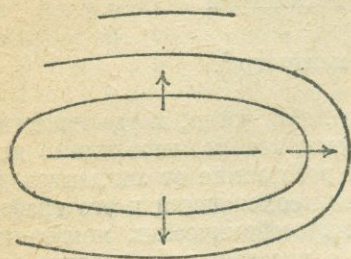


Рис. 169. Одноосное или ливнейное землетрясение.

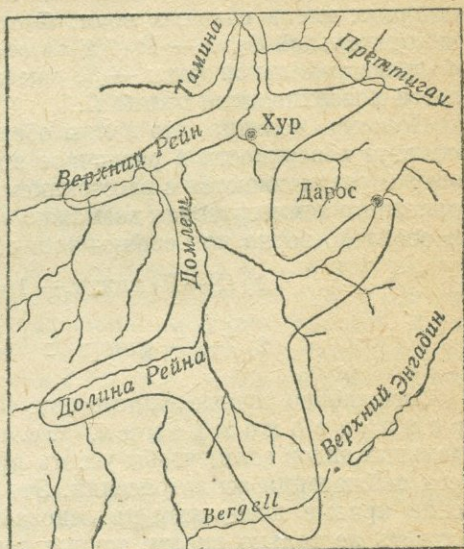


Рис. 170. Граубюнденское землетрясение 1880 г.

сначала, вследствие инерции, отклоняются в обратном направлении, далее нагибаются по направлению движения волны, — и эти колебательные движения разрушают сильнее, чем первый толчок. Если ось здания лежит по направлению толчка, то хотя в его стенах и образуются трещины, все же оно не будет опрокинуто. Наоборот, если дом расположен перпендикулярно к направлению удара, достаточно и более слабых толчков, чтобы его разрушить.

Вместе с направлением удара большое значение для интенсивности разрушения имеют и геологические свойства горных пород, лежащих в основании здания. Твердые, в особенности кристаллические горные породы предохраняют от разрушения; гораздо опаснее рыхлые породы, осыпи и песчаные грунты.

4. Величина и форма областей землетрясения. Карты землетрясений.

Размеры области, охваченной землетрясением, зависят не только от силы землетрясения, но и от глубины его очага.

Существуют землетрясения (например в Казамичиола на Исхии), которые распространяются лишь на немногие километры, другие (как например лиссабонское 1755 г.) распространяются на многие тысячи и даже сотни тысяч квадратных километров.

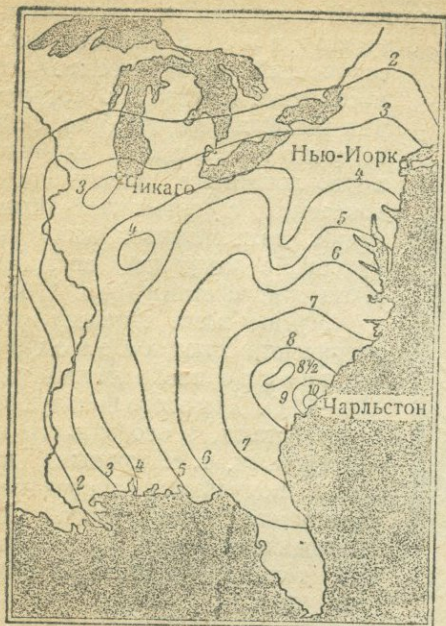


Рис. 171. Карта Чарльстоунского землетрясения 1887 г. (Соединенные штаты).

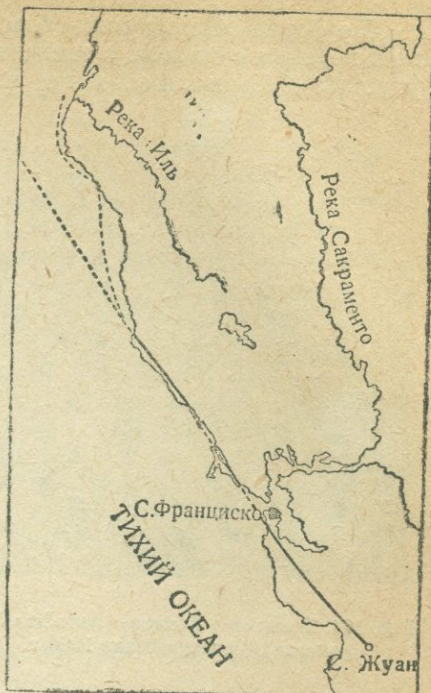


Рис. 172. Большое Калифорнийское землетрясение 1906 г.

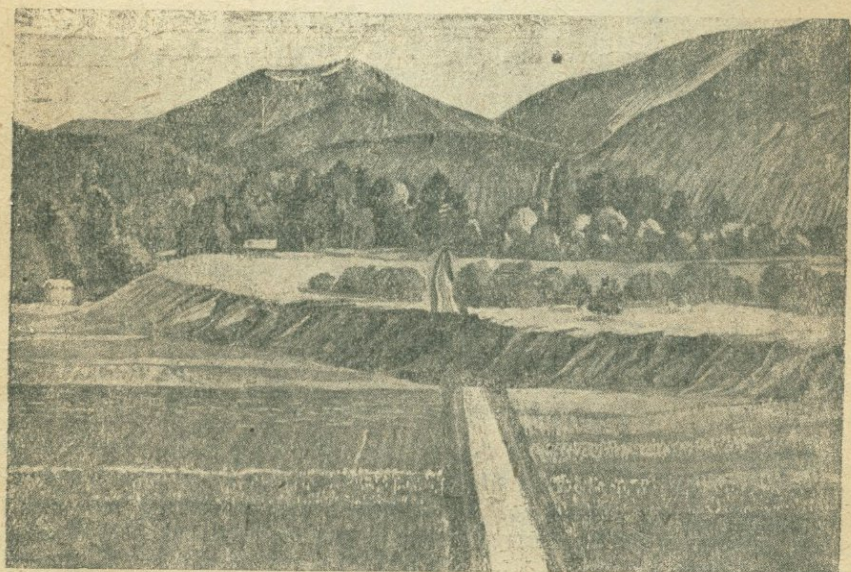


Рис. 173. Значительное оседание поверхности, возникшее на месте большого сброса при Среднеяпонском землетрясении 1891 г. (по Кото).

По форме сейсмических областей различают: 1) центральные землетрясения, с эпицентром-точкой и круговыми гомосейстами (рис. 163), 2) линейные или одноосные, с длинной осью сотрясений, эллиптическими гомосейстами и областью сотрясения такой же формы (рис. 169), 3) многоосные, неравномерно лопастные области землетрясений с многочисленными осями, являющимися выходами ударов, с запутанно построенными гомосейстами (рис. 170).

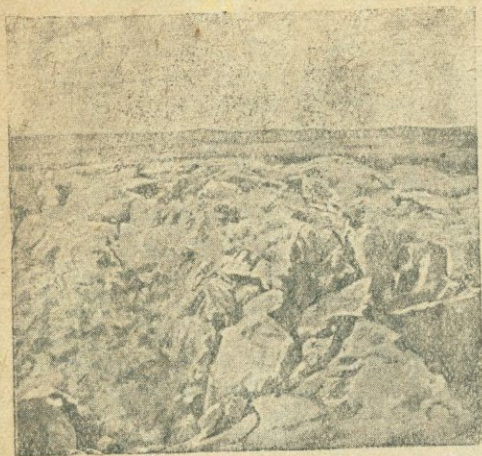


Рис. 174. Трещины у Кашгара (Китайский Туркестан). Землетрясение 1920 г.

Лучше всего картину землетрясений дают картографические изображения (рис. 170—171). Для этого пользуются гомосейстами, в особенности же изосейстами, т. е. кривыми, которые получаются посредством соединения всех точек, испытывающих при землетрясении толчки одинаковой силы (рис. 171).

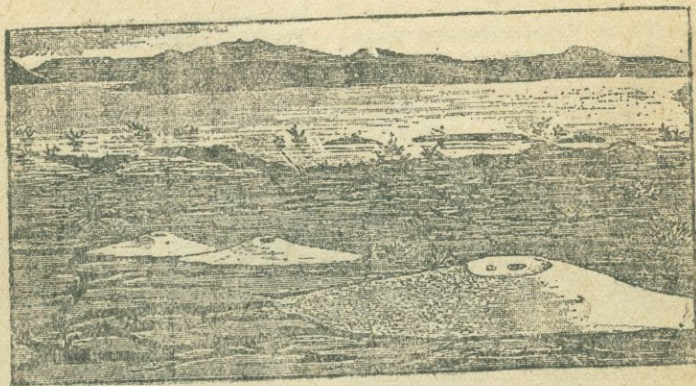


Рис. 175. Трещины и песчаные кратеры. Ахайское землетрясение 1861 г.

5. Действие землетрясений.

Образование трещин на земной поверхности является самым обычным явлением при землетрясении (рис. 174). Они могут достигать длины в несколько сот километров, как например при большом калифорнийском землетрясении в 1906 г. (рис. 172); по ним могут происходить сдвиги как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Подобные явления были установлены при докрийском землетрясении 1894 г., при землетрясении Мидори в Японии в 1891 г. (рис. 173) и наконец при землетрясении в Сан-

Франциско в 1906 г., когда вдоль берега образовалась трещина на протяжении 600 км, и страна, расположенная от нее на запад, подвинулась на 2—6 м к северо-западу, а область, расположенная на восток, сдвинулась, наоборот, к юго-востоку (рис. 172). Во всех подобных случаях происходит взаимное перемещение больших глыб, причем возникают устойчивые изменения поверхности, вполне устанавливающиеся во многих случаях триангуляцией.

Как явления второстепенного порядка, возникающие при землетрясениях, могут быть отмечены нарушения источников и образование воронкообразных углублений, так называемых круглых дыр, выдавливание из почвы газов и грязи и связанное с ним образование илестых и песчаных конусов над трещинами (рис. 175).

Другим замечательным действием многих землетрясений является стягивание земной поверхности, которое ведет к изгибам и сдвигам железнодорожных рельсов, мостов и т. д. (рис. 176); землетрясения кроме того вызывают горные осыпи и обвалы.

Движение больших глыб вызывает электричество трения, и потому землетрясения часто сопровождаются явлениями свечения (шаровая молния и мерцающие огоньки).

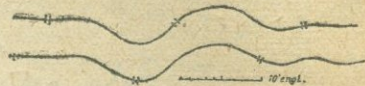


Рис. 176. Рельсы, согнутые землетрясением. Чарльстон 1868.

6. Сейсмичность. Причины землетрясений. Классификация землетрясений.

Давно уже известно, что землетрясения не всюду проявляются одинаково часто; во многих местностях они совершенно неизвестны, в других, наоборот, представляют обычное явление. К областям, испытывающим землетрясения очень редко и в очень слабой степени, относятся северная Германия, север Европейской и Азиатской частей СССР, северо-восточная часть Северной Америки, древний Бразильский массив и Центральные Африка и Австралия. В противоположность им частые землетрясения испытывают южно-европейские страны, Малая Азия, Персия, Аравия, склоны Гималаев и т. д. К исключительно сейсмическим областям, испытывающим особенно часто землетрясения, принадлежат побережья Тихого океана, особенно западный берег Южной Америки, а из культурных стран им особенно подвержены Япония и Италия.

Эти различия выступают особенно ясно при статистических сопоставлениях, которыми мы особенно обязаны Монтесю-де-Балору (Montessus de Ballore). Термином сейсмичность обозначают развитие частых и сильных землетрясений на каком-нибудь участке земной поверхности. Различают сейсмические области (с сильными и частыми землетрясениями), пенесейсмические (с более слабой сейсмичностью) и асейсмические (со слабыми сотрясениями или полным отсутствием землетрясений).

Сейсмичность различных стран старались представить и картографически, причем пришли к следующим выводам:

1. Наиболее подвержена землетрясениям экваториальная зона.
2. Они приурочены главным образом к двум поясам: тихоокеанскому, совпадающему с побережьем этого океана, и средизем-

в тектонических процессах. Теперь ее ставят в непосредственную связь с непрерывным сжатием земного шара. Она вызывает напряжения, которые постепенно становятся все сильнее и наконец разрешаются разрывами и сбросами земной коры. Каждое подобное образование трещин, равно как и движение глыб вдоль них сопровождаются сотрясением или землетрясением. Таким образом дислокации и землетрясения стоят в непосредственной связи.

Раз произошло землетрясение, напряжение нашло исход, и для данной области наступает временное успокоение. Постепенно однако возникают новые напряжения, которые вызывают новые землетрясения. Отсюда понятно, почему землетрясения распространяются предпочтительно по древним линиям разлома, и почему они охватывают области более молодого горообразования, больших грабен, котловин и иных областей опускания, т. е., вообще говоря, главными областями современного проявления землетрясений являются слабые, легко изгибающиеся участки земной коры.

Теперь все землетрясения, вызванные тектоническими причинами, называются *тектоническими* или *дислокационными*; предполагают, что к ним принадлежит большая часть мировых землетрясений¹. Они являются одноосными или многоосными землетрясениями и разделяются по направлению их главной оси, в отношении простирания пластов, на продольные и поперечные.

Судя по тому, что лежит в основании дислокационного землетрясения, образование ли сбросов или складок, различают землетрясения сбросовые и землетрясения складок. Большое число землетрясений относится к первому типу.

Другой класс землетрясений связан с вулканическими процессами. Эти вулканические землетрясения наступают почти всегда в сопровождении вулканических извержений. Они отличаются сравнительно ограниченной областью распространения, небольшой силой и находятся в явной связи с внезапными взрывами паров в глубине вулканического канала.

Кроме того Бранка и др. причисляют к вулканическим землетрясениям и те, которые вызваны глубокими вулканическими процессами, в особенности интрузиями магмы. Бранка назвала их *скрыто вулканическими* или *землетрясениями интрузий*. В этом случае причиной землетрясений является не только механическое действие, связанное с вторжением магмы в твердую земную кору, но и сопровождающие интрузию нагревание и растяжение покрывающих слоев.

Возможно, что многие землетрясения, обычно считаемые за чисто тектонические, на самом деле принадлежат к скрыто вулканическим, особенно в областях с сильно развитой вулканической деятельностью, как например Японские острова. Японские геологи уже давно заметили, что всем сильным землетрясениям предшествуют большие магнитные на-

¹ Лучшим примером такого мирового землетрясения, и к тому же продольного, служит землетрясение в Мраморном море в 1912 г. (рис. 178). Область его эпицентра находилась в области южных грабен, глубоко проникающих в Малую Азию; из них особенное значение имеет грабен, который обнимает самые глубокие места Мраморного моря. Тектонические причины этого землетрясения совершенно очевидны.

рушения, так называемые магнитные бури (обычно часов за 30), которые могут быть следствием лишь глубоких интрузий магмы. Землетрясению в юго-западной Германии в ноябре 1911 г., по наблюдениям Ланга (Lang), предшествовали подобные магнитные бури (и также за 30—56 часов), так что вместе с названным исследователем их так и рассматривали, как признаки землетрясения, вызванного интрузией.¹ Самую последнюю и незначительную группу землетрясений составляют землетрясения, вызванные *выщелачиванием* и *обвалами*. Они основаны на подземных провалах в пустоты, образовавшиеся вследствие растворения горных пород; поэтому их надо рассматривать как результат влияния экзогенных сил. Эти землетрясения, к которым надо отнести между прочим многочисленные сотрясения города Эйслебена в 90-х годах, а также землетрясение в Рейхенгале в 1910 г., отличаются очень неглубоко лежащим гипоцентром и более или менее центральной областью сотрясения.

В последнее время Ланг² провел более резкую грань, чем это было раньше, между главным землетрясением с одной стороны и последующим, а также предшествующим — с другой.

Главные землетрясения — это более или менее сильные сотрясения, которые вызывают первое нарушение неподвижных до того массивов горных пород. В основе их лежат частью тектонические, частью скрыто вулканические процессы. Землетрясениям последнего рода предшествуют магнитные нарушения, а тектоническим — не предшествуют.

Предшествующие и последующие землетрясения, наоборот, значительно слабее и более местного характера; они сопровождают главные землетрясения или следуют за ними. Особенно многочисленны могут быть последующие землетрясения: они вызываются постепенным возвращением глыб, сдвинутых главным землетрясением, к прежнему их состоянию покоя. Вызываются они большей частью тектоническими процессами и показывают явную периодичность в зависимости от космических влияний (положения луны, времени года и дня).

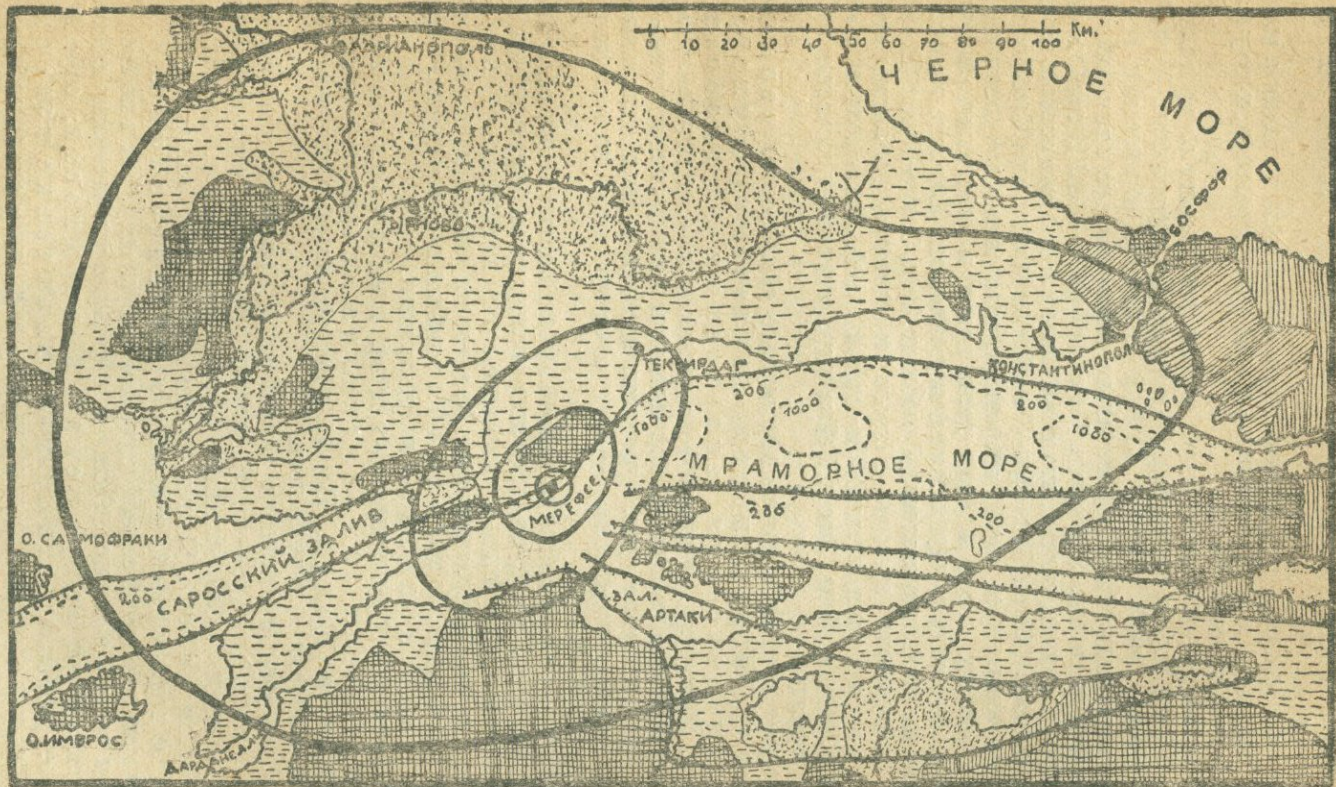
ПРОЦЕССЫ ГОРООБРАЗОВАНИЯ.³

Земная поверхность обнаруживает постоянную смену возвышений и понижений, выступов и углублений. Как те, так и другие очень различны по своему строению и размерам. Необходимо прежде всего отметить, как величайшие формы рельефа земной коры, между впадинами — огромные океанические бассейны, между выступами — материковые глыбы. За ними следуют между впадинами низменности и другие обширные пониженные пространства; между выступами — плоскогорья и складча-

¹ Lang, Neues Jahrb. f. Min., 1913, Beil., Bd. XXXV, S. 807; Зибегр (Sieberg) самым решительным образом оспаривает в своей «Erdbebenkunde (стр. 274) возможность землетрясения от проникновения магмы в земную кору.

² Lang, Klassifikation und Periodizität der tektonischen und kryptovulkanischen Beben. Neues Jahrb. f. Min., 1913, Beil., Bd. XXXV, S. 776.

³ A. Heim, Mechanismus der Gebirgsbildung, Basel 1878; Eduard Suess, Antlitz der Erde, Bd. III, Wien 1885—1909; L. Kober, Der Ban der Erde, Berlin 1921. — Ср. «Symposium on the structure and history of mountains and the causes of their development», Bull. Geol. Soc., America, Bd. XXXIV, 1923 (со статьями Cl. Schuchert, Hobbs и др.).



ИЗВЕРЖ. ПОРОДЫ и КРИСТ. ШИФЕР
 ПАЛЕЗОЙСК.
 МЕЗОЗОЙСК.
 ТРЕТИЧН.
 ДИЛЮВИЙ и АЛЛЮВИЙ
 РАЗЛОМ

Рис. 178. Карта разрушительного землетрясения в области Мраморного моря 9 августа 1912 г. (по Авг. Зибберг).

тые горы; наконец, как самые незначительные формы рельефа, можно назвать меньшие понижения и долины, более низкие горные цепи и отдельные горы.

Мы далее остановимся на происхождении океанических впадин и материковых глыб; здесь мы займемся лишь теми формами рельефа, которые стоят на втором и третьем местах.

Воззрения на причины отклонений земной поверхности от правильной сфероидальной формы с течением времени сильно изменялись. Датчанин Стено (Steno, 1669) кажется первый объяснил образование гор (дислокационных) поднятием первоначально горизонтально отложенных пластов осадочных пород. Знаменитый Вернер (1750—1817), наоборот, отрицал всякое поднятие, считая, что наклонные пласты уже отложились в таком положении. Гёттон, Пляйфер (Playfair) и Маккулох (Macculloch) (1790—1821) объясняли со своей стороны образование гор действием изверженных горных пород и этим дали повод к продолжительной известной борьбе между нептунистами и плутонистами. Великие геологи первой половины прошлого столетия Гумбольдт, Бух, Элиде-Бомон (E. de Beaumont) поддержали взгляды Гёттона и явились основателями теории поднятия вулканов и горных цепей. Лишь позднейшие исследования Ляйеля, Дэна, Зюсса, Гейма и др. установили господствующие теперь взгляды.

В настоящее время мы можем определенно сказать, что строение земной поверхности является результатом взаимодействия эндогенных и экзогенных сил. Последние (текучая вода, прибой волн, действие льда, ветра и выветривания) действуют разрушающе и поэтому нивелирующие; эндогенные процессы, наоборот, стремятся воссоздать первоначальные неровности земной поверхности, образуя в одном месте возвышения, в другом — углубления.

Если главная роль в создании рельефа принадлежит таким образом эндогенным силам, то среди этих последних особенное значение имеют дислокационные процессы и особенно 1) вертикальные смещения, вызванные радиальными движениями земной коры, и 2) горизонтальные смещения, обусловленные тангенциальным стяжением.

Первые вызывают образование трещин и сбросов и в связи с этим — поднятия и опускания, вторые же создают складки и надвиги. Первые образуют плоскогорья и столовые области, а вторые — горные цепи.

Теперь радиальные движения земной коры называют *эпейрогеническими* (*επειρος* — суша), потому что с ними связано образование континентов. Это название было дано в 1890 г. американцем Жильбертом (Gilbert). Тангенциальные движения, которые ведут к образованию горных цепей, называют *орогеническими*.

Оба эти рода движений земной коры как по существу, так и по своим проявлениям весьма различны. Складки и надвиги укорачивают длину глыб и обуславливают сокращение поверхности; опускания, наоборот, растягивают их и вызывают увеличение поверхности. Так как уменьшение поверхности, вызванное складкообразованием, бывает часто очень большим, и, наоборот, увеличение поверхности вертикальными дислокациями очень ограничено, — можно с уве-

ренностью сказать, что на всем земном шаре сокращение преобладает над растяжением. Наличие в какой-нибудь местности горизонтальных дислокаций исключает вертикальные дислокации; первые возникают в складчатых областях, а вторые — в столовых областях; там же, где оба эти рода дислокаций встречаются вместе, они принадлежат различным периодам времени.

1. Впадины земной поверхности.

Хотя они и значительно уступают выступам в разнообразии своих форм, все же они не менее важны уже потому, что составляют большую часть всей поверхности суши. Возможно, что многие из них, в особенности большие центральные пониженные области континентов, возникли в глубокой древности, может быть еще тогда, когда континенты только что выступили из-под уровня моря; иные образовались, наверно, лишь гораздо позже благодаря тектоническим процессам; ограниченное число их возникло может быть благодаря денудации, а также вследствие подземного выщелачивания.

Среди тектонических впадин особенно важны котловинные сбросы и грабены. Для образования первых необходимы периферические трещины, по которым пласты опускаются тем ниже, чем ближе они расположены к центру поля разломов. Грабены образуются тогда, когда существуют два или более параллельных сброса, между которыми произошло опускание.

Подобные поля разлома никоим образом не ограничены материками, но встречаются также и на дне морей. Таковыми являются упомянутые нами (на рис. 57) глубокие котловинообразные понижения Мексиканского залива и явно молодые сбросы других внутренних морей, а также грабены, ставшие известными в последнее время в глубоких областях океанов, например в западной части Тихого океана. Пока еще не ясны как их значение, так и способ их образования. Однако тот факт, что эти «глубокие океанические грабены», к которым также принадлежит и известная Тускарорская впадина, постоянно являются исходными пунктами больших землетрясений, доказывает, что они представляют собой настоящие поля разлома, которые все еще продолжают углубляться.

Великолепный пример грабена представляет Красное море.

2. Выступы земной поверхности.

Сюда принадлежат плоскогорья, горные цепи и горы.

Горные цепи, горные области.

При всяком горообразовании мы должны принять во внимание три различных процесса: 1) вулканическое накопление, 2) процессы разрушения и 3) тектоническую деятельность.

Отсюда вытекает деление горных образований на три главных типа: вулканические горы, горы разрушения и дислокационные горы.

1. *Вулканические горы или горы накопления.* Они отличаются не только своим вулканическим материалом, но и тем, что возникновение самой

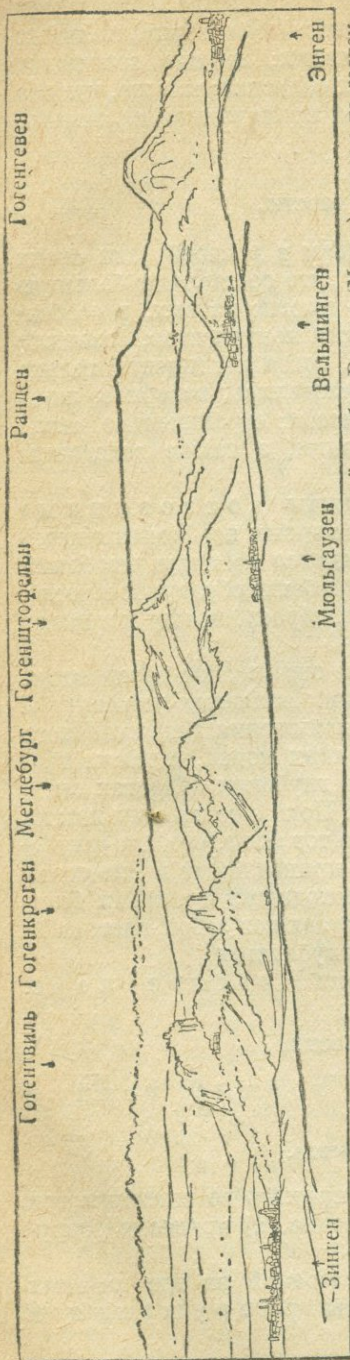


Рис. 179. Древняя вулканическая горная область Хеггау (с востока). Сзади плоский хребет Раппен (Мальм), совсем на заднем плане Альпы.

(По эскизу Альб. Гейма, нарисованному архитектором Отто Фолькверс.)

горы и составляющего ее материала происходит одновременно; у двух других видов гор их образующее вещество существовало уже раньше, и горообразование состоит в одном случае в разрушении этого вещества, в другом — в изменении его положения. К этому типу принадлежат куполообразные горы, образованные вулканическими извержениями на поверхности, как например Этна, Богемские Средние горы, Зибенгебирге, Хеггау (рис. 179) и т. д.; в другом случае горы и горные цепи образованы глубокими внутрителлурическими интрузиями и выступили на поверхность лишь вследствие денудации (например Henry Mountains в Утахе и некоторые другие лакколитовые горы Северной Америки)¹.

2. Горы разрушения (деструктивные) могут быть в свою очередь разделены на: а) эрозионные горы, т. е. горы и горные цепи, которые образовались путем расчленения плоско лежащего осадочного покрова или же сложенной в складки свиты пластов, обратившихся в небольшие участки отдельных глыб и зубцов, и б) денудационные горы, обязанные своими очертаниями и своей орографической самостоятельностью денудации.

Хорошие примеры эрозионных гор можно указать среди многих германских гор, сложенных пестрым песчаником и раковинным известняком. Вообще этот тип гор чаще всего принадлежит столовым и глыбовым областям. Самым наглядным, так сказать, школьным примером денудационных гор может служить Швабский Альб, обязанный своим образованием полого падающей на юг системе слоев, состоящей внизу из легко разрушаемых, сверху же, наоборот, из очень твердых и не поддающихся выветриванию горных пород (ср. стр. 167, выноску 1).

¹ А также и окрестностей Пятигорска на Кавказе. *Ред.*

Дислокационные или тектонические горы. Здесь важно определить, какие дислокационные процессы участвовали главным образом в горообразовании, именно было ли это смятие в складки или разломы и вертикальные сбросы. Поэтому различают две главных группы: складчатые горы и сбросовые или глыбовые горы.

У складчатых гор есть существенное различие между молодыми и более древними горами. Лишь у более молодых гор, в так называемых горных цепях, выступает наружу их складчатое строение. Оно ясно выражается в узкой, вытянутой

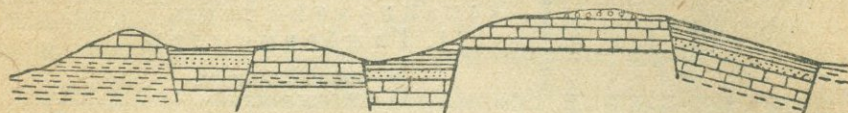


Рис. 180. Участок Швейцарской Столовой юры (по Клоосу).

в длину форме, и в многочисленных параллельных горных цепях, разделенных продольными долинами. Наоборот, у более древних складчатых гор, вследствие сильного и продолжающегося со времени их образования размывания, складчатое строение выступает лишь в редких случаях (Урал, Аллеганы). Их первоначальное строение к тому же сильно нарушено происходившими позднее сбросами, разломами и опусканиями. Вследствие этого во многих случаях большие участки прежних горных цепей опустились так, что уцелевшие части представляют лишь незначительные остатки, своего рода остов их первоначального строения. Отсюда понятно название остовные горы, данное им Рихтгофеном.

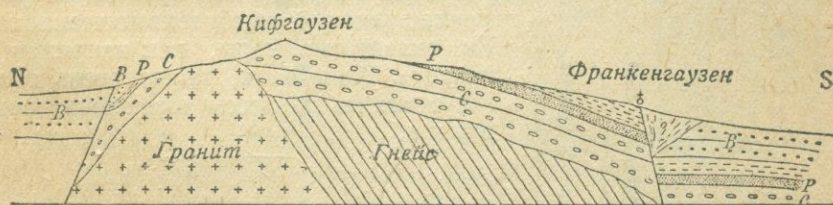


Рис. 181. Меридиональный профиль глыбовой горы Кифгаузена.
С — верхне-каменноугольные отложения, *Р* — пермь, *В* — пестрые песчаники.

К глыбовым горам принадлежат многочисленные одиночные горы и небольшие горные цепи (Тевтбургский лес, песчаниковые Эльбские горы, горы Лан у Марбурга), а также большие столовые плоскогорья всех континентов, представляющие собой то небольшие массивы, то обширные столовые области или плато, которые, по крайней мере с одной стороны, но часто и кругом ограничены сбросами и флексурами. Среди них можно различать столовые глыбы, подобные только что приведенным примерам, сложенные исключительно полого лежащими осадочными породами, и основные глыбы, которые подобно Шварцвальду, Вогезам и горам Кифгаузен (рис. 181) только кое-где сверху покрыты полого падающим осадочным покровом, тогда как из-под него, вследствие сильной эрозии, выступают на дневную поверхность более древние горные породы.

Некоторые горы, как например Швейцарская Юра¹, сплошь состоят из однородных цепей; другие (например Восточные Альпы, Пиренеи и т. д.) благодаря центральной зоне кристаллических сланцев, в которой с обеих сторон прислонены зоны более молодых осадочных пород, приобретают симметричное строение.

Другое различие заключается в прямолинейном или изогнутом направлении горных цепей (Пиренеи, Кавказ, Альпы, Карпаты, Гималаи). Вогнутая внутренняя сторона таких горных цепей обыкновенно окаймляет колоссальную область разлома (Верхне-итальянская низменность на юге Альп, Венгерская низменность на юге Карпат), в которой часто происходили извержения. Подобное дугообразное строение объясняют или ослаблением горизонтального давления (Гейм), или



Рис. 183. Распространение молодых складчатых гор.

явлениями скручивания [Лоренц (Lorenz)], или же наконец тем сопротивлением, которое оказывали древние мощные горные глыбы молодым, образующимся около них складкам (Зюсс). Так совершенно определенное влияние на направление Альп оказывали Французский центральный массив, глыбы Вогез и Шварцвальда, а в особенности Богемский массив. Все остальные части Альпийской горной системы (в самом широком смысле) также ясно обнаруживают отклоняющее и задерживающее влияние находящихся вблизи и внутри их глыбовых нагорий (рис. 184 и 185).

На рис. 185 показано (стрелками) направление тангенциального давления, которое вызвало образование складок. Видно, что для Альп, Юры, Пиренеев оно было с юга на север, и от этого зависело столь характерное для многих молодых складчатых гор одностороннее строение складок. Почти все складки вышеупомянутых гор без исключения направлены на север, туда же они наклонены, опрокинуты,

¹ Alb. Heim, Geologie der Schweiz, 1,2, Das Juragebirge, Leipzig 1918, 1919.

надвинуты и соответственно направлению волн с юга различным образом смяты над предгорьями третичного моласса. Это служит красноречивым доказательством горизонтальности смещающего движения.

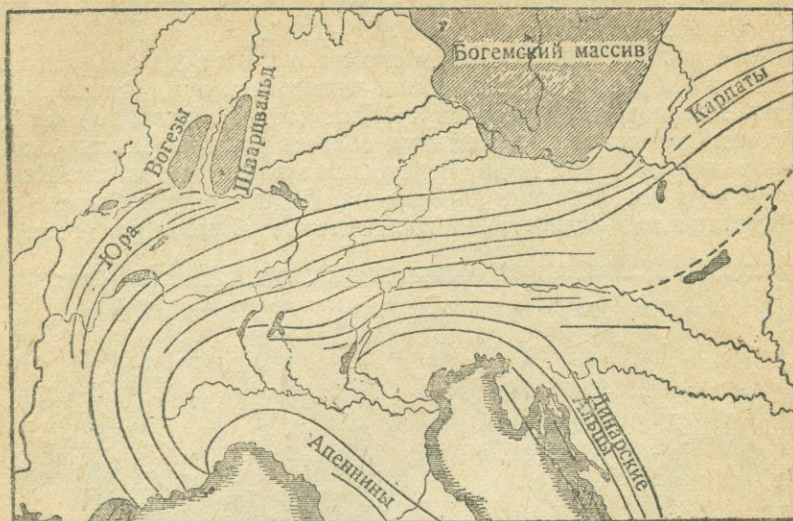


Рис. 184. Главное направление простираения Альпийских горных цепей и древнейшие массивы Европы.

Покровные складчатые горы. Их сравнительно новое изучение производилось Бертраном, Шартдтом и Люжоном (Lugeon) и основано на поразительных данных, полученных позднейшими исследователями от-

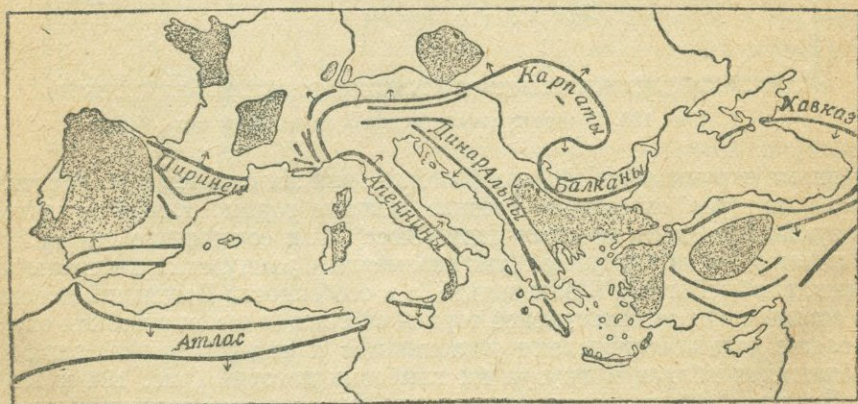


Рис. 185. Схематическая карта направлений Альпийской складчатой системы (черные) и расположенных между ними глыбовых массивов (серые).

носительно тектоники Альп. До настоящего времени они рассматривались как симметричные складки, но последние исследования все более убеждают в том, что эта горная область состоит из многочисленных обширных плоских, перекрывающих друг друга чешуй-

чатых складчатых покровов; все они наволочены с юга на север таким образом, что каждый из более молодых заходит на север дальше, чем его подстилающий. В связи с этим такие покровы представляют собой смещенные массы, чуждые своему современному местонахождению; первоначальная родина их иногда лежит более чем на 100 км к югу, поэтому они лишены корней. Рис. 182 и 186 изображают их сложное строение, представляющее крайнюю степень одностороннего смещения.



Рис. 186. Схематическое изображение складчатых покровов восточных Альп.

В Альпах различают следующие главные зоны:

1. Зона аутохтонных центральных массивов, т. е. зона, имеющая корни непосредственно в глубине центральных массивов (Дарский, С.-Готардский массив и др.), смятых в складки еще в каменноугольное время и несогласно перекрытых более молодыми слоями (рис. 187).

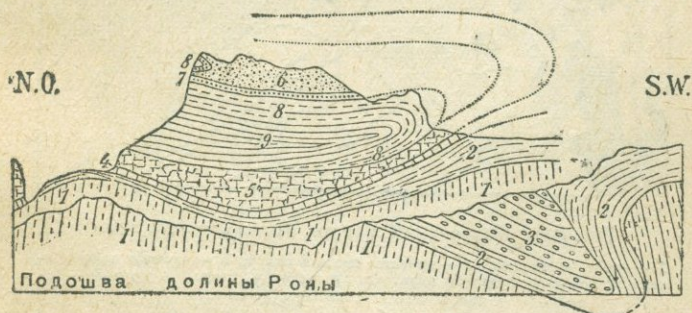


Рис. 187. Большая лежачая складка Dents de Morelles (Валис).

Несогласное перекрытие кристаллических сланцев (1) каменноугольными (2) и пермскими отложениями (3); (4—9) — третичные складки более молодых отложений.

2. Гельветская или Гларнерская покровная группа, берущая начало с южного края Аарского массива. К ней относятся Швейцарские Альпы и восточная часть Савойских Альп.

3. Пеннинские покровы, слагающие южную часть центральных массивов и окружающую ее зону сланцев.

4. Лепонтинские покровы, образующие скалы на Фирвальдштетском озере, зона Штокгорна и Шабле.

5. Восточно-альпийские покровы, образующие главную часть восточных Альп с восточно-альпийской фацией триаса.

6. Южно-альпийские «Динариды», исчезающие на западе по направлению к долине По. Отличаются более пологим залеганием с направлением падения на юг.

Все эти покровы отличаются совершенно определенными петрографическими и палеонтологическими признаками и представляют различные фации, расположенные однако не в своей первоначальной последовательности одна за другой, но вследствие тектонических смещений в самом разнообразном чередовании. Благодаря позднейшему разрушению некоторые покровы были частью сильно разрушены или даже разбиты на отдельные глыбы и скалы. Те места, где вследствие денудации верхнего покрова вскрыты нижележащие (рис. 186), называются «окнами».

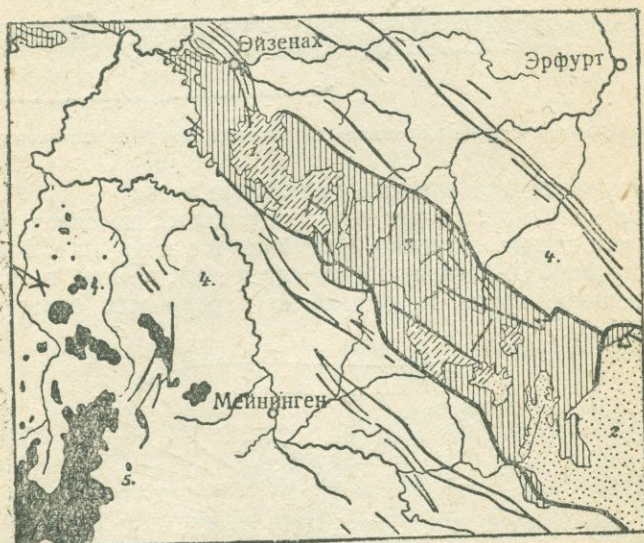


Рис. 188. Поперечный массив Тюрингенского леса.

1 — гнейс и гранит, 2 — древний нижний силур, 3 — пермь с относящимися к ней изверженными породами, 4 (белое) — триас, 5 (черное) — базальт; черные линии — сбросы.

Теорию альпийских складчатых покровов пытались применить и к Карпатам, Апеннинам, Пиренеям, Скалистым горам, а также к горным цепям острова Тимора и других областей. Но вполне приложима она до сих пор лишь к Альпам.

Более древние складчатые горы или остаточные горы. Сюда принадлежит большинство сильно разрушенных и разбитых сбросами складчатых гор более древних геологических периодов. В тектоническом отношении они представляют глыбы, сохранившиеся среди опустившейся кругом местности или даже приподнятые; следовательно это — горсты, которые разделяются сообразно положению их оси к простиранию пластов на продольные и поперечные (Рудные горы, Тюрингенский лес, рис. 188). Обыкновенно эти глыбы вследствие своего первоначального смятия в складки достигали такой степени прочности, что сопротивлялись дальнейшему горообразованию. Нечто подобное мы можем наблюдать на пластине жести: будучи смята в складки в одном направлении, она не поддается смятию в другом.

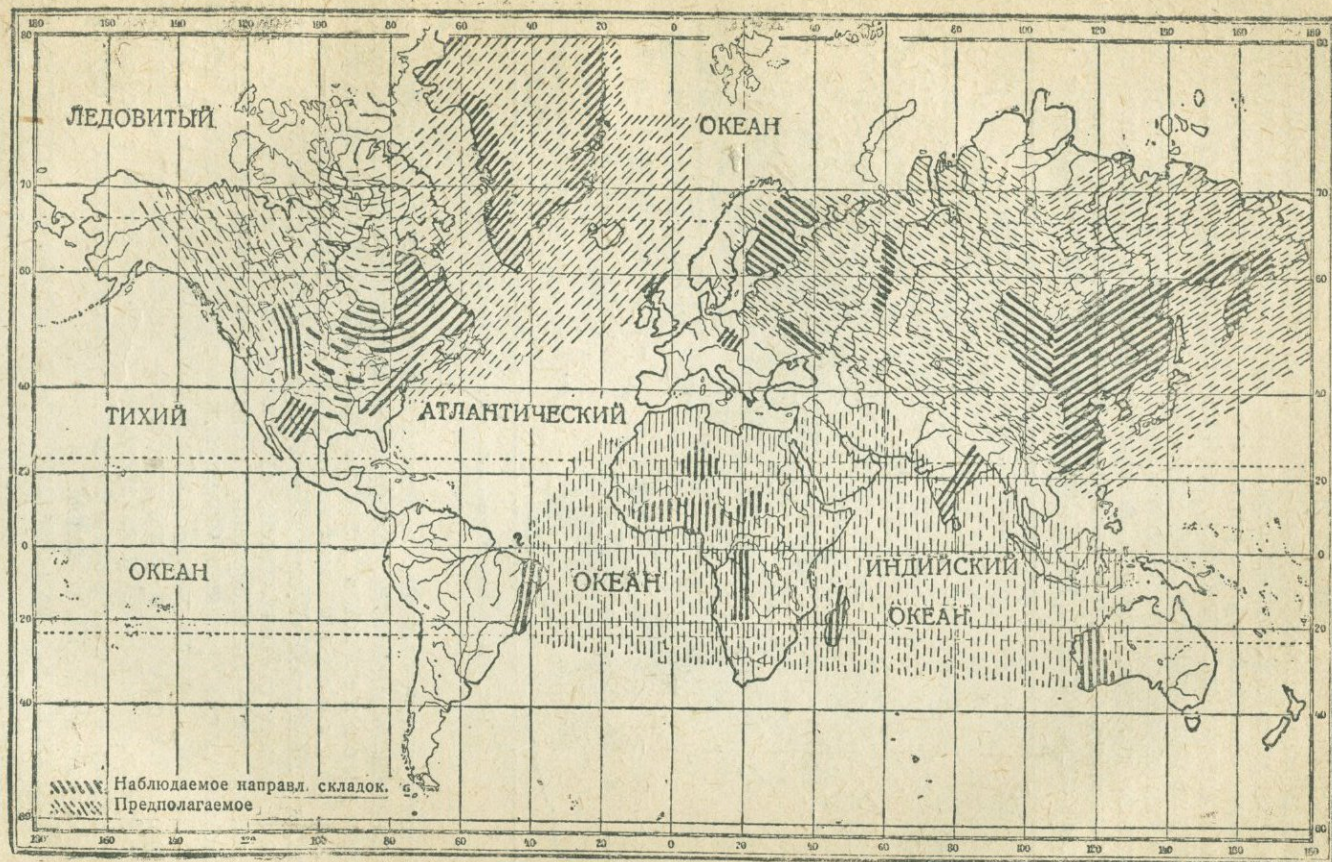


Рис. 189. Распространение и простирание первичных гор (по Рюдеману).

Здесь относятся большая часть срединных гор Германии и других стран, Рейнские сланцевые горы, Гарц, Фихтельгебирге, Шварцвальд и т. д., а также Урал, Тянь-Шань, Аллеганы. Большинство их образовалось в верхнем палеозое. Названные здесь германские остаточные горы являются лишь последними останками двух могучих каменноугольных поднятий: западной *армориканской* и восточной *варисцийской* складчатых дуг (Зюсс), сошедшихся к югу от теперешнего центрального Французского плато (рис. 190).

Существуют однако значительно более древние остаточные горы. К самым древним, складки которых возникли в доалгонкское время, принадлежат *большие центральные* или *первозданные массивы*, образующие ядра больших материков, которые во все последующее время

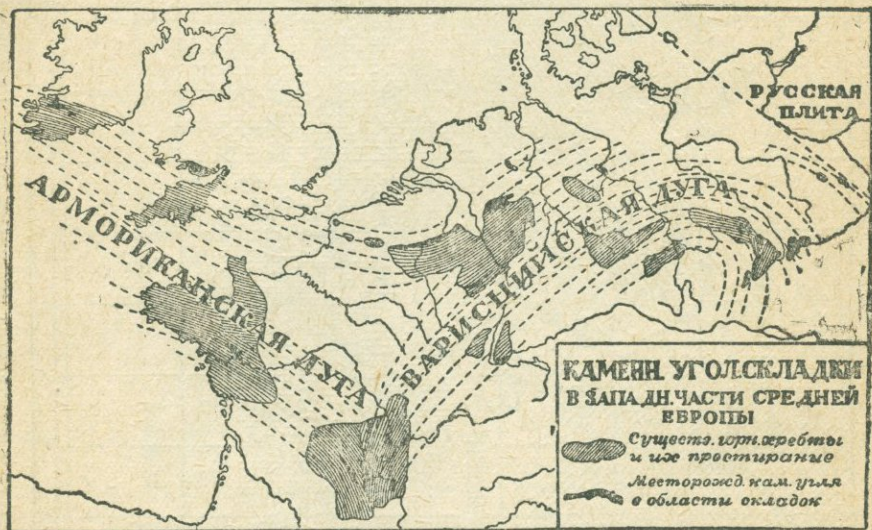


Рис. 190. Каменноугольные складки Западной Европы.

оказались неподвижными, асейсмичными и служили преградой для позднейшей складчатости, которую они часто задерживали и отклоняли. К этим древнейшим глубоким массивам принадлежат: 1) Африканский массив с Аравией и Мадагаскаром — может быть, и с индийской «Гондваной»; 2) Бразильский; 3) Канадский вместе с Гренландией; 4) Скандинавский с отделившимся куском — Шпицбергенем; возможно, что сюда же принадлежат гнейсовые глыбы Бретани и Французского центрального плато, иберийская Мезета, Богемия, южной части Европейской СССР и т. д.; 5) Северо-и Восточно-сибирский массив вместе с Ангарской областью (Зюсса) и их продолжение через Корею в юго-восточный Китай; 6) Австралийский массив и наконец 7) огромная Антарктическая глыба.

Если мы нанесем первозданные горы и направление их простираения на мировую карту (как это изображено на рис. 189), то получим весьма интересные результаты.

На северном полушарии Канадский щит обладает северо-восточным простиранием, Балтийский — северо-западным, Ангарский — северо-восточным. Последние два массива как бы сходятся под углом в середине Азии по линии северо-южного направления, а Канадский щит дугообразно соединяется с выходами гнейсов на западе Северной Америки.

В общем на северном полушарии можно различать два огромных первозданных массива. Оба обращены своими расширенными сторонами к северному полюсу и сходят на-нет к югу — Евразийский и Северо-американский. Последний через Гренландию достигает Гебридских островов, возможно, что к нему можно отнести даже Богемский массив. Этим двум огромным массивам на юге противостоит третий, еще больший; главную часть его составляет Африка. Этот массив с одной стороны достигает Австралии, с другой — Южной Америки, к нему также принадлежит Индийский полуостров (горы Арвали на юге Гималаев). Вся эта исполинская область отличается направлением простирания архейских складок с севера на юг.

Ярко также выступают и два других факта: во-первых резкое отделение южного первозданного массива от такого же массива северного полушария, и во-вторых совпадение раздела между южной и северной первозданными глыбами с той главной широтной зоной разлома Земли, все геологическое значение которой как главной зоны сейсмической и вулканической деятельности было подчеркнуто нами уже много раз. Вряд ли мы ошибемся, если поставим все эти факты в связь с условиями, существовавшими уже во время первоначального охлаждения Земли.

Возможно, что уже тогда, как первые отвердевшие массивы, возникли эти три исполинских гнейсовых глыбы, образовавшие ядра Евразии, Северной Америки и южного континента. Для Северной Америки, как это вывел Рюдeman (Rüdeman) в 1923 г., очертания древней глыбы определяют не только границы континентальных морей, особенно палеозойских и отчасти морей позднейшего времени, но выражаются и в очертаниях континента, как и в направлении его горных цепей, главных рек, а отчасти и больших озер.

Надо указать еще на некоторые факты, касающиеся складчатости земной коры.

Во-первых относительно факта больших колебаний напряженности складкообразования в различное время. Нами было уже указано, что древнейший и обширнейший период смятия совпадает с доалгонкским временем. Другое поднятие, которое можно проследить на огромной части поверхности Земли, наступило в каменноугольный период; оно названо герцинским, потому что вызвало в сердце Европы (по-немецки Herzen) образование могучих горных цепей (рис. 190). Последний период мощного складкообразования произошел в верхнетретичное время. Он создал в Европе большую Альпийскую горную систему, а в других странах света — иные могучие горные цепи (рис. 183). В промежутках между этими периодами особенно интенсивного тангенциального смещения существуют и иные, как например мезозойская эра, когда действие складкообразующих сил если и не совсем прекращается, то во всяком случае очень ослабевает.

Второе важное замечание касается постоянного сокращения областей складчатости. То обстоятельство, что на всей земной поверхности сильнее всего были смяты архейские горные породы, совершенно бесспорно указывает на то, что в архейское время еще совершенно отсутствовали глыбы, способные сопротивляться складчатости.

Земная кора была в то время еще настолько слаба, что доалгонское смятие проявлялось всюду. Но все последующие процессы складчатости уже сталкивались с глыбами, которые препятствовали поднятиям и отклоняли их. Так как с течением времени и число и площади подобных глыб увеличивались, область сминаемых частей земной коры должна была постепенно все уменьшаться. Это обнаруживается уже в значительном сокращении площади каменноугольной складчатости по сравнению с доалгонской; еще в большей степени сказывается это в сравнительно ограниченном распространении третичной складчатости, которая хотя и простирается от Атлантического до Тихого океана, но занимает лишь один и сравнительно узкий пояс.

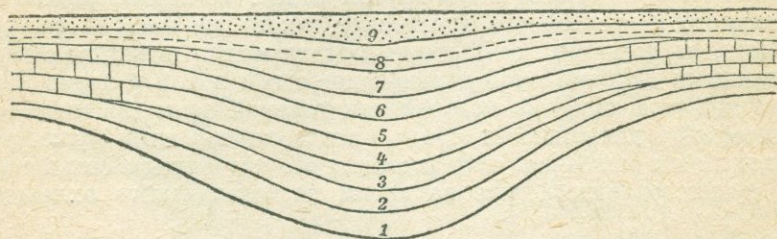


Рис. 191. Геосинклиналь, выполненная осадками (по Огу).

С этим фактом непосредственно связан и другой: мы имеем в виду различие, которое существует между одними частями земной коры, с глубокой древности сохраняющими свою гибкость и потому подвергающимися вновь радиальным и тангенциальным смещениям, и другими, которые уже с самых древних времен остаются неподвижными. К последним принадлежит так называемая Русская плита (рис. 190), занимающая большое пространство Европейской части СССР, значительные части области Северной Африки, массив так называемой Ангарской области Зюсса в Сибири, уже с кембрийского времени не подвергавшийся больше смятию, тогда как, наоборот, вся европейская средиземно-морская область представляет собой часть земной коры, сохранившую свою гибкость в продолжение всего геологического времени.

Согласно распространенному представлению подобными областями являются с самой глубокой древности слабые, легко подвижные и потому уже с ранних периодов существования Земли захваченные морем области, к которым всегда приурочено складкообразование. Дэна назвал эти участки земной коры *геосинклиналами*, представляя себе их в виде относительно узких, но глубоких трогов (рытвин), лежащих между большими континентальными массивами. В продолжение всех геологических периодов они были областями усиленного накопления мор-

ских осадков, так же как и усиленной складчатости, вместе с тем и горообразования. Так называемый Тетис, большое внутреннее море, которое простиралось от Южной Европы до Суматры и существовало начиная с кембрия до нижнетретичного времени, является одной из важнейших и бесспорнейших геосинклиналией.

Этот процесс можно себе представить так: синклинальное понижение, которое представляет собой впадину, как бы опустившуюся между двумя прочными континентальными массивами, постепенно наполняется осадками, которые у краев являются осадками мелкого моря, но к середине постепенно переходят сперва в батинальные, а потом в абиссальные отложения (рис. 191). По мере накопления осадков дно геосинклинали должно прогибаться все глубже и наконец достигнуть областей литосферы с высокими температурами. [Здесь наиболее глубоко лежащие слои должны были сделаться пластичными вследствие нагревания и по той же причине увеличивались в объеме, что вместе с тангенциальным давлением земной коры и вызывало их смятие в складки. Прижатые к краям геосинклинали складки должны были выступить из моря в виде постепенно поднимающихся цепей. Подобными процессами могла быть со временем выдавлена вся свита осадков геосинклинальной впадины, и на месте углубления, заполненного сначала морем, могла возникнуть высокая горная область. Таким образом геосинклинали являются не только местами накопления осадков, но и причиной происхождения гор (орогенетической зоной).

Особого освещения требуют еще так называемые передние или огибающие глубины (стр. 56). Это — необыкновенно глубокие океанические рывины, вытянутые часто на тысячи километров и особенно сильно развитые по внешнему краю восточно-азиатских островов. Они представляют собой очень важное геологическое явление и по своему положению впереди молодых высоких складчатых гор, и по своей необыкновенной глубине, на много тысяч метров превосходящей глубину моря, ограничивающего извне платообразный форлянд, а главным образом потому, что они являются очагами всех больших (мировых) землетрясений. Несмотря на это они привлекли большое внимание лишь в последнее время. Зюсс принимает их за провалы, аналогичные материковым «трабенам»; Штилле (Stille) — за прогибы без излома вроде вышеупомянутых геосинклиналией, а Зибберг (Sieberg), наоборот — и повидимому основательно — за самые обширные, какие мы только знаем, зоны разлома земной коры.¹

Подобными же глубокими рывинами или трогами были ограничены с внешней стороны большие цепи тихоокеанских гор и в прежние геологические периоды. Так Гималаи были ограничены Бенгальской впадиной, Альпы в миоцене — длинным трогом моласового моря, продолжавшимся от Швейцарии через южную Германию до Вены, высокие палеозойские Варисийские горы — проходившей от Англии через Бельгию и нижнерейнские провинции до Верхней Силезии длинной впадиной, в которой отложились каменные угли этих областей. Согласно новым воззрениям, эти окраинные глубины, которые, понятно, очень быстро заполнялись осадками, имели большое значение при горообразовании: из них время от времени

¹ Suess, *Antlitz der Erde*, Bd. III, 2, S. 670; Stille, *Alte und junge Saumtiefen*, Nachr. Ges. d. Wissensch., Göttingen 1919; Sieberg, *Erdbebenkunde*, 1923.

возникали новые складки, которые постепенно выступали из моря и образовывали новые цепи впереди прежних. Эту теорию в отношении Альп блестяще применил Эмиль Арганд (Argand).¹

Эти окраинные глубины можно объяснить тем колоссальным давлением, которое оказывали на морское дно постепенно надвигаемые к морю складки гор. Морское дно поэтому вдавливалось, преобразовывалось в переднюю глубину. С постепенным ростом гор постепенно изменялось и положение этой глубины. Она, так же как и горные цепи, постепенно продвигалась все дальше в море.

Понятно, что каждое горообразование вызывает сокращение той глыбы, где оно происходит: до смятия ее поверхность должна быть больше, чем после него. Так например глыба, на которой лежит Швейцарская Юра, должна была сократиться вследствие горообразования на четыре пятых, от Альпийской глыбы сохранилась лишь четверть или даже восьмая ее первоначальной ширины. После каждого складчатого смятия любого участка земной поверхности сокращается его ширина. Вместе с тем уменьшается и поверхность всего земного шара.

Таким образом мы пришли к важному выводу об уменьшении или сокращении земной коры. Этот вывод не гипотеза, но единственно возможное выражение того, что наблюдается во всех частях света: во всех земных поясах существуют складчатые горы, все континенты состоят из чередования нескладчатых столовых областей и равнин с глыбами, смятыми в складки.

Чтобы уяснить все значение этого грандиозного процесса, мы должны вспомнить, что Альпы, Юра, Карпаты и почти все остальные высокие горы возникли на Земле лишь в третичное время и кроме того принять во внимание, что сокращение земной коры происходило в течение всего геологического времени и продолжается еще до сих пор.

Доказательством этого положения служат землетрясения. По нашим современным взглядам, они являются главным образом следствием сокращения земной коры и связанного с этим процессом горообразования.

На основании всего изложенного мы должны признать, что Земля с момента своего образования постепенно сжималась, постоянно уменьшаясь в объеме. Если бы земная кора сохранялась в виде замкнутого свода, она не могла бы непосредственно участвовать в этом сокращении: слишком была бы она удалена от плавающего

¹ Argand, *Plissements précurseurs et plissements tardifs des chaînes de montagne*, Vech. Schweiz. naturf. Ges. Jahresvers. in Neuenburg, 1920, Aurau, 1921; ср. Heim, *Geologie der Schweiz*, 11, S. 880 и Kober, *Der Bau der Erde*, 1921, S. 92 и 157 f.

Согласно Арганду, Альпы имеют длинную предшествующую историю, начало которой относится по крайней мере к каменноугольному периоду. На протяжении всего этого времени у северного края гор существовала глубокая геосинклиналь, из которой одна за другой поднимались все новые цепи. При этом новые поднимающиеся складки все более продвигались наружу, к северу, в направлении лежащей впереди них и возникшей под действием их напора впадины, над которой они сминались в складки, взаимно перекрывая друг друга. Северные части Альпийской горной страны (главный хребет, Юрские горы и Карпаты) все больше продвигались на север в направлении центра Европы, тогда как, наоборот, южные части всей горной системы (Динариды, Апеннины и Атлас) направлялись на юг к Африке.

внутри ее ядра. Но так как вследствие тяжести она неотделима от ядра, она должна была приноравливаться к объему ядра, а это могло быть достигнуто лишь путем смятия ее в складки и разломов. Таким образом складчатость, надвиги, разрывы, горизонтальные и вертикальные смещения являются процессами, стоящими в непосредственной связи с вечным сжатием Земли.

ДИСЛОКАЦИОННЫЙ МЕТАМОРФИЗМ ИЛИ ДИНАМО-МЕТАМОФИЗМ. ¹

Могучие дислокации, связанные с сокращением земного шара, не только сбросили, смяли в складки и надвинули обширные глыбы земной коры, но во многих случаях сильно изменили и свойство горных пород, т. е. «метаморфизировали» их.

В отличие от контактового метаморфизма, который вызван изверженными интрузиями (ср. стр. 86), причина дислокационного метаморфизма заключается всегда в дислокационных процессах, в особенности в горообразовании. Связанное с этим поднятием сильное сжатие имеет во всяком случае большое значение при изменении горных пород. Но рядом с этим всегда действуют, способствуя превращению, повышенная температура ² и давление, возрастающие с глубиной, а также и водные растворы.

Вызванные метаморфизмом перемены заключаются иногда лишь в изменении текстуры пород, в других же случаях одновременно происходят молекулярные превращения и изменения в минерализации. Все эти превращения идут часто рука об руку, и их вообще очень трудно разделить.

¹ Alb. Heim, Mechanismus der Gebirgsbildung, Bd. II, Basel 1878; Van Hise, Treatise on metamorphism, U. S. Geol. Survey, Monograph 47, 1904; Becke, Entstehung des kristallinen Gebirges, Verh. d. Vers. Deutsch. Naturf. u. Arzte zu Salzburg, 1909; Grubenmann, Die kristallinischen Schiefer, 2 Aufl., Berlin 1910.

² То большое влияние, которое имеет на изменение горных пород одно лишь поднятие температуры, показывают изменения, которые испытали соли цехштейновых образований Германии при их перекрытии более поздними осадками, вследствие чего первые опустились в более глубокие и нагретые зоны Земли. Ринне (Rinne) первый указал в своей «Gesteinskunde» на те химические изменения, которые были вызваны поднятием температуры; он назвал их геотермическими или термометаморфозами (ср. Rinne, Die geothermische Metamorphose und die Dislokationen der deutschen Kalisalzlagertstätten, Abdr. aus «Fortschr. d. Min. Kristallogr. u. Petrogr.», Bd. VI, 1920). Арпениус, Лакман (Lachmann), Бёке (Böcke), Росца (Rosza) и др. по его почину использовали термометаморфизм для объяснения непонятого прежде современного состояния цехштейновых солей Германии.

Если например какая-нибудь соляная залежь покрыта толщей в 3 000 м более поздних отложений, то ее температура должна подняться приблизительно на 100°, а давление повыситься до 800 атмосфер. Этим даже без присутствия воды будут вызваны перемещения и химические превращения, которые резко изменяют первоначальную природу солей. Так например карналлит, каинит и каменная соль превращаются при 72° в смесь сильвина и кизерита, т. е. в характерное соединение для залежей калийных солей, в так называемые твердые соли. Приблизительно при 100° гипс обращается в ангидрит и воду, астраханит — в лёвент и т. д. Одним словом, все разнообразие современного состава германских залежей калийных солей прекрасно объясняется термометаморфизмом.

1. Метаморфизм с преобладающим изменением в текстуре.

Он состоит или в раздроблении и размельчении горных пород и называется метаморфизмом от раздробления, или же в сдавливании без заметного разрыва и тогда называется пластическим метаморфизмом. Первый господствует вблизи земной поверхности, тогда как с возрастающей глубиной начинает все более преобладать пластический. Это вызывается тем, что минеральные вещества под большим давлением приобретают молекулярно-пластические свойства, которые позволяют им очень сильно изменять свою форму: их мельчайшие частицы перемещаются одна относительно другой, не теряя своей связи, и породы в этом состоянии могут быть сдавлены и скручены, не разрываясь и не разламываясь. На этом основании Гейм создал свое учение о пластичности горных пород от давления и их переформировании без излома посредством сильного сжатия, связанного с горообразованием.

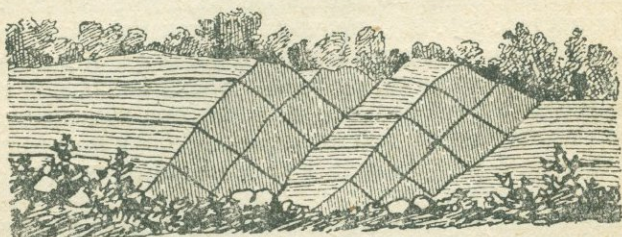


Рис. 192. Обнажение грубослоистых осадочных пород с перпендикулярной поперечной сланцеватостью.

Это учение нашло решительное подтверждение в последних исследованиях Кика (Kick), Ринне, Таманна (Tammann), Адамса (Adams) и др.

Совершается ли превращение с большим или меньшим разломом или без него, это помимо свойств породы существенно зависит от силы и продолжительности действующего давления, т. е. главным образом от той глубины, на которой происходит весь этот процесс. Это тем более важно, что, как доказал Таманн, повышение температуры очень способствует увеличению пластичности.

а) Метаморфизм от раздробления необыкновенно распространен как во всех древних, так и в более поздних складчатых горах, и вряд ли найдутся смятые и сжатые горные породы, где вполне бы отсутствовало это явление. Часто вся порода сплошь разбита на маленькие угловатые обломки, и только благодаря позднему цементирующему действию известкового шпата, кварца и других проникающих веществ она сохраняет свою цельность. Во многих случаях отдельные обломки при этом более или менее взаимно истирают друг друга, их бока покрываются мелкими поверхностями скольжения и бороздками, которые указывают на направление бывшего смещения. Выражения штукатурная структура (Mörtelstruktur), катакlastическая структура и «милонит» обозначают такого рода метаморфизм горных пород.

б) Пластический метаморфизм. Сюда принадлежит особенно распространенная во всех более древних складчатых горах вторичная или поперечная сланцеватость. По своему происхождению она чужда породе и представляет собой не что иное как результат давления, вызванного складчатостью и производящими ее

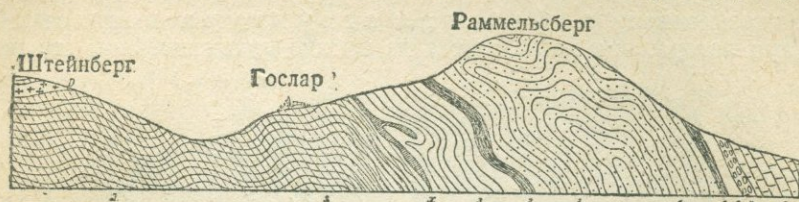


Рис. 193. Профиль нижедевонского воздушного седла Раммельсберг у Госслара.

Слева—среднедевонские, перпендикулярно к напластованию сланцеватые, так называемые Госсларские сланцы.

силами. Можно себе представить ее происхождение так, что мельчайшие обломки, образовавшиеся благодаря сжатию и сплющиванию, так долго взаимно терлись и скользили под влиянием давления, что наконец приняли строение мельчайших линз и чешуек. Так как эти мельчайшие чешуйки располагались перпендикулярно к направлению давления, порода приобретала более или менее полную сланцеватость по плоскостям, перпендикулярным направлению давления.

Так как давление действует постоянно более или менее тангенциально, то плоскости вторичной сланцеватости всегда круто наклонены, почти вертикальны. При этом положение сланцеватости совершенно не зависит от способа залегания и наклона тех пластов, в которых она развивается. Часто она продолжается с большим постоянством через всю горную область, совершенно не изменяясь под влиянием мутьовых изгибов, флексур и сбросов (рис. 193).

Некоторая зависимость от строения пластов выражается лишь в том, что простирание сланцеватости более или менее совпадает с простиранием складок, образованных пластами. Так например в Рейнских сланцевых горах и в Гарце поперечная сланцеватость почти всегда совпадает с направлением общего простирания (приблизительно ЮЗ—СВ). То же самое, по Гейму, наблюдается в Альпах.

Если среди вторично рассланцованных пород залегают отдельные твердые включения, не поддающиеся расплющиванию (серые вакки, кварциты и т. д.), то они сминаются давлением в маленькие складки. Та же

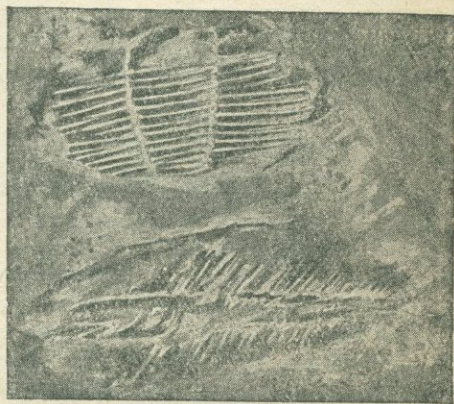


Рис. 194. Изуродованные нижесилурийские трилобиты.

участь постигает и ископаемых, заключенных в сланцах: они часто претерпевают удивительные изменения. Если они лежат по направлению давления, они сжимаются и укорачиваются, если же, наоборот, они лежат перпендикулярно к направлению давления, то они расплощиваются и вытягиваются (рис. 194).

Так называемая грифельная структура многих сланцев, благодаря которой они распадаются на тонкие призматические стержни,

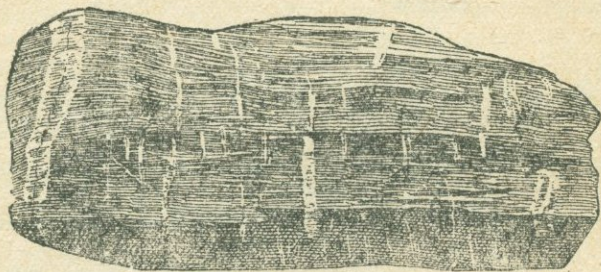


Рис. 195. Линейно вытянутый сланец с многочисленными трещинами разрыва, выполненными известковым шпатом. Швейцарские Альпы.

также обусловлена трансверсальной (поперечной) сланцеватостью и вызвана тем, что горная порода помимо распада по первоначальным плоскостям слоистости обладает еще второй перпендикулярной трещиноватостью, вызванной поперечной сланцеватостью.



Рис. 196. Вытянутый и разорванный Юрский белемнит. Швейцарские Альпы.

Другим результатом пластического метаморфизма является так называемое **растягивание**. Оно связано с тем, что при давлении породы ее мельчайшие частицы располагаются под прямым углом к направлению давления и вытягиваются, благодаря чему порода приобретает своеобразную древесинную структуру (рис. 195). Многие глинистые сланцы, филлиты, гнейсы, а также известняки Альп и других складчатых гор проявляют растянутую текстуру. Если такие породы содержат окаменелости, последние тоже бывают вытянуты и раздроблены (рис. 196).

2. Метаморфизм с преобладающим изменением в минерализации.

Сюда относятся превращения, происходящие на значительных глубинах земной коры при более высоких температурах и более высоком давлении, вызывающем постоянное пластическое состояние горной породы. Метаморфизм при этом проявляется гораздо сильнее и часто совершенно изменяет

первоначальный петрографический состав горной породы. Как бы далеко ни шло при этом изменение горной породы, ее первоначальный химический состав или совсем не бывает затронут, или едва затронут.

Дислокационный метаморфизм представляет собой явление огромного значения, его можно проследить по всей Земле, действие его захватило большую часть как древнейших, так и более молодых складчатых гор и всегда проявляется зонально в областях смятия и раздробления при горообразовании. Он никоим образом не связан с изверженными интрузиями: это видно уже из того, что изверженные породы часто при этом удалены на большие расстояния. Причину же метаморфизма надо скорее искать в тектонических процессах, в давлении земной коры, в складчатости и смятии. Этим и объясняется, почему подобные превращения встречаются лишь в сильно дислоцированных породах.

Не всегда бывает легко доказать наличие метаморфизма. Только в том случае можно признать его бесспорным, когда можно видеть постепенный переход видоизмененной породы в неизмененную или если удастся найти в метаморфизованной породе бесспорные остатки организмов, как это неоднократно случалось.

Чаще всего подвергаются метаморфизму известковые породы, превращающиеся в кристаллические мраморовидные известняки; в них часто образуются всевозможные кристаллические силикаты, как например биотит, мусковит, серицит, хлорит, гранат и т. д. Глинистые породы также легко метаморфизируются: сланцеватые прослои превращаются в слюду и серицит, образуют филлитовые сланцы, сходные со слюдистыми; а в тех случаях, когда вновь образуется полевой шпат, получаются гнейсовые породы. При этом залежи красного железняка превращаются в залежи магнитного железняка, а углистые отложения превращаются в графитовые сланцы.

Песчаные породы превращаются в кварциты и в кварцевые слюдистые сланцы. Если же в них содержится галька, последняя располагается параллельными рядами, расплющивается и вытягивается в длину и подчас даже изгибается и сжимается в складки так, что почти совершенно утрачивается первоначальный галечный характер подобных «сланцевых конгломератов».

Менее ясно выступает метаморфизм у кристаллических массивных пород. Независимо от того, принимают ли они сланцеватую или волокнистую структуру, которая часто несет следы имевшего место смятия, здесь образуются новые минералы, в особенности серицит, хлорит, тальк, эпидот, альбит, актинолит, дистен, ставролит и т. д.

Прекрасные примеры подобных превращений представляют собой Альпы. Таковы например глубоко защемленные в гнейс зоны мезозойских известняков, доломитов и гипсов на южной стороне Готарда у Айроло; таковы же и сильно раскристаллизованные юрские сланцы Скопи и Фернигена, содержащие вместе с гранатом и кристаллами хиастолита белемниты. Прекрасные примеры дислокационного метаморфизма и мраморизации осадочных известняков представляют также знаменитые зубчатые известняки Мальма и гнейс (вернее — сланцеватый гранит) на северном краю Финстераргорнского массива в Берн-

ском Оберланде (Юнгфрау, Меттенберг, Гстелигорн, рис. 197). Путем также метаморфизации триасовых осадков образовался недалеко от Специи пользующийся мировой известностью скульптурный каррарский мрамор вместе с сопровождающими его серицитовыми, хлоритовыми, дистеновыми и слюдяными сланцами. В Германии в *Hoher Vepp* и прилежащих бельгийско-французских Арденнах наблюдаются хорошие примеры дислокационного метаморфизма (содержащие оттрелит и гранат сланцы со *Spirifer paradoxus* и другими девонскими окаменелостями у св. Губерта и др.).

Уже давно, благодаря исследованиям Н. Реуша (Reusch)¹, известны превращенные в филлиты слюдястые сланцы и гнейсы, силурийские горные породы полуострова Бергена, содержащие окаменелости. Еще более

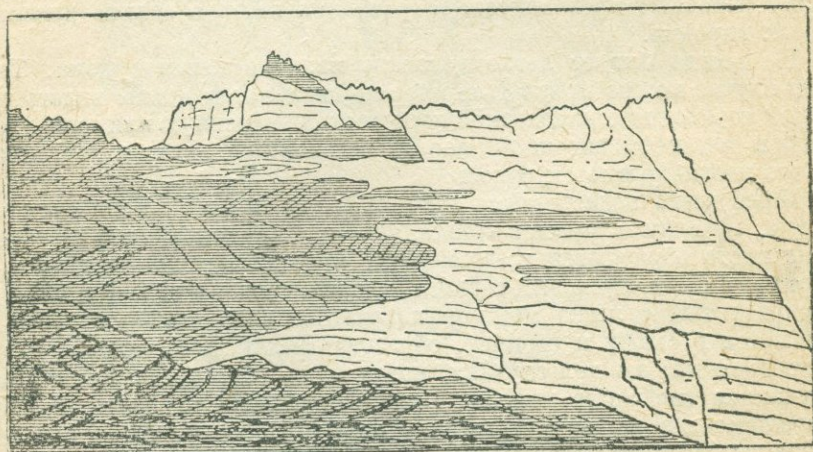


Рис. 197. Совместное смятие Юрских известняков и гнейсов у Гстелигорна (по Бальтеру). Известняк—светлый; гнейс—темный.

грандиозный пример весьма сильной степени дислокационного метаморфизма представляют собой обширные пространства берегов Калифорнии, смятые в складчатые горы лишь в третичное время.

Во всех упомянутых нами случаях выступает та бесспорная связь, которая существует между горообразованием и изменением горных пород. Первым указал на эту связь К. Лоссен (K. Lossen). Он считал главной причиной метаморфизма высокие температуры, вызванные дислокацией, и превращение тепла в молекулярную и химическую работу. Все исследователи сходятся теперь на том, что главной причиной метаморфизма считают высокую температуру и огромное давление, которые свойственны большим глубинам. Ван-Хайз (van Hise), Беке (Becke), Грубенманн (Grubenmann), Гольдшмидт (Goldschmidt) и др. рассматривают степень изменения динамометаморфизованных пород как прямую функцию от той глубины, в которой протекает этот процесс.

¹ Reusch, Fossilführende kristallinische Schiefer von Bergen, 1883.

Так возникло учение о глубоких зонах дислокационного метаморфизма. Грубенманн¹ различает три зоны. В верхней (эпи-) зоне механическое превращение еще преобладает над химическим. Здесь еще могут устоять содержащие воду минералы. Тут обычно встречаются серицит, хлорит, тальк, хрупкая слюда, железный блеск, альбит, эпидот и цоизит, роговая обманка, серпентин. В средней (мезо-) зоне резко выступает химическое превращение. Вместо содержащих воду минералов здесь встречаются безводные. Обычно здесь находят мусковит, микроклин, олигоклаз, биотит, эпидот и цоизит, роговую обманку, гранат, ставролит, дистен и др. Наконец в самой глубокой (ката-) зоне химические влияния проявляются еще сильнее. Кроме биотита здесь нет уже никаких водосодержащих минералов. Обычно ортоклаз, все плагиоклазы, биотит, авгит, оливин, гранат, кордиерит, силлиманит, шпинель, ильменит и т. д.

В верхней зоне главным образом образуются филлитовые породы, кварциты, конгломератовые сланцы, серпентин и тонкозернистые мраморы; в средней зоне преобладают слюдястые, роговообманковые и гранатовые сланцы и гнейсы, кварциты, лучистый сланец и среднезернистые мраморы; в самой глубокой зоне наконец — различные гнейсы, затем гранатовые породы, гранулиты, эклогиты, оливиновые и авгитовые сланцы и др., мрамор здесь крупнозернистый. В этой глубокой зоне особенно показательны большое сходство всех этих пород с плутонитами и полное исчезновение признаков их осадочного происхождения.

Если сопоставить главные различия, которые существуют между дислокационным метаморфизмом и ранее рассмотренным контактовым метаморфизмом, получится следующая схема:

Дислокационный метаморфизм связан с зонами складчатости, часто удален от изверженных пород.

Никогда не вызывает остеклования.

Преобразует угли в антрацит и графит.

Перекристаллизация без образования новых веществ.

Образование минералов, зависящее в различных зонах от высоты температуры и давления. Образование минералов с малым молекулярным объемом. Очень характерны серицит и дистен.

Многие минералы одинаковы и при том и при другом метаморфизме (гранат, слюда, полевой шпат и т. д.).

Суммарный анализ остается неизменным.

Вызывает образование сланцеватой и параллельной текстуры и образование линейного растяжения и поверхностей скольжения.

Оба способствуют более высокой кристаллизации.

Контактный метаморфизм связан с контактом изверженных пород.

Вызывает остеклование и оплавление.

Коксует угли.

Пневматолитически выделяет F, B, Be, Sn и т. д., а в водных растворах SiO_2 , щелочи и т. д.

Многочратная перекристаллизация с образованием новых веществ под действием проникающих газов и водных растворов.

Типичные контактовые минералы — андалузит, кордиерит, скаполит, волластонит, везувиан, известковый гранат, шпинель и т. д.

Суммарный анализ метаморфизованных пород часто отличается от анализа первоначальных пород.

Вызывает образование массивных текстур.

¹ Grubenmann, Die kristallinen Schiefer, 2 Aufl., Berlin 1910.

Хотя таким образом и пытались разделить оба эти вида метаморфизма, тем не менее за последнее время все больше и больше склоняются к мысли, что действие контактового метаморфизма, протекающего на большой глубине, очень сходно с действием дислокационного метаморфизма, и между ними невозможно установить резкой границы.

На основании этого факта нельзя удивляться тому обстоятельству, что с глубиной мы все больше приближаемся к магматической зоне земли.

ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ КОНТИНЕНТОВ (ПОДНЯТИЯ И ОПУСКАНИЯ).

Почти на всех морских берегах находят следы прежнего более высокого или более низкого стояния воды. Часто можно убедиться в том, что подобные колебания продолжаются и в настоящее время. Таким образом граница между морем и сушей испытывает перемещение: у иных берегов она отступает, у других, наоборот, она наступает на сушу. Подобные движения совершаются обыкновенно крайне медленно и в сотни лет достигают всего лишь нескольких дециметров или даже сантиметров.

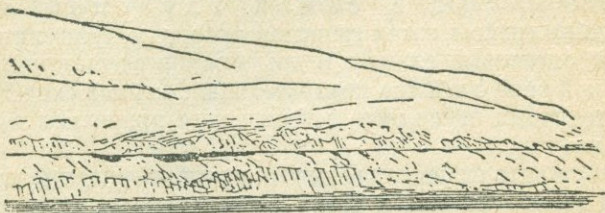


Рис. 198. Высокие морские террасы у берегов Финмаркена (по Реушу).

Известны однако случаи, когда подобные поднятия происходили гораздо быстрее. Так например остров Пальмарола (Тирренское море) поднялся за последние 70 лет на целые 64 м.

Эти изменения высоты, которые по почину Сарториуса (Sartorius) называли вековыми или континентальными поднятиями и опусканиями, объясняли прежде вертикальными движениями суши. Вполне однако понятно, что поднятие берега в той же мере может зависеть от опускания уровня моря, как и от поднятия суши, и, наоборот, затопление берега может быть вызвано как повышением морского уровня, так и опусканием суши. Чтобы располагать терминами, не зависящими ни от какой гипотезы, Зюсс принимал отрицательные (вместо поднятия суши) и положительные перемещения береговой линии (вместо опускания суши), обозначая по обычаю прибрежных жителей повышение уровня воды плюсом, а его падение — минусом. Мы же будем придерживаться здесь прежних терминов: «опускание» и «поднятие».

Главным признаком поднятия являются высоко расположенные береговые террасы. Мы уже упоминали, что у всех крутых берегов (стр. 105 и 151) прибой волн образует береговую платформу. При быстром поднятии берега и она поднимается на более высокий горизонт, в то же время на уровне моря возникает новая терраса. Такого рода высокие террасы, равно как и

прежние береговые линии, встречаются по несколько одна над другой почти у всех крутых берегов Северной Европы, в особенности же в Норвегии (рис. 198), Шотландии, на Атлантическом берегу Северной Америки и т. д.

Труднее обнаружить признаки опускания берега. Кроме затопленных построек, сооружений, улиц, лесов и т. д., сюда надо отнести особенно подводные долины, встречающиеся у норвежского и лигурийского берегов, равно как у атлантического и тихоокеанского берегов Северной Америки. Самый грандиозный пример подобного опускания долины представляет собой, пожалуй, русло Конго (рис. 199), которое в виде рытвины до глубины почти в 2 000 м продолжается по дну океана более чем на 130 км от берега, сохраняя направление этой гигантской реки.

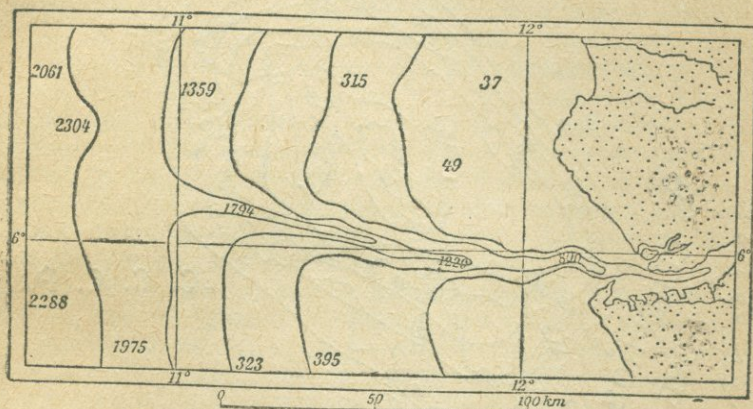


Рис. 199. Подводное русло реки Конго (по Шотту).

Иногда в этом чередовании опусканий и поднятий происходят задержки. Убедительнее всего в этом отношении было нахождение у Пилау недалеко от Балтийского моря среди морских отложений на глубине 30 м аллювиальной пресноводной фауны.

Самый известный пример обширного и сравнительно недавнего поднятия представляет собой Скандинавия. Его признал уже Л. фон-Бух и высказал предположение, что внутри страны оно было больше, чем у берегов. Это впоследствии подтвердилось измерениями, произведенными французским физиком Браве (Bravais). Зюсс как решительный противник взгляда относительно всяких самостоятельных поднятий отдельных глыб подверг сомнению правильность измерений Браве; но тщательные новые исследования Геера¹ и Седергольма (Sederholm) установили, что Бух был во всяком случае прав: поднятия по направлению вглубь страны становятся все больше и достигают приблизительно 300 м, тогда как в направлении к берегу они все уменьшаются. В Дании вообще не происходило никакого поднятия. Следуя дальше в южном направлении, мы встретим северо-германское побережье — область, которая уже

¹ Геер первый наглядно изобразил на карте соотношения поднятий страны с помощью так называемых изонабаз, т. е. линий, соединяющих точки одинаковых поднятий.

опускается. Отсюда определенно вытекает, что поднятие Скандинавии может быть связано лишь с действительным поднятием материка, но отнюдь не с отступанием моря.

Подобные же соотношения повторяются и у древнего горного массива полуострова Лабрадора. Здесь тоже совсем недавно произошли поднятия, которые внутри страны были значительно больше, чем у берегов.

Новые тщательные исследования установили для Неаполитанского залива, в особенности же для острова Капри, а затем и для Молуккских островов и для некоторых других областей,

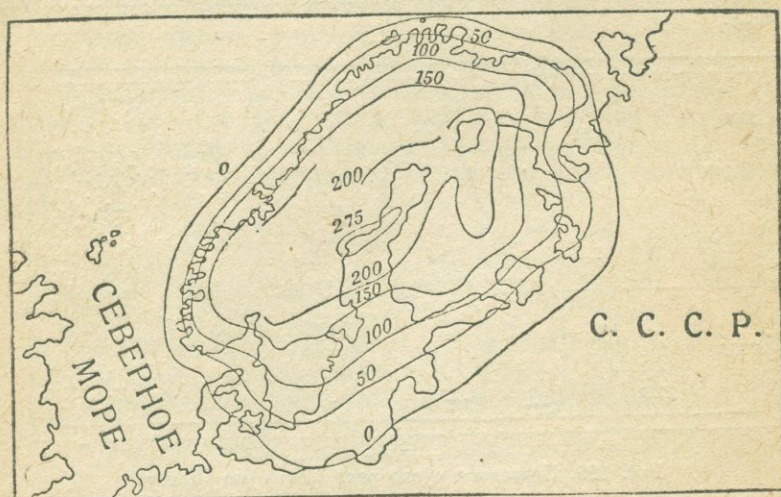


Рис. 200. Карта послеледникового поднятия Скандинавии (по Седергольму).

что находящиеся даже в самом близком соседстве участки земной коры совершенно не зависят в своем движении друг от друга: поэтому одна глыба может сильно подниматься, другая поднимается слабее, наконец третья может опускаться.

В некоторых случаях на происходившие значительные изменения высоты залегания какой-нибудь свиты пластов со времени ее отложения указывают ископаемая флора и фауна.

Особенно убедительные в этом отношении примеры представляют тихоокеанские берега Северной и Южной Америки. Мощные горные цепи Анд обязаны своим происхождением колебаниям поверхности, которые начались с конца мелового периода, действовали в продолжение всего третичного, включительно до четвертичного периода, и переместили на современную высоту и прилежащие с востока области — плато Колорадо и Перуанско-Боливийскую плиту. Отсюда ясно, почему плиоценовая флора тропического характера, которая могла существовать лишь на небольшой высоте над уровнем моря, теперь находится у Потози на высоте, превышающей 4 000 м, в холодных, совершенно не соответствующих ей условиях. Флора Потози опреде-

ленно указывает на очень недавнее поднятие западного берега Южной Америки, наступившее лишь после третичного периода и достигшее по крайней мере 1 500 м.

Эти же поднятия образовали высокое плато в Боливии и Перу, на котором в это время вновь пробудилась вулканическая деятельность, создавшая на них огнедышащие горы высотой в 6 000 м и более. Вряд ли надо доказывать, что необыкновенно глубокие каньоны Большого Колорадо и других рек тоже могли образоваться в результате подобных недавних поднятий запада Северной Америки.

В настоящее время подобные движения земной коры все еще продолжают. Уже с давних пор известно, что некоторые места средней и северной Германии (в особенности церковные башни) с течением времени делаются видными с новых точек, откуда раньше их нельзя было видеть. Из этого можно вывести заключение о происходящих там тектонических движениях поверхности.

В южной Германии были произведены наблюдения, в особенности в области Боденского озера. Боденские и швейцарские точные измерения установили, что так называемый озерный бассейн — известное понижение в виде грабена, идущее в северо-западном направлении посреди швейцарско-южно-германской молассовой мульды, — испытал в последнее время, частью вследствие землетрясений, многочисленные опускания. Так например подобное опускание у Брегенца в 1896—1906 гг. было около 102 мм, а у Констанца в течение 1817—1890 гг. — 317 мм. Опускание, наступившее там с послеледникового времени, равняется даже 15 м, как это удалось определить на основании высоты расположения образовавшихся тогда береговых терас над современным уровнем озера.¹ Гораздо лучше подобные процессы были изучены в Верхнебаварском альпийском форланде, где в последнее время были произведены тщательная триангуляционная съемка и нивелирование.²

Эти работы установили: 1) что точки треугольника, заложенные в северном краю баварских Альп в промежуток времени с 1801 по 1905 г., сдвинулись на северо-восток на 0,25—1 м или на такое же расстояние приблизились к Мюнхену; 2) что вся область, лежащая на восток от Мюнхена, находится в состоянии постоянного опускания, которое все усиливается в направлении на север от края Альп, а также от Мюнхена на восток к Зальцбургу и у Марктля (недалеке от австрийской границы) за время с 1887 по 1906 г. достигло 66,4 мм. Если же мы соединим (как на рис. 201) все точки одинакового опускания линиями, которые соответственно изонабазам Геера) мы назовем *изокатабазами*, получится ясная картина этого замечательного процесса опускания, который при одинаковой интенсивности в несколько тысяч лет образует внутри Баварского плоскогорья такой же озерный бассейн, как и Боденское озеро.

Захватывающие большие площади и необыкновенно быстро протекающие процессы опускания установлены в новейшее время и для поверхности Франции.³

¹ C. Regelmann, Ber. d. Oberrhein. Geol. Vereins, Lindau 1907.

² M. Schmidt; Sitz.-Ber. Bayer. Akad., 1918, S. 373; 1920, S. 297.

³ Kayser, Lehrbuch der allg. Geologie, 7/8 Aufl., 1923, II, S. 431; ср. того же автора, Abriss, 3 Aufl., 1922, S. 540.

Они особенно интересны своей бесспорной зависимостью от тектоники страны.

Такого же рода процессы наверно совершались в продолжение всего геологического времени.

Лучшим доказательством этого является мощность некоторых морских песчаников и конгломератов, превосходящая иногда 1 000 м (миоценовые в области Риги — Нагелфлю по меньшей мере 2 000 м, триасовые песчаники Конектикута 4 000 — 6 000 м). Подобные грубозернистые отложения могли возникнуть в условиях лишь мелкого моря; их мощность будет понятна только в том слу-

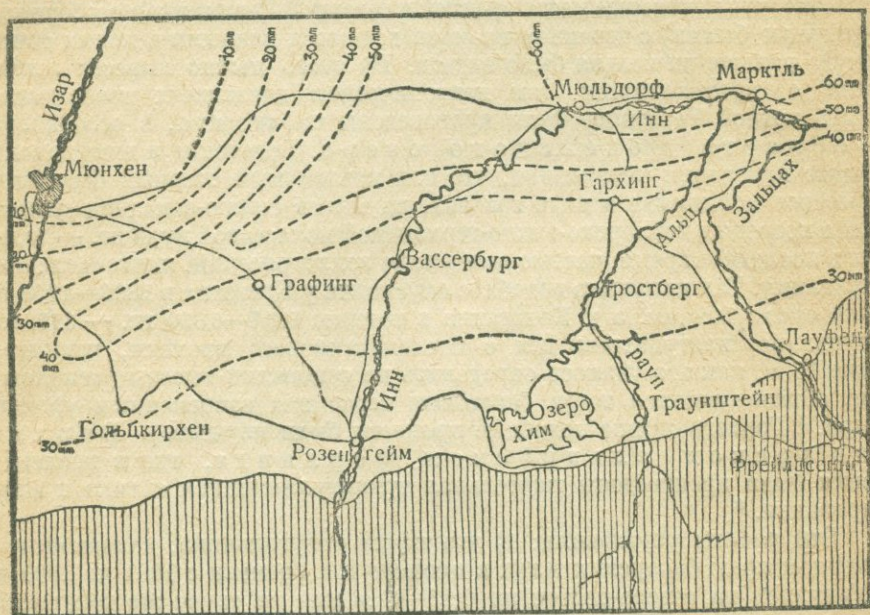


Рис. 201. Процессы опускания в верхнебаварском Альпийском форлянде.

чае, если мы примем медленное опускание отлагающего бассейна. Дарвин, как известно, старался объяснить продолжительным опусканием морского дна поразительную мощность некоторых атоллов.

Другим веским доказательством является чередование морских и пресноводных отложений в различных системах. Несколько раз морское дно высыхало и покрывалось пресноводными слоями, после чего вновь опускалось ниже уровня моря и застилалось снова морскими отложениями. Подобными процессами легко объяснить ту неполноту, которая свойственна ряду геологических систем в каждой отдельной области. Она также является следствием исключительной подвижности земной коры сравнительно с продолжительностью геологических периодов.

Самые грандиозные движения земной коры находят свое отражение в морских трансгрессиях, которые захватывали иногда целые континенты. Мы знаем целый ряд подобных явлений, среди которых, пожалуй, наи-

более значительным было то, которое наступило в начале мелового периода; следы этого затопления можно проследить на поверхности всего земного шара. Обширные области, которые в течение целых геологических периодов оставались сушей, в это время опускались и превращались в морское дно.

Зюсс, отрицая всякие самостоятельные поднятия и опускания глыб, не мог объяснить этих грандиозных затоплений. Если же, наоборот, принять действительность подобных перемещений, легко объяснить трансгрессии, которые в этом случае являются лишь простым и неизбежным следствием вековых колебаний земной коры.

Само собой ясно, что подобные поднятия и опускания не имеют ничего общего с тангенциальными перемещениями, т. е. с движениями земной коры, вызывающими образование складок (горообразующими или орогеническими), но принадлежат к так называемым эпейрогеническим движениям или радиальным дислокациям. Здесь дело идет о продолжительных опусканиях и поднятиях по трещинам, проникающим глубоко в земную кору.

Мы еще не понимаем причин больших морских колебаний далекого прошлого. Но все же теперь можно утверждать, что и они были подчинены совершенно определенным законам. Работами Карпинского и Шухерта для Европейской части СССР и Соединенных Штатов Америки установлена замечательная правильность перемещения моря в следующие друг за другом геологические периоды.¹

В различнейшие периоды море всегда вновь вторгалось в страну в том же направлении и по существу занимало те же пространства, — в СССР всегда в меридиональном и в широтном направлениях. Это можно объяснить лишь в том случае, если мы признаем, что и опускание земной коры и сбросы, которые открывали морю доступ, совершались преимущественно по определенным господствующим направлениям и в пределах все тех же областей.

По нашему мнению, благодаря подобным эпейрогеническим движениям глыб образовались и глубокие океанические бассейны и континенты — эти обе главных и колоссальных формы рельефа земной коры: морские бассейны — вследствие опускания, а континенты, в сущности представляющие собой обширные плато, — потому, что среди опускающихся участков они отдельными глыбами остались в своем первоначальном положении или даже еще приподнялись.

Тот факт, что морские бассейны представляют собой не что иное как особенно глубокие и обширные области опускания, доказывается и отвесными обрывами окружающей их суши, и существованием величайших океанических глубин у краев материков, а также их особым значением для всех сейсмических и вулканических явлений, которые именно в больших зонах разлома литосферы достигают своего сильнейшего развития.

Таким образом мы приходим к заключению, что при образовании величайших на Земле горных цепей главная роль принадлежит складчатости; при

¹ А. Карпинский, Очерки геологического прошлого Европейской России, изд. «Природа», 1919. *Ред.*

образовании континентов и громадных океанических впадин главное значение имеют эпейрогенические процессы поднятия и опускания.

ПРИЧИНЫ ДВИЖЕНИЯ ЛИТОСФЕРЫ.

Убедившись, что процессы складчатости, имеющие такое большое значение для горообразования, являются лишь следствием грандиозного продолжающегося в течение всех геологических периодов сокращения земного шара, мы должны точнее выяснить причины этого сжатия.

Леопольд фон-Бух, Гумбольдт и другие основатели теории вулканических поднятий предполагали, что как горы, так и континенты образовались силой поднимающихся изверженных масс. Но от этих взглядов уже давно отказались, ибо все последующие исследования доказали, что изверженным горным породам — по крайней мере в массе случаев — никогда не принадлежит «активно поднимающая» роль, — при дислокациях они почти всегда остаются совершенно пассивными. Вообще нет основания признавать существование непосредственно поднимающих сил, по крайней мере для больших глыб земной коры; но мы вполне можем представить себе силы, которые косвенно могут производить поднятия. Их прежде всего надо искать в вековом стяжении земной коры.

Таким образом мы подходим к *контракционной* теории или *теории сокращения*. Если наше представление о происхождении Земли в своих основных положениях правильно; если Земля действительно является телом, охлаждающимся с самого начала, то с этим охлаждением непременно должны быть связаны постоянные сокращения и уменьшение. Мы должны себе представить, что даже после того как вокруг земного шара образуется твердая кора охлаждения, сокращение лежащих под ней частей Земли будет продолжаться. Этот процесс совершенно независим от наших представлений о природе земного ядра. Все равно, находится ли раскаленное земное ядро в твердом, расплавленном или газообразном состоянии, мы должны признать, что земной шар в продолжение всего геологического времени охлаждается и сокращается в своих размерах и что этот процесс продолжается до наших дней.

Вековое сокращение земного ядра должно было неизбежно вызвать смятие земной коры. Если же уменьшается объем земного ядра, то во всей земной коре, скованной с ним посредством силы тяжести, возникает все возрастающее стремление следовать за ним и опускаться. Поэтому везде в земной коре возникает постепенно все возрастающее центростремительное напряжение. Но так как земная кора не может опуститься целиком, потому что ее отдельные участки (подобно кирпичам замкнутого свода) взаимно подпирают друг друга, то центростремительная сила вызывает горизонтальное давление друг на друга отдельных глыб: во всей земной оболочке (как и во всяком своде) возникает сильное тангенциальное напряжение.

Это напряжение в искусственном своде вызывает прогиб всех более слабых частей, то же самое наблюдаем мы и в земной коре. Здесь также тангенциальное давление вызывает или разлом слабых глыб или же выпячивание их наружу в виде смятых складок. В таких местах образуется сперва одна складка, потом вторая, третья и так далее. Вследствие этого уменьшается поверхность всей земной коры; она получает при этом возможность опускаться под действием центростремительной силы.

Мы видим таким образом, что лишь после смятия отдельных частей земной коры возможно опускание других частей. Возникновение больших линий разлома и областей провала и опускания, имеющих столь большое значение для преобразования земной поверхности, является теснейшим образом связанным со сбросами и складчатостью земной коры.

Этот процесс сравнивали со сморщиванием высушающего яблока. У последнего также кожа сморщивается и сминается, потому что сжимается ядро. Как следствие этого, на поверхности яблока получаются морщины; точно так же на земной поверхности образуются длинные ряды складок горных цепей.

Не все участки земной коры подвергаются смятию в складки; наоборот, на всех частях поверхности рядом со смятыми в складки глыбами мы встречаем другие, которые с очень древнего времени противостояли складчатости. Во всех этих областях мы находим на смятых гнейсах обширные площади несмятых древнепалеозойских отложений. Некоторые области подвергались, правда, смятию в палеозойское время, но с тех пор зато остались неизменными. Это также вполне понятно: вследствие смятия в складки значительно увеличиваются и мощность и способность сопротивления каждой глыбы, так что последующее давление обыкновенно уже не в состоянии их больше сминать. На этом основано то закономерное положение, что нигде не существует — по крайней мере в большом масштабе — пересекающих друг друга складок, а также и пересекающихся горных цепей, на котором Гумбольдт старался обосновать свою теорию. Большие ряды складок могут отклонять друг друга, но не пересекаться и не пререзать друг друга.

Гейм давно уже высчитал, что окружность Земли уменьшилась вследствие образования Альп на 600—1 200 км, т. е. почти на 3%. Если вместе с ним мы будем считать, что образование всех остальных горных цепей, находящихся на меридиане центральных Альп (Атлас, Апеннины, Рейнские сланцевые горы, Скандинавская складчатая область), уменьшило окружность на величину вдвое большую, т. е. на 1 800 км, то общее сокращение окружности земной коры по указанному меридиану выразится приблизительно в 2 700 км, или будет равно 9%. Сокращение земного радиуса, соответствующее этому уменьшению окружности, будет равняться 573 км. Следовательно, если теперь земной радиус равняется 6 370 км, то до образования складчатости он равнялся 6 943. Но так как можно принять, что всюду на каждом большом кругу величина складчатого смятия земной коры была приблизительно одинаковой, то это число указывает на величину вообще имевшего места сокращения земного радиуса вследствие сморщивания земной коры.

Хотя подобные исчисления не могут считаться вполне достоверными, все же они дают нам некоторое представление о величине рассматриваемого нами процесса. Они указывают, что было бы достаточно хотя бы

небольшой доли имевшего место в действительности сокращения земного радиуса, чтобы вызвать величайшую складчатость, надвиги, флексуры, сбросы и опускания: различие в высоте не только между морским дном и континентами, но даже и между величайшими горными поднятиями и глубочайшими океаническими впадинами нигде не достигает 20 км и следовательно не представляет даже $\frac{1}{28}$ от 573 км.

Большинство вековых поднятий безусловно зависит от складчатости отдельных участков земной коры. Если даже некоторые поднятия и кажутся не зависящими от процессов горообразования, это остается объяснить признанием, что опускание одних частей земной коры вызывает поднятие других. С этим взглядом согласились многие геологи, потому что если признать существование под литосферой жидкой магматической зоны, то достаточно гидростатического давления больших опускающихся глыб, чтобы вызвать поднятие лежащих между ними меньших глыб.

Опускание континентов дает самое простое объяснение причин погружения обширных областей ниже морского уровня и тем самым и больших трансгрессий; наоборот, отдельные глыбы, принадлежавшие раньше морскому дну, вследствие поднятия могут быть превращены в сушу. В таком случае и континенты и морские бассейны составляют лишь временные явления, хотя и более постоянные, чем горы, которые, подвергаясь разрушению и сносу, быстро исчезают с земной поверхности.

Согласно этим представлениям вековое охлаждение Земли, сокращение земной окружности и радиуса, смятие пластов в складки, надвиги, навалы и опускания находятся между собой в самой тесной причинной связи. Так как охлаждение земного шара все еще продолжается, не прекратились и вытекающие из него как следствие явления образования складок и сбросов. Распространенные по всей Земле континентальные поднятия и опускания, как и землетрясения и вулканические извержения, также доказывают, что охлаждение Земли все еще непрерывно продолжается.

Во всем вышеизложенном мы попытались дать самый общий и краткий очерк теории горизонтального стяжения в том виде, как она теперь принимается большинством геологов, в особенности же защищается Дэна, Геймом и Зюссом. Эта теория имеет то большое преимущество, что сводит к общей основной причине все процессы движения литосферы, равно как и сейсмические и вулканические явления. Эту основную причину она полагает в вековом охлаждении и сжатии Земли и таким образом становится вполне на почву канто-лапласовской теории, с которой очень хорошо согласуются данные новых физических и астрономических исследований.

Сильную опору находит теория сокращения в ранее отмеченном нами факте смятия в складки доалгонских образований во всех без исключения точках Земли. Это определенно опровергает представление, будто бы образование складок может быть объяснено местным растяжением или сокращением, и допускает лишь одно положение, что в основании складчатости горных пород должна лежать всюду общая одинаково действующая причина. Такой причиной — со-

гласно нашим современным знаниям — нам представляется лишь вековое охлаждение и сокращение земного шара.

Опуская здесь разные гипотезы об образовании гор и континентов, мы кратко коснемся лишь американской теории об *изостазии*.¹ Эта теория утверждает, что твердая земная кора, которую можно представить себе плавающей на магматической зоне, вследствие вращения Земли около оси находится во всех своих частях в состоянии гидростатического равновесия, которое не допускает продолжительного нарушения. Более легкие и тонкие части земной коры легче поддаются действию центробежной силы вращающегося земного тела и стремятся вверх, в то время как особенно тяжелые и мощные глыбы от них отстают. Вследствие этого Земля постоянно стремится принять такое состояние равновесия, как если бы она была в жидком состоянии. Там, где не достигнута величина силы тяжести, соответствующая сфероиду,

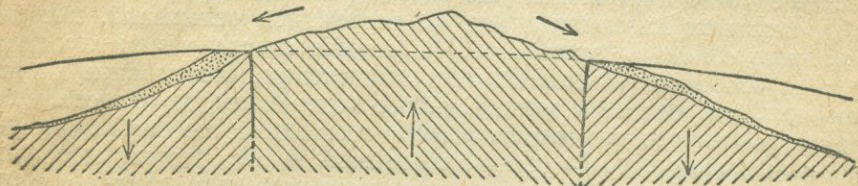


Рис. 202. Схема, поясняющая изостатические движения.

Горизонтальные стрелки изображают направление, в котором происходит снос материала с поднятой глыбы; вертикальные стрелки указывают направление вертикальных движений вследствие такого перемещения масс.

происходит поднятие земной коры; если же она где-нибудь превзойдена, земная кора опускается. Изостазия таким образом дает ту поднимающую силу, которую Зюсс отрицал. Она должна была привести к образованию и континентов и океанических бассейнов.

Но это состояние равновесия литосферы испытывает постоянные нарушения, в особенности благодаря непрерывным процессам сноса и отложения осадков; первое имеет следствием разгрузку, а второе перегрузку отдельных участков земной поверхности. Каждое изменение или нарушение существующего состояния равновесия в одной какой-нибудь точке непременно требует компенсации в другой: если где-нибудь поднимается разгруженная глыба, то опускаются соседние более тяжелые глыбы, и обратно — соотношения, которыми можно объяснить многочисленные действительно установленные вертикальные движения.

Нельзя отрицать, что изостазия легко объясняет многие иначе непонятные явления. Так например достаточно одного давления, которое производит на магматическую зону земной коры изостатически опускающаяся глыба, чтобы вызвать поднятие расплавленных масс, и тем в больших размерах, чем больше места освобождает им изостатически поднимающаяся глыба. Легко понять и происхождение исключительной мощности некоторых отложений, которые по составу своих пород и содержанию ископаемых могли образоваться лишь в мелком море. Она просто объясняется тем, что глыба под тяжестью отлагавшихся на ней осадков

¹ A. Born, *Isostasie und Schweremessung*, Berlin (bei Springer) 1923; ср. еще 2. Heft des Bandes 1922 г. des Bull. of the Geol. Soc. of America, со статьями W. Bowie, Bailey Willis, Kemp, Reid и др.

погружалась все глубже и глубже. Подобное же объяснение может естественно относиться и к некоторым рифовым известнякам мощностью в несколько сот метров и к озерным поверхностным образованиям, представленным угленосными свитами различных систем, часто достигающим также нескольких тысяч метров мощности.

Еще большее подтверждение встречает эта теория в данных, полученных последними измерениями силы тяжести. Оказывается, океанические глыбы всегда состоят из более плотных масс, а континенты, наоборот, из менее плотных.¹ Большой объем континентов компенсируется их меньшей плотностью, и поэтому сила тяжести над глубинами океанов имеет в сущности ту же величину, как и над равнинами континентов. Становится понятно, что к геологам присоединяются и геодезисты, в рядах которых учение об изостазии имеет убежденнейших сторонников.

Изостазия несколько осветила до сих пор спорный вопрос о составе океанов. Мы уже видели раньше, что среди осадочных пород, лежащих на континентах, не встречается отложений, которые без всякого сомнения можно было бы отнести к отложениям глубокого моря; на основании этого пришли к заключению, что главные формы литосферы, вопреки всем происходящим изменениям, по существу сохраняют разделение на континентальные и океанические глыбы. С этими взглядами можно было бы хорошо примирить выводы теории изостазии, если бы мы могли исключить продолжающееся отклонение земной поверхности от формы сфероида. Краткого обсуждения требует еще и теория больших горизонтальных перемещений материков Вегенера,² о которой в свое время много говорили.

Исходя из факта, что материки состоят из более легкого («салического»), а дно океанических глубин, наоборот, из более тяжелого («симического») материала, Вегенер рассматривает континентальные массы как остатки некогда сплошь покрывавшей земной шар оболочки толщиной приблизительно в 100 км. Они плавают (подобно плавающим в воде ледяным глыбам), а отчасти погружаются в слои нижележащей пластической «сима». В противоположность существовавшим до сих пор воззрениям, эти материковые глыбы не должны были оставаться на своем месте, но в течение геологических периодов перемещались на большие расстояния — иногда на много тысяч километров — от своего первоначального местонахождения.

Океанические бассейны возникали поэтому не вследствие разлома и опускания верхнего слоя земной коры, но благодаря трещинам и горизонтальному сдвиганию больших салических глыб. Главным примером этого является Атлантический океан со своей длинной изогну-

¹ Подобные различия плотности естественно могут быть признаны лишь для верхней земной оболочки, для литосферы, тогда как на большой глубине должно наступить тождество. Мессершмидт (Messerschmidt) принял, что это различие распространяется на глубину в 200 км. Но в 1906 г. Гайфорд вычислил на основании отклонения лота глубину тождества равной 114 км, а в 1909 г. Гельмерт из нарушения силы тяжести у отвесных океанических берегов определил ее в 124 км. Близкое совпадение этих чисел говорит за их достоверность. Если мы примем в 120 км глубину тождества, а плотность континентальных глыб будем считать равной 2,8, — плотность океанических глыб исчислится в 2,9.

² Wegener, Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, Braunschweig 1915, 2 erweiterte Aufl., 1920; 3 Aufl., 1923. Имеется и русский перевод: Альфр. Вегенер, Возникновение материков и океанов. Перевод с третьего, совершенно переработанного издания Марии Мирчинк под редакцией Г. Ф. Мирчинка. Госиздат, 1928.

той в виде S формой. По Вегенеру, он образовался из постепенного расширения трещины, возникшей между Европой — Африкой и обеими Америками, на что указывает не только параллелизм берегов, но также в главных чертах и согласованное строение обеих сторон.¹ Таким же путем, отделившись от Южной Азии, образовалась и Австралия. Восточно-азиатские гирлянды островов также откололись от азиатского материка и т. п. Вообще же все страны вблизи Азии до сих пор отходят от нее, а те, которые окружают Тихий океан, на них надвигаются.

В непосредственную связь с этим смещением Вегенер ставит смятие передней стороны надвигающейся глыбы в горные цепи (Кордильеры, Анды).

Первоначальное положение материков согласно этой гипотезе сильно отличалось от современного. Области, теперь далеко отстоящие друг от друга, лежали тогда рядом и обратно, — этим легко разрешаются многие загадки географического распространения животных и растений, а также объясняется и кажущееся ограничение южным земным полушарием верхнепалеозойского оледенения.

Если бы эти движения континентальных глыб (которые, по Вегенеру, основывались частью на передвижениях магмы больших земных глубин, частью на перемещении полюсов) были не одной только игрой воображения, а существовали в действительности, то мы и теперь имели бы доказательства непрерывного горизонтального передвижения стран. Вегенер предполагает вывести это доказательство из изменений долгот, которые были установлены в последние десятилетия между Англией и Северной Америкой, а также из увеличения расстояния между Гренландией и Европой, которое обнаружилось в течение последних 80 лет. Мюнхенский астроном Бурмейстер (Burmeister) вполне основательно между прочим указал, что определения гренландской долготы (опирающиеся только на наблюдения над луной) слишком ненадежны, чтобы на основании их можно было вывести вполне верное заключение.

Но и кроме этого спорного вопроса все приводимые Вегенером доказательства его теории настолько мало убедительны, что вполне понятно, почему она не встретила до сих пор большого сочувствия. Многие известные геологи [среди немецких мы назовем Динера (Diener), Хеннига (Henning), Кобера, Коссмата (Kossmat), Кранца, Яворского, Зörgеля (Sörgel)], а также видные географы (Пенк, Дригальский) должны были отвергнуть новую теорию, несмотря на тот огромный интерес, который она возбудила в кругах естествоиспытателей. Так же к ней отнеслись и на германском собрании географов в Лейпциге (1922 г.), и на особом заседании географического общества в Мюнхене (1923), и на собрании королевского общества в Лондоне, и на собрании (так называемом *Simposium*) геологического общества в Америке (оба были в 1923 г.).²

¹ Согласованность обеих сторон трещины между прочим только случайная; при точном изучении скоро обнаруживается, что обе стороны никоим образом не могут быть совмещены (ср. Yavorsky, Wegeners Hypothese der Kontinentalverschiebung, Geol. Rundschau, Bd. XIII, S. 273, 1922).

² Sörgel, Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., 1916, Mon. Ber., S. 200; Kossmat, Erörterungen zu Wegeners Theorie der Kontinentalverschiebung, Zeitschr. Ges. Erdkunde, Berlin 1921, S. 103; V. Drygalsky, Geogr. Anzeiger (Gotha, Péthes), 1923, S. 145; Bull. of the Geol. Soc. of Amer., Bd. XCIV, p. 151 (besonders S. 359, 362).

Поступило в печать с матриц 16 апреля 1935 г.
Формат бумаги 60 × 94. Количество бум. листов 73/8.
Количество печ. знаков в бум. листе 104440.
Авторских листов 19.
НГ 11.

Ответственный редактор Н. Н. Норданский.
Технический редактор В. Модель

Учюлн. Главлита № В-17706.

Заказ № 2205.

ОГИЗ № 1897/Л.
Тираж 5000 экз.

цена 3 р., пер 60 к.

ГР - 65-54) - 2

636

1891