

55
1529

М. П. Толстой

ГЕОЛОГИЯ
С ОСНОВАМИ
МИНЕРАЛОГИИ
И ПЕТРОГРАФИИ

175801

М. П. ТОЛСТОЙ

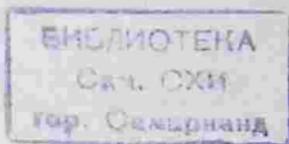
55
T529

ГЕОЛОГИЯ С ОСНОВАМИ МИНЕРАЛОГИИ И ПЕТРОГРАФИИ

175801

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено Главным управлением
высшего и среднего сельскохозяйственного
образования Министерства сельского хозяйства
СССР в качестве учебного пособия для
сельскохозяйственных вузов



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА»
МОСКВА — 1968

К

89

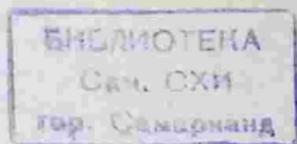
М. П. ТОЛСТОЙ

ГЕОЛОГИЯ С ОСНОВАМИ МИНЕРАЛОГИИ И ПЕТРОГРАФИИ

55
Т529

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено Главным управлением
высшего и среднего сельскохозяйственного
образования Министерства сельского хозяйства
СССР в качестве учебного пособия для
сельскохозяйственных вузов



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА»
МОСКВА — 1968

175801

к

За основу курса взято наше учебное пособие «Основы геологии с минералогией», вышедшее в 1962 г. в Издательстве сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов.

Издание переработано, дополнено рядом новых глав (петрография, геоморфология, краткие определители горных пород и почвообразующих минералов), некоторые разделы сокращены.

Курс состоит из четырех частей: I — общие сведения о геологии, II — вещественный состав земной коры, III — динамическая геология, IV — историческая геология.

Книга дает основные и краткие сведения о геологии, минералогии, петрографии; знакомит с их методами и главнейшими отраслями, отражает новейшие достижения этих наук и показывает значение геологических дисциплин для сельского хозяйства.

Учебник предназначен для студентов сельскохозяйственных институтов и других вузов негеологического профиля, а также для специалистов, работающих в области сельского хозяйства, — почвоведов, агрономов, агрохимиков, мелиораторов, гидротехников, лесоводов, географов.

Иллюстраций 84, таблиц 26, библиографий 48.

Часть первая

ОБЩИЕ КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИИ

Глава первая

СОДЕРЖАНИЕ, МЕТОДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКИ И ЗНАЧЕНИЕ ЕЕ ДЛЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Геология как наука и ее главнейшие отрасли

Геология — это наука о Земле, о ее составе, строении, истории и развитии.

Земля состоит из нескольких оболочек, химический состав, физическое состояние и свойства которых различны. Геология изучает наружную оболочку — земную кору — в тесном содружестве с другими науками — биологией, почвоведением, геохимией, геофизикой, географией.

Геология является обобщающей дисциплиной естественно-исторического цикла. Ее можно подразделить на ряд самостоятельных отраслей, из которых некоторые занимают промежуточное положение между различными науками. Главнейшие из них следующие.

Минералогия изучает физико-химические свойства минералов и процессы, связанные с их образованием в земной коре.

Петрография рассматривает закономерности минерального состава и строения рыхлых и твердых пород, слагающих земную кору, формы их залегания, их происхождение, геологическое и географическое распространение.

Геохимия — наука, изучающая химический состав земной коры, законы распределения и перемещения химических элементов и их изотопов, влияние на них различных термодинамических и физико-химических условий.

Минералогия, петрография и геохимия изучают материальный состав Земли. К этой же группе наук относится почвоведение, которое рассматривает самые поверхностные слои земной коры, обладающие плодородием и называемые почвами.

В динамической геологии рассматриваются геологические процессы (вулканизм, землетрясение, деятельность моря, рек и т. д.) и методы восстановления этих процессов в истории

ческом прошлом Земли. Историческая геология изучает изменения земной коры во времени и в пространстве и устанавливает связь развития органического мира с развитием всей земной коры.

Особую отрасль геологической науки представляет палеонтология, которая изучает животный и растительный мир, существовавший на Земле в течение прошедших геологических периодов и сохранившийся в виде ископаемых остатков — окаменелостей или следов ныне вымерших животных организмов и растений.

Биологическая по существу дисциплина — палеонтология — развивалась на геологическом фундаменте и дала новое содержание представлению о времени и истории Земли.

Раздел исторической геологии, изучающий историю развития Земли в последний, так называемый четвертичный период, выделяется в особую отрасль — геологию четвертичного периода. Отложения, образовавшиеся в четвертичный период как самые молодые и поверхностные, служат непосредственной основой для сельскохозяйственной и инженерной деятельности человека. Они являются почвообразующими породами, к ним часто приурочены и грунтовые воды — источник водоснабжения.

Необходимо также выделить и другие отрасли геологии: геоморфологию, которая изучает происхождение, распространение и закономерности образования форм земной поверхности (рельеф); геотектонику, которая рассматривает движения и деформации земной коры и взаимоотношения горных пород в процессе развития Земли и ее внешней оболочки — земной коры. Геотектоника изучает различные геологические структуры, формы залегания пород, их взаимосвязи и законы, обуславливающие эти процессы.

Гидрогеология — наука о подземных водах, их происхождении, истории, составе и режиме, динамике и распределении в земной коре и их химической и механической деятельности в недрах Земли.

Инженерная геология — учение о геологических процессах и свойствах горных пород, тех явлениях, которые, возникая в результате строительства, могут оказать на него то или иное влияние.

Учение о полезных ископаемых — отрасль геологии, изучающая условия образования, распространения и изменения месторождений полезных ископаемых в земной коре: рудных, из которых извлекаются металлы, и нерудных, добываемых для получения всех других видов минеральной продукции — минеральных удобрений (агрономические руды, строительные материалы, горючие ископаемые). Значение этой отрасли знаний для народного хозяйства огромно.

В XX в. особенно интенсивно стала развиваться новая наука — геофизика, применяющая физические методы изучения земного шара в целом, а также земной коры, воды, атмосферы. Применение физических методов позволило уточнить строение глубоких недр земной оболочки. Это придает геофизике большое практическое, научное и методологическое значение (поиски полезных ископаемых, изучение землетрясений и магматизма, вопросы происхождения и строения Земли и Вселенной и т. д.).

Значение геологии как науки весьма велико не только для удовлетворения растущих потребностей народного хозяйства в минеральном сырье (уголь, нефть, газ, железные руды и др.), но и в формировании материалистического мировоззрения.

Геология рассматривает сложнейшие вопросы естествознания: образование Земли и возникновение на ней материков и океанов, гор и равнин, утверждая исключительную длительность геологического преобразования планеты. Так, возраст древнейших горных пород определяется цифрами около 2,5—3 млрд. лет, длительность жизни на Земле — более 2 млрд. лет.

Методы геологии

Геология как наука пользуется в своих исследованиях методом диалектического материализма, сочетая методы наблюдения, экспериментальный (опыт) и логический (выводы).

В развитии геологии большое значение имели труды М. В. Ломоносова, работы А. Г. Вернера (Германия), Д. Геттона (Англия).

В начале XIX в. распространенной теорией катастроф Ж. Кювье, согласно которой целые материки или части материков погружались в море, жизнь наземных животных обрывалась и изменялся лик Земли, стали противопоставлять другие представления, связанные с трудами Ч. Лайеля и получившие название актуализм. Принцип метода актуализма заключался в том, что ключ к объяснению прошлого лежит в изучении настоящего и для объяснения «переворотов» в истории Земли нет надобности прибегать к сверхъестественным силам. Работы Ч. Лайеля высоко оценил Ф. Энгельс, который писал: «Лишь Лайель внес здравый смысл в геологию, заменив внезапные, вызванные капризом творца, революции постепенным действием медленного преобразования земли»*.

Актуализм для начала XIX в. был прогрессивным учением, содержащим, однако, и порочную сторону. Для советских ученых, стоящих на позициях диалектического материализма, это мировоззрение в его чистом, лайелевском, понимании неприемлемо, так как принцип актуализма — это принцип униформизма,

* Ф. Энгельс. Диалектика природы. Госполитиздат, 1950, стр. 9.

согласно которому происходящие на Земле геологические процессы качественно неизменны с древнейших времен и до настоящего времени.

У М. В. Ломоносова были иные представления по этому вопросу. Он подчеркивал, что «видимые, телесные на земле вещи и весь мир не в таком состоянии были с начала от создания, чем сейчас, и в нем происходили великие перемены»*.

К познанию геологического прошлого можно подходить лишь с учетом эволюции как органического мира, так и неорганической природы. Нельзя говорить, что настоящее есть единственный ключ к пониманию прошлого.

Лик Земли постоянно изменяется, поэтому геологические процессы прошлого нельзя полностью отождествлять с процессами, происходящими в настоящее время. Некоторые же процессы вообще не повторяются в истории Земли. К тому же состав атмосферы и гидросферы в древнейшие геологические эпохи был иным, чем в современную: количество углекислого газа в атмосфере в отдельные периоды, вероятно, возрастало, а кислорода, напротив, уменьшалось, океан был менее соленым и т. д. Все это видоизменяло геологические процессы далекого прошлого.

Геологические процессы необратимы, и чем древнее эпоха, тем больше она отличается от современной.

Метод актуализма является лишь частью сравнительно-исторического метода, и он применим в тех случаях, когда современная эпоха может дать необходимый материал для подобного сравнения. При оценке историко-геологического процесса необходимо учитывать масштабы геологического времени. Современная геология исчисляет срок существования нашей планеты несколькими миллиардами лет, а срок жизни на ней — более двух миллиардов лет.

Вся история Земли делится на пять больших отрезков времени — эр, длительность которых показана в табл. 1 (по данным советской геохронологической шкалы на апрель 1964 г.).

ТАБЛИЦА 1

Геохронологическая шкала

| Название эр | Длительность (возраст от начала эры), млн. лет |
|--------------------------|---|
| Кайнозойская | 67 |
| Мезозойская | 173 |
| Палеозойская | 330 |
| Протерозойская | около 3000 |
| Архейская | |

* М. В. Ломоносов. «О слоях земных». М. — Л., Госгеолиздат, 1949.

Масштабы геологического времени бесконечно велики по сравнению с очень ограниченным отрезком времени, которым располагает отдельный наблюдатель. Поэтому в геологической науке один из наиболее верных и проверенных методов современного естествознания — опыт — пока еще не играет решающей роли, хотя и приобретает все большее значение.

Еще во второй половине XIX в. естествоиспытатели пытались использовать в геологии свой метод эксперимента. В поисках объяснений складчатости пород, столь обычной в горных областях, ученые сжимали различные горные породы в специальных прессах и наблюдали характер получающихся при этом изменений. Ныне подобные эксперименты ведутся в геологии все в больших размерах.

Изучая особенности вулканических пород, геологи расплавляли их при высокой температуре, получая своеобразное вещество — магму, и затем вновь охлаждали до затвердевания. В лабораториях ставили опыты по дифференциации (расщеплению) магмы. При этом получены новые модификации кремнезема с плотностью $4,35 \text{ г/см}^3$, на 64% превышающей плотность кварца. Все это уточняет представления о сложных процессах, происходящих в недрах Земли. Подобные опыты, имевшие первоначально чисто теоретическое значение (создание лабораторным путем вулканических лав), в настоящее время превращаются в особую отрасль промышленности.

Широко использует эксперимент в своих изысканиях геофизика. Исследования распределения силы тяжести в земной коре при помощи чувствительных и точных приборов дают материалы для определения ее физического строения. Магнитные и электрические свойства Земли изучают с помощью специальных приборов магнито- и электрометрии, являющихся вместе с гравиметрией весьма важными разделами геофизики для поисков полезных ископаемых. Из геофизических приемов исследования глубочайших недр Земли выделяется сейсмометрический метод, основанный на определении при помощи инструментов и разного рода вычислений скорости распространения упругих колебаний — волн, возникающих при землетрясениях (часто при искусственных взрывах — сейсмотрясениях). Эти исследования показали, что Земля состоит из неоднородных оболочек — земной коры, мантии и земного ядра.

В инженерной геологии, грунтоведении эксперимент также находит применение. При сооружении фундаментов высотных зданий для выяснения прочности грунтов в специальных приборах испытывают породы под соответствующую нагрузку. Моделирование применяется при создании различных гидротехнических сооружений — плотин, водохранилищ, где на моделях ведутся экспериментальные наблюдения за размывающей деятельностью проточной воды, выясняется скорость размыва берегов

(при выборе соответствующих углов откоса у водохранилищ). Как ни далеки эти искусственные условия от естественных, польза опытов несомненна.

Таким образом, опыт все шире входит в практику геологической науки. Однако основным методом исследования геологии является метод наблюдения. Как справедливо указывал М. В. Ломоносов, из наблюдения устанавливать теорию, через теорию исправлять наблюдение есть лучший способ к изысканию правды.

Собирая путем наблюдений и опытов факты, геолог должен уметь не только их накапливать, но и обобщать. Здесь на первое место выступает необходимость научных гипотез.

«Формой развития естествознания, — говорил Ф. Энгельс, — поскольку оно мыслит, является гипотеза»*.

Накопление фактов и систематизация их (выводы) неразрывно связаны между собой исторической и логической последовательностью.

Значение геологии

Геология имеет большое значение для народного хозяйства. В настоящее время число советских геологов исчисляется десятками тысяч. Ряд специальных вузов готовит кадры геологов-разведчиков, горных инженеров. Тысячи геологических отрядов, партий и экспедиций изучают недра земли, используя в своей работе новейшую советскую технику — самолеты, вертолеты, геофизическую аппаратуру, точнейшие инструменты и счетчики, буровые станки, а также скафандр, акваланг, батискаф — для исследования дна океанов и морей. Так, богатейшее Сарбайское месторождение железных руд в Казахстане было в 1949 г. открыто с воздуха по значительному отклонению магнитной стрелки компаса, что указывало на какую-то магнитную аномалию.

При разведке урановых руд геологи широко применяют особые счетчики Гейгера — Мюллера, которые улавливают и записывают силу радиоактивного излучения. Эти счетчики устанавливают и на вертолетах.

За годы Советской власти геологи открыли ряд крупнейших месторождений; в числе их следует особенно выделить новую нефтяную провинцию между Уралом и Волгой — «Второе Баку», газ в районе Саратова, апатиты Хибин, фосфориты Каратау, калиевые и магниевые соли в Приуралье (Соликамск), золото, олово и уголь в Восточной Сибири, алмазные месторождения в бассейне р. Вилюй (Якутия).

* Ф. Энгельс. Диалектика природы. Госполитиздат, 1950, стр. 191.

Огромное значение имеют железные руды, открытые в Белгородской области на глубине 500 м, которые по своему составу и характеру сходны с рудами Кривого Рога, содержание железа в них достигает 60%. За последние годы открыты: нефть в Западной Сибири, в верховьях р. Лены и на Мангышлаке, газ в Якутии, медь, свинец на Урале, медь, кобальт, никель в Красноярском крае, под Норильском.

Ряд так называемых старых месторождений, т. е. известных до 1917 г., по существу открыт в советское время заново. Разведка в глубину показала, что запасы этих месторождений в сотни раз больше по сравнению с тем, что было известно. К этим месторождениям следует отнести угли Кузбасса, железные руды Урала и Криворожья, медь Казахстана, марганец Чиатур и Никополя и т. д.

Среди полезных ископаемых особое место занимает железо, которое является основой металлургии, машиностроения, судостроения, железных дорог, используется для изготовления товаров народного потребления.

Громадную роль в развитии промышленности играет и жидкое топливо — нефть и различные продукты ее переработки. Все большее значение приобретают горючие газы. В развитии цветной металлургии, электропромышленности, судостроения основное место занимают цветные металлы, добываемые из руд меди, цинка, свинца, алюминия, никеля, хрома. Большое оборонное значение имеют так называемые редкие металлы — вольфрам, молибден и т. п.

Химическая промышленность в значительной степени базируется на минеральном сырье. Для сернокислотного производства используются богатые серой колчеданы (пирит), в резиновом производстве применяются сера, тальк, барит. Поваренная соль — необходимый компонент пищи человека.

Не меньшее значение в народном хозяйстве имеют граниты, известняки, пески и поделочные камни, идущие для облицовки зданий, крупных сооружений.

Исключительно многообразна и важна роль геологии в сельском хозяйстве. Выдающийся русский ученый В. В. Докучаев, создатель науки о почве, увидел в ней особое естественноисторическое тело, подобное растению, животному, минералу. Основанием почв являются материнские, преимущественно осадочные горные породы, залегающие вблизи дневной поверхности, континентальные рыхлые отложения — различные лёссы, лёссовидные суглинки, глины, супеси, пески, образовавшиеся в результате процессов выветривания.

Минералогический состав пород и их водный режим определяют в ряде случаев характер растительных сообществ и направленность почвообразовательного процесса. Гидрогеологические условия того или иного участка играют большую роль

при решении вопросов борьбы с заболачиванием местности, а в бессточных областях с недостатком атмосферных осадков — с засолением почв и пород. Размыв берегов рек и морей, эрозия почв и пород, интенсивный рост оврагов, оплывины, оползни и различные деформации на склонах берегов рек и морей, карстовые и провалы явления в легкорастворимых породах, процессы перемещения поверхностных отложений при оттаивании пород в районах с многолетнемерзлыми породами (многолетняя мерзлота), различные просадочные явления в лёссах и лёссовидных суглинках — все это происходит на глазах у человека и выводит из строя ценные сельскохозяйственные угодья, вызывая гибель многих важных сельскохозяйственных культур.

Целеустремленная, часто комплексная борьба с этими процессами невозможна без знания основ геологии, геоморфологии, гидрогеологии. Знание геологии обязательно и при решении вопросов сельского водоснабжения (сооружение колодцев, скважин, прудов, плотин), ирригационного строительства, разведки строительных материалов (пески, гравий, глины, известняки, доломиты, граниты), при поисках агрономических руд (фосфориты, калийные соли, известковые туфы, известняки).

Глава вторая

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ

Форма, размеры и свойства Земли

Земля — одна из планет солнечной системы. Она, как и другие планеты, имеет шарообразную форму. Земля не является точным шаром, а несколько сплюснута в направлении полюсов. Такая форма называется сфероидом. Поскольку при изучении формы Земли учитывается не только ее сплюснутость, но и все крупные неровности рельефа (глубочайшие океанические впадины, высокие горные хребты), то эту истинную неправильную геометрическую форму Земли называют геоидом.

Основные данные о Земле

| | |
|---|----------------------------------|
| Экваториальный радиус | 6 378 245 м |
| Полярный радиус | 6 356 863 м |
| Сплюснутость земного эллипсоида | $\frac{1}{298,3} = \pm 0,4$ |
| Длина окружности экватора | 40 075 696 м |
| Поверхность Земли | $5,1 \cdot 10^8 \text{ км}^2$ |
| Объем Земли | $1,08 \cdot 10^{12} \text{ м}^3$ |
| Масса Земли | $5,974 \cdot 10^{27} \text{ г}$ |
| Средняя плотность Земли | $5,5 \text{ г/см}^3$ |

Наиболее глубокие впадины океанического дна лежат более 11 000 м ниже уровня моря (Марианская впадина); наиболее высокие горные вершины поднимаются над уровнем моря до 8848 м (Джомолунгма — Эверест).

Земной шар покрыт твердой корой, так называемой литосферой, или каменной оболочкой, скрывающей от непосредственного наблюдения внутреннее строение Земли. Наружные части этой каменной оболочки — литосферу — и изучает геология, которая рассматривает ее состав, строение, происхождение и развитие. Над литосферой располагаются две оболочки: водная, или гидросфера, которая покрывает 71% всей поверхности Земли (ее изучает наука гидрология), и воздушная, или атмосфера (ее изучает метеорология).

Внутреннее строение Земли пока еще окончательно не выяснено. По этому вопросу существует ряд предположений.

Средняя плотность Земли, вычисленная по закону всемирного тяготения, равна $5,52 \text{ г/см}^3$. Поскольку средняя плотность поверхностных горных пород достигает $2,7\text{--}2,8 \text{ г/см}^3$, то предполагают, что внутренняя часть Земли должна состоять из тяжелых металлов.

Оболочки Земли и их качественный состав

ВНЕШНИЕ ОБОЛОЧКИ

Атмосфера — газообразная сфера — самая внешняя оболочка Земли. Ее состав в приземных слоях следующий: около 78,03% азота, около 20,95% кислорода и около 1% других газов (углекислоты, паров воды, аргона, неона, гелия и др.). Нижняя граница атмосферы — поверхность суши и моря. Верхняя граница атмосферы не определена. Отдельные авторы определяют мощность слоев атмосферы до 1000 км. Атмосфера переходит в космическое пространство постепенно, что затрудняет определение ее верхних границ.

В толще атмосферы можно выделить три концентрические оболочки: тропосферу, прилегающую к литосфере, следующую выше стратосферу (слоистую оболочку) и, наконец, ионосферу.

Атмосферные агенты — солнечные лучи, атмосферное электричество, температурные колебания, ветер, содержащийся в атмосфере водяной пар, дождь, снег, лед, вода — проводят огромную геологическую работу. Она проявляется в разрыхлении, раздроблении, транспортировке продуктов разрушения горных пород и, наконец, аккумуляции продуктов разрушения (см. главы с двенадцатой по семнадцатую).

Атмосфера находится в постоянном движении, зависящем от деятельности Солнца, а также от распределения континентов и

океанов и от ряда местных явлений. Для изучения состава атмосферы, облаков применяются специальные ракеты, а также шары-зонды, поднимающие особые сложные приборы.

В соответствии с программой Международного геофизического года в СССР в 1958—1960 гг. произведены успешные запуски первых искусственных спутников Земли — многоступенчатых ракет и космических кораблей. Завоевание Космоса, посадка советской станции на Луну, фотографирование невидимой стороны Луны, полеты летчиков-космонавтов позволили собрать исключительной ценности материал о строении и составе Космоса.

Гидросфера — прерывистая водная оболочка земного шара, включающая океаны, моря, озера, реки.

Вся поверхность планеты составляет около 510 млн. км², из них морями* занято 71% (361 млн. км²), а сушей — 29% (149 млн. км²) (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2

Сравнительная величина материков и океанов

| Материки | Площадь, млн. км ² | Океаны | Площадь, млн. км ² |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Евразия | 54 | Тихий | 180 |
| Африка | 30 | Атлантический | 93 |
| Северная Америка | 24 | Индийский | 75 |
| Южная Америка | 18 | Северный Ледовитый | 13 |
| Антарктида | 14 | | |
| Австралия и Океания | 9 | | |
| | 149 млн. км ² | | 361 млн. км ² |

Таким образом, отношение площади моря к площади суши примерно 2,5:1. Водная поверхность явно преобладает. Площадь одного только Тихого океана, равная 180 млн. км², превышает площадь всей суши. Однако надо иметь в виду, что общий объем океанической воды относится к объему всей планеты примерно как 1:8000.

Основную массу гидросферы составляют океаны и моря, на воды континентов приходится лишь 0,3% всей гидросферы, да и эту долю надо в основном отнести на льды полярных областей и горных хребтов, а на текучие воды остается лишь небольшой процент (порядка 0,05).

* Здесь и всюду в книге понятия «море» и «океан» отождествляются.

Топография Земли

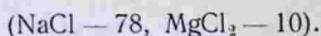
| | |
|--|---|
| Площадь Земли . . . 510 млн. км ² | Средний уровень земной коры —2430 м |
| Площадь суши . . . 149 » | |
| Площадь моря . . . 361 » | |
| Отношение площади суши к площади моря 1:2,43 | Количество воды в морях . . . 1370 млн. км ³ |
| Высочайшая гора . . . 8848 м | Количество льда на земле 30 » |
| Средняя высота суши +875 м | Количество воды в реках и озерах 0,75 » |
| Средняя глубина моря —380 м | |

Верхняя граница гидросферы намечается ясно: это поверхность океанов и морей, совпадающая с поверхностью геоида. Нижняя граница более сложна и примерно совпадает с дном океанов и морей.

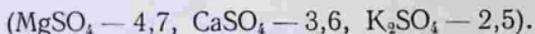
Вследствие содержания растворенных солей гидросфера имеет среднюю плотность около 1,03. Средняя соленость Мирового океана принимается равной 3,5%. В более или менее замкнутых морях соленость колеблется. Так, в Средиземном море она возрастает до 3,9%, тогда как соленость Балтийского моря составляет в среднем лишь 0,7%, а Черного — 1,8%.

В морской воде растворены следующие основные соли (в процентах).

1. Хлористые соли натрия и магния — 88,7



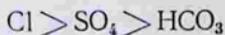
2. Сернокислые соли магния, кальция и калия — 10,8



3. Углекислые соли кальция и магния ($\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$) — 0,3.

Остальные 0,2% солей приходятся на ряд других химических элементов и их соединения, среди которых следует указать на Fe, Si, Al, F, P и даже Au.

Из газов в морской воде содержатся кислород, азот. В воде Мирового океана соотношение анионов основных солей следующее:



Воды суши — рек, пресноводных озер — характеризуются иной минерализацией (рис. 1). В них резко преобладают карбонаты (60,1%), далее идут фосфаты, кремнезем, органические соединения (24,8%), сульфаты (9,9%) и хлориды (5,2%); соотношение анионов здесь такое: $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$.

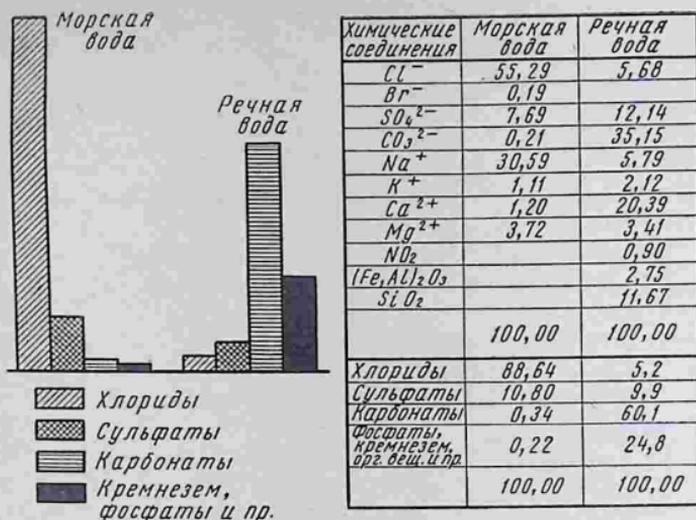


Рис. 1. Химический состав морской и речной воды

В воде океана растворено около 22 млн. км³ солей. Если бы можно было выделить всю соль из океанов, то она бы покрыла поверхность земного шара сплошным слоем толщиной более 50—60 м. Степень солёности океана зависит от давления атмосферы, направления ветров, температуры, количества осадков, а также от опреснения воды впадающими реками. С глубиной солёность несколько уменьшается до 1500 м; глубже изменения солёности незначительны.

Температура воды в океане на поверхности зависит от широты места, времени года и течений. Самая низкая температура около 3°С, самая высокая 31°С. Однако в Красном море и Персидском заливе температура воды местами иногда достигает 40°С и выше. С глубиной температура понижается сначала (до 200 м) довольно быстро, затем (от 200 до 1000 м) более медленно, глубже 1000 м понижение очень малое. На дне океана температура воды от —1,3 до 3°С.

Море — чрезвычайно важный геологический агент в жизни Земли. Морская среда представляет собой мощный биохимический фактор, гигантское соляное месторождение: в море образовались многие горные осадочные породы и минералы (известняк, мел, нефть, фосфорит, глауконит, калийные соли). Морская вода — энергичный растворитель многочисленных горных пород и мощный фактор денудации (см. главу восемнадцатую).

Биосфера в той или иной степени представлена в атмосфере, гидросфере и литосфере. Академик В. И. Вернадский назвал биосферу зоной жизни.

По новейшим данным, жизнь зародилась на Земле свыше 2 млрд. лет назад.

Животные и растительные организмы почти сплошь покрывают поверхность земного шара.

Масса биосферы очень невелика: если массу земной коры выразить единицей, то масса других оболочек Земли выразится дробями (земная кора до глубины 16 км — 1, гидросфера — 1/14, биосфера — 1/1000). Таким образом, биосфера по массе составляет только 0,001% земной коры.

На суше и в океане преобладают растения, в частности травянистые. По данным В. И. Вернадского, масса растений для всей Земли превышает массу животных в 10^4 — 10^5 раз. Нижняя граница существования живых организмов определяется повышением температуры и давления на глубину. В океане найдены организмы на глубине около 11 000 м, что позволяет считать все глубины океана обитаемыми.

Жизнь на суше проникает на меньшую глубину, чем в океане, примерно до 3000—4000 м. Уже на глубине более 500 м распространены только анаэробные организмы, ввиду отсутствия там свободного кислорода.

В состав организмов входят более 60 элементов. Академик А. П. Виноградов вычислил средний состав живого вещества суши. Оказалось, что организмы в основном состоят из подвижных элементов, которые образуют газообразные и легкорастворимые соединения — О, Н, С, N, Са, Mg, К и т. д.

Роль организмов как концентраторов некоторых химических элементов весьма велика: достаточно вспомнить концентрацию углерода в залежах торфа, угля, нефти; кальция и углерода — в известняках, меле; фосфора — в фосфоритах.

Породообразующее значение таких животных организмов, как кораллы, фораминиферы, плеченогие, головоногие и другие, огромно.

Вполне очевидно, что для образования почв, горных пород, различных полезных ископаемых роль животных и растительных организмов исключительно велика.

ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННИХ ОБОЛОЧЕК

В строении Земли выделяются следующие оболочки (рис. 2): наружная — литосфера — земная кора до глубины 50—70 км, промежуточная, или мантия Земли, до глубины 2900 км и земное ядро — 2900—6380 км.

Сейсмические исследования показали, что при прохождении сейсмических волн в породах отчетливо выделяются два слоя, где резко изменяется скорость волн: первый под материками — на глубине от 50 до 70 км, второй — на глубине 2900 км. По этим данным, земная кора ограничена снизу поверхностью

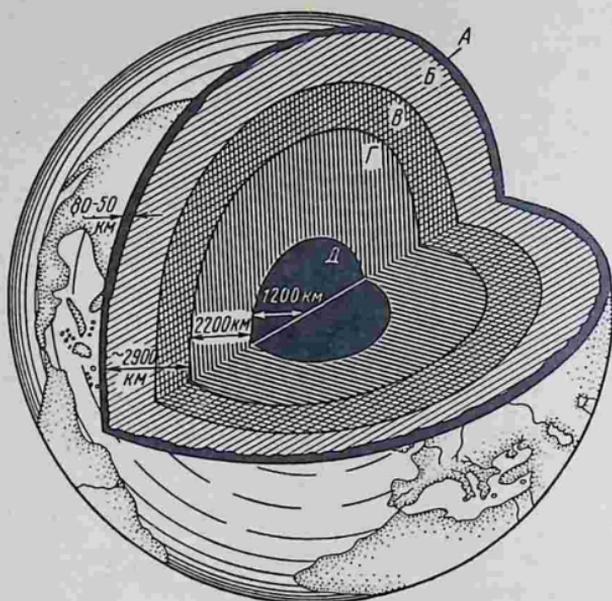


Рис. 2. Строение Земли: А — земная кора, Б — верхняя мантия, В — мантия, Г — внешнее ядро, Д — внутреннее ядро. Средний радиус R — 6370—6380 км

Мохоровичича. При переходе через эту поверхность скорость продольных упругих колебаний резко возрастает (от 6,3—7,2 до 8,0—8,6 км/сек). Резкое изменение скорости волн на определенных глубинах указывает на границы перехода между какими-то (ученые еще точно не установили — какими) уплотненными породами.

По геофизическим данным, земная кора состоит из четырех основных слоев: 1 — осадочный покров из неконсолидированных пород с $V=5,5$ км/сек; 2 — гранитный слой с $V=5,5-6,5$ км/сек; 3 — первый базальтовый (?) слой с $V=6,3-6,5$ км/сек; 4 — второй базальтовый (?) слой с $V=7,0-7,2$ км/сек.

Первые два слоя имеют прерывистое несплошное залегание и практически изучены геологами; третий и четвертый еще не изучены.

Исследованию доступна лишь ничтожная часть земной коры — ее осадочный покров и гранитный слой. Самые глубокие скважины достигают около 8000 м, а рудники не углубляются более 3000 м*. В этих случаях возможно непосредственное изу-

* Нефтяная скважина, бурящаяся под Баку, в 1967 г. имела глубину более 6000 м. Глубочайший в мире рудник «Тер-Шафт», близ Йоганнесбурга,

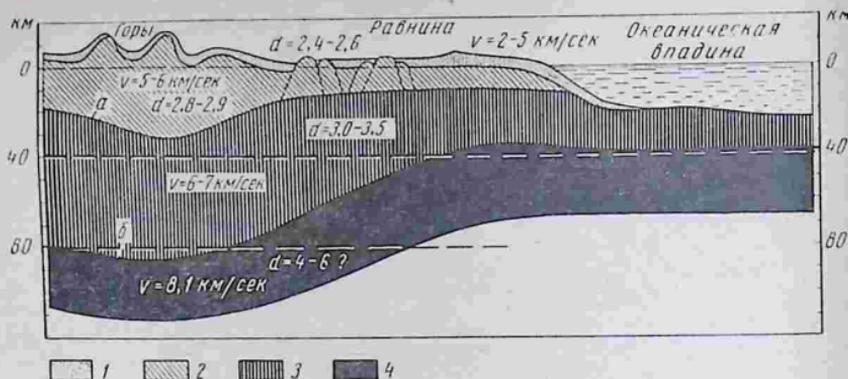


Рис. 3. Схема строения земной коры: *a* — поверхность Конрада, *b* — поверхность Мохо, *v* — скорость распространения упругих колебаний, *d* — плотность, $г/см^3$;

1 — рыхлые осадочные породы, 2 — гранитный слой, 3 — «базальтовый» слой, 4 — подкоровое вещество — мантия

до 40 км, базальтовый слой — до 40 км. Граница между гранитным и базальтовым слоями получила название «раздел Конрада». Слой «сналь» включает осадочный чехол и граниты (рис. 3).

Долгое время геологами в понятие «земная кора» вкладывалось определение Ф. У. Кларка, т. е. под корой понималась часть литосферы, вскрытая эрозией до глубины 16 км.

Земная кора имеет мощность от 3 до 7 км в области океана и до 60—70 км в высокогорных районах материков (Н. А. Беляевский, В. В. Федьинский). В связи с этим выделяют два типа земной коры — материковый и океанический.

Земная кора континентального типа состоит из гранитного слоя до 30 км, прикрытого в отдельных участках (прогибах) осадочным чехлом мощностью до 15—20 км.

Этот тип коры представляет огромный интерес, так как подавляющая часть полезных ископаемых, разрабатываемых человеком, содержится в нем.

Мощность земной коры на территории СССР изменяется от 50—70 км (Памир, Тянь-Шань) до 12—15 км (южная часть Сахалина, Курильская гряда).

Океаническая кора состоит из одного базальтового слоя, прикрытого тонким слоем (менее 1 км) донных осадков. Гранитный слой здесь отсутствует.

Исследователями установлено, что породы материков имеют среднюю плотность 2,8. Плотность лав, изливающихся при вулканических извержениях, — 2,9. По данным сейсмических наблюдений, плотность пород дна Тихого океана около 3,0—3,1. Высказываются предположения о различии в происхождении

континентов и дна глубокого океана: так, многие склоняются к мысли, что дно Тихого океана представляет собой само подкоровое вещество с плотностью 3,0—3,1, на котором располагаются (плавают) континентальные блоки. Поэтому под дном океана наиболее близко к земной поверхности подходят подкоровые массы. Под континентами же они погружены на десятки километров и, вероятно, находятся на разных глубинах.

Неясным продолжает оставаться вопрос о существовании одной исходной магмы или двух — гранитной и базальтовой.

Считают, что вещество земной коры образовалось вследствие выплавления и дегазации мантии, однако происхождение гранитных магм и гранитного слоя остается спорным. По этому вопросу существуют три представления:

1) гранитный слой образуется в итоге переработки базальтовой магмы (А. П. Виноградов);

2) гранитный слой возникает за счет ювенильной кислой магмы, выходящей к поверхности (Е. Н. Люстих);

3) гранитный слой образуется в результате переплавления осадочной оболочки (В. В. Белоусов).

Представления об оболочках Земли. Установив расслоение Земли на оболочки, ученые не решили еще вопроса о причинах подобного расслоения и о характере процессов, создавших современную структуру земного шара.

В настоящее время имеются два основных объяснения различий между оболочками Земли (В. А. Магницкий): оболочки отличаются одна от другой по химическому составу (различные варианты гипотезы Гольдшмидта); различия обусловлены неодинаковым фазовым состоянием веществ (аморфное, кристаллическое, различные кристаллические модификации) вследствие неодинакового давления, а также температуры. Возможно и некоторое сочетание этих факторов.

Две основные гипотезы существуют и для объяснения причин расслоения. Первая гипотеза предполагает, что оболочки возникли путем разделения веществ планеты по удельному весу в период, когда Земля была в расплавленном состоянии. Согласно этой гипотезе оболочки отличаются одна от другой главным образом по химическому составу и удельному весу.

Автор этой гипотезы Гольдшмидт, чтобы представить распределение вещества внутри Земли, стал на путь аналогии с металлургическим процессом*, суть которого заключается в следующем: при плавке руд вещество разделяется на три слоя — сверху собирается легкий шлак, внизу тяжелый металл, между ними промежуточный продукт (штейн). Соответственно этому Гольдшмидт выделил три оболочки: наружную — литосферу,

* Однако эта аналогия весьма отдаленная, так как на глубине температура, а особенно давление иного порядка, чем на поверхности Земли.

центральную—железо-никелевое ядро и промежуточную—окисно-сульфидную оболочку—мантию.

Вещество могло передвигаться постепенно, путем гравитационной дифференциации в вязкой среде, причем более легкие массы (с плотностью 2,8—2,9) вытеснялись в верхние слои, а более тяжелые (плотность 6,8—10,0) опускались к центру. Этот процесс, по-видимому, происходил только в вязком состоянии, без перехода вещества в жидкую фазу. По этой гипотезе Земля расслаивалась по вещественному составу с образованием железо-никелевого ядра (плотность ядра в центральных частях 12 г/см^3) в центре, что, возможно, подтверждается и различной скоростью распространения сейсмических волн в мантии Земли.

Вторая гипотеза предполагает, что причина резкого скачка плотности у границы ядра Земли не в разделении вещества по химическому составу, а в физико-химическом процессе—частичном разрушении электронной оболочки атомов при критическом давлении, достигающем 2—3 млн. атмосфер. Отрыв электронов от ядер под действием огромного давления и высокой температуры облегчает резкое уплотнение вещества и придает ему новые свойства, сходные в отношении твердости со свойствами жидких тел (сохранение объема, изменение первоначальной формы), а в отношении электропроводности—со свойствами металлов. Эта гипотеза не обязательно предполагает, что Земля прошла через стадию расплавленного состояния, хотя и не исключает такой возможности. Ряд ученых допускают некоторое сочетание этих гипотез.

Большинство же считает, что прародительница вещества земной коры—верхняя мантия. Этот процесс происходил по типу зонной плавки.

Существуют мнения, что давление от поверхности к центру Земли непрерывно возрастает до величины порядка 3 000 000 атмосфер. Температура же растет не непрерывно, а постепенно, достигая на границе центрального ядра значения примерно около 2600°C ; в самом же внутреннем ядре температура постоянная.

Агрегатное состояние вещества в центральном ядре неясно; предполагают, что сверхвысокое давление задерживает плавление, превращая все вещества в единый по своей структуре металл, происходит «металлизация» давления. Земное ядро по чувствительности обладает свойствами жидкости, оно ведет себя по отношению к сейсмическим колебаниям как жидкое тело, их не передает, однако по твердости ядро близко к стали и по многим механическим свойствам напоминает кристаллическое состояние материи. Некоторые ученые предпочитают говорить об особом состоянии веществ с плотной упаковкой атомов.

Сплошного расплавленного ядра внутри Земли нет, предполагается, что на некоторой, в разных районах неодинаковой, глубине имеется слой максимальных температур, где происходит частичное расплавление вещества.

Некоторые свойства земной коры

Земной магнетизм. Под магнетизмом понимают совокупность свойств и явлений, обусловленных особым взаимодействием тел, называемым магнитным. Магнитная стрелка, свободно вращающаяся, одним концом поворачивается на север, а другим на юг. Это показывает, что земной шар имеет свойство дипольного магнита. Как всякий магнит, Земля имеет магнитную ось и два магнитных полюса: северный и южный. Магнитные полюса не совпадают с географическими, хотя и расположены близко от них. Из года в год их положение меняется. Координаты магнитных полюсов в 1950 г. были: магнитный полюс на севере — широта 72° , западная долгота 96° ; магнитный полюс на юге — широта 70° , восточная долгота 150° . Различают магнитное наклонение — угол, образуемый направлением магнитной стрелки с плоскостью меридиана. Магнитный меридиан — кривая линия, проводимая в направлении магнитной стрелки, почти всегда не совпадающая с географическим, истинным, меридианом. Угол, составляемый плоскостью магнитного меридиана с географическим, измеряемый в градусах, называется магнитным склонением. Полагают, что земной магнетизм вызван существованием в Земле электрических токов.

Магнитные аномалии обусловлены неоднородным геологическим строением верхней части твердой оболочки Земли (часто эти отклонения вызываются залежами магнитного железняка). Иногда в сейсмических областях они наблюдаются перед землетрясением. Случайные неправильные возмущения элементов земного магнетизма называются магнитными бурями. Полагают, что они достигают наибольшего развития в годы максимума солнечных пятен.

Отдел геофизики, изучающий элементы земного магнетизма, называют магнитометрией.

Тепло литосферы. Тепловой режим земной коры обусловлен двумя основными источниками тепла: солнцем и внутренним, связанным с неравномерным распространением радиоактивных элементов.

Солнечное тепло проникает в литосферу только до глубины 20—25 м. Его роль для жизни растений, животных и человека огромна. Среднесуточные колебания температуры (ночью и днем) в некоторых пустынях земного шара достигают $30\text{--}40^\circ$, а изменения температуры в течение года доходят до 100° . Эти

колебания способствуют раздроблению, разрыхлению пород, так как вода при замерзании в трещинах и пустотах увеличивается в объеме, что благоприятствует процессам физического выветривания (см. главу двенадцатую).

В пределах первых двух десятков метров температура с глубиной испытывает суточные и сезонные колебания: зимой она выше в колодцах и горных выработках, чем на поверхности, летом, наоборот, ниже, вследствие чего во многих глубоких колодцах до середины июня часто сохраняется лед. Поверхность горных пород, до которой проникают годовые колебания температуры, называется поясом постоянной температуры. Температура этого пояса определяется среднегодовой для данной местности. Так, для Москвы она равна $3,6^{\circ}\text{C}$ и определяется глубиной в 25 м.

Обширные участки земной коры характеризуются многолетними мерзлыми породами (см. главу семнадцатую), в них длительное время сохраняется отрицательная среднегодовая температура и горные породы содержат прослойки льда. Только на глубинах около 250—500 м в этих участках устанавливается положительная температура; далее повсеместно в земной коре с глубиной наблюдается постепенное ее повышение, в среднем на 3°C на каждые 100 м.

Изменение температуры в градусах Цельсия на единицу длины называется геотермическим градиентом. Глубина в метрах, на протяжении которой температура повышается на 1°C , называется геотермической ступенью.

В процессах строительства, сооружения туннелей, шахт, рудников, бурения глубоких скважин получен обширный материал по тепловому режиму преимущественно осадочных пород в различных частях света. Геотермическая ступень колеблется в значительных пределах и, как показали наблюдения, зависит от ряда местных причин: теплопроводности горных пород, различного рода гидрохимических процессов, характера залегания горных пород, рельефа местности. В среднем для осадочных пород земного шара геотермическая ступень принимается равной 33 м*.

В Европе геотермическая ступень колеблется от 28 до 36 м, в США — от 35 до 45 м, в СССР — от 12 до 112,5 м (табл. 4).

Пониженные значения температур наблюдаются на Русской равнине в европейской части СССР, где температура на глубине 1000 м в основном изменяется в пределах $18-20^{\circ}\text{C}$ и геотермические градиенты — от 1,2 до $30^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$. В Москве на глубине 1630 м температура только 41°C . В Западной Сибири температура на глубине 1000 м колеблется в пределах от $27,5$ до 70°C и средний геотермический градиент в интервале глубин 100—1000 м

* Температурные изменения в магматических породах резко отличаются от осадочных пород с колебанием геотермической ступени от 6 до 18 м.

колеблется от 2,9 до 5,1° С/100 м. В Восточной Сибири градиент на этой же глубине изменяется от 10,1 до 29,0° С.

Фактические температуры, замеренные в глубоких скважинах, следующие: в районе Краснодара на глубине 2868 м — 110,5° С, на Керченском полуострове на глубине 2900 м — 100° С, в Прикаспии, под Гурьевом, на глубине 3000 м — 108° С. В целом на Северном Кавказе на глубине 2500—3000 м температуры достигают 140—170° С. В США наиболее высокие температуры достигают: в скважине 1 Юниверента на глубине 7724 м — 181° С, в скважине Монгомера 1 на глубине 7136 м — 244° С.

ТАБЛИЦА 4

Средние геотермические ступени и градиенты для различных районов СССР

| Район | В интервале 100—1000 м | | Район | В интервале 100—1000 м | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|--|----------------------------|-----------------------------------|--|
| | средняя геотермическая ступень, м | средний геотермический градиент °С/100 м | | средняя геотермическая ступень, м | средний геотермический градиент °С/100 м |
| Северный Кавказ (Грозный) | 12,0 | 8,3 | Донбасс | 32,2 | 3,1 |
| Западный Кавказ (Майкоп) | 25,1 | 4,0 | Западная Украина | 42,9 | 2,3 |
| Апшеронский полуостров | 27,4 | 3,6 | Самарская Лука | 64,3 | 1,6 |
| | | | Башкирия | 82,6 | 1,2 |
| | | | Белоруссия | 86,5 | 1,2 |

Термический режим земной коры обусловлен рядом причин. Так, тепловая энергия может выделяться при радиоактивном распаде, химических реакциях, кристаллизации минералов, тектонических процессах (ротационногенное тепло). Содержание основных радиоактивных элементов в силикатной оболочке неравномерно и в целом определяется так: $1 \cdot 10^{-6}$ г урана и $1 \cdot 100^{-2}$ г калия на 1 г породы.

Установлено, что концентрация радиоактивных элементов с глубиной убывает. Если принять все радиоактивные элементы, содержащиеся в магматических породах, за 100%, то они распределяются примерно так: в кислых (богатых SiO₂) породах — 70%, в ультраосновных (бедных SiO₂) — 10%. Поэтому можно допустить, что радиоактивные вещества должны быть в основном вынесены в верхние слои Земли процессом перераспределения вещества внутри земного шара. По-видимому, можно ожидать повышения температуры по направлению в глубь Земли только в ее внешних слоях, толщина которых измеряется десятками километров, а дальше, к центру, весьма вероятно, что температуры относительно сходны.

Согласно содержанию радиоактивных элементов в различных породах было подсчитано количество выделяемого тепла каж-

дым кубическим сантиметром различной породы. Предполагают, что каждый кубический сантиметр породы содержит некоторое среднее количество радиоактивных веществ. По подсчетам Е. А. Любимовой, за каждую секунду с 1 см^2 Земля теряет в мировое пространство $1,26 \cdot 10^{-6}$ кал тепла, а генерирует каждую секунду с 1 см^3 породы $15 \cdot 10^{-6}$ кал. Таким образом, выделение тепла в результате радиоактивного распада во много раз больше, чем его расходование в мировое пространство. За счет этих процессов недр Земли получают каждую секунду столько тепла, сколько его выделяется при сгорании более 3 млн. т каменного угля.

В настоящее время в СССР принято решение проникнуть в верхние слои мантии при помощи сверхглубокого бурения до 10 км и более. Эти сложные работы представляют исключительный интерес: они знакомят с составом пород и физико-химическими условиями глубоких зон сиала, выяснят возможность разумного использования богатств недр и огромных запасов энергии, скрытых на больших глубинах.

Глава третья

ЗЕМЛЯ В МИРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Краткие сведения о солнечной системе

Планетная система, к которой принадлежит Земля, состоит из центрального тела — Солнца, вокруг которого движутся девять больших планет с их спутниками (Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон), свыше 1000 малых планет и около 100 периодических комет.

Солнце — это газовый шар, диаметр которого в 109 раз больше диаметра Земли, он равен 1391 тыс. км; поверхность Солнца превосходит поверхность Земли почти в 12 тыс. раз, а объем — в 1300 тыс. раз. Среднее расстояние Земли от Солнца — 149,5 млн. км. Скорость движения Солнца в пространстве мала, всего 20 км/сек.

Из 104 элементов, входящих в таблицу Д. И. Менделеева, на Солнце найдено более 75; преобладающее место среди них занимает водород. Единство состава Земли и Солнца указывает на единство их происхождения.

Планеты и их спутники. Вокруг Солнца движется 9 планет* со своими 26 спутниками. Масса всех планет составляет $1/750$ часть солнечной системы. Относительные размеры планет избоб-

* Планета — темное несамосветящееся небесное тело.

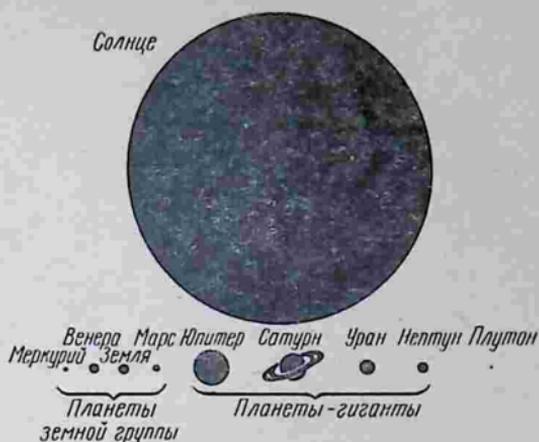


Рис. 4. Сравнительная величина Солнца и планет

ражены на рис. 4. Все планеты можно подразделить на две группы, резко различные по своим физико-химическим свойствам.

Планеты, близкие к Солнцу, носят название планет земного типа, к ним принадлежат Меркурий, Венера, Земля и Марс. Их характерные особенности — небольшая величина, сравнительно медленное вращение и большие плотности.

ТАБЛИЦА 5

Особенности тел солнечной системы

| Небесное тело | Среднее расстояние от Солнца по отношению к расстоянию от Солнца до Земли (в усл. ед.) | Масса в массах Земли (в усл. ед.) | Средний диаметр, км | Плотность, г/см ³ |
|------------------|--|-----------------------------------|---------------------|------------------------------|
| Солнце | — | 332 400 | 1 391 000 | 1,41 |
| Земля | 1,00 | 1,00 | 12 700 | 5,52 |
| Венера | 0,72 | 0,81 | 12 400 | 4,86 |
| Марс | 1,52 | 0,107 | 6 780 | 3,92 |
| Юпитер | 5,20 | 318,36 | 143,640 | 1,31 |

К планетам внешним, удаленным от Солнца, относятся Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон. Их отличительные свойства: очень большие величины (например, масса Юпитера в 318 раз больше массы Земли), быстрое вращение вокруг оси (период обращения Юпитера 9 ч 50 мин) и малая плотность. Особенности тел солнечной системы показаны в табл. 5.

Вокруг Солнца вращаются тысячи малых планет (астероидов), причем некоторые из них имеют диаметр лишь в несколько

десятков километров. Орбиты их лежат между орбитами Марса и Юпитера. Возможно, что они представляют собой осколки когда-то существовавшей большой планеты.

Изучение на основании спектрального анализа химического состава планет не показывает какого-либо различия между земными химическими элементами и химическими элементами планет.

Спутник Земли — Луна. Мягкая посадка советской автоматической станции «Луна-9» на поверхности Луны в феврале 1966 г. — событие эпохального значения. Эта станция «посмотрела на лунный ландшафт глазами космонавта» (А. И. Лебединский) и передала на Землю очень четкие изображения.

Удельный вес Луны 3,3. Радиус в 3,5 раза меньше земного, сила притяжения в 6 раз меньше, чем на Земле. Физические условия на Луне по земным представлениям совершенно необычны: это глубочайший вакуум, воздействие активных излучений Солнца в течение миллиардов лет, непрерывное падение метеоритов, малая сила тяжести. Ближайшие годы помогут раскрыть многие тайны Луны — ее минералогический состав, природу кратеров и т. д.

Кометы и метеориты. Кометы, падающие звезды и метеориты принадлежат к солнечной системе. Размеры комет иногда очень велики, число их достигает нескольких тысяч. Нередко в ночном небе наблюдаются «пылающие звезды», которые представляют собой остатки планет. Они вспыхивают на высоте 150—200 км, часть их сгорает в атмосфере, другая часть доходит до Земли в виде метеорита и при своем полете образует как бы огненный след. Полет сопровождается громкими звуками. Падая на Землю, метеориты распадаются на осколки, иногда при падении они образуют глубокие воронки, как это имело место в Сибири, в Эстонии и других местах. Химическое изучение элементов Солнца и метеоритов подтвердило аналогию составов и единство происхождения солнечного и метеоритного вещества.

Метеориты — «остатки каких-то крупных тел, возможно, планет»*; они происходят из малых планет, расположенных между орбитами Марса и Юпитера.

Метеориты делятся на 3 группы: сидериты (железные метеориты), железо-каменные метеориты и каменные — хондриты. Они различны по возрасту и составу. Сидериты содержат главным образом железо, никель и кобальт. Каменные метеориты наряду с никелем и железом содержат также силикаты, в них встречаются минералы, полностью сходные с земными минералами, как, например, оливин. Эти метеориты представляют

* В. Г. Фесенков. Происхождение и развитие небесных тел по современным данным. Изд. АН СССР, 1953, стр. 51.

большой интерес, так как содержат радиоактивные вещества. Наиболее распространены хондриты, которые в последние годы изучал акад. А. П. Виноградов. Они состоят из Ni, Fe и силикатного вещества хондр, куда входит оливин, пироксены, полевой шпат. Структура хондритов неоднородная; хондры представляют собой капельножидкий материал, образовавшийся в результате конденсации пара до образования планет.

По весу метеориты весьма различны — от граммов до нескольких тонн. Интересно отметить, что по своему химическому составу метеориты почти не отличаются от состава Земли. Преобладают в метеоритах элементы с большим удельным весом. Некоторые метеориты по своему возрасту мало отличаются от астрономического возраста Земли (примерно около 5 млрд. лет).

В СССР зарегистрировано свыше 100 пунктов, где наблюдалось падение метеоритов и находили их осколки. Известны случаи, когда метеориты пробивали здания и ранили людей.

Наиболее известна Тунгусская катастрофа, происшедшая 30 июня 1908 г. В свете новых материалов (1962) полагают, что в воздухе произошел взрыв ядра кометы. Энергия взрыва — 2,8 млрд. *квт/ч*. Ядро рыхлое, непрочное, обогащенное газами, тело имело хвост из пыли, пыль рассеялась. Рассеянное вещество не найдено. Сейсмические волны, вызванные взрывом, были уловлены в Америке и Австралии. Место взрыва выделялось желто-коричневым пятном на серо-зеленом фоне тайги: были видны стволы деревьев, радиально поваленных взрывной волной на площади около 500 тыс. *га*.

В районе хребта Сихотэ-Алинь (Дальний Восток) 12 февраля 1947 г. выпал метеоритный железный дождь общей массой не менее 150 т. Отдельные крупные массы при своем падении взрыли около 100 кратеров и воронок. Собрано осколков около 5 т; двухтонный обломок этого метеорита можно видеть в Москве в Минералогическом музее Академии наук СССР. Осколок содержит 94% железа, 5,4% никеля и 0,34% кобальта.

Главнейшие представления о происхождении Земли и солнечной системы

Проблема происхождения Земли и солнечной системы интересовала человечество еще в глубокой древности. Так, у древних греков за два-три столетия до нашей эры существовали по этому вопросу два принципиально различных взгляда.

Согласно первому взгляду, солнечная система построена геоцентрично (так называемая система Птолемея). В центре мироздания располагается Земля, которая неподвижна, а все остальные планеты, само Солнце и другие звезды обращаются вокруг Земли. Другой взгляд получил название гелиоцентризма, по которому центром мироздания считалось Солнце. Только в середине XVI в. великий польский астроном Николай Коперник (1473—1543) математически развил гелиоцентрическую гипотезу, но и после этого она долго не получала распространения.

Последователями Коперника являлись Джордано Бруно, Галилей, Кеплер, Ньютон.

Согласно учению Джордано Бруно, Вселенная бесконечна, а значит у нее и не может быть никакого «центра». Не только Земля, но и Солнце и звезды вращаются вокруг своих осей. Бруно считал, что ошибочно предполагать, будто только на Земле может существовать жизнь. Жизнь может быть и на других планетах солнечной системы. Это прогрессивное учение было признано католической церковью еретическим, и Джордано Бруно был сожжен как еретик на костре в Риме в 1600 г.

Другой последователь Н. Коперника — Галилео Галилей должен был под давлением трибунала римской инквизиции отказать от своих взглядов.

Открытие Кеплером (1571—1630) закона движения планет, а Ньютоном (1643—1727) закона всемирного тяготения имело огромное значение для объяснения происхождения солнечной системы. Было предложено много гипотез. Вопрос этот и для современного естествознания представляет огромные трудности.

В середине XVIII в. в России М. В. Ломоносов, а в Германии И. Кант впервые высказали мысль о развитии Вселенной, солнечной системы, Земли.

М. В. Ломоносов в своих работах раскрыл геологические процессы развития Земли, рассматривая все явления на Земле как нечто не постоянное, а развивающееся во времени. Ломоносов полагал, что Солнце является расплавленным телом, а для Земли расплавленное состояние — пройденный этап. По его представлениям, внутренний жар Земли — землетрясения, горообразование, вулканические извержения — не результат деятельности расплавленного жидкого ядра, а следствие химических процессов на различных глубинах Земли. Во взглядах М. В. Ломоносова важны идея сжатия Земли от охлаждения и сомнение в существовании жидкого ядра.

Первая научная гипотеза о происхождении солнечной системы и всей Вселенной в целом принадлежит философу Иммануилу Канту (1724—1804). Она высказана им в 1755 г., когда в естественных науках господствовала еще метафизика. Энгельс указывал, что Кант был первым, кто пробил брешь в этом окаменелом мировоззрении.

Пьер-Симон Лаплас (1749—1827) независимо от Канта также высказал гипотезу о происхождении солнечной системы из первичного хаоса.

Собственно научная космогония и была начата со времени Канта — Лапласа. Их огромная историческая заслуга, выходящая за рамки космогонии, заключается в том, что в решение вопроса о происхождении солнечной системы ими впервые в естествознании был сознательно введен принцип развития под

воздействием природных сил, без какого бы то ни было вмешательства творца (бога). Эти материалистические в своей основе теории опирались на известные в то время факты.

Большим вкладом в науку, кроме самой идеи развития, была и общая отправная точка зрения о том, что исходный материал, из которого формируются планеты, находился в разреженном состоянии в виде газа (у Лапласа) или в виде определенных «частиц» (у Канта). В последнем случае под частицами можно понимать как газ, так и пыль или даже более крупные твердые частицы.

Однако гениальная концепция Канта и Лапласа была исторически ограничена уровнем науки того времени: не хватало фактов и очень существенных законов теоретических наук (закон сохранения энергии, закономерность перехода одного вида энергии в другой и т. п.).

Гипотеза Канта. В основу взглядов Канта положены реальные физические силы — притяжение и отталкивание. Вселенная образовалась из первичной пылеобразной материи, которая заполняла мировое пространство. Частицы материи не были однородными, различались по плотности и по силе взаимного притяжения и находились в хаотическом состоянии. Частицы хаоса вначале были неподвижными, но по мере того как более плотные и крупные частицы притягивали менее плотные и крупные, по закону всемирного тяготения они приходили в движение. Получались разнообразные звездные сгущения, которые в свою очередь начинали притягивать более мелкие. Так, от первичного хаоса образовались отдельные крупные сгустки, которые и представляли собой обособленные звезды.

Гипотеза Лапласа. В 1790 г. французским математиком Лапласом была высказана гипотеза о происхождении солнечной системы и других миров. За прообраз Вселенной Лаплас принял раскаленную газовую туманность, а не пылевую, как у Канта. Туманность обладала изначальным вращением.

Последующее преобразование Вселенной мыслилось Лапласом так: вследствие своего вращения газовая туманность сплющивалась настолько, что полярный диаметр ее оказался в полтора раза короче экваториального. Туманность представляла собой раскаленное газовое облако, излучавшее теплоту в мировое пространство. В соответствии с одним из основных законов механики — законом сохранения момента вращения — вся туманность, по мере того как она охлаждалась, сжималась все быстрее и быстрее, сплющиваясь по экватору, и, наконец, под влиянием центробежной силы наступил момент отрыва частиц внешней экваториальной части по кольцу газовой туманности («отрыв колец»). Оторванные частицы образовали «кольца», которые продолжали вращаться вокруг оси. В дальнейшем эти кольца разрывались, и вещество их свертывалось в планеты, а

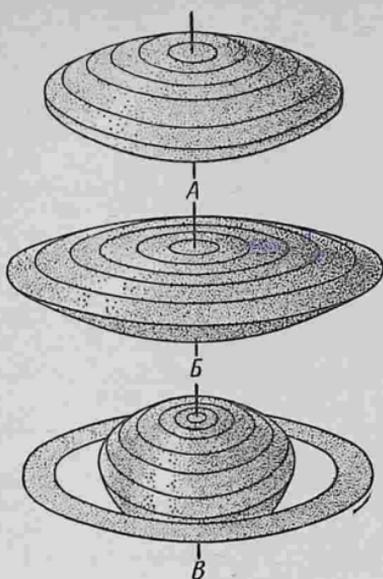


Рис. 5. Образование планетной системы по Лапласу: А — вращение газовой туманности, Б — сплющивание туманности вследствие увеличения скорости вращения и образование чечевицеобразной формы, В — обрыв газообразного кольца

центральный сгусток туманности превратился в Солнце (рис. 5). Существенно подчеркнуть, что, по Лапласу, солнечная система представляла раскаленную, но постепенно остывающую массу. Таким образом, в этих воззрениях тепловое развитие солнечной системы представляет собой постепенный переход от раскаленной ко все более и более холодной системе тел.

Гипотеза Лапласа сразу приобрела большую популярность и оказала огромное влияние на развитие астрономии XIX в. Ученые XIX в. целиком признавали теорию Канта — Лапласа, которая в то время их вполне удовлетворяла. Однако уже в конце XIX в. стали появляться возражения.

Лаплас не дал никаких доказательств своим предположениям. Между тем еще в 1859 г. было подтверждено, что превращение газового кольца в планету невозможно, газ должен рассеиваться, раздробиться на ряд небольших тел, которые будут двигаться вокруг первичной массы по схожим друг с другом траекториям, причем такое кольцо из малых спутников будет иметь устойчивую конфигурацию. Но, кроме этого, имелось и еще одно очень серьезное возражение, относящееся уже к одному из основных законов механики — к закону сохранения момента количества движения, или «момента вращения». Из законов механики следует, что угловой момент (момент вращения) должен быть равен угловому моменту той первичной туманности, из которой эта система образовалась. Если вычислить момент вращения Солнца, планет и их спутников, то окажется, что Юпитер берет больше половины всего момента вращения движения. На долю одних планет-гигантов приходится 98% всей его величины, вращение их происходит быстро. Остальные 2% почти полностью приходятся за счет вращения самого Солнца, четыре другие планеты (Меркурий, Венера, Земля, Марс), вместе взятые, дают меньше 0,1% момента вращения солнечной системы.

Возникает трудная и почти неразрешимая задача: как объяснить, почему почти вся величина углового момента (98%) оказалась как бы захваченной столь малой частью всей системы, в то время как основная масса сосредоточена на Солнце, которое обращается очень медленно. Распределение углового момента (момента вращения) объяснялось только при условии допущения, что момент вращения планет-гигантов был сообщен им извне, т. е. творцом-богом.

Далее, несостоятельность гипотезы Лапласа заключалась и в том, что Солнце вращается слишком медленно — во много раз медленнее, чем оно должно было бы вращаться по его представлениям.

Появились новые гипотезы, которые по возможности были согласованы с религиозными представлениями о сотворении мира. Ученые стремились объяснить момент вращения катастрофическим эффектом внешних по отношению к солнечной системе сил. В основе была заложена идея о движении двух светил или о прохождении вблизи Солнца другой звезды. Когда в XX столетии выяснилось, что и этого оказывается недостаточно, возникла гипотеза Джеффриса, по которой все неувязки объяснялись результатом грандиозной катастрофы — столкновения (соударения) с Солнцем другой звезды. По этим гипотезам солнечная система, в частности Земля, образовалась случайно, в результате столкновения двух звезд. Земле исключительно «повезло», поэтому идея «исключительности» возникновения Земли идеалистична в своей основе.

Гипотеза Джинса. В начале 30-х годов XX в. англичанин Джинс опубликовал новую, так называемую приливную гипотезу. В известной степени он возродил представления Бюффона, высказанные еще в 1750 г., т. е. идею колоссальной солнечной катастрофы. Бюффон предполагал, что планеты образовались из куска солнечной материи, выброшенного при столкновении Солнца с кометой. Джинс заменил эту комету проходящей гигантской звездой. Эта звезда-гигант, пройдя близко от Солнца, оказала на него столь сильное приливное действие, что образовала громадный протуберанец. По мере охлаждения этот выступ, все увеличиваясь, принял веретенообразную (сигарообразную) форму, оторвался от Солнца, распался на части — отдельные сгущения (шары). Средняя часть этой «сигары» была самая мощная. Из нее образовались наибольшие (средние) планеты — Юпитер, Сатурн. Из обоих концов газового потока возникли меньшие (крайние) планеты: с одной стороны — Уран и Нептун, с другой — Марс, Земля, Венера, Меркурий.

Гипотезу Джинса, не разработанную в физико-механическом отношении, в 1943 г. сильно поколебал советский астроном Н. И. Парийский, который путем расчетов показал, что, если

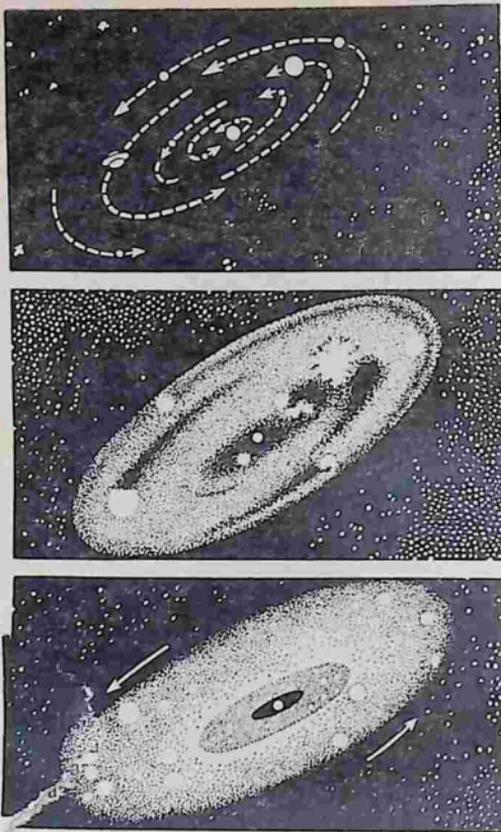


Рис. 6. Происхождение планет по гипотезе О. Ю. Шмидта

личие от гипотезы Канта — Лапласа они изучают развитие солнечной системы и, в частности Земли, не только как механическое перемещение тел в пространстве. Эти гипотезы рассматривают совокупность процессов развития и приводят к важному заключению, что процессы развития Земли протекали негармонично, противоречиво.

Гипотеза академика О. Ю. Шмидта предполагает образование Земли и других планет из межзвездной метеоритной пыли, захваченной Солнцем (рис. 6). Солнце старше планет и Земли. Земля возникла постепенно, путем «сбора» твердых частиц — метеоритов.

По представлениям О. Ю. Шмидта, вокруг Солнца находился протяженный рой пылевой материи, приведший в процессе эволюции к образованию системы планет. Важно подчеркнуть,

скорость проходящей звезды велика, струя солнечной материи уйдет, исчезнет в мировом пространстве. Если же она будет меньше струя солнечной материи упадет на звезду и только, если скорость проходящей звезды незначительна, струя материи не уйдет от Солнца, а будет вращаться вокруг него. Однако последнее обстоятельство совершенно невероятно.

Взгляды Джинса реакционны и в идейном отношении. Представление об «исключительности» образования Земли ведет к религиозным идеям сотворения мира.

Гипотезы советских ученых. Представления, высказанные советскими учеными — академиком О. Ю. Шмидтом и В. Н. Фесенковым, представляют большой интерес. В от-

что рой обладал значительным моментом количества движения, перешедшим затем в орбитальный и вращательный моменты планет. Эволюция шла при непосредственном участии Солнца. Гипотеза объясняет два сложнейших вопроса: распределение момента количества движения в солнечной системе и закон планетных расстояний.

Много десятков лет оставалось неясным, почему момент вращения на 98% сосредоточен в планетах, в то время как масса, наоборот, на 99% сосредоточена в самом Солнце. Искать объяснения загадки момента количества движения следует в самом происхождении того роя, который образовался около Солнца.

Факты приводят к убеждению, что планеты возникли в едином процессе. Есть много сходства в движении планет, все они близки к круговому, проходят почти в одной плоскости, в одном направлении. Общие закономерности указывают на образование планет путем сбора, «слипания» большого числа мелких частиц, до того самостоятельно обращавшихся вокруг Солнца. Если бы планеты выделились целыми кусками из Солнца или были захвачены в готовом виде, то их орбиты были бы эллипсами с различными, иногда большими эксцентриситетами, как это наблюдается у двойных звезд. Наоборот, при соединении частиц происходит естественное осреднение орбит и в результате должны получиться симметричные, т. е. круговые орбиты. Наряду с этим в планетах имеются и существенные различия, отмеченные выше.

Ряд соображений приводит к выводу, что носителями эволюции являются именно твердые частицы. По О. Ю. Шмидту, первоначальный рой состоял из твердых частиц с тем или иным количеством газа. Облака метеоритной пыли дают материал для построения планет, а передвижение Солнца в пределах звездной системы позволяет ему этот материал захватывать. Захваченные частицы образуют вокруг Солнца рой, причем каждый из них движется по собственной орбите. Падая один на другой, они постепенно образуют планеты.

Наиболее сложным в представлении О. Ю. Шмидта является вопрос захвата малой массы материи — пылинок метеоритов крупным телом — Солнцем. Шмидтом была сделана попытка математически вычислить возможность захвата Солнцем пылевой массы. Количество захваченной материи зависит от плотности пылевой среды в данном месте. Чем плотнее облако, тем захват эффективнее. В условиях, которые наблюдаются в нижней, галактической, окрестности Солнца, захват, по-видимому, недостаточно вероятен. Однако на своем пути в галактику Солнце проходило и через плотные облака, и в более ранней стадии его эволюции среда могла способствовать захвату.

О. Ю. Шмидт пытался вычислить также и время, какое потребовалось на постепенный рост Земли до современных ее размеров. В первые моменты появления планет рой метеоритов был значительно гуще и на поверхность Земли падало метеоритов гораздо больше. По расчетам О. Ю. Шмидта, астрономический возраст нашей планеты исчисляется цифрой порядка 7 млрд. лет.

Шмидт полагает, что поверхность Земли не была в раскаленном состоянии, имела температуру около 4°C , а с момента своего возникновения планета получила тепло от Солнца и частично от ударов метеоритов.

В настоящее время взгляды О. Ю. Шмидта развиваются рядом ученых (акад. А. П. Виноградов, В. А. Магницкий, Е. Н. Люстих). Полагают, что Земля при возникновении не была разделена на оболочки и не имела земной коры. Хондры каменных метеоритов возникают в результате конденсации пара до образования планет, а не в итоге дифференциальной кристаллизации. Земная кора появилась позднее, вследствие выплавления и дегазации вещества мантии (метеоритов — хондритов) — легкоплавкой и легколетучей фракции вещества. Расщепление этого вещества привело к образованию легкоплавкой фазы — базальтической магмы и тугоплавкой фазы — дунитов. Рост Земли происходил постепенно, более глубокие слои древнее верхних.

С этих позиций материка — первичны, гидросфера, атмосфера — вторичны; они возникли в итоге привноса вещества в процессе выплавления и дегазации мантии.

Прародительница всех горных пород, минералов, газов и природных вод — вещество мантии.

Систематическое охлаждение Земли с момента ее возникновения, по Шмидту, исключается, но некоторое подогревание ее в связи с распадом радиоактивных элементов в глубинных областях (а не на поверхности) возможно. Средняя температура Земли была сравнительно однообразна миллиарды лет, хотя и испытывала некоторые колебания, в результате которых в позднейшие эпохи Земля подвергалась оледенению.

Вслед за В. И. Вернадским ряд советских ученых, в том числе и О. Ю. Шмидт, убеждены в том, что Земля была первоначально холодной, но постепенно разогревалась вследствие распада радиоактивных элементов в ней. Ученые полагают, что тепла радиоактивного распада вполне достаточно для поддержания в недрах Земли сравнительно высоких температур. Тепловая энергия выделяется и при гравитационном сжатии вещества Земли, при химических реакциях, при кристаллизации обособленных магматических очагов.

Таким образом, при современных знаниях неправильно считать тепло Земли остаточным, унаследованным теплом, а Зем-

лю — равномерно остывающим телом. Современные энергетические свойства Земли не просто унаследовала, но в известных пределах их еще видоизменила. Эти свойства возникли, развивались и развиваются вместе с эволюцией Земли.

В гипотезе акад. О. Ю. Шмидта имеются некоторые еще слабо разработанные положения.

1. Многие исследователи полагают, что первоначальное облако межзвездной материи вероятнее всего было не метеоритным, а газовым. Захват материи Солнцем невозможен.

2. Имеются мнения, что и сами метеориты образовались в результате распада «какой-то» планеты, а не наоборот (планеты образовались из метеоритов).

3. В осадочных породах древних геологических эпох не встречаются ископаемые метеориты.

4. Гипотеза мало касается вопросов эволюции Солнца и других звезд.

Гипотеза акад. В. Г. Фесенкова. Акад. В. Г. Фесенков склоняется к мысли, что, поскольку возраст Солнца близок астрономическому возрасту Земли, допустимо считать, что Солнце и окружающие его планеты образовались одновременно и что это единый процесс происхождения звездной системы из одной и той же исходной среды — некоторой газовой-пылевой туманности (рис. 7).

Внутренние части уплотнения послужили материалом для образования Солнца, внешние — для образования других планет и Земли. Земля возникла сразу во всей массе, а не «собиралась» из отдельных частей.

Несколько миллиардов лет назад Солнце выделилось, подобно другим звездам, из местного уплотнения в некоторой газовой-пылевой среде, находящейся в неустойчивом состоянии. Вначале Солнце представляло довольно массивное тело с массой в 8—10 раз больше современной, которое быстро вращалось вокруг своей оси. Продолжая интенсивно сокращаться, Солнце должно было оставить в экваториальной плоскости значительное количество вещества, которое из-за большой скорости вращения не могло сосредоточиться в одном теле. Все

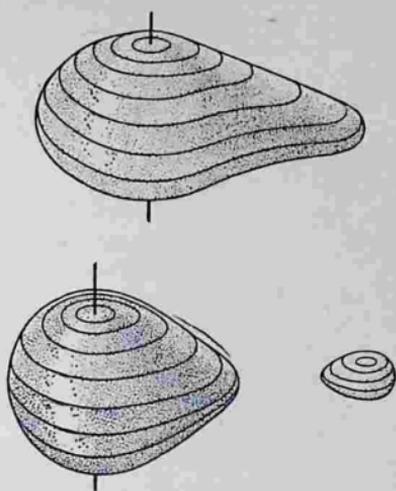


Рис. 7. Схема образования Земли по гипотезе акад. В. Г. Фесенкова

планетные орбиты расположены вблизи плоскости солнечного экватора, указывая на то, что с самого начала существовала определенная связь между веществом, из которого образовались планеты, и основным сгущением, преобразовавшимся затем в современное Солнце. По-видимому, первичное Солнце представляло собой значительно уплотненное центральное сгущение, окруженное газово-пылевой туманностью, сосредоточенной преимущественно в экваториальной плоскости. Это газовое облако обладало неправильной структурой и имело вихреобразное движение, стремящееся выравнять разности скоростей вращения вокруг центрального сгущения. В сплюсненном газово-пылевом облаке, окружавшем первичное Солнце, плотности распределялись крайне неравномерно, что позволяло вследствие их неизбежных перепадов образовывать местные сгущения, способные противостоять разлагающему приливному действию центрального тела.

Таким образом, из вещества, оставленного (или выделившегося) из Солнца, должны были образоваться различные планетные сгущения, планеты и Земля. Обладая достаточной плотностью, эти сгущения были устойчивы к разлагающему приливному действию Солнца и могли продолжать самостоятельное существование, двигаясь в более разреженной окружающей среде и присоединяя ее частицы к своей массе. Орбиты этих сгущений мало отличались от окружностей и располагались примерно в одной плоскости солнечного экватора.

Для того чтобы образовавшиеся планеты обладали устойчивостью не только по отношению к Солнцу, но и по отношению к ближайшей планете, новые «сгущения» должны были противостоять разлагающему действию Солнца и выдерживать дополнительное приливное действие других планет. Для этого нужно допустить, что сначала из «сгущения» должны были образоваться выделившиеся из Солнца отдаленные планеты — Плутон, Нептун, Уран, а затем более близкие планеты.

По-видимому, первоначальные планетные сгущения имели одинаковый химический состав, т. е. состояли в среднем из одних и тех же элементов, главным образом водорода. Массивные планеты (Юпитер), далеко расположенные от Солнца, почти полностью сохранились.

К сожалению, гипотеза акад. В. Г. Фесенкова не в состоянии объяснить, почему в составе Солнца около 90% его массы самые легкие элементы — водород и гелий, а на Земле этих элементов содержится ничтожное количество, и далее, если планеты образовались из солнечного выступа, то неясно происхождение силы, которая потом отодвинула планеты на огромные расстояния от Солнца.

Кратко рассмотрев современные взгляды о происхождении и строении солнечной системы и Земли, мы убеждаемся в пол-

ной несостоятельности религиозных представлений об их происхождении. Земля в действительности не «центр» Вселенной, она сравнительно очень маленькое небесное тело, каких во Вселенной бесчисленное множество. Многочисленные факты убеждают ученых, что звезды имеют разный возраст; есть основания предполагать, что звезды возникают и в настоящее время. Следовательно, Земля и другие планеты возникли не сразу — одновременно, а в разные периоды существования Вселенной. Эти факты, а также большие успехи в освоении космоса — создание возвращающегося на Землю корабля-спутника, первый межпланетный полет автоматической станции, посадка станции на Луну, первое попадание в Венеру — обогащают науку новыми данными и являются важными примерами для пропаганды научно-атеистических взглядов и формирования материалистического миропонимания.

ЛИТЕРАТУРА

- Горшков Г. П. и Якушова А. Ф. Общая геология. Изд-во МГУ, 1962.
- Курс общей геологии под ред. В. И. Серпухова. Гостоптехиздат, М., 1960.
- Ланге О. К., Иванова М. В., Лебедева Н. Б. Общая геология. Госгеолтехиздат, М., 1958.
- Планета Земля. Перевод с англ. под ред. А. Х. Хршана. ИЛ, М., 1961.
- Сидоренко А. В. Человек, техника, земля. «Недра», 1967.
- Тихомиров В. В., Ханн В. К. Краткий очерк истории геологии. Госгеолтехиздат, М., 1956.
- Чарыгин М. М. Общая геология. Гостоптехиздат, М., 1963.
- Шепард Ф. Земля под морем. «Мысль», М., 1964.

Часть вторая

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ МИНЕРАЛОГИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

Глава четвертая

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ МИНЕРАЛОВ В ПРИРОДЕ

Минералогия и понятие минерал. Минералогия — раздел геологии, изучающий свойства слагающих земную кору минералов и разнообразные процессы, приводящие к их образованию.

Минералами называют природные химические соединения или самородные элементы, возникающие в результате разнообразных физико-химических процессов, происходящих в земной коре и на ее поверхности. Большинство минералов — вещества твердые (кварц, полевой шпат и др.), но есть жидкие минералы (ртуть, вода, нефть) и газообразные (углекислота, сероводород и др.). В этой книге описываются лишь твердые минералы.

Из общего числа около 2800 минералов сравнительно немногие широко распространены в природе. Эти минералы (их около 50) входят в состав многочисленных горных пород, и их называют породообразующими.

*Минералогический состав земной коры (по А. Е. Ферсману)
(по весу в процентах)*

| | | | |
|---|------|--------------------------|------|
| Полевые шпаты | 55 | Слюды | 3,0 |
| Пироксены, амфиболы . . | 15 | Окислы и гидроокислы . . | 3,0 |
| Кварц и его разновид- ности | 12 | Глинистые минералы . . | 1,5 |
| Вода (в свободном и по- глощенном состоянии) | 8,25 | Кальцит | 1,5 |
| | | Фосфаты | 0,75 |

Главными породообразующими минералами являются полевые шпаты, пироксены, амфиболы и кварц. При разрушении горных пород многие из этих минералов переходят в почву, где оказывают влияние на ряд ее физико-химических свойств, в том числе и на плодородие. Эти минералы называют минералами почвенного скелета. Знание особенностей породообразующих минералов, их химического состава, физических свойств, диагностических признаков, их происхождения, поведения в коре выветривания имеет большое значение для изучения горных пород и почв.

Форма кристаллов. Все минералы отличаются друг от друга по физическим свойствам и химическому составу. Твердые минералы встречаются в природе в большинстве случаев в виде кристаллических веществ, т. е. веществ, обладающих кристаллической структурой, в которой атомы, ионы или молекулы расположены в узлах кристаллической решетки в строгом порядке.

Внешне такие кристаллы часто имеют форму различных многогранников — кубов, призм, пирамид, октаэдров и т. д. Кристаллические вещества обладают свойством анизотропности: их физические свойства (твердость, спайность, оптические свойства) зависят от направления (они одинаковы в направлениях параллельных и в общем случае не одинаковы в направлениях непараллельных). Например, кристаллы слюды прекрасно расщепляются на тончайшие пластинки-чешуйки только в одном направлении.

Некоторые вещества характеризуются беспорядочным расположением молекул, ионов и атомов, т. е. отсутствием кристаллического строения. Такие вещества называют аморфными, примерами могут служить стекла. Аморфное состояние неустойчиво и со временем переходит в кристаллическое. Аморфный кремнезем — опал — постепенно превращается в кристаллический кремнезем (кварц).

Дисперсные системы, состоящие из мельчайших тонкораспыленных частиц диаметром от 10^{-4} до 10^{-6} мм, получили название коллоидов. Таковы некоторые твердые природные гели, в которых дисперсионная среда — вода — занимает пространство между коллоидальными частицами (например, опал).

Физические свойства (твердость, теплопроводность, силы сцепления) аморфных веществ подобны свойствам жидкостей или расплавов. Эти свойства во всех направлениях одинаковы — аморфные вещества не обладают анизотропностью физических свойств.

Минералы, кристаллическое строение которых обнаруживается под микроскопом, называют скрытокристаллическими; их типичный представитель — халцедон. Кристаллические вещества отличаются однородностью химического состава во всех частях кристалла или кристаллического индивидуума (например, зерна), а также способностью самоограняться, т. е. образовывать многогранники.

Кристаллографические особенности кристаллов. Кристаллография — наука о свойствах кристаллических веществ. При благоприятных условиях кристаллические вещества образуют правильно ограненные многогранники. Характерной особенностью последних является симметрия, под которой понимают: 1) закономерную повторяемость одинаковых граней, ребер и углов при вращении кристалла; 2) зеркальное равенство частей

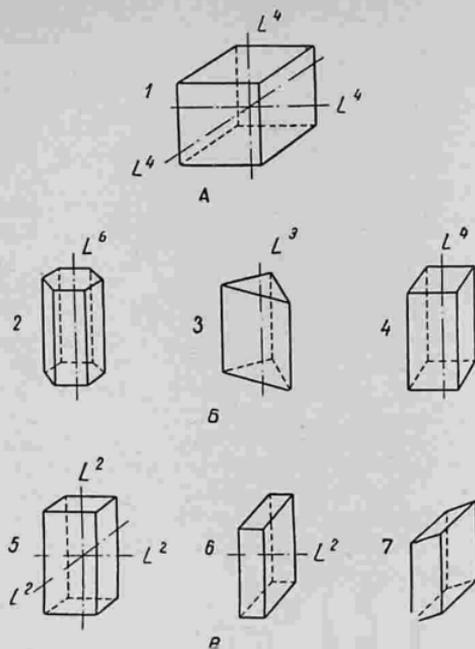


Рис. 8. Кристалл высшей сингония (и ее названия), Б — средняя ось высшего наименьшей сингонии (ни одной оси в 1 — кубическая, 2 — гексагональная, 4 — тетрагональная, 5 — оклидная, 7 —

при вращении около осей симметрии называется ее порядком. Для осей симметрии разных порядков приняты следующие обозначения: L^2 — ось симметрии второго порядка; L^6 — ось симметрии шестого порядка и т. д.

В кристаллах могут быть только оси симметрии второго, третьего, четвертого и шестого порядков. В одном и том же кристалле может быть несколько осей симметрии одного порядка или разных порядков.

3. Центр симметрии — точка, расположенная внутри кристалла, вокруг которой правильно повторяются элементы ограничения и другие свойства кристалла.

В кристаллах возможны 32 комбинации элементов симметрии, и эти 32 комбинации называют кристаллографическими классами, или видами симметрии. Кристаллографические классы

фигуры, когда одни части кристалла представляются как бы зеркальным отражением других.

В кристаллах выделяют: грани — плоскости многогранников, ребра — линии пересечения граней, вершины — точки пересечения трех и более ребер.

Существуют следующие элементы симметрии (рис. 8):

1. Плоскость симметрии — воображаемая плоскость, которая делит кристалл на две равные части, причем одна из них является как бы зеркальным отражением другой.

2. Ось симметрии (L) — прямая линия, вращении вокруг которой на 360° кристалл несколько раз повторяет свое начальное положение в пространстве. Число повторений начального положения кристалла

объединяются в сингонии. Таких сингоний семь: триклинная, моноклинная, ромбическая, тригональная, тетрагональная (квадратная), гексагональная, кубическая.

Первые три представляют собой низшие категории, три последующих — средние, а кубическая сингония — высшую.

Характерные элементы симметрии для перечисленных сингоний приведены в табл. 6 и на рис. 8.

ТАБЛИЦА 6

Характеристика кристаллографических сингоний

| Категория | Сингония | Характерные элементы симметрии |
|-----------|----------------|--|
| Низшая | Триклинная | Нет элементов симметрии или есть один центр симметрии (C) Ось симметрии второго порядка и плоскость симметрии одна Количество осей симметрии второго порядка и плоскостей симметрии достигает трех |
| | Моноклинная | |
| | Ромбическая | |
| Средняя | Тригональная | Характерна одна ось симметрии третьего порядка (L^3) Характерна одна ось симметрии четвертого порядка (L^4) Характерна ось симметрии шестого порядка (L^6) |
| | Тетрагональная | |
| | Гексагональная | |
| Высшая | Кубическая | Имеются четыре оси симметрии третьего порядка (наряду с L^2 или L^4) |

Генетическая форма кристаллов — один из признаков, помогающих определить некоторые из них в полевой обстановке. Например, по форме нахождения кристаллов в природе можно узнать кристаллы каменной соли, пирита, флюорита, галенита (кубы и др.), кристаллы кальцита (ромбоэдры и др.), кварца (шестигранные призмы) и т. д.

Несмотря на последующие процессы выветривания, облик кристаллов в ряде случаев сохраняется.

Закономерно срощенные кристаллы образуют двойники, тройники, для гипса характерен так называемый ласточкин хвост (рис. 9), для ортоклаза — карлсбадские двойники.

Физические свойства. Каждый минерал обладает определенным химическим составом и имеет характерное для него внутреннее строение, от которого зависят внешняя форма и свойства кристаллов.

Методы изучения и определения минералов весьма обширны: визуально, или макроскопически, минералы определяют

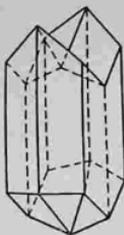


Рис. 9. Двойник гипса «ласточкин хвост»

в полевой обстановке по цвету, блеску, твердости, формам кристаллов и т. д. Нередко в полевой обстановке используются и наиболее простые качественные реакции частично с применением паяльной трубки.

При камеральной обработке собранных в поле образцов минералов и горных пород в лабораториях применяются точные методы: определяются оптические константы минералов, изучаются их кристаллографические свойства, радиоактивность, люминесценция, пьезоэлектрические и магнитные свойства, детально исследуется химический состав минералов при помощи химического и физического анализа, а также используются рентгеновский метод и различные методы нагревания.

В настоящей книге описывается методика определения минералов по их физическим свойствам; более точные методы рассматриваются в соответствующих курсах.

Цвет. Окраска минералов привлекала к себе внимание человека еще в глубокой древности. Вполне естественно, что многие названия минералов были даны по этому признаку, например гематит (гематикос по-гречески — кровавый), альбит (альбус по-латыни — белый), рубин (рубер по-латыни — красный), аурипигмент (аурум по-латыни — золото). Цвет минералов зависит от их структурных особенностей, присутствия в них красящих элементов (хромофор) и механических примесей.

По красящим элементам — хромофорам различают следующие окраски: 1) идиохроматическую, или собственную (зеленая у малахита); 2) аллохроматическую, чуждую для минерала окраску, например, горный хрусталь обычно бесцветен, но бывает окрашен в красивые фиолетовые (аметист), черные (морион), дымчатые (раухтопаз) тона. Загрязняющими механическими примесями являются бурые гидроокислы железа, красная окись железа, органические вещества.

Благодаря хромофорам и примесям цвет одного и того же минерала может быть различным. Цвет следует наблюдать на свежем изломе, так как на поверхности он может измениться в результате выветривания, которое особенно легко затрагивает сернистые и мышьяковистые минералы.

В полевой обстановке яркие цвета и налеты вторичных минералов фиксируют внимание исследователя и служат признаком, по которому могут быть открыты месторождения полезных ископаемых. Многие минералы в мелкораздробленном состоянии (порошке) имеют иной цвет, чем в куске. Для исследования цвета минерала нет надобности его измельчать, а достаточно определить цвет его черты, т. е. провести куском минерала по неглазированной фарфоровой пластинке. При этом на его

поверхности останутся мелкие порошинки минерала, окрашенные в какой-то определенный цвет. Так, пирит в куске соломенно-желтый, а в порошке почти черный, гематит черный, а в порошке вишнево-красный, магнетит железно-черный, а в порошке черный.

Кроме основной окраски минерала, иногда медьсодержащие минералы на поверхности имеют пестроокрашенную тонкую пленку, обусловленную явлениями интерференции света, образующуюся на поверхности минерала в результате различных реакций, возникающих при процессах химического выветривания; это явление получило название побежалости. Цвет пленки отличается от цвета самого минерала. Побежалость бывает радужной, из нескольких цветов (халькопирит), причем поверхность минерала переливается синим, красным и розовато-фиолетовым цветами, а также одноцветной, например золотистой (бурый железняк). Побежалость наблюдается только у минералов с металлическим блеском.

Прозрачность. Под этим понятием подразумевается способность вещества пропускать свет. Одна часть падающего на данное тело светового потока им отражается, а другая проходит внутрь среды. Вступивший в вещество луч света меняет свою скорость, преломляется и по мере проникновения в глубь вещества расходует свою энергию на превращение ее в другие виды энергии — происходит поглощение (абсорбция) света. Прозрачность зависит от физико-химических свойств вещества.

В зависимости от степени прозрачности все минералы подразделяются на группы: прозрачные — горный хрусталь, исландский шпат; полупрозрачные — сфалерит, киноварь; непрозрачные — пирит, галенит, графит.

Многие непрозрачные минералы просвечивают в краях — в тонких обломках, например халцедон, биотит. У некоторых прозрачных минералов, например у исландского шпата (разновидность кальцита), из-за резкой анизотропии оптических свойств величина преломления изменяется в зависимости от направления световых колебаний, поэтому входящие в кристалл световые лучи раздвигаются. При рассматривании через исландский шпат буквы или штриховые рисунки удваиваются (рис. 10), в связи с чем исландский шпат часто называют удваивающим шпатом. Свойство двупреломления прозрачного кальцита используется в поляризационных приборах.

Блеск. Блеск минералов зависит от количества отраженного света, которое в свою очередь зависит от показателя преломления вещества. Различают металлические и неметаллические блески. Минералы, показатели преломления которых больше 3, имеют металлический блеск. Обычно они непрозрачны, даже в очень тонких зернах или пластинках. Таковы самородные



Рис. 10. Двупреломление в кристалле исландского шпата

элементы, многие сульфиды, некоторые окислы (золото, галенит, пирит, пиролюзит и др.).

При показателе преломления от 1,9 до 2,6 минералы обладают сильным блеском, который называется алмазным (алмаз, самородная сера, цинковая обманка — сфалерит). Минералы, имеющие показатели преломления от 1,3 до 1,9, отличаются стеклянным блеском (гипс, кальцит, ортоклаз и т. д.). Кроме того, выделяют промежуточный блеск между металлическим и алмазным, так называемый полуметаллический, или металло-видный, блеск, который иногда можно сравнить с блеском потускневших от времени металлов (гематит, киноварь, куприт).

На характер блеска влияет также состояние отражающей поверхности; так, если на ней образовались мельчайшие неровности и бугорочки, то отраженный свет частично рассеивается, благодаря чему поверхность минерала кажется как бы смазанной жиром, т. е. имеет жирный блеск. Этот блеск особенно характерен для поверхностей излома нефелина и самородной серы. Особенно неровные поверхности являются причиной воскового блеска, который характерен для халцедона.

Явления интерференции света, проходящего через тонкие пластинки, можно наблюдать у кристаллов слюды, иногда кальцита. Интерференция света — причина характерного для этих минералов перламутрового блеска. При параллельно-волокнистом строении агрегатов минералов возникает шелковистый блеск (волокнистый гипс — селенит, асбест). Минералы, у которых блеск отсутствует, называют матовыми (пиролюзит, каолинит, различные охры).

Спайность. Спайностью называется способность некоторых минералов раскалываться по определенным кристаллографическим направлениям с образованием зеркальных поверхностей — плоскостей спайности. Различают следующие виды спайности:

1. Весьма совершенная, когда минерал по определенному направлению очень легко расщепляется на пластинки, листочки, чешуйки. Плоскости спайности зеркально-блестящие, ровные (например, слюда, гипс).

2. Спайность совершенная, когда минерал в определенном направлении раскалывается с образованием ровных блестящих плоскостей. Совершенную спайность различают: в двух направлениях (ортоклаз), в трех (кальцит, свинцовый блеск, каменная соль), в четырех (флюорит), в шести (сфалерит). Все минералы, относящиеся к группе шпатов, имеют совершенную спайность (рис. 11).

3. Спайность средняя, когда минерал при ударе распадается на осколки, ограниченные примерно в одинаковой степени как плоскостями спайности, так и неправильными поверхностями излома (например, авгит).

4. Спайность несовершенная обнаруживается с трудом на обломках минерала, значительная часть обломков ограничена неправильными поверхностями излома (апатит, берилл).

5. Спайность отсутствует, когда при ударе минерал раскалывается по случайным направлениям и дает неровные поверхности излома (кварц, касситерит, пирит). Необходимо отличать от плоскостей спайности грани кристалла, которые у кварца, магнетита, пирита выражены очень четко.

В различных минералах, обладающих спайностью, плоскости спайности ориентированы по определенным кристаллографическим направлениям, например, у галенита и галита — по кубу, у многих карбонатов — по ромбоэдру, у амфиболов и пироксенов — по призме, у слюды — по пинаконду.

Излом. При расколе у минералов возникают поверхности, определяющие излом. Чем совершеннее спайность, тем труднее установить характер излома. Минералы, обладающие спайностью, дают ровный излом, например кальцит, галит. У минералов, не обладающих спайностью, выделяют следующие виды излома: 1) раковистый — похожий на внутреннюю поверхность раковины (опал, халцедон, обсидиан — вулканическое стекло); 2) неровный — характеризующийся неровной поверхностью без блестящих спайных участков (апатит); 3) занозистый — прису-

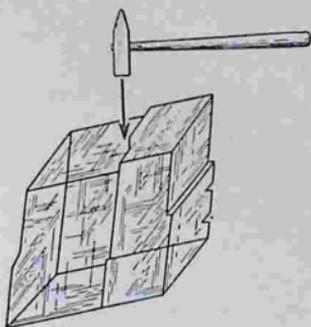


Рис. 11. Спайность совершенная, в трех направлениях (кальцит)

щий минералам волокнистого сложения, напоминает излом древесины поперек волокнистости (асбест, волокнистый гипс, иногда роговая обманка); 4) крючковатый — поверхность излома покрыта мелкими крючочками (самородная медь, самородное серебро).

У минералов землистых излом землистый, у имеющих зернистое строение, — зернистый.

Твердость. Под твердостью понимают степень сопротивления, которое оказывает поверхность испытываемого минерала царапанию. Это очень важное физическое свойство, имеющее большое практическое значение для диагностики минералов в полевых условиях.

Для оценки относительной твердости минералов пользуются специальным набором минералов, в котором каждый последующий минерал своим острым концом царапает все предыдущие. Этот набор минералов получил название шкалы Мооса. В нем 10 минералов разной твердости, которая условно обозначается баллами от 1 до 10.

| | | | |
|------------|----------------------------|-------------|-------------------------|
| 1. Тальк | — $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$ | 6. Ортоклаз | — $K[AlSi_3O_8]$ |
| 2. Гипс | — $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ | 7. Кварц | — SiO_2 |
| 3. Кальцит | — $CaCO_3$ | 8. Топаз | — $Al_2[SiO_4](F,OH)_2$ |
| 4. Флюорит | — CaF_2 | 9. Корунд | — Al_2O_3 |
| 5. Апатит | — $Ca_5(PO_4)_3(Cl_2F)$ | 10. Алмаз | — C |

Алмаз — самый твердый минерал, не имеющий себе подобного в природе, он не в 10 раз, а более чем в 4000 раз тверже талька. Таким образом, твердость минерала, выражающаяся в баллах, имеет не абсолютное, а относительное значение. В природных условиях на микротвердометре ТМТ-2 определена твердость следующих минералов: тальк — $2,4 \text{ кг/мм}^2$, кальцит — 109 кг/мм^2 , кварц — 1120 кг/мм^2 и алмаз — 10060 кг/мм^2 .

Кроме образцов минералов шкалы Мооса, для определения твердости можно пользоваться разными легкодоступными предметами, твердость которых в цифрах шкалы Мооса известна. Таковы, например, ноготь, твердость которого равна 2,5, медная монета — твердость 3, кусочек оконного стекла — 5—5,5, стальной перочинный нож — 5,5—6. Практически при помощи ногтя и ножа можно определить твердость многих минералов с твердостью до 6. Так, нож будет давать черту на минералах, имеющих твердость 5 и меньше, причем глубина этой черты и прилагаемое усилие указывают на большую или меньшую твердость. Минералы, имеющие твердость 6 и больше, сами оставляют царапины на ноже и стекле.

Если минерал пишет на бумаге, не царапая ее, твердость его равна 1. Если минерал чертится ногтем, а сам не оставляет

царапины на ногте, то твердость минерала не более 2—2,5. Если ноготь не оставляет царапины на минерале, то его твердость более 2,5. В природе преобладают минералы с твердостью до 7.

Для определения твердости минерала необходимо выбрать небольшую гладкую плоскость без включений других минералов, провести по ней, слегка надавливая, острым углом другого минерала, и наблюдать полученную царапину. Для этого следует после царапин сдуть порошок и убедиться в том, что действительно осталась царапина.

Твердость одного и того же минерала зависит от направления и от кристаллографического значения грани, которая подвергается испытанию, например, у дистена твердость в направлении удлинения равна 4,5, а в перпендикулярном направлении на той же плоскости — 6—7.

Аморфные и порошковатые разновидности многих минералов обладают ложными малыми твердостями, например, гематит в кристаллах имеет твердость 6, а в виде красной охры только 1.

Твердость опала и каолинита также изменяется в значительных пределах.

Удельный вес (плотность). Удельный вес минералов колеблется в широких пределах — от 0,9 (лед) до 23 (группа осмистого иридия). Наиболее многочисленны минералы с удельным весом от 2,5 до 4 (табл. 7). Поэтому удельный вес служит диагностическим признаком только минералов тяжелых элементов — свинца, вольфрама, бария.

ТАБЛИЦА 7

Средние значения удельного веса главнейших минералов и некоторых пород

| Минералы | Средний удельный вес, г/см ³ | Породы | Средний удельный вес, г/см ³ |
|---------------------------|---|--------------------------------------|---|
| Кварц | 2,65—2,66 | Гранит | 2,60—2,70 |
| Ортоклаз | 2,56—2,58 | Базальт | 2,90—3,30 |
| Альбит | 2,60—2,62 | Диабаз | 2,90 |
| Биотит | 2,7—3,1 | Мрамор | 2,72 |
| Роговая обманка | 3,0—3,3 | Известняк-ракушечник | 2,70 |
| Гипс | 2,3 | Песчаник | 2,35—2,65 |
| Доломит | 2,8—2,9 | Глина | 2,92 |
| Кальцит | 2,71—2,72 | Валунный суглинок (морена) | 2,68 |
| Каолинит | 2,6 | Песок кварцевый | 2,65 |
| Монтмориллонит | 2,0—2,2 | Лёсс | 2,68—2,70 |
| Лимонит | 3,6—4,0 | Чернозем | 2,37 |
| Магнетит | 5,17—5,18 | Торф | 0,5—0,8 |
| Нефть | 0,70 | | |
| Вода морская | 1,08 | | |

По удельному весу минералы подразделяют на три группы: легкие минералы с удельным весом до 2,5, средние — 2,5—4, тяжелые — более 4. Удельный вес зависит от химического состава и структуры вещества. Например, пирит (FeS_2) — кубическая сингония, имеет удельный вес 4,9—5,2, а марказит того же состава, ромбическая сингония, — 4,6—4,9.

При переходе кварца в тридимит, имеющий новую кристаллическую структуру, удельный вес изменяется с 2,65 до 2,26. Непрозрачные минералы с металлическим блеском обычно тяжелы, прозрачные минералы со стекляннным блеском сравнительно легки. Для точного определения удельного веса существует много лабораторных методов (пикнометр, гидростатические весы, тяжелые жидкости). В полевой обстановке важно научиться определять удельный вес приблизительно, взвешивая кусок минерала на ладони, и отличать легкие минералы, как, например, гипс, кварц, галит, ортоклаз от тяжелых — пирита, магнетита, барита и др.

Особые свойства. Магнитность — свойство минералов действовать на магнитную стрелку или самим притягиваться магнитом. Это свойственно магнетиту, пирротину, природной платине, содержащей железо, и др. Для испытания на магнитность кусочек минерала измельчают ударом молоточка, после чего к нему прикасаются намагниченным перочинным ножом или магнитной подковой.

Растворимость в кислотах. Важное свойство карбонатов (кальцита, малахита) — растворимость на холоду в разбавленной соляной кислоте с выделением пузырьков CO_2 . Другие карбонаты требуют измельчения в порошок (доломит) или подогревания (магнезит) и даже кипячения. Этим свойством геологи широко пользуются для диагностики карбонатных пород — известняков, мела, некоторых глин, лёссов. Похожие по внешнему виду сульфаты с HCl не реагируют.

Вкус. Растворимые в воде минералы создают вкусовые ощущения: галит — соленый, сильвин — горько-соленый, мирабилит — охлаждающий, соленый, квасцы — кислый. Легкорастворимые минералы растворяются (карналлит), нерастворимые (каолинит и галлуазит) липнут к языку и влажным губам.

Запах. При трении желваков фосфоритов друг о друга возникает запах жженой кости, горелой кожи (присутствие фосфора). Некоторые минералы (сера, янтарь) при нагревании легко загораются и испускают характерные запахи. Иногда запах начинается ощущаться при выбивании искр: запах сернистого газа характерен для пирита, марказита; чесночный запах — для арсенопирита и других мышьяковистых минералов.

Определение минерала или горной породы возможно по специальным определителям, приведенным в списке рекомендуемой литературы.

Определение производится раздельно. Ключом к определителю минералов является блеск — металлический и неметаллический, а также твердость (можно ли ногтем или куском стекла оставить царапину на минерале). Определив эти признаки, выясняют цвет минерала в куске и в порошке (черта), вкус, растворимость в воде и в холодной соляной кислоте, горит или легко плавится и т. д. Далее по таблицам находят минерал, который соответствует этим признакам (см. приложения на стр. 328—329).

При определении горных пород идут следующим путем: определяют, рыхлый или плотный образец; выясняют, режется ли порода ножом, царапается ногтем, пачкает руки, вскипает от соляной кислоты и т. д.; обращают внимание на зернистость, слоистость, однородность, излом. Обычно в справочники-определители включают наиболее распространенные минералы и горные породы (см. стр. 328—331).

Формы нахождения минералов в природе. Естественные скопления минералов в виде зерен или кристаллов называют минеральными агрегатами.

Среди них различают:

Зернистые — мелкие сросшиеся зерна минералов (оливин, апатит).

Землистые — по внешнему виду напоминают рыхлую почву, легко растираются между пальцами (каолин, охра).

Плотные — нельзя различить контуры отдельных зерен даже в лупу (халцедон).

Игольчатые, призматические — кристаллики имеют удлиненную форму (волокнистый гипс — рис. 12, роговая обманка).

Листоватые, пластинчатые — кристаллы легким усилием расщепляются по плоскостям спайности на листочки — чешуйки (слоды).

Друзы — сростки кристаллов (щетки), прикрепленных одним концом к общему основанию (друзы горного хрусталя, кварца, флюорита).

Единичные кристаллы, иногда достигающие больших размеров, например горный хрусталь (рис. 20), апатит и т. д.



Рис. 12. Волокнистый гипс

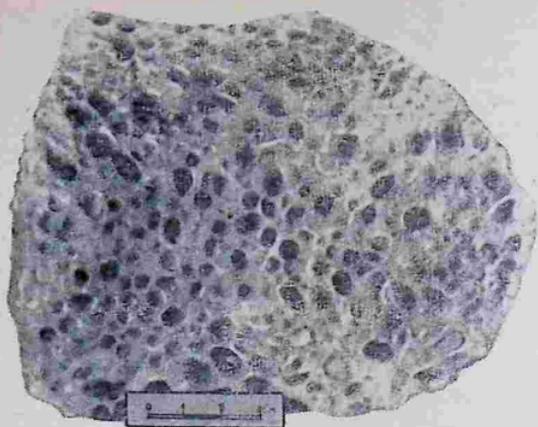


Рис. 13. Оолитовая структура

Дендриты — ветвистые древовидные агрегаты, в значительной части получающиеся при быстрой кристаллизации, когда возникают скелетные образования, напоминающие ледяные узоры на окнах (дендриты самородной меди, серебра и др.). Некоторые дендриты возникают при коагуляции коллоидов (окислы марганца, окислы железа).

Конкреции — агрегаты шарообразной формы (желваки), иногда с радиально-лучистым строением внутри; рост их происходит от центра к периферии. Конкреции характерны для фосфорита и марказита.

Секреции (жеоды) — полости, пустоты в горной породе, отчасти заполненные минеральным веществом; в противоположность конкрециям рост жеод происходит от периферии (стенок) к центру.

Оолиты — небольших размеров шарики, имеющие concentрически скорлуповатое строение (рис. 13). Шарики могут быть сцементированы или находиться в рыхлом состоянии (бурый железняк, пиролюзит оолитового строения, иногда боксит).

Натечные формы — сталактиты и сталагмиты в виде сосулек (рис. 14) — образуются в результате выделения минерала из раствора при испарении. Известны в пещерах, пустотах. Характерны для кальцита, лимонита. Натечный характер имеют также почвовидные агрегаты — малахит, гематит и др.

Налеты, примазки встречаются в виде тонких пленок на поверхности минералов и пород, например тонкие пленки бурых гидроокислов железа на горном хрустале, примазки малахита на породах, вмещающих медные руды.

Выцветы—периодически появляющиеся отложения минеральных солей, чаще всего легкорастворимых водных сульфатов или галогенидов на поверхности сухих почв, горных пород, руд. В дождливые периоды они исчезают, в сухую погоду появляются вновь. Широко известны в пустынях Средней Азии, в Прикаспийской низменности.

Следует подчеркнуть следующее: несмотря на то что многие минералы, находящиеся в почвах, сильно перемельчаются, часто общий облик их сохраняется. Так, минералы слюд имеют листовую и пластинчатую форму, кварца — округлую форму, роговой обманки — вытянутую в одном направлении, полевых шпатов — в двух и т. д.

Изоморфизм. Под изоморфизмом понимают способность элементов заменять друг друга в химических соединениях родственного состава. В этом случае кристаллическая решетка данного вещества допускает замену одних ионов (например, Mg^{2+}) ионами других элементов (например, Fe^{2+}).

Два вещества могут заменять друг друга в том случае, если они имеют аналогичную химическую формулу и соответственные ионы обоих веществ несут одинаковые по знаку заряды, а размер ионов и степень поляризации их близки. Примеры: Mg^{2+} (ионный радиус 9,75 Å), Fe^{2+} (ионный радиус 0,79 Å), Fe^{3+} (ионный радиус 0,67 Å), Al^{3+} (ионный радиус 0,57 Å) и т. д.

Изоморфные смеси широко распространены в природе. Например, Mg_2SiO_4 — форстерит, Fe_2SiO_4 — фаялит; их изоморфная смесь представляет собой минерал оливин, широко распространенный в природе: $mMg_2SiO_4nFe_2SiO_4$, или $(Mg,Fe)_2SiO_4$. Все три минерала — форстерит, фаялит и оливин — кристаллизуются в ромбической сингонии.

Минералы магнезит $MgCO_3$ и сидерит $FeCO_3$ образуют между собой непрерывный ряд смесей: $mMgCO_3nFeCO_3$ или

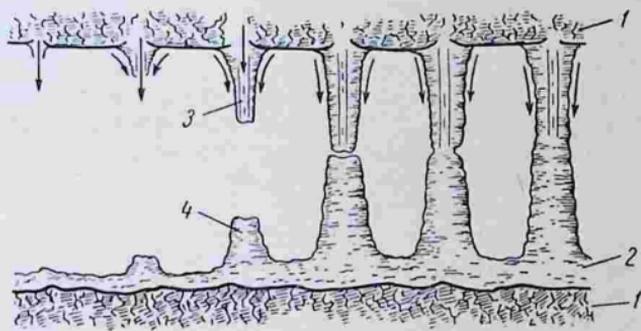


Рис. 14. Сталактиты и сталагмиты:

1 — известняк, 2 — осадок, 3 — сталактит, 4 — сталагмит

$(\text{Mg,Fe})\text{CO}_3$ — брейнерит. Более сложную изоморфную смесь представляют плагиоклазы, в которых молекула альбита $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ в самых различных соотношениях может заменяться молекулой анортита $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ с образованием кристаллов одного и того же триклинного класса. В этих соединениях происходит замена: Na^+ , Si^{4+} на Ca^{2+} , Al^{3+} .

Полиморфизм. Под этим явлением понимается способность одинаковых по химическому составу веществ образовывать различные структуры. Примерами полиморфных веществ являются: алмаз (C) — кубическая сингония и графит (C) — гексагональная сингония; пирит (FeS_2) — кубическая и марказит (FeS_2) — ромбическая сингония; кальцит (CaCO_3) — тригональная и арагонит (CaCO_3) — ромбическая сингония. Трудно в природе подыскать пример столь большого отличия, какое существует между алмазом и графитом — двумя полиморфными модификациями углерода. Алмаз — самый твердый минерал (твердость 10), прозрачный, бесцветный, с сильным блеском, спайность совершенная, плохой проводник электричества; графит — мягкий, землистый, с твердостью 1—2, непрозрачный, черный, блеск металлический, спайность весьма совершенная, хороший проводник электричества.

Полиморфизм самородного углерода и некоторых других веществ вызван условиями образования этих минералов.

Псевдоморфизм. В результате замещения одного минерала другим с сохранением внешней формы кристаллов или при последующем заполнении пустот, образовавшихся при выщелачивании минералов, возникают псевдоморфозы.

Различают следующие виды псевдоморфоз: превращения, вытеснения и выполнения. В первом случае минерал, слагающий псевдоморфозу, сохраняет часть элементов, входящих в состав замещенного минерала, например псевдоморфозы лимонита по пириту. Лимонит в поверхностных условиях нередко встречается в виде хорошо образованных кристаллов — кубов и других многогранников. Эти формы ложные и представляют собой псевдоморфозы лимонита по пириту. Пирит FeS_2 постепенно переходит в лимонит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, при этом состав изменяется, а внешняя форма, характерная для пирита, сохраняется. Известны также псевдоморфозы лимонита по сидериту, малахита по азуриту, малахита по куприту, каолинита по ортоклазу и т. д.

К псевдоморфозам вытеснения относятся, например, псевдоморфозы опала или халцедона по древесине. В этом случае имеет место вытеснение древесины кремнеземом, причем внутреннее клеточное строение древесины сохраняется очень хорошо. Сюда же относятся окаменелости: псевдоморфозы кальцита, фосфорита, марказита по остаткам растительных или животных организмов — раковинам моллюсков, панцирям рако-

образных и т. д. Известны раковины аммонитов прекрасной сохранности, превращенные в фосфорит или марказит.

Псевдоморфозы выполнения образуются в результате заполнения новым веществом пустоты, образовавшейся в результате выщелачивания какого-либо минерала.

Понятие о парагенезисе. Изучая распространение минералов в земной коре, геологи установили, что многие минералы встречаются совместно, другие, наоборот, никогда не встречаются вместе. Было замечено, что кварц не находится вместе с оливином и нефелином. Уже в древности было известно, что золото встречается в жилах вместе с кварцем, серебро — вместе со свинцом и т. д. Драгоценные камни — бериллы, изумруды, топазы — известны среди пегматитовых жил, богатых слюдами, кварцем, полевыми шпатами; асбест находят среди плотных темно-зеленых пород — змеевиков; платину и хром — среди зеленовато-черных бескварцевых пород (дуниты, перидотиты). На это важное явление впервые обратил внимание еще в 1798 г. русский минералог В. М. Севергин, который назвал его «смежностью минералов». Позднее это представление было развито в учение о закономерном совместном нахождении минералов в природе, обусловленном их генетической связью друг с другом, и получило название парагенезиса. Учение о парагенезисе облегчает геологам поиски руд и полезных ископаемых.

Глава пятая

ОБРАЗОВАНИЕ МИНЕРАЛОВ И ГОРНЫХ ПОРОД

Минералы образуются в разнообразных физико-химических и термодинамических обстановках (определенная температура, давление, концентрация минерального вещества). Отличительная их особенность та, что они устойчивы только в определенных условиях, близких к тем, в которых они образовались, в других же обстановках минералы постепенно разрушаются, перерождаются, образуют разновидности или даже совершенно новые минеральные образования, устойчивые во вновь созданных условиях. Так, широко распространенные полевые шпаты при выветривании образуют землистый минерал каолинит, из оливина $(MgFe)_2SiO_4$ в поверхностных условиях возникают карбонатные минералы — магнезит $MgCO_3$, сидерит $FeCO_3$ и опаловое вещество $SiO_2 \cdot nH_2O$. При различных геологических процессах и производственной деятельности человека в горных породах возникают новые соединения, влияющие на плодородие почв, а сами горные породы испытывают большие физические и химические изменения. По условиям происхождения все минералы и горные породы подразделяют на три группы: магматические, осадочные и метаморфические.

Магматическое (эндогенное) образование

Эти процессы происходят на глубине при высокой температуре и обычно большом давлении, возникающем вследствие расплавления пород из-за радиоактивного распада в небольших сбособленных очагах на различных глубинах (рис. 15). Так возникает магма — тестообразный расплав сложного силикатного состава, содержащий различные газы, пары воды и горячие водные растворы.

Магма. Расплав состоит из окислов — SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , FeO , Fe_2O_3 , газов — HF , HCl , H_2S , CO , CO_2 , летучих соединений — B , F , S .

В зависимости от температуры, давления, состава боковых пород магма может выделять разнообразные горные породы и минералы.

Магматические камеры ограничены в своих размерах и приурочены к прерывистому слою максимальных температур: появляются они временно и на короткий срок в отдельных поясах самой земной коры и верхней мантии. Внедряясь в горные породы, горячая магма постепенно охлаждается, застывая, она затвердевает. Расплавленные массы не всегда имеют возможность пробиться через твердые горные породы к дневной поверхности: в том случае, когда горячая масса достигает поверхности, она изливается и называется уже лавой. Лава — это магма, менее насыщенная парами воды и газа.

Поверхностный магматизм — вулканизм — единственное природное явление, позволяющее изучать процесс затвердения лавы и выделения минералов.

Расщепление — дифференциация. Жидкий расплав на глубине, в магматической камере, обладает способностью расщепляться на части различного химического состава, т. е. дифференцироваться. Получаемые при этом смеси расплава с определенными процентами различных веществ носят название эвтектических, а летучие компоненты и газы, уменьшающие вязкость магмы и понижающие температуру плавления силикатов, называют минерализаторами.

Разделение жидкой магмы на две несмешивающиеся жидкости носит название ликвации, в результате этого процесса происходит отщепление сульфидного расплава основной магмы. Опытным путем доказана ликвация для сульфидно-силикатных и фтористо-силикатных систем.

Вследствие этого из одного и того же родительского расплава в разнообразных химико-физических условиях выделяются различные силикатные группировки. При магматической дифференциации химические элементы разделяются с пространственным разобщением отдельных групп элементов — в виде дифференциатов.

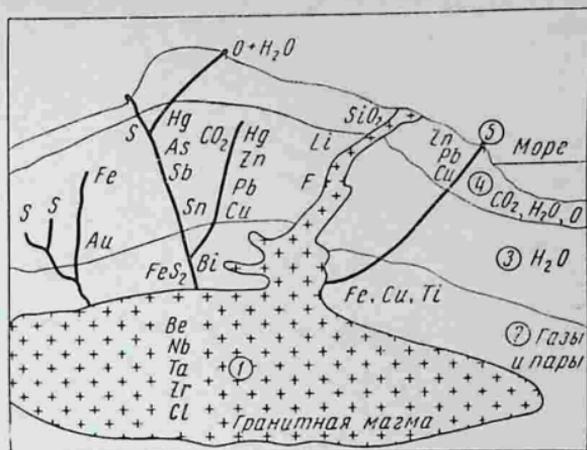


Рис. 15. Магматическое минералообразование:

1 — магматическая цистерна — стадия магматическая (анортит), 2, 3 — пневматолитовая и гидротермальная стадии (разные сульфиды, слюды), 4 — гипергенная стадия (лимонит, каолинит), 5 — минеральные, термальные источники

Соответственно говорят о кристаллизационной, ассимиляционной и ликвационной дифференциации.

Под кристаллизационной дифференциацией понимают выпадение в закономерной последовательности различных соединений из горячего расплава по мере его остывания, при этом более тяжелые соединения, богатые окислами железа, кальция и магния, оседают, опускаются вниз, а более легкие, кислые (богатые кремнеземом) и щелочные как бы всплывают вверх.

Внедрение магмы в окружающие горные породы сопровождается процессом расплавления или растворения материала боковых пород; этот процесс носит название ассимиляции. Он широко распространен в зоне соприкосновения (на контактах) магмы с вмещающими породами или на глубине вследствие опускания обрушившихся частей пород кровли в расплав магмы. Так, при ассимиляции известняков магма обогащается кальцием, при ассимиляции доломитов — кальцием и магнием, при ассимиляции глины — алюминием и водой, при ассимиляции песчаников — кремнеземом.

Наблюдаемое в природе многообразие магматических пород объясняется различной магматической дифференциацией, т. е. первоначальным составом родительской магмы или ассимиляцией — вплавлением больших количеств посторонних масс в жидкий расплав. Однако более или менее постоянный состав гранитных магм, внедрившихся в земную кору в различные периоды истории, свидетельствует о каких-то общих процессах.

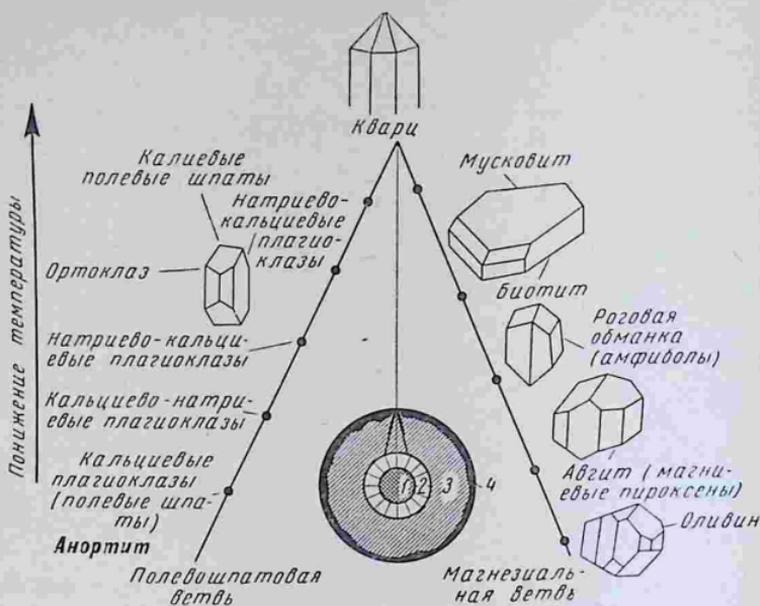


Рис. 16. «Вилка» Боуэна:

1 — ядро внутреннее, 2 — ядро внешнее, 3 — мантия, 4 — земная кора

Вопрос о возникновении родительской магмы и ее производных остается неясным и трактуется по-разному (см. главу первую, стр. 19). В связи с этим имеются и высказывания о так называемой гранитизации, т. е. сложном процессе, происходящем в глубоких зонах земной коры под влиянием газовых или жидких растворов. В итоге наблюдается привнос щелочей, глинозема и кремнезема и образование гранитов из различных осадочных пород.

Стадии затвердевания магмы. В этом процессе в общей схеме различают ряд стадий — этапов: 1) стадия собственно магматическая (охлаждение огневого расплава на большой глубине только началось); 2) стадия пневматолитовая и пегматитовая (охлаждение продолжается, летучие элементы, выделяющиеся из магмы, оказывают большое влияние на расплав); 3) стадия гидротермальная (затвердевание пошло еще дальше, получается водный горячий раствор, выделяющийся из расплава и проникающий в трещины пород, находящихся над магматической камерой); 4) стадия вулканическая (магма, растеряв летучие компоненты и газы, пробилась на поверхность земли, где происходит ее быстрое охлаждение и затвердевание).

Соответственно выделяют магматическое (глубинное) и вулканическое происхождение горных пород и минералов; первое подразделяется на пневматолитовое, пегматитовое и гидротермальное.

Во время магматической стадии при постепенном затвердевании жидкой магмы на глубине, при ее медленном остывании кристаллизация начинается при температуре около 1600°C .

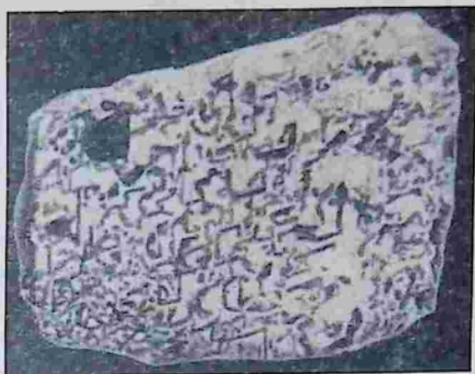


Рис. 17. Пегматитовая структура

Родоначальниками магматических породообразующих минералов считают два основных окисла: MgO и CaO . Именно эти два окисла по мере снижения температуры выделяют из охлаждающейся магмы кристаллы кремния. Это тетраэдры, которые и образуют своеобразную пространственную вязь силикатов. Схематично этот процесс можно себе представить в виде так называемой вилки Боуэна (рис. 16).

«Магнезиальная» часть вилки — минералы, образующиеся с помощью окиси магния. Магний и железо — слабые элементы, поэтому самокристаллизующийся магний начинает выделять из расплава сначала отдельные тетраэдры кремния (оливин), а затем, с понижением температуры, более крупные сцепления — цепочки (авгит), ленты (роговая обманка). Венцом магнезиальной зоны служат черные слюды — биогит, где фигурируют уже не цепочки и ленты, а целые пакеты кремнезема. Параллельно этому, по мере снижения температуры, к окиси магния добавляется окись железа, железа в соединениях становится все больше и больше. В левой полевошпатовой ветви вилки образуются полевые шпаты, главную роль в которых играет окись кальция, который и заполняет образующиеся пустоты в непрерывной сетке кремнеалюминиевых кристаллов. Возникают основные плагиоклазы — анортит, далее в реакцию вступает окись натрия — образуется альбит; наконец, начинает активизироваться окись калия — появляются ортоклазы. Калий мигрирует, покинутые пустоты становятся устойчивыми и начинают образовываться кристаллы кварца. Магма застыла, затвердела, минералы выкристаллизовались.

Гидротермальным путем в различных трещинах, пустотах в виде жил образуются многочисленные так называемые рудные минералы (пирит FeS_2 , магнетит Fe_3O_4).

С пегматитовым процессом связано образование крупных жил, богатых различными минералами и рудами металлов, таким путем образуются многие полевые шпаты, кварц, слюды, особые письменные граниты (пегматиты) (рис. 17).

При вулканическом процессе из лав образуются различные вулканические стекла (обсидиан), базальты, липариты, а из минералов — самородная сера, лейцит.

Осадочное образование (экзогенное)

Эти процессы происходят в поверхностных частях земной коры и на самой поверхности при невысоких температурах и давлении, близком к атмосферному, под влиянием физико-химических агентов атмосферы, гидросферы и литосферы и жизнедеятельности организмов. Образовавшиеся таким путем минералы, горные породы и руды носят название осадочных. Осадочное минералообразование происходит как в морях, так и на суше, и подразделяется на следующие виды: 1) кристаллизация солей из водных растворов (химическое происхождение); 2) образование минеральных соединений в результате выветривания, разрушения существовавших ранее горных пород — механическое происхождение; осуществляется как на суше (поверхности материков, различные виды выветривания, разрушения, растворения), так и в водной среде — на дне морей и океанов путем оседания мелкодисперсного вещества и последующей его переработки — диагенез; 3) образование минералов в результате жизнедеятельности животных и растений, происходящее преимущественно на дне морей под влиянием различных биохимических процессов (органогенное, или биогенное, происхождение, называемое часто биохимическим).

Механическое образование. На поверхности суши происходит разрушение горных пород и минералов. Продукты разрушения сносятся ветром, водой, ледниками в пониженные места и морские впадины, где образуются новые минералы и горные породы. В обоих случаях новообразования наблюдаются вследствие механического раздробления материала, его истирания, оседания и переработки. Различают вещества, остающиеся после разрушения на месте своего первоначального залегания и перенесенные, переотложенные и преобразованные в другом месте. В первом случае горные породы раздробляются, измельчаются, из гранитов образуются различные пески, россыпные месторождения золота, из основных и ультраосновных пород — россыпные месторождения алмазов, платины. Новых минералов при этом не образуется.

При последующем переносе, переотложении и преобразовании продуктов разрушения на суше под влиянием химических агентов возникает ряд новых весьма важных и широко распространенных минералов горных пород и руд — каолинит, монтмориллонит, лимонит, вивианит, боксит.

Химическое образование. Кристаллизация веществ из водных растворов происходит вследствие испарения растворителя. Здесь различают: 1) испарение грунтовых растворов из почв, их засоление с образованием сульфатов (гипса, мирабилита), галогенидов (галита), нитратов (соды) в виде выцветов и налетов; 2) выпадение этих же солей при испарении воды из мелких озер и заливов и образование крупных кристаллов, больших толщ соленосных пород, называемых галогенными. Эти процессы происходили в большом масштабе в далеком прошлом, происходят и сейчас в заливе Кара-Богаз-Гол, многочисленных озерах Прикаспия, Кулундинской степи, степного Крыма. В заливе Кара-Богаз-Гол наблюдается сезонная садка минералов: летом — тенардита, зимой — мирабилита; в озерах Кулунды — соды. В Соликамске мощность древних солей горных пород — галита, сильвинита — около 500 м.

В морях осуществляется огромный созидательный процесс. Ежегодно в них сносятся реками более 13 млн. т разрушенных горных пород в виде взвешенных механических частиц и более 5 млн. т растворенных веществ. На дне морей эти вещества оседают, постепенно обезвоживаются, жидкий осадок перерождается, преобразуясь в ил, и, уплотняясь, формируется в горную породу — происходит диагенез. В результате удаления и растворения неустойчивых соединений в новой среде возникают более устойчивые соединения, вследствие механической дифференциации и химических процессов происходит частичная перекристаллизация вещества и его цементация с образованием коллоидных соединений, конкреций и новообразований фосфоритов, пиролюзитов, сидеритов и осадочных толщ пород огромной мощности — известняков, доломитов и иногда глин.

Биохимическое образование. Биохимическое преобразование включает собственно биогенные процессы — жизнедеятельность животных организмов — и химическое действие воды, кислорода, кислот, различных газов. Оба эти процесса обычно накладываются друг на друга и часто трудно сказать, что преобладало в образовании фосфоритов, известняков — животные организмы или химические процессы.

Органогенное происхождение имеют торф, уголь, мел, чилийская селитра, нефть, некоторые фосфориты, известняки, опоки, диатомиты. Большая группа осадочных горных пород, железистых и марганцевых руд образуется комплексным биохимическим путем. Так, о происхождении фосфоритов имеются две точки зрения. Я. В. Самойлов, А. Д. Архангельский рас-

смагивали их как биогенные образования, А. В. Казаков — как химические осадки. Оба представления не исключают друг друга, так как в обеих теориях фосфор образуется в результате жизнедеятельности организмов; различие взглядов — в путях осаждения и образования фосфорных солей под влиянием изменения их растворимости.

Биогенные представления. Известно, что кости многих позвоночных содержат фосфаты, створки раковин плеченогих, моллюсков (лингула) состоят на 50—60% из фосфатов, моллюск оболос содержит P_2O_5 до 35%. Оболос был распространен в морях кембрия и нижнего силура (ордовика), лингула встречается от ордовика до наших дней. После гибели этих животных скелетные части их опускаются на дно и разлагаются с освобождением фосфора, который накапливается в иле. По-видимому, процесс минералообразования — преобразование фосфатов, их затвердевание — происходил при первичном диагенезе на дне моря, в рыхлом гниющем иле, до поднятия пород к дневной поверхности. В таких же условиях образуются фосфоритные желваки и всевозможные псевдоморфозы по различным органическим остаткам.

Скопление фосфатных раковин в мелководной зоне силурийского моря привело к образованию в Эстонской ССР так называемых оболосов фосфоритов, содержащих P_2O_5 до 14—15%. В мелководном бассейне, существовавшем на территории Русской равнины в верхней юре и нижнем мелу, вследствие стяжения фосфатов, рассеянных в иле, образовались желваки фосфоритов (Воскресенское, Кинешемское месторождения, Курский «самород»). Обычно прослои фосфоритов приурочены к «перерывам» в отложении осадков (смене морских условий на континентальные), а также геологическим периодам, в которые изменения условий жизни вызывали массовую гибель животных (полагают, что этому могли способствовать встречи холодных и теплых морских течений, изменение уровня моря и солёности воды в эпохи крупных тектонических движений). Однако вопрос оказался более сложным. Подсчеты показали, что количество фосфата, содержащегося во всех организмах какого-либо бассейна, невелико, и даже массовая единовременная гибель многочисленных животных не может привести к образованию даже одного ряда фосфоритных желваков.

Химические представления. В водах морей, особенно в глубоководных впадинах, содержатся огромные запасы растворенных фосфатов, которые находятся на пределе насыщения. Обогащаются фосфатами воды вследствие растворения тел организмов и разложения донных осадков. Благодаря содержанию в водах морей углекислоты P_2O_5 удерживается в растворе. В участках морей, где восходящие морские течения переносят эти воды к поверхности, часть углекислоты удаляется вследствие диффу-

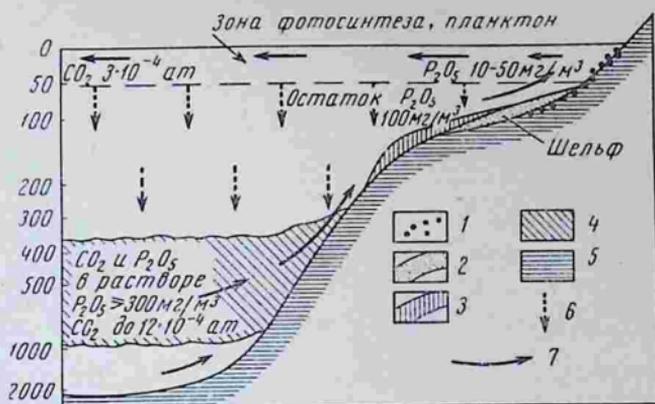


Рис. 18. Процесс фосфоритообразования по А. В. Казакову:

1 — фация береговых галечников и песков, 2 — фосфоритовая фация, 3 — фация известковых осадков, 4 — зона максимума CO_2 и P_2O_5 в растворе, 5 — склон, 6 — падение остатков планктона, 7 — направление течений

зии в поверхностные воды и поглощения ее растительностью. Ввиду ухода углекислоты равновесие нарушается, растворимость фосфатов и карбонатов в новой среде становится меньше, так что их избыток должен выпадать из раствора в осадок. Вначале происходит химическое выпадение CaCO_3 , а далее P_2O_5 . Отложения фосфоритов приурочены к глубинам от 200 до 50 м. Ободененные P_2O_5 морские воды поднимаются в верхние слои, населенные растительными и животными организмами, которые вторично поглощают фосфор, и он уже не выпадает в виде фосфорита. Схема фосфоритообразования — осаждения фосфатов из морской воды в зоне шельфа в условиях восходящих холодных глубинных течений — дана на рис. 18.

Рассмотренные представления об образовании фосфатов имеют следующие недостатки: а) нет данных о том, что фосфатные растворы на глубинах находятся в насыщенном состоянии; б) массовые «восходящие течения» в морях не установлены; в) нет фактов, подтверждающих, что в областях восходящих морских течений происходит химическое осаждение карбонатов или фосфатов, и т. д. Однако многие ученые склонны рассматривать некоторые крупные месторождения фосфоритов как химические, осадочные. К таким относят отдельные месторождения фосфоритов из группы Каратау, где они залегают среди кремнистых и фосфато-кремнистых известняков — конгломератов нижнекембрийского возраста, причем мощность пластов до 22 м, содержание P_2O_5 до 30%.

Шаровые конкреции с радиально-лучистым строением фосфоритов Подольского месторождения имеют наиболее высокое

содержание P_2O_5 (более 36%). Установлено, что на равнинах, где пласты залегают почти горизонтально, встречаются фосфориты в виде желваков, конкреций, а в горных областях со смятыми в складки породами — пластовые залежи фосфоритов.

Метаморфическое образование

Метаморфическим называют сложный физико-химический процесс глубокого изменения, перерождения и перекристаллизации уже готовых минералов и горных пород. Эти процессы происходят на глубине, где существуют высокие температуры, большое давление и имеет место внедрение магматических расплавов, газов и водяных паров.

Различают метаморфизм без поступления веществ извне, но с изменением облика минералов под действием температуры и давления (известняк переходит в зернистую породу — мрамор, песчаник — в кварцит) и с поступлением новых веществ из водных растворов и летучих соединений, при котором валовый состав минералов изменяется.

Различают следующие виды метаморфизма: региональный, гидротермальный, контактовый.

Региональный метаморфизм протекает на больших глубинах и захватывает огромные территории. В результате перекристаллизации при одностороннем давлении минералы получают пластинчатый, листовой облик, здесь образуются слюды, иногда роговые обманки; лимонит $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ переходит в гематит Fe_2O_3 , а последний, лишаясь некоторого количества кислорода, превращается в магнетит $Fe_2O_3 \cdot FeO$. Так иногда возникают крупные месторождения железных руд, например железистые руды в железистых кварцитах (Кривой Рог, Курская магнитная аномалия).

Гидротермальный (околожильный) метаморфизм заключается в том, что около трещин газы и водные растворы подвергают глубоким изменениям горные породы — происходят процессы замещения и жилообразование, сопровождающиеся окварцеванием, оталькованием, хлоритизацией.

Контактовый метаморфизм проявляется на контакте двух пород, обычно бывает магматическим и осадочным. Магматический расплав, внедряясь с температурой около $1000^\circ C$, реагирует с химически активными породами, особенно карбонатами. Так, вследствие взаимодействия интрузии с известняками образуются своеобразные новые породы — скарны и в них новые минералы — гранаты, магнетит, халькопирит и др. Тальк, змеевик (асбест) образуются на контактах гранитных магм с доломитами. При незначительных поступлениях новых веществ из магмы и перекристаллизации бокситов образуется корунд. Некоторые крупные месторождения графита, залегающие вблизи

мраморов и известняков в сленитах, образовались в связи с восстановлением окиси углерода, выделившейся при поглощении магмой известняков.

Глава шестая ОПИСАНИЕ МИНЕРАЛОВ

Классификация минералов. Минералы представляют собой природные химические соединения, имеющие определенные физические свойства и характеризующиеся часто весьма своеобразными условиями образования, или генезисом.

До последнего времени наибольшее распространение имела классификация минералов, основанная на химическом составе анионной части соединения. Она исходила из предпосылки, что металлоидная часть соединений минералов, обуславливающая ряд внешних признаков (кристаллическую форму, оптические свойства и т. д.), позволяет включать минералы в определенные «группы».

Однако изучение особенностей кристаллической структуры минералов установило четкую связь между строением — структурой — и химическим составом и физическими свойствами (цвет, твердость, спайность), показав, что морфология (внешний облик) минералов помогает установить их генезис. Вполне очевидно, что перестройка минералогической систематики и классификации минералов на кристаллохимической (структурной) основе открывает большие перспективы для распознавания и понимания некоторых процессов минералообразования.

Мы выделяем следующие 5 групп, подразделяемые на классы и подклассы: 1. Соли кислородных кислот — силикаты, алюмосиликаты, карбонаты, нитраты, сульфаты, фосфаты. 2. Окислы и гидроокислы. 3. Галоиды. 4. Сульфиды. 5. Самородные элементы.

Внутри соответствующих групп, классов и подклассов описываются выделенные Я. В. Самойловым в 1914 г. агрономические руды — кальцит, доломит, гипс, ангидрит, фосфорит, апатит и калийные соли. Агрономические руды — минералы, горные породы, которые применяют в сельском хозяйстве для улучшения плодородия почв и повышения урожайности различных культур.

Группа солей кислородных кислот — класс силикатов

Минералы, относимые к классу силикатов, очень широко распространены: более 33% всех известных в природе минералов относятся к этому классу; 87% по весу земной коры до глубины 16 км приходится на силикаты.

Долгое время силикаты рассматривались как соли различных гипотетических кремневых и алюмокремневых кислот: ортокремневой H_4SiO_4 , ортодикремневой $H_6Si_2O_7$, метакремневой H_2SiO_3 . Рентгеновское изучение установило в них не молекулярные, а ионные кристаллические решетки, позволив более правильно разделить все силикаты по основным типам структур на классы и подклассы. Оказалось, что кристаллические структуры силикатов находятся в тесной связи с их химическим составом. Эти структуры определяют важнейшие физические свойства, поведение силикатов при процессах выветривания и даже в некоторой степени генезис этих минералов.

Состав силикатов сложный и непостоянный. В силикаты входят: Si, Al, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Ca, Mg, Na, K, Li, Mn, Be, B, F, O, H (в виде OH и H_2O).

Во всех силикатах каждый ион кремния находится в соединении с четырьмя ионами кислорода, расположенными в вершинах тетраэдра, в центре которого находится ион кремния. Тетраэдры могут соединяться между собой только через кислородные вершины.

Способы сочленения кремнекислородных тетраэдров лежат в основе современной кристаллохимической классификации силикатов. В зависимости от характера сочленения и расположения таких кремнекислородных тетраэдров в кристаллической решетке силиката получаются различные типы структуры.

В случае, если тетраэдры в структуре располагаются изолированно, соединяясь между собой через положительно заряженные ионы других металлов (Mg^{2+} , Fe^{2+}), получается первый, самый простой тип структуры силикатов: с изолированными или островными группировками $[SiO_4]^{4-}$ (форстерит, оливин).

Наряду с подобным конечным радикалом силикатов выделяются радикалы бесконечные — линейные, плоскостные или пространственные сочленения кремнекислородных тетраэдров: цепочки, ленты, слои или листы. Сочленения кремнекислородных тетраэдров друг с другом в непрерывные звенья дают цепные силикаты с радикалом $[Si_2O_6]^{4-}$. В каждом звене остаются свободными четыре валентности; у двух кислородов из каждого тетраэдра остается по две свободные валентности.

Сдвоенные цепочки отвечают радикалу $[Si_4O_{11}]^{6-}$ и дают ленты, или пояса. Наблюдаются они в структурах у амфиболов. Ленты, расположенные в одной плоскости, имеют по три общих кислорода, образуют бесконечный лист, или слой, с радикалом $[Si_4O_{10}]^{4-}$, типичным для минералов со слоевым строением (слюды, каолинит, тальк).

Наконец, при непрерывном трехмерном сцеплении кремнеалюмокислородных тетраэдров в кристаллической структуре, при котором каждый ион кислорода принадлежит одновременно двум тетраэдрам, сцепление тетраэдров происходит через

все четыре вершины и дает каркасовую постройку (полевые шпаты, фельдшпатыды, кварц и другие минералы).

Кристаллохимическая классификация силикатов, основанная на строении их кремнекислородных радикалов, может быть представлена в следующем виде (табл. 8).

ТАБЛИЦА 8

Кремнекислородные радикалы в структурах различных классов силикатов (упрощенно)

(по Н. А. Торопову, Л. Н. Бурак)

| Отношение (Si, Al) : O | Радикал | Структура радикала | Формула | Минерал |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--|------------|
| 12 : 48 | SiO_4 | Отдельные тетраэдры (острова) | $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$ | Форстерит |
| 12 : 36 | SiO_6 | Цепочка | $\text{Ca}(\text{Mg, Fe})[\text{Si}_2\text{O}_6]$ | Авгит* |
| 12 : 33 | Si_2O_{11} | Ленты | $\text{Mg}_7(\text{OH})_2[\text{Si}_5\text{O}_{11}]$ | Аптофиллит |
| 12 : 30 | Si_3O_{10} | Слои, листы | $\text{Mg}_5(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ | Тальк* |
| 12 : 24 | SiO_2 | Каркас | $\text{Si}_4\text{O}_8 = [\text{SiO}_2]_4$ | Кварц |
| 12 : 24 | $(\text{AlSi}_3)\text{O}_8$ | > | $\text{K}[(\text{AlSi}_3)\text{O}_8]$ | Ортоклаз |
| 12 : 24 | $(\text{AlSi}_2)\text{O}_6$ | > | $\text{K}[(\text{AlSi}_2)\text{O}_6]$ | Лейцит |
| 12 : 24 | $(\text{AlSi})\text{O}_4$ | > | $\text{Na}[(\text{AlSi})\text{O}_4]$ | Нефелин |

* При описании этих минералов в тексте даны иные формулы.

Далее описание силикатов будет основано на этом подразделении, однако поскольку структура с радикалом $[\text{SiO}_2]$ наблюдается у кварца, то этот минерал рассматривается ранее других.

Положение кварца среди других минералов несколько необычное: по своей химической природе он является типичным оксидом, а его кристаллическая структура — кремнекислородный тетраэдр — характерна для силикатов. Поскольку в основу классификации всех минералов должна быть положена кристаллографическая структура (решетка), обуславливающая химический состав, физические и другие свойства минералов, то целесообразнее подклассе кварца рассматривать среди силикатов.

Кварцобразуется в последние стадии кристаллизации магмы, которая при избытке SiO_2 отличается рядом характерных физических свойств, помогающих уяснить некоторые общие диагностические особенности различных минералов. Все это позволяет рассматривать кварц в подклассе свободного кремнезема (среди силикатов) и с него начинать описание минералов.

Подкласс свободного кремнезема. Кварц SiO_2 . Химический состав: Si — 46,7%, O — 53,3%.

Кварц — один из самых распространенных в земной коре и наиболее изученных минералов. На долю кремнезема в литосфере приходится 12,6%. Кварц содержится в значительных

количествах во многих магматических, осадочных и метаморфических породах, жильных образованиях, глинах и песках.

Минералы, имеющие состав SiO_2 , образуют несколько полиморфных модификаций, изменяющихся в зависимости от температуры:

| | | | |
|------------|-------------------|-------------|--------------------------------|
| 0—573°C | α -кварц | 1470—1710°C | β -кристобалит |
| 573—870°C | β -кварц | >1710°C | жидкий SiO_2 (стекло) |
| 870—1470°C | β -тридимит | | |

Наиболее распространены две модификации: низкотемпературный α -кварц, устойчивый при температуре ниже 573°C, и высокотемпературный β -кварц, устойчивый при температуре выше 573°C.

При кристаллизации из расплава первоначально образуется β -форма, которая с понижением температуры превращается в α -форму. Для нее характерна горизонтальная штриховка на призматических гранях. Кристаллы имеют облик шестигранной призмы, усложненной сверху усеченной пирамидкой. Указанная модификация кварца очень широко распространена в горных породах, и все последующее описание относится к этой разновидности.

Физические свойства: тригональная сингония, твердость 7, удельный вес 2,5—2,8. Спайность отсутствует, в кристаллах четко выражены грани призмы, что нельзя принимать за плоскости спайности (рис. 19). Излом раковистый. Блеск стеклянный. Цвет может быть самый различный (бесцветные разновидности обладают прозрачностью): молочно-белый, серый, черный. В кислотах, за исключением плавиковой и фосфорной, нерастворим. Пропускает ультрафиолетовые лучи, обладает свойством пьезоэлектризации (под влиянием механических напряжений в кристалле возникают электрические заряды).

В зависимости от цвета, прозрачности многочисленные разновидности кварца имеют особое название: 1) горный хрусталь — бесцветные водяно-прозрачные кристаллы (рис. 20); 2) аметист — фиолетовые разновидности; 3) раухтопаз — дымчатые, прозрачные разновидности, окрашенные в буровато-серые тона; 4) морион — кристаллы черного цвета; 5) цитрин — золотисто-желтого, лимонного цвета.



Рис. 19. Кварц чек актинолита (минерала группы амфиболов).

Диагностика: большая твердость — 7 (оставляет царапину на стекле, стальном лезвии), стеклянный блеск, отсутствие спайности. Кристаллы имеют облик шестигранных призм, на гранях поперечная штриховка.

Происхождение различное, главным образом магматическое*. Образуется путем выпадения кремнекислоты из циркулирующих в трещинах горных пород горячих растворов. Так же возникает жильный кварц, содержащий руды различных металлов — золота, серебра, цинка, меди. Крупные, хорошо ограненные шестигранные призмы с вершиной в виде ромбоэдра (топаз, морион, аметист, хрусталь) встречаются в пегматитовых жилах вместе с полевыми шпатами, слюдой. Эти кристаллы выпадают из растворов на стенках пустот и горных пород, образуют оригинальные «хрустальные» погрёба.

При экзогенных процессах образованию осадочного кварца способствует дегидратация и раскристаллизация гелей кремнезема, часто с образованием опала и халцедона.

При метаморфических процессах кварц возникает вследствие обезвоживания опалосодержащих осадочных пород с образованием так называемых яшм, роговиков.

Кварц весьма стойкий к выветриванию минерал, поэтому его зерна в виде обломков накапливаются в большом количестве в песках различного генезиса, песчаниках, лёссах, глинах.

Применение весьма разнообразно. Прозрачные, красиво окрашенные и хорошо ограненные разновидности горного хрустала, аметиста используют в качестве поделочных камней. Бесцветные разновидности употребляют для изготовления оптических приборов — призм для спектрографов, линз для микроскопов. Из кварца готовят кварцевые лампы, химическую посуду, отличающуюся огнеупорностью, кислотоупорностью и прочностью.

В последние годы кварц приобрел огромное значение вследствие присущих ему пьезоэлектрических свойств: на гранях кристаллов кварца при их сжатии или растяжении в определенном направлении возникают электрические заряды; при действии на эти кристаллы переменного электрического тока они



Рис. 20. Кристалл горного хрустала

* В лабораторных условиях искусственно получены модификации кварца с удельным весом 4,35.



Рис. 21. Агат

совершают интенсивные колебания и служат для получения ультразвуковых волн.

Пьезоэлектрическими свойствами обладают только совершенно прозрачные и нетрещиноватые кристаллы кварца. Вырезанные из этих разновидностей пластинки применяются в радиотехнике.

Месторождения: Урал (Мурзинка, Шайтанское), Забайкалье, Житомирская область (Украинская ССР), Памир.

Халцедон SiO_2 — скрытокристаллическая, плотная разновидность кремнезема.

Физические свойства: твердость 6, удельный вес 2,59—2,63. Цвет серый, голубовато-желтый и буро-желтый, спайность отсутствует, полупрозрачный, просвечивающий, излом плоско-раковистый, восковой блеск; агрегаты сложены радиальными волокнами, часто разделенными на слои, перпендикулярные к длине. Возможно, что эта слоистость образовалась при неравномерном высыхании геля SiO_2 .

Кремень — это халцедон желтовато-серого и черного цвета с раковистым изломом и в расколе с занозистым острым изломом. Кремень обычно содержит примеси глинистых и железистых соединений (лимонит). Полосатые, слоистые разновидности халцедона с яркой окраской и концентрическими полосами получили название агата (рис. 21).

Разновидности халцедона, различно окрашенные соединениями хрома, железа, марганца, носят соответственные названия: синевато-серые — сапфирин; желтые, красные, оранжевые — сердолик; зеленые — плазма. Яшма — это очень плотная, непрозрачно окрашенная разновидность халцедона, содержащая большое количество красящего материала и обладающая самыми разнообразными и часто удивительно красивыми пестрыми рисунками.

Диагностика: от кварца халцедон (кремень) отличается скрытокристаллической структурой и волокнистым строением. Просвечивает в краях.

Происхождение: экзогенное (при выветривании силикатов), образуется при дегидратации и раскристаллизации гелей кремнезема; широко распространен в коре выветривания осадочных пород (известняках, песчаниках, в белом меле) в виде неправильной формы кремневых желваков, содержащих в себе остатки организмов. Встречается в пустотах пород вместе с колломорфными выделениями опала. Изредка образуются псев-

доморфозы по животным и растительным остаткам; известен в натечных формах, в виде корок. В аллювиальных песках, почвах встречается в виде хорошо округленных кремневых галек и мелких зерен.

Применение: халцедон и его разновидность агат служат материалом для изготовления ступок и пестиков, применяемых для измельчения пород при химическом анализе, а также для выделки подпятников и подшипников в точных приборах, опорных призмах, часовых камнях и т. д. Яшма — дорогой технический и поделочный камень.

Месторождения: яшмы — Орск на Урале, агата — Закавказье, халцедона — Алтай (встречается в многочисленных местах вместе с кварцем).

Опал $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ — аморфная (некристаллическая, стекловидная) разновидность кремнезема с меняющимся содержанием воды (от 1—5 до 34%). Часты примеси CaO , MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 .

Физические свойства: твердость 5,5—6,5. Бесцветный, молочно-белый, желтый, бурый, красный, черты не дает, спайность отсутствует. Блеск восковой, стеклянный. Образует студнеобразные натечки, ноздреватые накипи, желваки, сталактиты.

Различают следующие разновидности опала: благородный опал — с радужной игрой цветов; огненный опал — красного цвета, прозрачный; деревянистый опал (окаменелое дерево) — псевдоморфоза опала по дереву.

Диагностика: аморфное стекловатое строение, раковистый излом, полупрозрачный. Образует студнеобразные массы.

Происхождение различное: поверхностное — образуется при выветривании различных силикатов и алюмосиликатов (в поверхностных отложениях опаловое вещество возникает благодаря действию гуминовых кислот на минеральный состав почв); биогенное — большое количество опалового вещества накапливается на дне морей; на суше многие растения, особенно мхи и лишайники, отлагают в своих телах опал, который с течением времени, теряя воду, переходит в халцедон и далее в кварц; гидротермальное — опал выпадает из вод горячих источников (гейзеров), образуя породу гейзерит.

Применение: благородный опал — драгоценный камень.

Месторождения: благородные опалы — Чехословакия; диатомиты, трепела (опоки) — восточный склон Урала, саратовское Поволжье.

Островные силикаты (ортосиликаты). В структуре этого типа кремнекислородные тетраэдры представляют островки одиночных тетраэдров, сдвоенных тетраэдров или групп из 3, 4, 6 тетраэдров, соединенных в кольца. Кремнекислородные тетраэдры связываются друг с другом с помощью катионов Mg^{2+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} , Mn^{2+} , а также Al^{3+} и Fe^{3+} .

Островную кремнекислородную решетку имеют минералы оливин и гранаты.

Оливин — $(Mg, Fe)_2SiO_4$ — назван по оливково-зеленому цвету, представляет изоморфную смесь двух минералов — фостерита (Mg_2SiO_4) и фаялита (Fe_2SiO_4). Химический состав изменяется следующим образом: MgO — 40—45%, FeO — 8—12%, SiO_2 — от 30,8 до 40%. Сингония ромбическая.

Физические свойства: твердость 6,5—7, удельный вес 3,3—3,5. Цвет оливково-зеленый, желтовато-зеленый до темно-зеленого и черного. Черты не дает. Блеск стеклянный. Спайность несовершенная. Образует мелкозернистые массы или кристаллы и зерна, включенные в породу.

Диагностика: оливково-зеленый и черно-зеленый цвет, стеклянный блеск, зернистые агрегаты.

Происхождение: магматическое. Минерал тугоплавкий, кристаллизуется из магмы одним из первых при температуре 1600°C. Важный породообразующий минерал основных и ультраосновных пород. При гидротермальном изменении переходит в серпентин. При процессах выветривания разлагается с образованием карбонатов и опалового вещества (см. главу пятую), при окислении закисного железа зерна буреют.

Применение: изредка как магнизиальное удобрение. Разновидность оливина кризолит — драгоценный камень.

Месторождения: очень широко распространен среди габбро-базальтов, диабазов, дунитов, перидотитов. Породы, содержащие оливин, генетически связаны с месторождениями многих ценных полезных ископаемых: платины, асбеста, алмазов (коренные месторождения).

Цепочечные и ленточные силикаты. В структуре цепочечных силикатов кремнекислородные тетраэдры соединяются друг с другом в непрерывные цепочки с радикалом $[Si_2O_6]^{4-}$. Сдвоенные цепочки с радикалом $[Si_4O_{11}]^{6-}$ характеризуют особый подкласс силикатов, называемых ленточными. В химическом отношении оба подкласса представляют собой метасиликаты — железо-магнизиальные минералы, которые широко распространены в земной коре, являются породообразующими и входят в состав многих почв.

К цепочечным силикатам относят минералы группы пироксена, которые делятся на моноклинные (авгит) и ромбические; к ленточным (амфиболам) силикатам относится роговая обманка. По весу в земной коре эти минералы занимают второе место (15%) после полевых шпатов.

Моноклинные пироксены. Авгит — $Ca(Mg, Fe, Al)[(Si, Al)_2O_6]$. Химический состав сложный, имеется избыток MgO , Fe_2O_3 и обогащение Al_2O_3 (до 4—9%). Название происходит от греческого слова «авге» — блеск (кристаллы имеют блестящие грани). Сингония моноклинная.

Физические свойства: твердость 5—6,5, удельный вес 3,2—3,6. Цвет черный, зеленовато- и буровато-черный, черта серая или серовато-зеленая. Блеск стеклянный. Спайность по призме — средняя. Образует бочонкообразные призматические кристаллы (рис. 22), вросшие в магматические породы. В кислотах не растворяется. Различают обыкновенный авгит — темно-зеленый, зеленовато-черный — и базальтический авгит (содержит Ti и Mn).

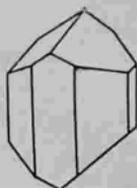


Рис. 22
Авгит

Диагностика: черный или черно-зеленый цвет, короткопризматические, бочонкообразные кристаллы в основных породах магматического происхождения.

Происхождение: магматическое, важный породообразующий минерал основных и ультраосновных пород (дунит, габбро, диабаз, базальт, перидотит). В зоне выветривания неустойчив, в результате химического разложения образуются тальк, каолинит, лимонит.

Амфиболы — ленточные силикаты. Роговая обманка $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}_2^+)_4(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}][\text{OH}]_2$. Химический состав непостоянный. Сингония моноклинная.

Физические свойства: твердость 5,5—6, удельный вес 3,1—3,3. Цвет темно-зеленый или черный, разных оттенков. Черта белая с зеленоватым оттенком. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности — шелковистый. Спайность совершенная в двух направлениях по призме под углом около 124° . Непрозрачна. Кристаллы удлиненные, призматические, игольчатые, иногда дают шестиугольные сечения. Излом занозистый. В кислотах не растворяется.

Выделяют следующие разновидности роговой обманки: базальтическая роговая обманка — цвет бурый, содержит много полуторных окислов (Fe_2O_3 и TiO_2), встречается среди излившихся изверженных пород; уралит — волокнистая роговая обманка, образовавшаяся за счет изменения авгита.

Диагностика: игольчатое призматическое строение, темно-зеленый или черный цвет.

Происхождение: магматическое и метаморфическое. Важный породообразующий минерал глубинных и излившихся магматических пород, кристаллизуется при высокой и средней температуре. В зоне выветривания неустойчив, разлагается, превращаясь в карбонаты, лимонит, опал.

Месторождения: роговая обманка очень широко распространена в горных породах магматического и метаморфического происхождения.

Листовые (слоевые) силикаты. Кристаллическая структура листовых силикатов представляет собой дальнейшее усложнение лент; сцепляясь, они образуют один непрерывный слой — лист.

Характерный радикал их общей формулы — $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$, усложненный обычно радикалом ОН. Кроме Si и O, в состав листовых силикатов входят K, Na и Ca — элементы, связывающие слои друг с другом, а также Al и всегда гидроксил ОН или Fe.

Молекулы воды в виде связующих элементов располагаются между слоистыми пакетами, составленными кремнекислородными слоями — ионами, непосредственно с ними соединенными. Неоднородная слоистость этих пакетов и различное содержание конституционной воды в решетке обуславливают ряд физических свойств этих минералов, их поведение при процессах выветривания, низкую твердость (1—4), легкую расщепляемость кристаллов на тончайшие листочки, упругость этих листочков и, наконец, рыхлость, землистость строения.

Среди листовых силикатов можно выделить силикаты и алюмосиликаты (в последних часть кремния замещается алюминием).

К силикатам относятся очень важные для почвенного скелета минералы: серпентин, тальк, каолинит; к листовым алюмосиликатам — подкласс слюд (мусковит, биотит) и гидрослюд (глауконит).

Подкласс талька. Тальк — $\text{Mg}[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$ или $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Химический состав: MgO — 31,7%, SiO_2 — 63,5%, H_2O — 4,8%. Сингония моноклиная.

Физические свойства: твердость 1, жирный на ощупь, удельный вес 2,7—2,8. Цвет бледно-зеленый, яблочно-зеленый, белый с желтоватым и голубоватым оттенками. Черта белая. Спайность весьма совершенная, в одном направлении, минерал расщепляется на тонкие, неупругие листочки. Блеск стеклянный, с перламутровым отливом. Залегает слоистыми, чешуйчатыми агрегатами. Огнеупорен, плохой проводник тепла и электричества, плавится при температуре 1500°C.

Диагностика: очень низкая твердость, светлая окраска, листовые чешуйчатые разности с жирным блеском.

Происхождение: образуется в результате гидротермального изменения богатых магнием ультраосновных пород, а также на контакте доломитов с интрузивными породами (богатыми кварцем).

Применение: широко используется в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. В промышленности — для производства бумаги, керамических изделий, огнеупорного камня для изоляторов в электротехнике, в качестве наполнителя при изготовлении взрывчатых веществ. В сельском хозяйстве находит применение в производстве ядовитых порошков, препаратов (инсектофунгицидов), используемых для борьбы с вредителями растений.

Месторождения: Шабровское (на Урале).

Подкласс слюд — алюмосиликаты. Содержание слюд в земной коре около 3%. В этот подкласс входят несколько весьма важных породообразующих минералов сложного состава: мусковит — калиевая белая слюда, биотит — магнизиально-железистая черная слюда и флогопит — магнизиальная слюда. Особенность слюд — весьма совершенная спайность в одном направлении, способность расщепляться на очень тонкие, гибкие и упругие пластинки.

Мусковит* — $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$, или $\text{K}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3\text{6SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Химический состав калиевой слюды: K_2O — 11,8%, Al_2O_3 — 38,5%, SiO_2 — 45,2%, H_2O — 4,5%. Сингония моноклинная.

Физические свойства: твердость 2,0—3,0, удельный вес 2,76—3,0. Бесцветная, со светло-зеленоватым, желтоватым, сероватым или розоватым оттенками, прозрачная; блеск перламутровый. Спайность весьма совершенная, в одном направлении. Облик кристаллов таблитчатый или пластинчатый, боковые грани сильно исстрихованы в горизонтальных направлениях. Кислотами не разлагается. Конституционная вода начинает выделяться только при температуре выше 850°C.

Диагностика: светлая окраска, перламутровый или серебристый блеск, весьма совершенная спайность и легкая расщепляемость на тонкие прозрачные упругие листочки.

Происхождение: магматическое и метаморфическое. Широко распространен во многих породах магматического происхождения, встречается в гранитных пегматитовых жилах в виде крупных кристаллов, представляющих промышленный интерес, и в метаморфических породах.

При процессах механического выветривания мусковит относительно стоек и переходит в россыпи. Мельчайшие серебристые блестки скапливаются в глинах, песках, содержатся во многих почвах. В условиях интенсивного химического разложения он превращается в более богатые водой гидрослюды — гидромусковит.

Применение: отличный диэлектрик, применяется в качестве изоляционного материала в электротехнике, радиотехнике — в динамомашинках, турбогенераторах и других высоковольтных установках. Прозрачность и огнестойкость слюды позволяют использовать ее вместо стекла для окон плавильных печей, глазков в горнах. Слюдяной порошок благодаря своей огнестойкости употребляется в производстве огнеупорных красок, толя и руберойда, для декоративных целей (из-за блеска).

Месторождения: Мамское (Восточная Сибирь), р. Слюдянка. За границей — Индия, Бразилия.

* Название происходит от старинного итальянского названия г. Москвы — Муска, через которую в XVI—XVII вв. большие листы мусковита вывозились на запад под названием «московского стекла».

Биотит — черная магнезиально-железистая слюда, очень широко распространенный минерал. Состав непостоянный, изображается следующим образом: $K(Mg, Fe)_3[Si_3AlO_{10}][OH, F]_2$. Содержание конституционной воды от 0,89 до 4,64%. Сингония моноклиная.

Физические свойства: твердость 2—3, удельный вес 2,7—3,1. Цвет черный или темно-зелено-черный, в толстых пластинках непрозрачен, блеск стеклянный, перламутровый. Спайность весьма совершенная, в одном направлении. Встречается в сплошных таблитчато-пластинчатых массах, залегает в виде стопок тонких пластинок. Растворяется в концентрированной серной кислоте, при этом остается белый скелет кремнезема.

Диагностика: черный цвет, перламутровый блеск, весьма совершенная спайность в одном направлении, тонкие листочки обладают упругостью.

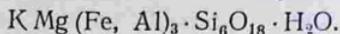
Происхождение: магматическое и метаморфическое, встречается вместе с мусковитом.

При механическом выветривании биотит как относительно стойкий минерал переходит в россыпи, где золотистые блески обнаруживаются при промывке в виде так называемого кошачьего золота. В процессе химического выветривания разлагается: щелочи удаляются, двухвалентное железо переходит в трехвалентное. Биотит изменяет цвет на коричневый и золотистый, теряет упругость, гибкость, становится рыхлым и переходит в вермикулит. При более глубоком изменении биотита образуются гидроокислы железа и глинистое вещество. В современных морских осадках биотитовые зерна подвергаются процессу подводного «выветривания» (гельмиролизу), переходя постепенно в глауконит — гидросиликат калия и трехвалентного железа зеленого цвета.

Применение: используется в ограниченных количествах, заменяет мусковит в некоторых бытовых электронизоляционных изделиях; при размоле в порошок дает бронзовую окраску.

Месторождения: Ильменские горы (Урал), р. Слюдянка (Забайкалье).

Подкласс гидрослюд. Глауконит — водный алюмосиликат железа и магния. Химический состав выражается примерно так:



Содержание основных компонентов: K_2O — 4,0—9,5%, Al_2O_3 — 5,5—22,6%, Fe_2O_3 — 6,1—27,9%, SiO_2 — 47,6—52,9%, H_2O — 4,9—13,5%. Глауконос по-гречески — синева-зеленый. Сингония моноклиная.

Физические свойства: твердость 2—3, хрупок, удельный вес 2,2—2,8. Цвет темно-зеленый до зеленовато-черного, блеск матовый, у плотных разновидей стеклянный, жирный, структура рыхлая. Залегает в виде вкрапленных округленных зернышек

или шариков диаметром от одного до нескольких миллиметров. В HCl растворяется, оставляя скелет кремнезема. При нагревании до температуры около 100°С теряет гидратационную воду, до 500°С — гидроксильные группы.

Диагностика: темно-зеленый цвет, низкая твердость, залегание в рыхлых породах.

Происхождение: характерный минерал, образующийся главным образом на дне морей, в прибрежных частях на глубине 50—200 м и в современных морских осадках — зеленых илах, песках. В процессе выветривания неустойчив и разлагается с образованием гидроокислов железа и кремнезема; так иногда образуются бурые железняки в болотах. Известен в коллоидном виде. Представляет собой цемент песчаников в условиях разложения органических остатков в слабоокислительной среде. Глауконит широко распространен среди глин, песчаников, фосфоритов, меловых отложений Подмосковья.

Применение: агрономическая руда — калийное удобрение — используется после соответствующей термической обработки. Глауконит находит применение как пермутит — поглотитель из воды растворенных в ней солей. Используется как смягчитель жестких вод, применяемых в промышленности. При фильтрации жесткой воды через пермутитовый концентрат, обработанный раствором NaCl, щелочноземельные катионы воды поглощаются, а в раствор переходят катионы натрия, чем и устраняется жесткость воды. Идет на приготовление зеленой защитной краски.

Месторождения: верхнемеловые и палеогеновые пески Украинской ССР, Подмосковья.

Подкласс серпентина — каолинита. Серпентин — $Mg_6[Si_4O_{10}][OH]_8$, или $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Химический состав: MgO — 43,0%, SiO₂ — 44,19%, H₂O — 12,9%; в коллоидных разностях содержание H₂O возрастает до 17%. В виде примесей присутствуют FeO, Fe₂O₃ и NiO (серпентина по-латыни — змеевидный).

Физические свойства: твердость 2,5—3,5, удельный вес 2,5—2,7. Цвет в тонких осколках темно-зеленый, бутылочно-зеленый различных оттенков до буро-черного с желтыми пятнами (напоминает кожу змеи). Черта белая или зеленоватая. Блеск жирный, восковой и шелковистый. В плотных агрегатах излом раковинистый, в волокнистых разновидностях наблюдается занозистый излом и пластинчатое строение. Выделяют несколько разновидностей: хризотил-асбест — тонковолокнистый серпентин, или горный лен, сетчатый и мелкопрожилковый асбест.

Хризотил-асбест (асбест по-гречески — несгораемый) расщепляется на тончайшие волокна, часто дает золотистый отлив, обладает огнестойкостью, плавится при температуре 1500°С, плохой проводник тепла, электричества и звука.

Диагностика: темно-зеленый цвет с желтыми пятнами, невысокая твердость, жирный блеск, зеркала скольжения.

Происхождение: характерный вторичный минерал, образуется в процессе гидротермального изменения ультраосновных пород. Хризотил-асбест, по-видимому, выпадает из геля серпентина в процессе его усыхания, при этом сокращение массы влечет образование трещин разрыва. При охлаждении гидротермальных растворов выделяется хризотил-асбест, кристаллы которого начинали расти от стенок трещин, образуя жилы асбеста различной формы — сетчатый асбест, мелкопрожилковый асбест.

В зоне выветривания неустойчив, легко карбонатизируется и разлагается, особенно сильно в условиях субтропического и тропического климата. При этих процессах накапливаются землистые гидроокислы железа, кремнезем переходит в коллоидный раствор и выделяется в виде опала.

Применение: агрономическая руда — магниезиальное удобрение; плотные разности серпентина употребляются в качестве облицовочного поделочного камня. Из асбеста делают огнестойкие ткани и пряжу, идущую на огнестойкие костюмы пожарников и литейщиков, театральные занавесы, фильтры, тепловую изоляцию в различных сооружениях. Ценность асбеста определяется длиной его волокна, теплом и электроизоляционными свойствами.

Месторождения: плотный серпентин — Урал, Северный Кавказ, асбест — Баженовское месторождение на Урале.

Каолинит — $Al_4(OH)_8[Si_4O_{10}]$, или $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Химический состав: Al_2O_3 —39,5%, SiO_2 —46,5%, H_2O —14%, из примесей присутствуют Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O и др. Название «Кау-линг» носит высокая гора в Китае, сложенная белой глиной. Сингония у кристаллов моноклинная. Залегают рыхлыми землистыми массами.

Каолинит и близкие к нему по химическому составу минералы, представляющие собой водные силикаты алюминия, являются одной из главных составляющих различных глин, сульфидов, лёссов и почв. Эти минералы имеют кристаллическую структуру, сложенную двухслойными плоскими пакетами. Каждый пакет состоит из плоского слоя кремнекислородных тетраэдров и слоя, образованного алюминием, гидроокислами и кислородом. Внутри кристаллов молекулы воды не проникают. Оба слоя по своим свойствам весьма близки друг к другу, несколько отличаясь термическими особенностями.

Физические свойства: твердость от 1 до 2,5, удельный вес 2,6—2,63. Образует глиноподобные землистые массы. Отдельные чешуйки и пластинки бесцветны, сплошные массы белого цвета с желтоватым и сероватым отливом. Блеск отдельных чешуек и пластинок перламутровый, сплошных масс — матовый. Черта жирная. У пластинок спайность весьма совершенная, в

одном направлении. Землистый, жирный на ощупь, отдельные чешуйки гибки, но не упруги. Сильно гигроскопичен. Огнеупорен, кислотоупорен. При увлажнении обуславливает сжатие лёссов, что приводит к просадкам горных пород. Важный в строительном отношении минерал.

Диагностика: жирный на ощупь, пачкает руки. Небольшая твердость, пластичность. Встречается в породах в виде гелеподобных полуматовых масс с плоско-раковистым изломом. Хрупкий, легко полируется ногтем.

Галлуазит — $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8 \cdot 4H_2O$. Минерал глиноподобный, землистый.

От каолинита отличается по кривым обезвоживания; ввиду того что вода представлена и в виде гидроксила, и в виде молекул H_2O , последняя удаляется при нагревании до $150^\circ C$, далее минерал ведет себя как каолинит. В воде распадается, не разбухая.

Происхождение: оба глинистых минерала (каолинит, галлуазит) образуются при химическом разложении полевых шпатов.

В зоне выветривания каолинит чрезвычайно распространен и весьма устойчив.

Каолинит, галлуазит и описываемый ниже монтмориллонит, входя в различные почвообразующие породы, обуславливают ряд их физико-химических особенностей (просадочность лёсса).

Применение: каолинит — самая лучшая по качеству огнеупорная глина, основное сырье для производства фарфоровой и фаянсовой посуды, используется в писчебумажной, текстильной, парфюмерной промышленности для изготовления бумаги, линолеума, сукон, клеенок.

Месторождения: в СССР крупнейшие залежи первичных и вторичных каолинитов находятся в Украинской ССР.

Группа монтмориллонита. Монтмориллонит имеет сложный состав, который примерно выражается формулой $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$. Содержание H_2O изменяется в пределах 12—24%, большая часть воды удаляется при температуре до $200^\circ C$, остаточная вода — при $400—450^\circ C$; часты примеси Fe_2O_3 , MgO , CaO , K_2O , Na_2O . Название дано по месту нахождения в Монтмориллоне (Франция).

Физические свойства: очень мягкий, жирный, твердость до 2. Удельный вес непостоянен. Цвет белый с сероватым, иногда синеватым оттенком, излом раковистый. Образует тончайшие листочки в виде удлиненных призмочек и волоконцев, залегает сплошными землистыми массами, между отдельными слоями могут быть адсорбированы молекулы воды, которые легко удаляются и вновь поглощаются с соответствующим уплотнением и сильным разбуханием пакетов. Вследствие различного содержания воды свойства монтмориллонита очень меняются. Распространен в глинистых осадочных породах.

Диагностика: глинистые породы и почвы, содержащие монтмориллонит, сильно набухают от влаги и становятся жирными на ощупь.

Происхождение: экзогенное, образуется в процессе химического выветривания основных изверженных пород (габбро, базальтов) в условиях щелочной среды. Глины, содержащие монтмориллонит, возникают в результате изменений вулканических пеплов и туфов и часто содержат обломки породообразующих минералов материнской породы: полевые шпаты, роговую обманку, авгит, биотит. В разнообразных почвах (гумусных, черноземах) монтмориллонит возникает на изверженных горных породах и является относительно устойчивым минералом. В пустынях лёссовые отложения, многие пески содержат зерна монтмориллонита и байделлита.

Применение: глины, содержащие монтмориллонит, благодаря высокой поглотительной способности применяются в качестве адсорбентов в нефтяной, текстильной промышленности, для очистки нефтепродуктов, в качестве коллоидного связующего вещества.

Месторождения: отбеливающие глины (гумбрин) близ Кутаиси, под Нальчиком.

Каркасовые алюмосиликаты. Каркасовую постройку кристаллической решетки имеют наиболее широко распространенные минералы этого подкласса — полевые шпаты и цеолиты. В структурах этого типа алюминий (а иногда и титан) может заменять кремний в основной решетке. При замещении четырехвалентного кремния трехвалентным алюминием в структуре создается комплексная алюмо-кремниевая группа, возникает добавочная свободная валентность кислорода, для уравнивания которой и устойчивости решетки необходимо включение дополнительных положительно заряженных ионов K^+ , Na^+ , Ca^{2+} .

В химическом отношении полевые шпаты подразделяются на три подкласса.

1. Подкласс кали-натриевых полевых шпатов, в состав которых входят $K[AlSi_3O_8]$ и $Na[AlSi_3O_8]$. К нему относятся минералы ортоклаз, микроклин, санидин, амазонит.

2. Подкласс натриево-кальциевых полевых шпатов, или плагиоклазов, представляющий непрерывный изоморфный ряд $Na[AlSi_3O_8]$ — $Ca[Al_2Si_2O_8]$. Сюда входят минералы альбит, олигоклаз, андезин, лабрадор, битовнит, анортит.

3. Подкласс фельдшпатов, или фельдшпатоидов, в котором несколько особо стоят минералы, называемые заместителями полевых шпатов. По химическому составу они сходны с полевыми шпатами, но более бедны кремнекислотой.

Минералы класса полевых шпатов — одни из самых распространенных среди горных пород и почв. В земной коре их по весу около 55% (по А. Г. Бетехину). В породах они распреде-

ляются следующим образом: в магматических — около 60%, в метаморфических — 30%, в осадочных — 10%.

Происхождение полевых шпатов: магматическое, пегматитовое, метаморфическое и гидротермальное. Отличительными особенностями минералов служат высокая твердость (6—6,5), спайность в двух направлениях под углом, близким к прямому, стеклянный блеск.

Плотная упаковка ионов в кристаллической решетке каркасового типа препятствует механическому раздроблению минералов, вследствие чего благодаря устойчивости кристаллов полевые шпаты в виде зерен часто встречаются в почвах.

Подкласс ортоклаза (кали-натриевые полевые шпаты). Ортоклаз — $K[AlSi_3O_8]$, или $K_2OAl_2O_36SiO_2$. Химический состав чистой калиевой разновидности: K_2O — 16,9%, Al_2O_3 — 18,4%, Si — 64,7%; часто присутствуют Na_2O , примеси BaO , FeO или Fe_2O_3 (ортоклаз по-гречески — прямораскалывающийся).

Для соединения $K[AlSi_3O_8]$ существуют две моноклинные модификации — санидин, устойчивый при температуре выше $900^\circ C$, и санидин, устойчивый ниже этой температуры, а также триклинная модификация — микроклин, несколько отличающийся от ортоклаза по углу спайности.

Физические свойства: твердость 6—6,5, удельный вес 2,56. Цвет — обычные светлые оттенки, голубовато-серые, розовые, мясо-красные. Черта белая. Блеск стеклянный, иногда прозрачный и полупрозрачный. Спайность совершенная, по двум направлениям под прямым углом, форма кристаллов — призматическая, таблитчатая, при раскалывании образуют прямоугольные сколы. Часты сросшиеся и нарощие кристаллы, образующие так называемые карлсбадские двойники. Температура плавления ортоклаза $1450^\circ C$.

Существует разновидность ортоклаза: адуляр-водяно-прозрачная разновидность.

Диагностика: большая твердость, призматическая форма кристаллов, прямой угол между плоскостями спайности, стеклянный блеск. В породах ортоклаз легко различить по хорошо выраженным плоскостям спайности со стеклянным блеском. Отсутствие жирного блеска в изломе отличает его от кварца, нерастворимость в HCl и большая твердость (не царапается ножом) — от кальцита.

Микроклин по-гречески — отклоненный; угол между плоскостями спайности у кристаллов меньше прямого на 20° . Состав тот же, что и у ортоклаза. По физическим свойствам неотличим от ортоклаза. Широко распространен в глубинных кислых и щелочных породах — гранитах, сиенитах, пегматитах. Закономерные сростания микроклина с кварцем образуют породу «письменный гранит», или «еврейский камень». Голубовато-зеленую разновидность микроклина называют амазонитом.

Происхождение: магматическое, широко распространенный минерал кислых и средних горных пород, встречается в пегматитовых жилах, где отдельные кристаллы достигают больших размеров (30—40 см).

В зоне выветривания под влиянием действия кислорода воздуха, воды, углекислоты и гумусовых кислот полевые шпаты подвергаются процессам каолинизации (см. главу пятую), превращаются в хлориты и цеолиты (табл. 9). В условиях влажного тропического климата процессы химического выветривания приводят к образованию бокситов и других продуктов латеритного процесса.

ТАБЛИЦА 9

Разложение полевых шпатов

| Изменение полевого шпата | Содержание, % | | | |
|--|------------------|--------------------------------|------------------|------------------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | K ₂ O | H ₂ O |
| Полевой шпат (калиевый) | 64,63 | 18,49 | 16,28 | — |
| удаляется | 43,05 | — | 16,88 | — |
| остается | 21,58 | 18,49 | — | — |
| прибавляется | — | — | — | 0,47 |
| получается состав (каолинит) | 46,4 | 39,7 | — | 13,9 |

Применение: строительный, декоративный и поделочный материал (вазы, шкатулки). Некоторые разности микроклина используются в стекольной и керамической промышленности для изготовления фарфора, опалесцирующих стекол, посуды, глазури, эмалей и т. д.

Подкласс плагиоклазов. Натриево-кальциевые полевые шпаты, или плагиоклазы, представляют собой изоморфные смеси натриевой — альбит $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ и кальциевой — анортит $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ молекул, образующие соединения в любой пропорции этих компонентов. Обычно плагиоклазы содержат также некоторое количество $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$.

Состав плагиоклазов (по Е. С. Федорову) принято обозначать номерами, характеризующими весовое содержание кальциевого компонента — анортита (Ан). Чистый анортит Ан — $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ по этой номенклатуре называется плагиоклазом № 100; чистый альбит — $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ — плагиоклазом № 0.

Промежуточные плагиоклазы имеют специальные минералогические названия:

| | | | | | |
|--------------|----------|----------------------|------------------|---------------------|-------------------|
| Альбит (Аб) | № 0—10 | от Аб ₁₀₀ | Ан ₀ | до Аб ₀₀ | Ан ₁₀ |
| Олигоклаз | № 10—30 | » Аб ₉₀ | Ан ₁₀ | » Аб ₇₀ | Ан ₃₀ |
| Андезин | № 30—50 | » Аб ₇₀ | Ан ₃₀ | » Аб ₅₀ | Ан ₅₀ |
| Лабрадор | № 50—70 | » Аб ₅₀ | Ан ₅₀ | » Аб ₃₀ | Ан ₇₀ |
| Битовинит | № 70—90 | » Аб ₃₀ | Ан ₇₀ | » Аб ₁₀ | Ан ₉₀ |
| Анортит (Ан) | № 90—100 | » Аб ₁₀ | Ан ₉₀ | » Аб ₀ | Ан ₁₀₀ |

Плагноклазы, богатые кремнеземом, имеют номера 0—30 (альбит, олигоклаз) и называются кислыми (SiO_2 — 68%), имеющие номера 30—60 — средними (SiO_2 — 53—43%), 60—100 — основными (SiO_2 — 43%).

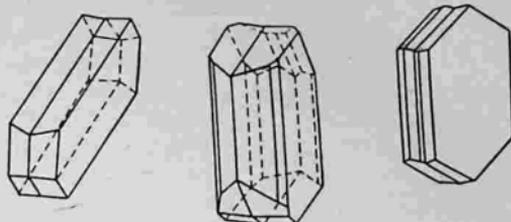


Рис. 23. Альбит

Удельный вес возрастает от 2,62 у альбита до 2,75 у анортита. Температура плавления альбита 1100°C , анортита — 1550°C . Альбит, олигоклаз и андезин не растворяются в кислотах за исключением плавиковой кислоты, лабрадор мало растворим, а анортит легко растворяется. Все плагноклазы кристаллизуются в триклинной сингонии и кристаллы их имеют таблитчато-призматическую форму.

Диагностика: косой угол между плоскостями спайности на $3,5$ — 4° менее прямого, большая твердость (5,5—6), светлая окраска, стеклянный блеск.

Плагноклазы — наиболее распространенные минералы магматических горных пород и широко встречаются в почвах.

Альбит — $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, или $\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_36\text{SiO}_2$ — натриевый плагноклаз; название происходит от латинского слова «альбус», что означает белый.

Химический состав: Na_2O — 10,79%, Al_2O_3 — 19,4%, SiO_2 — 68,81%, постоянно содержится примесь K_2O , более редко BaO , SrO , FeO , Fe_2O_3 .

Физические свойства: твердость 6, удельный вес 2,62. Цвет белый, серовато-белый. Блеск стеклянный. Спайность совершенная, угол между плоскостями спайности косой, равный $86^\circ 24'$. Альбит образует таблитчато-призматические сахаровидные кристаллы (рис. 23), часты двойники; в пегматитовых жилах среди пустот образует друзы. Различают следующие разновидности: лунный камень — кислый плагноклаз с нежно-синеватым отливом; авантюрин, или солнечный камень, — кристалл с искристо-золотистым отливом.

Диагностика: большая твердость, стеклянный блеск, совершенная спайность под косым углом, что позволяет отличать некоторые агрегаты альбита от ортоклаза.

Происхождение: магматическое, метаморфическое. Важнейший породообразующий минерал многих изверженных и метаморфических пород встречается в гранитах, кварцевых порфирах, пегматитах.

Применение: облицовочный и поделочный камень.

Месторождения: Средний Урал, Житомирская область (УССР).

Лабрадор (изоморфная смесь, известково-натриевый плагиоклаз — $Ab_{50}An_{50}$). Примерный химический состав: Na_2O — 5,89%, CaO — 10,05%, Al_2O_3 — 28,01%, SiO_2 — 56,05%. Название дано по месту нахождения полуострова в Северной Америке.

Физические свойства: твердость 6, удельный вес 2,65. Цвет темный. Блеск стеклянный, перламутровый, часто обнаруживает на плоскостях спайности красивый переливчатый отсвет в синих и зеленых тонах, что, по-видимому, связано с ориентированными пластинчатыми включениями ильменита. В породах образует мелкие и крупные таблитчатые кристаллы с заметной штриховкой на плоскостях спайности. Является породообразующим минералом основных изверженных пород. Разновидность габбро, состоящая почти исключительно из лабрадора, носит название лабрадорита.

Диагностика: характерна игра цветов на плоскостях спайности, темный цвет.

Применение: красивый облицовочный камень.

Месторождение: Житомирская область (УССР).

Анортит — $Ca[Al_2Si_2O_8]$, или $CaOAl_2O_32SiO_2$, кальциевый плагиоклаз. Химический состав: CaO — 20,10%, Al_2O_3 — 36,62%, SiO_2 — 43,28%. Анортос по-гречески — косой (имеется в виду кристаллизация в триклинной сингонии).

Физические свойства: твердость 6, удельный вес 2,75. Блеск стеклянный, цвет серый, белый или желтоватый; черта бесцветная. В породах встречается в виде мелких таблитчатых кристаллов. Является породообразующим минералом основных пород (габбро). Легко растворяется в кислотах.

Подкласс фельдшпатов — заместителей полевых шпатов. **Нефелин** — $Na(AlSiO_4)$, или $Na_2OAl_2O_32SiO_2$. Химический состав сложный: SiO_2 содержится в некотором избытке (до 10%), присутствуют также K_2O (до 20%), примеси CaO , иногда Fe_2O_3 и H_2O . Название происходит от греческого слова «нефели» — облако. При разложении в крепких кислотах дает кремнезем. Сингония гексагональная.

Физические свойства: твердость 5—6, хрупок, удельный вес 2,6. Цвет серовато-белый, серый с желтоватым, буроватым, красноватым оттенками. Блеск на изломе жирный, на гранях — стеклянный. Спайность несовершенная, излом плоско-раковистый. Залегает крупнозернистыми короткопризматическими кристаллами, вкрапленными в породы. В кислотах разлагается.

Разложенный нефелин с сильным масляным блеском называют элеолитом, или масляным камнем.

Диагностика: большая твердость, отсутствие спайности, жирный, иногда маслянистый блеск.

Происхождение: магматическое, образуется в бедных кремнеземом щелочных глубинных и излившихся породах (нефелиновых сиенитах), где содержание кремнекислоты недостаточно для образования полевых шпатов. Никогда не встречается вместе с кварцем. В зоне выветривания неустойчив, в процессе разложения из нефелина образуются натролит, анальцит, слюды, каолинит и различные аморфные вещества. В некоторых почвах нефелин разлагается с образованием студнеобразных гелей Al и Si (коллоидов). Наличие коллоидов улучшает структуру почв, оживляет микробиологическую деятельность.

Применение: агрономическая руда — калийное удобрение. Нефелинирование почв улучшает их структуру, удобрение вносят в почву большими дозами под картофель, лен, табак. Сырье для керамической и стекольной промышленности, для изготовления соды, глинозема и некоторых красок; важная руда на алюминий — так называемые нефелиновые отходы — хвосты.

Месторождения: нефелиновые сиениты залегают вместе с апатитом на Кольском полуострове, где производится их комплексная разработка. На Южном Урале, в Ильменских горах, нефелин встречается вместе с цирконом, ильменитом.

Лейцит — $K(AlSi_2O_6)$, или $K_2OAl_2O_34SiO_2$. Химический состав: K_2O — 21,5%, Al_2O_3 — 23,5%, SiO_2 — 55,0%, в виде примесей присутствуют в незначительных количествах Na_2O , CaO , H_2O . Название происходит от греческого слова «лейкос» — светлый. Обладает диморфизмом, т. е. изменяет форму кристаллов при нагревании (до температуры выше $620^\circ C$ — кубическая модификация, ниже этой температуры имеет шаровидную форму).

Физические свойства: твердость 5—6, хрупок, удельный вес 2,45—2,50. Бесцветный или белый с сероватым и желтоватым оттенком. Блеск в изломе стеклянный, иногда слабо жирный. Спайность отсутствует, излом раковнистый. Разлагается в HCl.

Диагностика: характерны белые округлой формы кристаллы на темном фоне основной магматической породы.

Происхождение: магматическое. Высокотемпературный минерал, образующийся при затвердевании лав, богатых щелочами (главным образом K_2O) и бедных SiO_2 . Как и нефелин, никогда не встречается вместе с кварцем. Распространен среди молодых излившихся щелочных пород, ассоциирует с авгитом, нефелином, встречается в вулканических пеплах и туфах.

Лейцит весьма неустойчив и часто замещается еще в магматической стадии с образованием псевдолейцита; образует псевдоморфозы ортоклаза и серицита по лейциту. В зоне выветривания претерпевает химические изменения, переходя в реакциях с грунтовыми водами, содержащими натрий, в анальцит. Этот процесс происходит в почвах, причем калий переходит в раствор, в связи с чем почвы, содержащие лейцит, приобретают плодородие.

Применение: лейцитовые породы используются в стекловарении, для получения глинозема, а также металлического алюминия и поташа.

Месторождения: излившиеся породы Армении.

Класс карбонатов

Общая характеристика. Минералы этого класса, являющиеся солями угольной кислоты, широко распространены в природе, составляя по весу в земной коре 1,8%.

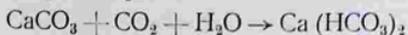
Карбонаты — порообразующие минералы многих осадочных и некоторых метаморфических пород. Углекислый кальций слагает огромные толщи горных пород, преобладает в составе вод рек и пресных водоемов, входит в скелетную часть многочисленных животных организмов.

Происхождение: осадочное — морское, где минералы этого класса образуются за счет отмерших растений и беспозвоночных животных, и низкотемпературное — гидротермальное.

Применение: карбонаты являются агрономическими рудами — используются в сельском хозяйстве для известкования кислых почв, а также входят в состав железной (сидерит), марганцевой (родохрозит) и медной (малахит, азурит) руд.

Карбонаты подразделяются на безводные и водные. К первым относятся: кальцит CaCO_3 , арагонит CaCO_3 , сидерит FeCO_3 , магнезит MgCO_3 , доломит $\text{MgCO}_3\text{CaCO}_3$, родохрозит MnCO_3 , церуссит PbCO_3 , смитсонит ZnCO_3 . Водные карбонаты включают малахит $\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$, азурит $2\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$, соду $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

Диагностика: твердость средняя (от 3 до 5), блеск неметаллический, окраска большей частью светлая. Минералы хорошо растворяются, некоторые вскипают с выделением пузырьков CO_2 в соляной кислоте. В воде, богатой свободной углекислотой, также хорошо растворяются по схеме



Из оптических свойств характерно весьма высокое двупреломление.

Безводные карбонаты. Кальцит — CaCO_3 (известковый шпат). Химический состав: CaO — 56%, CO_2 — 44%, примеси Mg , Fe , Mn до 8%. Сингония тригональная.

Физические свойства: твердость 3, удельный вес 2,6—2,8. Блеск неметаллический, стеклянный. Минерал бесцветный или молочно-белый с оттенками серого, желтого, красного, розового цвета. Спайность совершенная в трех направлениях по ромбоэдру (рис. 24). Часто образует призматические таблитчатые кристаллы. Некоторые кристаллические разности (исландский

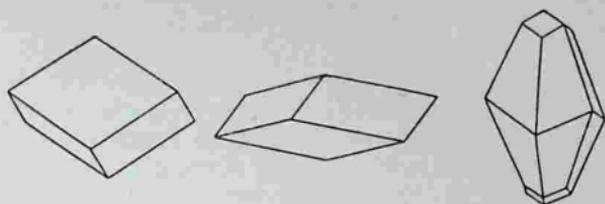


Рис. 24. Кальцит

шпат) обладают двойным лучепреломлением, т. е. удваивают изображения.

Диагностика: бурно выделяет CO_2 от капли HCl *, легко царапается стеклом; кристаллы таблитчатой и призматической формы с хорошей спайностью.

Происхождение: образуется при различных геологических процессах, в частности гидротермальном, при морском осадкообразовании и при процессах выветривания.

Гидротермальные образования кальцита широко распространены. Он встречается во многих сульфидных месторождениях, где кристаллизуется одним из последних минералов вместе с кварцем. Осадочное (морское) происхождение в этом случае за счет отмерших морских растений и беспозвоночных животных: образующиеся на дне морей большие скопления известковых илов позднее вследствие диагенеза превращаются в карбонатные соединения. Грунтовые и поверхностные воды переносят значительные массы извести в виде бикарбонатов на большие расстояния, вплоть до океана, если на пути не будут встречены условия, заставляющие его выпасть в виде кристаллического или коллоидного карбоната CaCO_3 . При испарении воды во многих пещерах образуются известковые сосульки — сталактиты и сталагмиты, а на поверхности земли, в местах родников, насыщенных известью, наблюдаются отложения коагулянтов гидроксидов железа, коллоидного кремнезема.

В природе минерал кальцит очень широко распространен в составе осадочных горных пород — известняках, доломитах, мергелях, метаморфических — мраморах.

Применение: прозрачные разновидности кальцита (исландский шпат) используются для различных оптических поляризационных приборов. Известняки в зависимости от состава и физико-механических свойств используются: а) в сельском хозяйстве — для известкования болотных и подзолистых почв; б) в строительстве — для получения извести, мела; в) в химической промышленности — для получения соды, едкого натра, г) в металлургической промышленности — в качестве флюса (для понижения температуры) при выплавке руд.

* Здесь и далее имеется в виду разбавленная HCl .

Мрамор и известняки широко применяются как строительный материал, для скульптурных украшений, декоративных работ.

Месторождения: исландский шпат в СССР известен по р. Нижней Тунгуске, в Средней Азии, в Крыму, мраморы — на Урале, Украине, Кавказе, в Карельской АССР. Мел добывается в Белгороде, близ Славянска. Известковые агрономические руды, залегающие вблизи поверхности земли, имеются в отложениях почти всех систем: силурийской — Эстония, Латвия, девонской — Литва, Белоруссия, Смоленская, Орловская области, каменноугольной — Тульская, Калужская, Московская области, пермской — Горьковская, Пермская, западная часть Свердловской области и т. д. Разработка этих залежей несложна и экономически целесообразна.

Арагонит — CaCO_3 . Полиморфная разновидность кальция.

Химический состав: CaO — 56%, CO_2 — 44%. Обычно присутствует примесь SrCO_3 . Название происходит от провинции Арагония в Испании, где минерал был впервые встречен. Сингония ромбическая.

Физические свойства: твердость 3,4—5, удельный вес 2,9—3,0. Цвет белый, желтовато-белый, серый. Блеск стеклянный, в изломе жирный. Спайность отсутствует.

Диагностика: вскипает с HCl на холоду; характерно отсутствие спайности, призматическая, шестоватая, игольчатая форма кристаллов. Часто встречается в виде натечных шаровидных форм, образует оригинальные ветвящиеся стебли каменных цветов.

Происхождение: образуется гидротермальным путем в конце процесса; низкотемпературный минерал, неустойчивая модификация CaCO_3 , при температуре 400—450° С переходит в кальцит; при обычной температуре переход протекает медленно. Радиально-лучистые натечные разности образуются экзогенным путем, в коре выветривания магнезиальных изверженных горных пород в ассоциации с доломитом, гипсом.

Распространение: известковый туф — гороховый камень источников. Встречается в Карловых Варах (Чехословакия).

Месторождения: Бакальское (Южный Урал), Испания.

Магнезит — MgCO_3 . Химический состав: MgO — 47,6%, CO_2 — 52,4%. Название происходит от Магнезии — области в Греции.

Физический состав: твердость 4—4,5, хрупок, удельный вес 2,9—3,1. Сингония тригональная. Цвет белый с желтоватым или сероватым оттенками, блеск стеклянный, спайность совершенная по ромбоэдру. Структура мелкокристаллическая, плотная до землистой.

Диагностика: с HCl на холоду не вскипает, а реагирует только с подогретой; хорошая спайность.

Происхождение: гидротермальное, $MgCO_3$ выщелачивается и отлагается горячими щелочными растворами из доломитизированных толщ. Скрытокристаллический «аморфный» магнезит образуется экзогенным путем при выветривании силикатов магния и в результате метасоматического замещения известняков в соляных месторождениях.

Распространение: встречается реже, чем кальцит и доломит, входит в состав некоторых метаморфических пород.

Применение: температура плавления чистой окиси магния $2800^\circ C$, в связи с чем магнезит как хороший огнеупор идет на производство магнезильного кирпича и магнезильного цемента для промышленности абразивов и строительства, а также служит для извлечения металлического магния.

Месторождение: Саткинское на Южном Урале.

Доломит — $CaCO_3 \cdot MgCO_3$. Химический состав: CaO — 30,4%, MgO — 21,6%, CO_2 — 47,9%, Ca и Mg часто замещаются различными количествами Fe и Mn. Сингония тригональная.

Физические свойства: кристаллы имеют ромбоэдрический облик с чешуеобразной поверхностью, грани искривлены седлообразными изгибами. Твердость 3,5—4, удельный вес 1,8—2,9. Блеск неметаллический, стеклянный; цвет серовато-белый, иногда с желтоватым и буроватым оттенком в зависимости от механических примесей. В 1 л воды, насыщенной CO_2 , при давлении 1 атм растворяется 1100 м² доломита.

Диагностика: совершенная спайность в трех направлениях; от действия HCl, в отличие от кальцита, на холоду не вскипает, в порошке растворяется хорошо.

Происхождение: доломит, как и кальцит, является широко распространенным породообразующим минералом и обычно образуется экзогенным путем.

Минерал доломит образуется в водных бассейнах как продукт изменения кальцита под действием магнезильных растворов (доломитизация известняка). При переработке гидротермальными растворами доломитизированных известняков минерал залегает в ассоциации с магнезитом, кальцитом, кварцем. Минерал доломит входит в породу того же названия.

Применение: хороший строительный материал, огнеупор и флюс в металлургии; в сельском хозяйстве используется как удобрение (сравнительно редко).

Месторождения: Урал, Кавказ, Подмосковье, берега Волги в пределах Чувашии и Татарии.

Сидерит (железный шпат) — $FeCO_3$. Химический состав: FeO — 62,1% (Fe — 48,3%); CO_2 — 37,9%. Сингония тригональная.

Физические свойства: твердость 3,5—4, удельный вес 3,9. Блеск неметаллический, матовый; агрегаты кристаллически-зернистые, встречаются в шаровидных конкрециях со скрытокристаллическим или радиально-лучистым строением. Цвет в свежем состоянии желтовато-белый, сероватый. При выветривании неустойчив, буреет и легко переходит в другие минералы.

Диагностика: совершенная спайность. Реагирует только с подогретой HCl, от капли которой образец буреет (вследствие образования FeCl₃); значительный удельный вес по сравнению с другими карбонатами.

Происхождение: сидерит, являясь карбонатом закиси железа, образуется только в восстановительных условиях как при эндогенных (спутник сульфидов), так и экзогенных процессах, где осаждается в морских бассейнах при разложении органических остатков с образованием углекислоты и сероводорода за счет белковых веществ. Встречается среди рудных жил, в осадочных породах в виде желваков и шарообразных стяжений в глинах, в болотах — вместе с вивианитом как нераскристаллизовавшийся гель.

В зоне выветривания сидерита образуются «железные шляпы», где железо окисляется (возникают минералы лимонит, гетит, залегающие в виде землистых, рыхлых масс).

Применение: хорошая руда на железо.

Месторождения: Бакальское (Южный Урал) и Керченское; Южный Уэллс (Англия).

М а л а х и т (медная зелень) — CuCO₃ · Cu(OH)₂. Химический состав: CuO—71,9%, CO₂—19,92%, H₂O—8,2%. Сингония моноклинная.

Физические свойства: твердость 3,5—4, удельный вес 3,9—4,0. Цвет ярко-зеленый, черта бледно-зеленая. Блеск стеклянный. В HCl хорошо растворяется. Встречается в виде плотных масс натечной формы. Агрегаты бывают волокнистые, радиально-лучистые, землистые; часто образует кристаллы по стенкам пустот. Налеты и примазки иногда с шелковистым блеском. Землистые массы называют медной зеленью.

Диагностика: зеленый цвет, натечные и почковидные формы агрегатов, бурно вскипает от HCl.

Происхождение: вторичный минерал в зоне окисления первичных (сульфидных) руд — халькопирита и других сульфидов. Образуется при взаимодействии растворимых солей меди с известковыми растворами, залегаает в верхней зоне медных руд в виде «медной шляпы», часто как землистая разность.

Применение: прекрасный декоративный, поделочный камень, применяется для изготовления шкатулок, ваз, колонн, служит для приготовления зеленой краски.

Месторождения: Нижний Тагил и Гумешевск (Урал), Казахстан.

Азурит (медная лазурь, медная синь) — $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$.
Химический состав: $\text{CuO} - 69,2\%$, $\text{CO}_2 - 25,6\%$, $\text{H}_2\text{O} - 5,2\%$.
Сингония моноклидная.

Физические свойства те же, что и у малахита (см. выше), неустойчив, переходит в малахит.

Диагностика: лазорево-синий или темно-синий цвет, вскипает от HCl .

Происхождение: вторичный минерал зоны окисления сульфидных руд.

Месторождения: встречается вместе с малахитом.

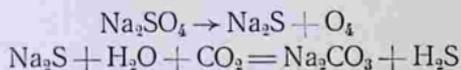
Применение: руда на медь, для приготовления синей краски.

Сода (натрон, натрит) — $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Химический состав: $\text{Na}_2\text{O} - 21,6\%$, $\text{CO}_2 - 15,4\%$, $\text{H}_2\text{O} - 63,0\%$. Сингония моноклидная.

Физические свойства: твердость 1—1,5, удельный вес 1,4—1,47. Цвет белый, серый, желтоватый, блеск стеклянный. Встречается в зернистых агрегатах, легко растворима в воде, на воздухе теряет воду и белеет.

Диагностика: легко растворима в воде и в HCl .

Происхождение: образуется в некоторых соляных озерах, выпадая из насыщенных растворов во время выпаривания при обычном давлении и температуре от 2 до 32°C . Возможно имеет место обменная реакция Na_2SO_4 , растворимого в воде озер, с приносимым с суши $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ или же происходит биохимический процесс восстановления Na_2SO_4 микроорганизмами в Na_2S и воздействие на последний CO_2 с выделением H_2S :



В странах с сухим климатом (некоторые области Средней Азии, Казахстана) сода, растворенная в почвенных и грунтовых водах, образует на поверхности многочисленные снежно-белые выцветы, налеты, корки. Крайне вредное для растений соединение.

Применение: в химической, металлургической и стекольной промышленности.

Месторождения: содовые озера в азиатской части СССР — Петуховское и Михайловское в Кулундинской степи, Дорониинское озеро в Читинской области.

Класс нитратов

Нитраты — производные солей азотной кислоты, в природе встречаются мало, так как они очень легко растворяются в воде. Эти минералы носят название селитр. Наибольшее распростра-

нение и значение имеют натриевая (чилийская) селитра NaNO_3 и калиевая (индийская) селитра KNO_3 .

Источником азота служит азот воздуха. Реакции окисления азота носят биогенный характер и связаны с бактериальными процессами в почвах. Селитры применяются как минеральные удобрения; источниками питания растений являются N и K. Натриевая селитра — NaNO_3 . Химический состав: Na_2O — 36,5%, N_2O_5 — 63,5%. Сингония тригональная. Калиевая селитра — KNO_3 . Сингония ромбическая. В остальном свойства те же.

Физические свойства: твердость 1,5—2, хрупка, удельный вес 2,24—2,29. Цвет белый, желтый, красновато-бурый; черта белая или отсутствует. Легко растворяется в воде. Залегаet в сплошных зернистых массах в виде корок или выцветов, кристаллики имеют вид ромбоэдров, блеск стеклянный.

Диагностика: легко растворима в воде. Вкус солоноватый, охлаждающий. Подобно кальциту, обладает двойным лучепреломлением.

Происхождение: поверхностное, образуется в условиях сухого жаркого климата за счет окисления азотсодержащих органических веществ гуано и отбросов птиц и животных. В этих же областях часто образуются галит, гипс, мирабилит.

Применение: хорошее минеральное удобрение. Используется для изготовления взрывчатых веществ, получения азотной кислоты, в стекольной промышленности — для очистки стекла, в пищевой — для консервирования рыбы, мяса.

В связи с тем что в последние годы изобретен промышленный способ получения азотных соединений (аммиака и азотной кислоты) синтетическим путем из азота воздуха в присутствии катализаторов, добыча селитры резко снизилась.

Месторождения: Чили, Перу. Пухлые селитряные солончаки встречаются в сухих, бессточных областях Казахстана.

Класс фосфатов

Минералы, представляющие собой соли ортофосфорной кислоты (H_3PO_4), довольно широко распространены в природе, хотя их количество в земной коре не превышает по весу 0,75%. Это не породообразующие минералы, однако, являясь ценными агрономическими рудами, имеют огромное значение для сельского хозяйства. Ориентировочные запасы фосфатного сырья в мире определяются в 50 млрд. т, на долю СССР приходится около 10 млрд. т. Однако запасы его в стране распределены неравномерно: на районы северо-запада СССР приходится 35%, центра РСФСР и Казахстана — по 30%. Качество фосфатного сырья в ряде областей невысокое, руды нуждаются в обогащении.

Фосфаты подразделяются на безводные и водные. У безводных средняя твердость 4,5—5, удельный вес 3,2; у водных — твердость от 1 до 2,3, удельный вес 3—4. Общим свойством является неметаллический блеск. По происхождению фосфаты могут быть магматическими (апатит), осадочными и вторичными (фосфорит).

Безводные фосфаты. Апатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ и $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$. Апато по-гречески — обманываю.

Различают две разновидности: фторапатит с химическим составом: CaO — 55,5%, P_2O_5 — 42,3% и F — 3,8% и хлорапатит с химическим составом: CaO — 53,8%, P_2O_5 — 41%, Cl — 6,8%. Апатит — единственный минерал, содержащий фосфор в промышленных количествах. Сингония гексагональная.

Физические свойства: твердость 5, удельный вес 3,2. Цвет белый, зеленый, голубой, желтый, бурый. Блеск стеклянный, на поверхности излома жирный. Спайность несовершенная. Излом неровный. В кислотах HCl , HNO_3 , H_2SO_4 хорошо растворяется. В СССР известны две разновидности этого минерала: хибинский апатит мелкозернистого строения, сахаровидный, имеющий большое промышленное значение, и забайкальский апатит, образующий прекрасные таблитчатые призматические кристаллы со стеклянным блеском.

Диагностика: твердость 5, шестигранная призматическая форма, несовершенная спайность.

Происхождение: магматическое, выкристаллизовывается из щелочной магмы в позднейшую стадию процесса, залегают в нефелиновых сенинтах вместе с нефелином. Крупные шестоватые и призматические кристаллы, не имеющие промышленного значения, встречаются в пегматитах кислых и щелочных изверженных пород; выделяется в области контактов изверженных пород с известняками.

Стоек при процессах механического выветривания, встречается в россыях и некоторых почвах.

Апатит в воде не растворяется, поэтому для перевода соединений фосфора из нерастворимых соединений в растворимые апатит обрабатывают серной кислотой и подвергают термической обработке, получая различные суперфосфаты и термофосфаты. Для получения суперфосфата апатит измельчают и смешивают в котле с серной кислотой. Фосфорную кислоту добывают из апатитовых концентратов, она необходима для изготовления некоторых удобрений и различных фосфорных соединений.

Месторождения: огромные залежи промышленных апатитов открыты на Кольском полуострове в Хибинах акад. А. Е. Ферсманом и геологом Лабунцовым в 1926 г. Залежи апатита известны также на р. Слюдянке (вблизи озера Байкал). Хибинны дают около 76% всех фосфорных руд СССР, содержание P_2O_5

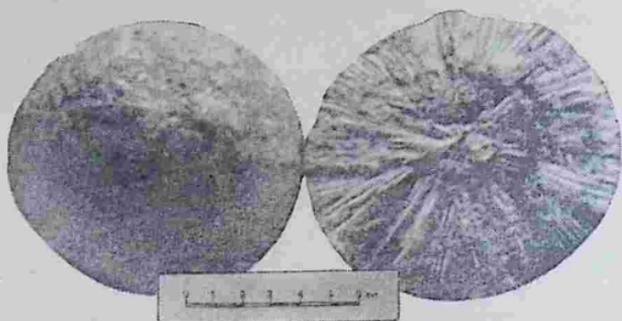


Рис. 25. Конкреции фосфоритов

в сырых апатитах 18—21%, флотационный апатитовый концентрат содержит P_2O_5 39,4%.

Фосфорит — состав непостоянный, содержит $Ca_5(PO_4)_3F$, Cl и различные примеси (SiO_2 , $CaCO_3$, Fe , Al), органические вещества, включения песка, глины, представляя таким образом не однородный минерал, а сочетание минералов, т. е. горную породу.

Физические свойства в связи с большой неоднородностью и непостоянством химического состава подвержены большим колебаниям: твердость изменяется от 2 до 5; удельный вес колеблется от 2,2 до 3,2. Аморфный. Цвет черный, бурый, желтовато-бурый, темно-серый и серый, изредка белый. Блеск неметаллический, матовый. Непрозрачен. Встречается в форме конкреций (рис. 25), желваков, плит, всевозможных псевдоморфоз по различным органическим остаткам: стволам деревьев, раковинам аммонитов, костям позвоночных. Желваки могут быть рыхлыми и сцементированы фосфатом кальция в плотные агрегаты, иногда фосфориты залегают в виде пластов.

Диагностика: аморфное строение; при трении свежих образцов друг о друга возникает битуминозный запах, напоминающий запах конского волоса или жженой кости (фосфорноорганические соединения), причем запах становится сильнее с увеличением содержания фосфорного ангидрида P_2O_5 в куске породы. Агрегаты в виде желваков, конкреций, псевдоморфоз.

Применение: важнейшая агрономическая руда. Содержание фосфорного ангидрида P_2O_5 меньше, чем в апатите (от 15—20% до 30%).

Только очень богатые пластовые фосфориты применяются без предварительного обогащения. В большинстве случаев фосфориты содержат в своем составе до 40—70% песка, глины и других пород. Поэтому они большей частью подвергаются обогащению, в результате чего получают концентраты с содержанием пятиоксида фосфора 18—25%.

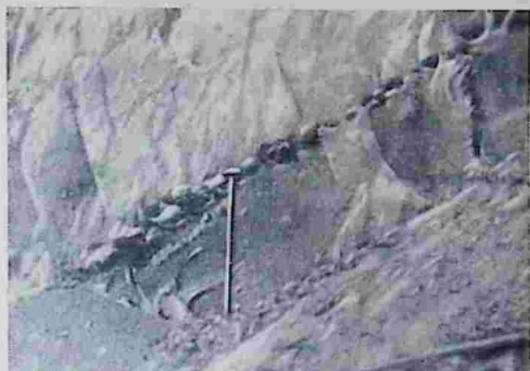


Рис. 26. Слой желваковых фосфоритов

Происхождение: химическое, биогенное (бактериальное), редко континентальное — остаточно-метасоматическое (см. главу пятую).

В СССР установлено около 200 месторождений фосфоритов двух типов: геосинклинальные — пластовые с залеганием в кремнисто-карбонатных породах химического происхождения (тип Каратау) и платформенные — желваковые, связанные с терригенными, глинисто-глауконитово-песчаными породами с содержанием P_2O_5 от 12—18 до 24—29% (рис. 26).

Возраст месторождений второго типа — мезозойский. Важно и экономически выгодно то, что в отличие от хибинских апатитов и каратауских фосфоритов значительный процент содержащегося в желваковых фосфоритах фосфора медленно растворяется в органических кислотах почв, что позволяет применять их в качестве удобрения в виде перемолотой фосфоритной муки (без предварительного обогащения).

Месторождения: крупнейшее в СССР — ряд месторождений Каратау, запасы порядка 1,5 млрд. т, возраст — нижнекембрийский, сырая руда содержит P_2O_5 25—30%. Кроме того, Вятско-Камское, Егорьевское, Полпинское. В 1963 г. утверждены запасы по первому месторождению Сибири — Белкинскому (Кемеровская область). За границей очень высокие по качеству фосфориты в Алжире, Тунисе.

Водные фосфаты. В и в и а н и т $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ — фосфат закиси железа. Химический состав: FeO — 43,0%, P_2O_5 — 28,3%, H_2O — 27,8%. Вследствие окисления иногда присутствует Fe_2O_3 . Сингония моноклинная.

Физические свойства: твердость 1,5—2, удельный вес 2,58—2,68. В кислотах легко растворяется. Иногда образует радиально-лучистые и призматические агрегаты, блеск стеклянный, спайность совершенная. В свежем состоянии бесцветен, но на

воздухе чрезвычайно быстро окисляется, меняя свою окраску на синюю, зеленую, становящуюся при дальнейшем окислении темной, а затем и бурой.

Диагностика: землистый, рыхлый; окисленные разности легко узнаются по синей окраске.

Происхождение: является характерным минеральным новообразованием, возникающим в поверхностных условиях, но в восстановительной среде. Минерал крайне нестойкий, в болотных почвах, в торфяниках залегает в виде землистой разности вместе с лимонитом, сидеритом, болотной известью, где быстро окисляется. Источником фосфора являются органические остатки, приносимые в болота грунтовыми и поверхностными водами. Широко распространен в почвах с марказитом и сидеритом.

Применение: агрономическая руда на фосфор; используется для изготовления синей краски, как железная руда (керченит).

Месторождения: Керченское — кристаллические лучистые агрегаты вивианита («керченита») среди бурых железняков; Подмосковье — землистый вивианит, широко распространенный среди болотных руд железа.

Класс сульфатов

В земной коре сульфатов немного — всего 0,1%. Минералы солей серной кислоты распространены среди многих осадочных пород, составляя по содержанию около 1%.

В кристаллической решетке кристаллов обособляются комплексные анионы $(SO_4)^{2-}$. Наиболее характерны сульфаты сильных двухвалентных оснований, особенно Ba^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} и Pb^{2+} . Сульфаты подразделяются на безводные и водные. К безводным относятся ангидрит $CaSO_4$, барит $BaSO_4$, тенардит Na_2SO_4 , к водным — гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и мирабилит $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$.

Отличительные особенности сульфатов: неметаллический стеклянный перламутровый блеск, небольшая твердость (2—3,5). В отличие от карбонатов сульфаты не реагируют с разбавленной HCl . Происхождение экзогенное. Сульфаты обычно являются химическими осадками усыхающих лагун, озер и залегают совместно с галоидами. Гипс образуется в результате окисления сульфидов и серы. Некоторые из сульфатов — гипс, ангидрит — являются агрономическими рудами и используются для гипсования солонцовых почв. Поскольку минералы тесно связаны друг с другом по условиям залегания и образования, то целесообразно рассмотреть их совместно.

Ангидрит и гипс. Ангидрит — $CaSO_4$ (безводный гипс). Химический состав: CaO — 41,2%, SO_3 — 58,8%. Сингония ромбическая.

Физические свойства: твердость 3—3,5 (не царапается ногтем), удельный вес 2,8—3. Цвет белый или сероватый, голубой, красноватый; блеск стеклянный, иногда с перламутровым отливом. Минерал обладает совершенной спайностью в одном направлении и образует призматические и толсто-столбчатые кристаллы. В присутствии воды при атмосферном давлении постепенно переходит в гипс, сильно увеличиваясь в объеме (до 30%), вследствие чего в породах нередко возникают складки и другие нарушения напластований. В HCl растворим слабо.



Рис. 27. Гипс в глине

Диагностика: в отличие от гипса не царапается ногтем, от карбонатов отличается тем, что не вскипает в HCl.

Гипс (легкий шпат) — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Химический состав: CaO — 32,5%, SO_3 — 46,6%, H_2O — 20,9%. Часты примеси глинистого вещества, песка, кальцита, доломита. Сингония моноклинная.

Физические свойства: твердость 1,5 (царапается ногтем), весьма хрупок, удельный вес 2,3. Цвет белый, серый, красноватый, прозрачный. Блеск стеклянный, с перламутровым отливом.

Различают следующие разновидности гипса: алебастр — белый сахаровидный гипс мелкозернистого плотного строения; селенит — волокнистый гипс с шелковистым блеском и занозистым изломом; листовый, прозрачный гипс, называемый «Марьино стекло». Спайность у селенита и листового гипса весьма совершенная, в одном направлении, кристаллы легко расщепляются на тонкие пластинки. Залегая среди осадочных пород, минерал гипс часто образует красивые таблитчатые кристаллы (рис. 27), крупные двойники в виде «ласточкина хвоста». В пустотах известны друзы — каменные цветы («розы», «розетки»).

Встречается гипс и в виде плотных мелкозернистых агрегатов, образует всевозможные выцветы на почвах — корки, порошкообразные налеты. Гипс хорошо растворяется в воде, причем его растворимость с увеличением температуры повышается, достигая максимума при 37—38°С, а затем падает. Наибольшее снижение растворимости устанавливается при температурах выше 107°С вследствие образования «полугидрата» — $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$. При температуре 120—140°С гипс полностью переходит в полугидрат, так называемый штукатурный гипс — алебастр. Алебастр, замешанный в воде, превращается в полу-

жидкое тесто, твердеет, расширяясь, выделяет тепло. В HCl растворим мало. В воде, подкисленной H_2SO_4 , растворяется гораздо лучше, чем в чистой.

Диагностика: низкая твердость — царапается ногтем, легко крошится; для кристаллической разности характерна совершенная спайность в одном направлении; плотные, мраморовидные агрегаты узнаются по низкой твердости и отсутствию выделения пузырьков CO_2 при смачивании HCl. Тонкие листочки гипса немного гибки, но не упруги.

Происхождение: экзогенное, типичный минерал для осадочных пород. Образуется вблизи поверхности в зоне выветривания различными путями: осадочным — при высыхании замкнутых озерных и морских бассейнов, при гидратации ангидрита под влиянием подземных вод, при процессах выветривания в зоне окисления сульфидных руд. При высыхании замкнутых бассейнов гипс с галитом выделяется из насыщенных растворов одним из первых, когда концентрация других растворенных солей еще невысока. Вследствие этого гипс осаждается вначале, располагаясь в нижних частях залежей, переслаиваясь вместе с каменной солью, глинами, мергелями и ангидритом.

В пустынях и полупустынях гипс часто встречается в виде прожилок, желваков, различных корок. Выделяющаяся при окислении сульфидов (пирита) серная кислота в значительной степени увеличивает растворимость гипса, вследствие чего он обычен в верхних частях «железной шляпы».

Значительные массы гипса возникают и при гидратации ангидрита на глубинах от 100 до 150 м по реакции: $CaSO_4 + \frac{1}{2}H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O$. При увеличении объема происходят нарушения в породах.

Применение: в сельском хозяйстве гипс применяется в качестве удобрения: а) для химической мелиорации солонцовых почв — в целях замещения Na^+ в поглощенном комплексе почв Ca^{2+} ; б) как источник питания кормовых растений — клевера, люцерны. Гипс имеет большое хозяйственное значение, используется в строительстве для изготовления цемента (обожженный гипс — штукатурка), для декоративных, скульптурных и лепных работ, в медицине для хирургических повязок.

Прозрачные разновидности гипса идут для оптических приборов; алебастр, селенит — для изготовления мелких художественных изделий.

Месторождения: широко распространен в мощных галогенных толщах пермского возраста в Приуралье, Татарской, Башкирской и Чувашской АССР; озера Эльтон, Баскунчак; Соликамск, Славянск, серное месторождение Шор-Су в Средней Азии.

Подкласс тенардита — мирабилита. Тенардит — Na_2SO_4 . Мирабилит (глауберова соль) $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$.

Оба минерала по составу, особенностям и происхождению весьма сходны друг с другом.

Химический состав тенардита: $\text{Na}_2\text{O} — 43,7\%$, $\text{SO}_3 — 56,3\%$, часты примеси K_2O и CaSO_4 . Сингония ромбическая. Физические свойства: твердость 2—3, хрупок, удельный вес 2,68—2,69. Цвет белый, бесцветный, со слабым красноватым оттенком, блеск стеклянный. Легко растворяется в воде, вкус солоноватый. С течением времени превращается в порошок.

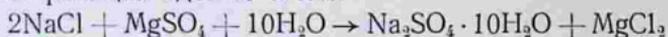
Химический состав мирабилита: $\text{Na}_2\text{O} — 19,3\%$, $\text{SO}_3 — 24,8\%$, $\text{H}_2\text{O} — 55,9\%$. Сингония моноклинная.

Физические свойства: твердость 1,5—2, хрупок, удельный вес 1,48. Бесцветный, с желтоватым, зеленоватым оттенками, блеск стеклянный. Влажность воздуха влияет на его свойства: в сухом воздухе он теряет всю воду, превращаясь в порошок в виде тенардита. На вкус слабоохлаждающий, горько-соленый. Встречается в сплошных зернистых агрегатах, а также в виде корок и налетов, в почвах — в виде выцветов солей. Диагностика: вкус — солоноватый, горьковатый, в HCl в отличие от соды не выделяет CO_2 .

Происхождение: экзогенное; представляет собой химический осадок некоторых замкнутых морских водоемов и самосадочных озер. Тенардит выпадает из водных растворов, насыщенных NaCl , летом — при температуре выше $32,5^\circ$, в зимнее время — при температуре $5—6^\circ\text{C}$, из рапы* (в таких же условиях наиболее энергично осаждается мирабилит).

Летом мирабилит переходит в раствор, а выброшенный на берег в верхних слоях обезвоживается, превращаясь в тенардит.

Зимой реакция идет по схеме:



Летом:



Регулируя водный режим озер, можно управлять процессом осаждения этих минералов.

Применение: используется для изготовления соды, стекла, в медицине — как слабительное средство.

Месторождения: в настоящее время тенардит осаждается летом, а мирабилит зимой в больших масштабах в заливе Кара-Богаз-Гол, а также в соляных озерах Кулундинской степи, Северного Прикаспия, Северного Кавказа.

Барит (тяжелый шпат) — BaSO_4 . Барос по-гречески — тяжесть. Химический состав: $\text{BaO} — 65,7\%$, $\text{SO}_3 — 34,3\%$. Часты примеси Sr , Ca , Fe_2O_3 , а иногда глинистых и органических веществ. Сингония ромбическая.

* Рапа — насыщенный соляной раствор в соляных озерах и искусственных бассейнах.

Физические свойства: твердость 3—3,5, хрупок, удельный вес 4,3—4,7. Цвет белый, бесцветный, желтоватый, синеватый, бурый. Черта белая. Блеск стеклянный; спайность совершенная. Агрегаты таблитчатые, столбчатые, реже скрытокристаллические, землистые. Известны шаровидные и эллипсоидальные конкреции с радиально-лучистым строением. Растворим только в крепкой серной кислоте.

Диагностика: большой удельный вес для минералов со стеклянным блеском; нерастворимость даже в подогретой HCl.

Происхождение: образуется в условиях повышенного давления кислорода и при относительно низких температурах, часто встречается в гидротермальных отложениях вместе с сульфидными, железными и другими рудами. При выветривании устойчив; известен среди россыпей.

Применение: утяжелитель глинистого раствора при бурении скважин, используется для борьбы с газовыми выбросами для укрепления стенок скважины; в химической и лакокрасочной промышленности для производства белил, красок.

Месторождения: Кутаисское в Грузинской ССР, Кара-Калинское в Туркменской ССР.

Группа галоидных соединений

Минералы этой группы представляют собой соли галоидно-водородных кислот HF, HCl и редко HBr, HJ. По свойствам и генезису они отчетливо разделяются на два класса: соли сильной хлористоводородной кислоты — хлориды и близкие к ним очень редкие бромиды и иодиды и соли более слабой фтористоводородной кислоты — фториды.

Хлориды — осадочного происхождения, образуются в результате отложения из водных бассейнов. Для них наиболее характерны соли натрия, калия; более слабые катионы, как магний, дают лишь двойные соли, богатые кристаллизационной водой.

Диагностика: небольшая твердость (2—2,5), неметаллический блеск, легкая растворимость в воде, соленый и горько-соленый вкус. С соляной кислотой не реагируют.

Галогениды могут быть безводные и водные. К ним относятся такие важные в жизни человека и растений минералы, как галит — NaCl, сильвин — KCl, карналлит — $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$, каинит — $KMg(SO_4)Cl \cdot 3H_2O$. Последний минерал по составу относится к сульфатам.

Галогениды залегают вместе с калийными солями в соляных месторождениях и используются для производства калийных удобрений, являясь отличными агрономическими рудами.

В СССР имеются три крупнейших соленосных бассейна калийных агрономических руд и ряд более мелких месторождений в Западном Казахстане, Туркмени, Узбекистане.

В отложениях девона известен Припятский соленосный бассейн (Белоруссия). Открыт он в 1949 г., перспективные запасы составляют около 9 млрд. т, промышленные — около 3,6 млрд. т. Калийные пласты представлены сильвинитом, карналлитом и залегают на глубине 350—500 м. На базе этого месторождения ведется строительство Солигорского комбината.

В пермских отложениях находится Соликамский бассейн, открытый в 1925 г. Площадь его более 1800 км², сильвинитовый горизонт мощностью 150—200 м залегает на глубине 150—300 м. В верхнетретичных отложениях залегает Прикарпатский бассейн, ценный тем, что здесь встречены сравнительно редкие бесхлорные калийные минералы — каннит и лангбейлит.

Галит — NaCl (галос по-гречески — море). Химический состав: Na — 39,4%, Cl — 60,6%, примеси пузырьков газов, включения глинистых частиц и органического вещества, гипса. Различают каменную соль, самосадочную и поваренную соль. Сингония кубическая.

Физические свойства: твердость 2, удельный вес 2,1—2,2, хрупкий. Блеск неметаллический, стеклянный, на выветрелых поверхностях — жирный. Спайность весьма совершенная, по кубу. При длительном одностороннем давлении обнаруживает свойство пластичности, принимая форму штоков, куполов. Галит легко растворяется в воде. Вкус соленый. Цвет у чистых разновидностей белый, прозрачный, однако в природных условиях красящие пигменты обуславливают окраску в различные цвета: глинистые частицы — в серый; органическое вещество — в бурый и черный; гидроокислы железа — в желтый; безводная окись железа — в красный; пары металлического натрия — в синий. Агрегаты мелкозернистые, у самосадочной соли рыхлые, выпадающей на дне соленосных озер, при испарении воды на поверхности почв, солончаков; плотные, крупнокристаллические агрегаты характерны для ископаемой каменной соли, залегающей пластами.

Диагностика: соленый вкус, низкая твердость, весьма совершенная спайность, хорошая растворимость в воде.

Происхождение: осадочное, представляет собой химический осадок современных и древних усыхающих морей, лагун, озер. Различают каменную соль ископаемую и самосадочную. Огромные залежи древних ископаемых солей образовались в пермский период, когда в усыхающих лагунах морей накапливались колоссальные толщи галогенных осадков — галита, гипса, ангидрита.

Месторождения: Соликамское (Пермская область), Илецкая защита (под г. Оренбургом), Славянско-Бахтумское; Стассфуртское (в ГДР), Величка (Польша).

Современные самосадочные озера расположены на огромной площади Юго-Востока СССР, к ним относятся известные озера

Эльтон и Баскунчак, озера Северного Крыма. Соль, получаемая вываркой из рассольных подземных вод, соляных источников, носит название выварочной.

Применение: человек потребляет в год около 10 кг соли; используется в химической промышленности для получения соляной кислоты, хлора, соды, едкого натра и металлического натрия.

Сильвин — KCl . Химический состав: K — 52,5%, Cl — 47,5%, часты включения жидкостей и газов, азота, углекислоты. Сингония кубическая.

Физические свойства: твердость 1,5—2, удельный вес 1,97—1,99. Цвет различный: чистые разности бесцветны и обладают водяной прозрачностью; синий, красный, бурый цвета обусловлены присутствием натрия, гидроокислов и окислов железа. Хорошие кристаллы редки. Сильвин обычно встречается в виде землистых масс, легко растворяется в воде, гигроскопичен. Вкус горько-соленый, жгучий. Блеск стеклянный. Спайность весьма совершенная.

Диагностика: небольшая твердость, легко растворяется в воде, цвет желтый, синий, вкус горько-соленый.

Происхождение: представляет собой химический осадок уходящих водных бассейнов. При испарении воды из рассолов выпадает одним из последних, вследствие чего встречается в верхних частях соляных залежей и распространен значительно реже галита. Его скопления в земной коре оказались размытыми подземными водами.

Применение: главная агрономическая калийная руда (камень плодородия).

Карналлит — $\text{MgCl}_2\text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Химический состав: Mg — 87%, K — 14,1%, Cl — 38,3%, H_2O — 38,9%. Из механических примесей обычно присутствуют NaCl , KCl , CaSO_4 , Fe_2O_3 , глинистое вещество, капельки рассолов, обильные включения газов. Сингония ромбическая.

Физические свойства: твердость 2—3, удельный вес 1,60. Хрупкий, спайность отсутствует. Блеск на свежем изломе стеклянный. Необычайно гигроскопичен, землистый, на воздухе расплавляется, быстро тускнеет и становится жирным. При растворении в воде издает треск, обусловленный присутствием пузырьков газов, находящихся под большим давлением, что является характерной особенностью карналлита. Вкус жгучий, горько-соленый. Разности без примесей бесцветные. Обычны розовые и красные тона, обусловленные включениями тонкораспыленной окиси железа.

Диагностика: красный цвет, хорошие кристаллы редки, небольшая твердость, легкая растворимость в воде. Вкус горько-соленый, при сверлении острием ножа в свежем изломе издает характерный треск (скрип) от включений пузырьков газа.

Происхождение: то же, что и у галита, сильвинита.

Применение: в сельском хозяйстве — калийное удобрение, а также служит сырьем для получения металлического магния.

Фториды в земной коре распространены незначительно, среди них наиболее часто встречаются соли кальция. Происхождение их в большинстве случаев гидротермальное, твердость средняя, около 4. В воде нерастворимы.

Флюорит (плавиковый шпат) — CaF_2 . Химический состав: Ca — 51,2%, F — 48,8%. Сингония кубическая.

Физические свойства: твердость 4, удельный вес 3,18. Спайность совершенная, по октаэдру. Окрашен в различные цвета: желтый, зеленый, голубой, фиолетовый, розовый; некоторые разности по внешнему виду напоминают мармелад; при нагревании окраска исчезает. Блеск стеклянный. Агрегаты зернистые. Прекрасно ограненные октаэдры часто образуют друзы. В воде нерастворим, разлагается в крепкой серной кислоте.

Диагностика: твердость, стеклянный блеск, кубическая форма кристаллов.

Происхождение: гидротермальное, частый спутник рудных минералов в жилах вместе с кварцем, баритом; минерал пегматитовых жил. Землистая разновидность флюорита, встречаемая в осадочных отложениях, носит название ратовкита.

Месторождения: Калангуй и Абагатуй (Забайкалье).

Применение: в металлургии в качестве флюса — плавня, ускорителя при плавке руд и электроплавке; в химической промышленности — для производства плавиковой кислоты и ее солей; цветные разности используются как поделочный камень, прозрачные и бесцветные — в оптике для изготовления линз.

Группа сульфидов

Природные сернистые соединения можно рассматривать как производные сернистого водорода H_2S или, реже, многосернистых водородов. По количеству минералов (около 350 видов) сульфиды составляют до 10% всех минералов, занимая второе место после силикатов, однако по процентному содержанию в земной коре их мало (всего около 0,15% по весу).

Сульфиды — непородообразующие минералы, но являются рудами многих важных металлов: меди, серебра, цинка, свинца, ртути, мышьяка, никеля, сурьмы, вследствие чего их значение в экономике страны очень велико.

По химическому составу различают простые сульфиды, в которые входит один металл (не считая изоморфных примесей), и так называемые сульфосоли. В сульфосоли входят: одно- или двухвалентный катион, чаще всего Ag^+ , Cu^{2+} , Pb^{2+} , с другой стороны, трех- или четырехвалентный, чаще всего As^{3+} , Sb^{3+} , Bi^{3+} ,

Fe^{3+} , и их можно рассматривать как соли соответствующих сульфокислот, например H_3AsS_3 .

Диагностика: большой удельный вес (от 3,5 до 10,6) вследствие присутствия тяжелых элементов; твердость низкая и средняя (2—4 и до 6); сильный металлический блеск, малая прозрачность, высокая электропроводность.

Происхождение: гидротермальное, а также экзогенное в условиях восстановительной среды, деятельности микроорганизмов и в присутствии H_2S .

Минералы в зоне выветривания неустойчивы — они разлагаются и переходят в различные кислородные соединения по схеме: сульфиды → сульфаты → карбонаты.

К сульфидам относятся следующие минералы: пирит (железный колчедан) FeS_2 , марказит (лучистый колчедан) FeS_2 , галенит (свинцовый блеск) PbS , сфалерит (цинковая обманка) ZnS , киноварь HgS , реальгар AsS , аурипигмент As_2S_3 , халькопирит (медный колчедан) CuFeS_2 .

Класс сульфидов железа — самый распространенный среди сульфидов.

Пирит — FeS_2 (серный колчедан, железный колчедан) (пирос — по-гречески — огонь). Химический состав: Fe — 46,6%, S — 53,5%, часты примеси меди, цинка, золота, серебра, кобальта. Сингония кубическая.

Физические свойства: твердость 6—6,5 — самый твердый из сульфидов, царапает лезвие ножа; удельный вес 4,9—5,2. Относительно хрупкий, спайность весьма несовершенная, излом неровный. Сильный металлический блеск, цвет светлый — золотисто-желтый, латунно-желтый, часто с побежалостями желтовато-бурого и пестрых цветов. Черта буровато- или зеленовато-черная. При ударе по пириту куском железа летят искры. В HCl не растворяется.

Серный колчедан — самый распространенный из сульфидов минерал, встречается в многочисленных горных породах, рудах, каменных и бурых углях, глинах, глинистых сланцах, некоторых почвах. Среди руд и магматических пород часты крупные вкрапления хорошо ограненных кристаллов с сильным металлическим блеском. В осадочных породах обычны шаровидные конкреции пирита, нередко радиально-лучистого строения, а также гроздевидные или почковидные агрегаты.

Диагностика: большой удельный вес, высокая твердость (чертит стекло), латунно-желтый цвет, черта зеленовато-черная, кристаллы в форме кубов с сильным металлическим блеском и штриховкой на гранях (рис. 28).

Происхождение: разнообразное. Наиболее широко распространен в гидротермальных кварцевых жилах, в рудных телах, в боковых породах в виде вкраплений, встречается на контактах карбонатных и силикатных пород, здесь его образование свя-

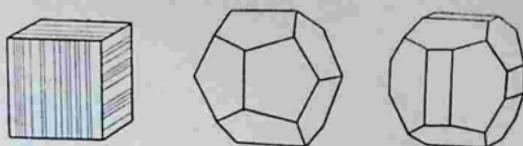


Рис. 28. Пирит

зано с гидротермальной стадией контактово-метаморфических процессов. Обычен и в осадочных породах, многочисленные конкреции серниго колчедана, корки часто встречаются в песчанисто-глинистых отложениях, месторождениях угля, фосфоритов, бокситов, марганца. В этих условиях его происхождение связано с разложением органических остатков без доступа свободного кислорода. В зоне окисления неустойчив, легко подвергается окислению с последующим образованием сульфатов, карбонатов и гидроокислов железа — бурых железняков. Так образуются в зоне выветривания псевдоморфозы лимонита по пириту, гематиту (Fe_2O_3), по органическим остаткам. Получающаяся одновременно серная кислота весьма активно участвует в процессах химического выветривания.

Применение: основной вид сырья для получения серной кислоты, медистые пириты — руда для извлечения меди, золота, цинка.

Месторождения: Дегтярская, Карабашская, Блявинская колчеданные залежи на Урале.

Марказит (лучистый колчедан) — FeS_2 . Полиморфная разновидность пирита. Химический состав: Fe — 46,6%, S — 53,4%. Сингония ромбическая.

Физические свойства: твердость 5—6, удельный вес 4,6—4,9. Спайность несовершенная, кристаллы таблитчатые, гребенчатые, копьевидные; часты сростки, конкреции, желваки, различные псевдоморфозы по органическим остаткам. Блеск металлический, цвет латунно-желтый с сероватым и зеленоватым оттенками, светлее, чем у пирита, черта — темная, зеленовато-серая. Слабо проводит электричество.

Диагностика: псевдоморфозы по органическим остаткам, шаровидные конкреции, желваки. В свежем состоянии — зеленоватый оттенок, не свойственный пириту. Большой удельный вес, царапает сталь, стекло.

Происхождение: экзогенное; выпадает из грунтовых, кислых вод. Встречается в угленосных песчано-глинистых отложениях в виде конкреций, псевдоморфоз по органическим остаткам, неправильной формы зерен среди глин, мергелей. Крупные скопления редки. В зоне выветривания легко разлагается с образованием сульфатов железа и свободной серной кислоты, а в условиях недостатка кислорода — также и самородной серы.

В конечной стадии при окислении марказита возникают гидроокислы железа (лимонит). Кроме того, происхождение может быть гидротермальным (известен среди рудных жильных месторождений).

Применение: при больших скоплениях служит для получения серной кислоты.

Месторождения: Блявинское, где марказит залегает вместе с пиритом. Известен в болотных почвах вместе с сидеритом и вивианитом.

Сульфиды меди. Халькопирит (медный колчедан) — CuFeS_2 . Формулу можно представить $\text{Cu}_2\text{SFe}_2\text{S}_3$ или $\text{Cu}_2\text{Fe}_2\text{S}_4$. Химический состав: Cu — 34,5%, Fe — 30,5%, S — 35,0%. Сингония ромбическая.

Физические свойства: твердость 3,5—4, легко царапается ножом, удельный вес 4,1—4,3. Спайность несовершенная, блеск сильно металлический, цвет латуно-желтый, золотистый с пестрой побежалостью. Черта черная, с зеленоватым оттенком. Встречается в сплошных массах, в виде скоплений кристаллов с треугольными очертаниями.

Диагностика: небольшая твердость — царапается ножом, сильный металлический блеск, черта черная.

Происхождение: гидротермальное — минерал рудных кварцевых жил, ассоциирует с пиритом, сфалеритом, галенитом. В зоне выветривания легко окисляется, образуя сульфаты меди и железа. Растворимый сульфат меди при взаимодействии с CO_2 или карбонатами в присутствии кислорода и воды образует малахит и азурит, а при взаимодействии с различными кислотами, образующимися в зоне выветривания, — разнообразные соли (сульфаты). В зоне окисления сохраняются различные сульфаты меди, легко растворимые в просачивающихся поверхностных водах.

Месторождения: Карпушинское, Левихинское на Урале, где залегает вместе с пиритом, Джезказганское (Казахстан).

Применение: главная руда на медь. Основной потребитель меди — электропромышленность (провода, кабель), машиностроение, судостроение; кроме того, она идет на изготовление различных сплавов (латунь, мельхиор, дюралюминий). Медный купорос применяют в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями, поражающими плодовые деревья, виноградники, овощные культуры (бордоская жидкость, «швейнфуртская зелень»).

Сульфиды цинка и свинца. Сфалерит (цинковая обманка) — ZnS . Название происходит от греческого слова «сфалерос» — обманчивый, потому что по внешнему виду минерал не похож на другие сульфиды металлов.

Химический состав: Zn — 67,1%, S — 32,9%. Сингония кубическая.

Физические свойства: твердость 3—4, удельный вес 4. Хрупкий, спайность весьма совершенная, четырехгранные, хорошо выраженные кристаллы в друзах имеют форму тетраэдров, образуют двойники. Цвет бурый или коричневый, с желтоватым оттенком; черта белая с бурым, коричневым и желтоватым оттенками; разности, богатые железом, дают коричневую черту. Блеск алмазный, полуметаллический; электричества не проводит.

Диагностика: сильный алмазный и полуметаллический блеск, весьма совершенная спайность, цвет черты на фарфоровой пластинке бурый, коричневый.

Происхождение: гидротермальное, образуется в рудных жилах вместе с галенитом и пиритом и на контактах. В зоне выветривания окисляется с образованием сульфата цинка, легко растворимого в воде, вследствие чего зоны окисления бывают сильно обеднены цинком.

Применение: главная руда на цинк.

Месторождения: Алтай, Дальний Восток, Кавказ.

Галенит (свинцовый блеск) — PbS . Латинское слово «галена» — свинцовая руда. Химический состав: Pb — 86,6%, S — 13,4%. Сингония кубическая.

Физические свойства: твердость 2—3, хрупок, удельный вес 7,4—7,6. Спайность весьма совершенная, по кубу, при ударе распадается на кубики, блеск сильно металлический. Встречается в виде зернистых масс или вкрапленных выделений в форме кубов, а также в друзовых пустотах. Цвет свинцово-серый, черта серовато-черная.

Диагностика: большой удельный вес, сильно металлический блеск, черта черная, кубическая форма кристаллов.

Происхождение: гидротермальное, образуется в жилах вместе с кварцем, цинковой обманкой, флюоритом. В зоне выветривания галенит легко окисляется, покрываясь характерной коркой англезита ($PbSO_4$), переходящего с поверхности в церуссит ($PbCO_3$) (белая свинцовая руда).

Применение: важнейшая руда на свинец и серебро.

Месторождения: Садонское (Кавказ), Салаир, Нерчинское (Алтай).

Сульфиды мышьяка и ртути. Аурипигмент — As_2S_3 . Химический состав: As — 61%, S — 39%. Название происходит от латинских слов «аурум» — золото и «пигментум» — краска (предполагалось, что минерал содержит золото). Сингония моноклиническая.

Физические свойства: твердость 1—2, удельный вес 3,4—3,5. Спайность весьма совершенная в одном направлении; в тонких листочках гибок, но не обладает упругостью. Цвет лимонно-желтый, черта желтая, яркая. Блеск в зависимости от направления меняется от алмазного до полуметаллического, иногда жирный. Залегает гребенчатыми агрегатами, а также образует

гроздевидные, почкообразные и шарообразные массы с радиально-лучистым строением.

Диагностика: яркий канареечно-желтый цвет, низкая твердость, весьма совершенная спайность, сильный алмазный и полуметаллический блеск.

Происхождение: гидротермальное. Изредка встречается на стенках кратеров как продукт возгона вулканов в последнюю стадию процесса при относительно низкой температуре.

Применение: все соединения мышьяка ядовиты, поэтому служат сырьем для получения трехокси мышьяка, используемого в борьбе с вредителями (грызунами) в сельском хозяйстве, а также в пиротехнике (бенгальские огни).

Месторождения: Лухумское (Кавказ), Джульфинское (Армянская ССР).

Реальный состав — AsS . Химический состав: As — 70,1%, S — 29,9%. Сингония моноклиная.

Физические свойства: твердость 1,5—2, удельный вес 3,4—3,6. Спайность совершенная, залегает вместе с аурипигментом в виде сплошных зернистых агрегатов, корок, налетов или сплошных земляных масс. Кристаллы призматические, со штриховатостью вертикальных граней. Цвет оранжево-красный, черта светло-оранжевая, блеск в изломе смоляной или жирный.

Диагностика: оранжево-красный цвет, низкая твердость, нахождение вместе с аурипигментом.

Происхождение: гидротермальное, образуется совместно с аурипигментом. На поверхности разрушается и желтеет.

Применение: служит для извлечения мышьяка; сернистый мышьяк используется в красильном деле, пиротехнике, стекольном производстве.

Месторождения: Лухумское (Кавказ), встречается сравнительно редко.

Антимонит (сурьмяный блеск) — Sb_2S_3 . Химический состав: Sb — 71,4%, S — 28,6%. Сингония ромбическая.

Физические свойства: твердость 2—2,5, хрупок, удельный вес 4,5—4,6. Спайность совершенная, цвет минерала и цвет черты свинцово-серые, непрозрачен, наблюдается побежалость. Блеск металлический, хорошо выражен на плоскостях спайности. Встречается в виде сплошных шестоватых призматических зернистых агрегатов, а также вкраплений в кварцевых жилах.

Диагностика: небольшая твердость — чертится ногтем, совершенная спайность в одном направлении.

Происхождение: образуется в конце гидротермального процесса при низкой температуре, встречается вместе с кварцем, кинноварью, флюоритом, баритом.

Применение: руда на сурьму; используется в резиновой промышленности (вулканизация резины), в стекольной, медицине;

сплав со свинцом и цинком служит для изготовления вкладышей подшипников.

К и н о в а р ь — HgS. Химический состав: Hg — 86,20%, S — 13,80%. В переводе с арабского означает «драконова кровь». Сингония тригональная.

Физические свойства: твердость 2—2,5, хрупка, удельный вес 8,0—8,20. Цвет красный со свинцово-серой побежалостью, черта красная. Блеск алмазный, полуметаллический. Спайность совершенная. Залегаёт в виде вкрапленных, неправильных по форме зерен, порошкообразных примазок, налетов, иногда сплошных масс. Хорошие агрегаты редки.

Диагностика: ярко-красный цвет, такой же цвет черты, большой удельный вес и низкая твердость.

Происхождение: исключительно гидротермальное. Образуется в конце процесса при низкой температуре (50—150°C), залегающая в трещинах и пустотах осадочных горных пород.

В отличие от других сульфидов в зоне окисления относительно устойчива, вследствие чего встречается в аллювиальных песках (россыпи).

Применение: единственная руда для получения ртути, служащей взрывчатым веществом для детонаторов, используется в физических приборах, ценная природная краска.

Месторождения: Никитовское (УССР). В природе соединения ртути встречаются редко.

Группа окислов и гидроокислов

Общее количество свободных окислов в литосфере составляет около 17%, из них на долю одного только кремнезема приходится 12,6%, окислы и гидроокислы железа составляют 3,9%, из остальных наибольшее значение имеют окислы и гидроокислы алюминия, марганца.

Минералы, входящие в эту группу, по химическому составу подразделяют на два класса: 1) безводные окислы (простые и сложные); 2) гидроокислы или окислы, содержащие гидроксил.

Выделяют следующие подклассы: льда, корунда (корунд, гематит, ильменит), шпинели (магнетит), рутила (касситерит, пиролюзит), уранинита, кварца (опал, халцедон). В классе гидроокислов рассматривают группы гидраргиллита, лимонита, псиломелана и т. д.

Особо следует отметить воду, без которой невозможна органическая жизнь на земле. Вода играет колоссальную роль во всех геологических процессах, происходящих в земной коре. Это важный породообразующий минерал и очень ценное полезное ископаемое.

Отличительные особенности этих минералов: твердость обычно высокая — 6—9 (низкая — для минералов с решеткой слоистого типа), удельный вес 2,3—8,2. Окраска разнообразная, цвет черты вишнево-красный, бурый, охристый, черный. Иногда они непрозрачные, с полуметаллическим или даже металлическим блеском.

Происхождение: очень разнообразное. Гидроокислы железа, марганца, алюминия (лимонит, боксит и др.) образуются в коре выветривания горных пород — в зонах окисления рудных месторождений и наблюдаются в виде скрытокристаллических и коллоидных масс. Корунд, гематит, магнетит, касситерит, уранинит, кварц эндогенного происхождения.

Окислы железа. Гематит (красный железняк) — Fe_2O_3 . Химический состав: Fe — 70,0%, O — 30,0%. По-гречески гематитос — кровавый, отсюда и русское название — «кروавик». Сингония тригональная.

Физические свойства: твердость 5,5—6, хрупок, спайность отсутствует, удельный вес 5,0—5,3. Встречается в виде сплошных плотных скорлуповатых зернистых и чешуйчатых масс, окрашенных в красный цвет, а иногда образует прекрасные кристаллы в форме ромбоэдра. Черта вишнево-красная. Блеск полуметаллический. Наблюдается синеватая побежалость.

Различают несколько разновидностей гематита:

1) собственно гематит — в виде отчетливых, часто пластинчатых кристаллов, скрытокристаллический; 2) железный блеск — тонкопластинчатые кристаллы с металлическим блеском и явно кристаллической структурой. По мере уменьшения пластинок выделяются: а) железная роза — ростки пластинчатых кристаллов; б) железная слюдка — листовая тонкочешуйчатый железный блеск; в) железная сметана — рыхлое скопление весьма мелких чешуек железной слюдки красного цвета и жирной на ощупь; 3) стеклянная красная головка — в виде паточной формы, внутри радиально-лучистого строения; 4) красный железняк — плотные или рыхлые землистые массы красного цвета.

Диагностика: вишнево-красная черта, высокая твердость, пластинчатые и чешуйчатые агрегаты, отсутствие магнитности.

Происхождение: образуется в окислительной среде в самых различных генетических типах месторождений. Крупнейшие месторождения железа метаморфические. Гематит образуется в условиях повышенной температуры и давления при дегидратации бурых железняков. В этой обстановке возникают сланцы с железной слюдкой и железистые кварциты, содержащие иногда огромные по размерам тела гематито-магнетитовых сплошных руд (руды Кривого Рога, Белгородской области). В зоне окисления химически стойкий минерал; наблюдаются лишь явления физического выветривания гематитовых масс с образованием «железной сметаны».

Применение: важнейшая железная руда, содержащая железо от 50 до 65%; служит исходным сырьем для производства чугуна, стали, железа.

Месторождения: Кривой Рог, Курская магнитная аномалия, Яковлевское месторождение (Белгородская область), где содержание железа более 60%.

Магнетит (магнитный железняк) — Fe_3O_4 . В химическом отношении представляет собой соединение закиси и окиси железа ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, или Fe_3O_4). Химический состав: FeO — 31%, Fe_2O_3 — 69%, Fe — 72,4%. Разновидности: титаномагнетит с содержанием Ti ; хромомангнетит с содержанием Cr_2O_3 . Сингония кубическая.

Физические свойства: твердость 5,5—6, хрупок, спайность отсутствует, удельный вес 4,9—5,2. Сильно магнитен. Образует плотные мелкокристаллические зернистые массы в основных магматических породах, в пустотах часто встречается друзами, кристаллы имеют форму восьмигранников (октаэдров). Цвет железно-черный с синевой побегалостью на кристаллах, черта черная, блеск полуметаллический, непрозрачен. В кислотах растворяется с трудом.

Диагностика: сильно магнитен, притягивает железо. Черта черная. Значительная твердость.

Происхождение: образуется в восстановительной среде, наиболее крупные месторождения метасоматического и метаморфического происхождения. В первом случае магнетит образуется на контактах известняков с гранитами и сиенитами, во втором — возникает так же, как и гематит, при дегидратации гидроокислов железа, образовавшихся в осадочных породах, но в восстановительной среде (при недостатке кислорода).

В зоне окисления сравнительно устойчивый минерал, при разрушении горных пород переходит в россыпи (аллювиальные пески).

Применение: важнейшее сырье для выплавки чугуна и стали, содержание железа около 60%.

Месторождения: горы Магнитная, Высокая, Благодать (контактово-метасоматический тип), Кривой Рог, Курская магнитная аномалия (регионально-метаморфический тип).

Крупные месторождения магнетитовых руд вблизи Кустаная (Качарское, Сарбайское).

Гидроокислы железа. Лимонит (бурый железняк) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Состав непостоянный, часто содержит различные примеси: Fe_2O_3 —89,9%, H_2O —11,1%, вода кристаллизационная, легко удаляется при нагревании. Название происходит от греческого слова «лимон» — луг (имеются в виду луговые и болотные руды гидроокислов железа). Плотные разновидности — кристаллические, землистые — аморфные.

Физические свойства: твердость переменная, от 1 до 5,5, большей частью 4—5,5, удельный вес 2,7—4,3. Цвет бурый, охряно-желтый, черта желто-бурая до красной. Землистые разновидности имеют матовый блеск, плотные — металловидный и шелковистый.

Лимонит — обычный продукт изменения железистых минералов на земной поверхности, где он является устойчивым соединением железа. Встречается в нескольких разновидностях: 1) бурая стеклянная голова — сферическая натечная форма с гладкой блестящей поверхностью темно-бурого или черного цвета; 2) оолитовый бурый железняк — минерал, образующий плотные сплошные массы темно-бурого или желто-бурого цвета, состоящие из скоплений мелких концентрически скорлуповатых шариков, лепешек (бобовые, озерные, луговые руды); 3) землистые, рыхлые и плотные разновидности охристо-желтого и черного цветов — бурый железняк.

Диагностика: независимо от цвета в агрегате дает на фарфоровой пластинке ржаво-бурую и буровато-желтую черту. Натечные образования радиально-лучистого строения, сталактиты, друзы, пористые рыхлые массы.

Происхождение: экзогенное, образуется исключительно в виде колломорфных и метаколлоидных масс благодаря гидролизу солей, возникающему при окислении и разложении железосодержащих минералов, сульфидов, карбонатов, силикатов, в которых железо присутствует в двухвалентной форме. В значительных массах бурые железняки образуются в зонах окисления сульфидных месторождений (так называемые железные шляпы), представленных рыхлыми комковатыми и плотными массами, состоящими из лимонита, гетита. Некоторые разновидности лимонита возникают в результате осаждения из озер, болот и других бассейнов вследствие коагуляции приносимых поверхностными водами коллоидных растворов в связи с жизнедеятельностью бактерий. Желтая охра встречается в торфяниках.

Применение: руда на железо.

Месторождения: Керченское (крупнооолитовые бурые железняки с содержанием Fe 34—42%, руды обогащены фосфором), Халиловское и Бакальское (Южный Урал).

Гидроокислы алюминия. Боксит. Условный химический состав: $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ с примесями Fe, Si, Ti. Название дано по деревне Бо в Провансе (Франция).

Боксит рассматривают как горную породу непостоянного состава. По минералогическому составу выделяют: боксит моногидратный — диаспоровый и бемитовый, боксит тригидратный — гидраргиллитовый и смешанный. Кроме того, в боксит входят гематит, гидроокислы железа, минералы группы каолинита, железистые хлориды, пирит, кальцит, сидерит.

Физические свойства: аморфный, землистый. Твердость различная, у наиболее плотных разновидностей достигает 6, удельный вес от 2,9 до 3,56. Цвет большей частью красный или серо-зеленый, реже коричневый, белый, черный. Блеск матовый. Сложение: часто образует каменные плотные массы; встречается в виде поздраватых, бобовых, оолитовых (состоящих из мелких шариков)

ков концентрически скорлуповатого строения) и других разновидностей.

Диагностика: землистые, глиноподобные и каменистые скопления кирпично-красного цвета, боксит с водой в отличие от глин не образует пластичной массы.

Происхождение: экзогенное. Различают остаточные и осадочные бокситы. Первые представляют собой элювиальные образования латеритного типа, вторые образовались в результате переноса продуктов выветривания и отложения их в виде коллоидно-химических и в некоторых случаях в виде механических осадков в различного рода водоемах. Различают прибрежно-морские и лагунные бокситы, а также континентальные, озерные и озерно-болотные, делювиальные.

Месторождения: Красная Шапочка (Северный Урал), Тихвин.

Наибольшее промышленное значение в СССР имеют прибрежно-морские (лагунные) бокситы, залегающие пластами на размытой неровной поверхности обычно светлоокрашенных известняков и покрывающиеся глинами. К этому типу относится месторождение Красная Шапочка.

Применение: руда на алюминий. Бокситы поступают на заводы, где для получения глинозема (оксида алюминия) подвергаются или выщелачиванию щелочными растворами, или предварительному спеканию с известняком и водой с последующим выщелачиванием. Чистый алюминий—легкий (удельный вес 2,7), серебристо-белый легкоплавкий металл, применяемый в различных сплавах с медью и магнием для производства электрокорунда, огнеупоров, цемента.

Простые окислы. Пирролюзит — MnO_2 . Химический состав: Mn — 63,2, O — 36,8%, в качестве механических примесей присутствуют Fe_2O_3 , SiO_2 , H_2O . Пиррос по-гречески — огонь, люзинос — уничтожающий (употребляется в стеклоделии для уничтожения зеленого оттенка в стекле). Сингония ромбическая.

Физические свойства: твердость у кристаллических агрегатов — 5—6, у рыхлых, пористых — 2 (чертится ногтем), удельный вес 4,7—5,0. Блеск полуметаллический, непрозрачен. Цвет черный с синеватой побежалостью, цвет черты тоже черный; часто наблюдается оолитовая стружка.

Диагностика: черные цвет и черта, полуметаллический блеск, небольшая твердость.

Происхождение: главные промышленные месторождения марганца имеют осадочное происхождение, образуясь в зоне выветривания из других марганцевых минералов; встречаются в прибрежных частях морских бассейнов. Пирролюзит — наиболее устойчивый окисел марганца в зоне окисления, в него переходят все марганцевые минералы, содержащие марганец в низших степенях окисления. Из-за своей хрупкости в аллювиальных песках (россыпях) встречается крайне редко. Пирролюзит часто

залегают совместно с другими марганецсодержащими минералами: псиломеланом и родонитом.

Месторождения: в СССР залежи марганца мирового значения находятся в Чиатури (Грузия), где пиролюзит слагает оолитовые стяжения и скрытокристаллические мягкие агрегаты, образуя псевдоморфозы по оолитам манганита. В Никополе (Украина) пиролюзит образует крупные шаровидные конкреции с концентрически-зональным строением. В Западной Сибири известны месторождения Усинское и Мазульское.

Применение: важнейшая руда для получения ферромарганца — сплава железа с марганцем, применяемого в сталелитейной промышленности. Соединения марганца применяют в качестве микроудобрений в сельском хозяйстве. Соли марганца, введенные в почву, повышают урожай некоторых культур и благоприятно действуют на рост древесных насаждений.

Касситерит (оловянный камень) — SnO_2 . Химический состав: Sn—78,8%, O—12,2%. Сингония тетрагональная.

Физические свойства: твердость 6—7, удельный вес 6,8—7. Хрупок, окрашен в бурый, черный, коричневый, желтый цвета, цвет черты от светло-серой до коричневой, на гранях алмазный блеск, в изломе — жирный.

Диагностика: высокий удельный вес, большая твердость, характерный слегка жирный или смоляной блеск в изломе. Цвет бурый.

Происхождение: пегматитовое и пневматолитовое. Промышленные залежи касситерита встречаются в кварцевых жилах, среди гранитных пород. На поверхности земли эти жилы разрушаются, и весьма устойчивый касситерит переносится текучими водами вместе с песком. Таким образом, в отменях рек, озер и морей образуются россыпные месторождения олова.

Месторождения: Завитинское, Ононское (Восточная Сибирь), Такфонское (Средняя Азия).

Применение: важный для промышленности минерал. Извлекаемое из касситерита олово идет в различные отрасли народного хозяйства.

Корунд — Al_2O_3 . Химический состав: Al—53,2%, O—46,8%. Сингония тригональная.

Физические свойства: твердость 9, удельный вес 3,95—4,10. Спайность отсутствует, блеск стеклянный.

Кристаллы бочонковидные, столбчатые, пирамидальные, со штриховкой на гранях. Мелкозернистая разновидность корунда называется наждаком. В кислотах не растворяется. При процессах выветривания очень устойчив.

Диагностика: высокая твердость, бочонковидная форма кристаллов со штриховкой на гранях, синевато-серая окраска.

Происхождение: магматическое, образуется в кристаллических известняках по соседству с изверженными породами контактово-метасоматическим путем.

Применение: корунд благодаря своей твердости применяется как абразивный материал.

Рубин и сапфир — драгоценные камни, некоторые разновидности которых ценятся выше бриллиантов. Рубин изготавливается искусственно — плавлением Al_2O_3 при очень высокой температуре — выше $2040^\circ C$. Звезды башен Кремля сделаны из рубина.

Месторождение: Семиз-Бугу (Казахстан).

Группа самородных элементов

К этой группе относятся химические элементы, находящиеся в природе в свободном состоянии.

Металлы — золото, серебро, платина — встречаются в сильно рассеянном состоянии. Они обладают большим удельным весом, металлическим блеском, ковки, непрозрачны. Металлоиды (сера, графит, алмаз и др.) имеют неметаллический блеск и матовую черту, происхождение их может быть магматическое, метаморфическое и осадочное.

Сера — S. Физические свойства: твердость 1—2, хрупка, удельный вес 2,0, цвет светло-желтый, легкоплавкая, при температуре $112,8^\circ C$ плавится, горит, издавая удушливый запах сернистого газа. Залегает на поверхности земли, образуя землистые порошкообразные массы, плотные корочки, желваки, налеты, друзы, включения, псевдоморфозы по органическим остаткам.

Диагностика: желтый цвет, жирный блеск, небольшая твердость, очень хрупка, легкоплавка.

Применяется в сельском хозяйстве — для борьбы с вредителями, отчасти как микроудобрение.

Месторождения: Гаурдак, Шор-Су (Средняя Азия), Поволжье.

Графит — C. Физические свойства: твердость 1, удельный вес 2,2, цвет железно-черный, черта черная, блеск мягкий, металлоидный, жирный. Спайность совершенная, в одном направлении.

Диагностика: черный цвет, низкая твердость (пишет на бумаге, пачкает руки), на ощупь жирный.

Происхождение: магматическое и метаморфическое.

Алмаз — C. Физические свойства: твердость 10, удельный вес 3,5. Большое различие между графитом и алмазом обусловлено различными модификациями самородного углерода — неодинаковой укладкой атомов углерода в кристаллической решетке.

Диагностика: исключительная твердость — 10, сильный алмазный блеск.

Происхождение: магматическое, образуется при высоких температуре и давлении, в ультраосновных породах.

В СССР крупные месторождения открыты в Якутской ССР, в бассейне р. Вилюй.

Глава седьмая

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГОРНЫХ ПОРОДАХ (ПЕТРОГРАФИЯ)

Горными породами называются сочетания минералов, образующих более или менее самостоятельные тела. Эти скопления минеральных агрегатов изучает раздел геологии, называемый петрографией.

Задача петрографии — изучение состава пород, выяснение строения и сложения их составных частей, изучение условий залегания, распределения и происхождения.

Классификация горных пород. По условиям образования все горные породы подразделяются на три большие группы: магматические, осадочные и метаморфические.

Магматическими породами называются кристаллические породы, образовавшиеся при застывании сложного силикатного расплава (магмы) в недрах Земли или на ее поверхности.

Осадочными считают породы, возникшие в условиях поверхностных температуры и давления из продуктов разрушения любых пород, выпавших в осадок без участия или при посредстве организмов.

Метаморфические — это магматические и осадочные породы, видоизмененные (перекристаллизовавшиеся) под влиянием высокой температуры и большого давления.

Породы изучаются в геологии с различных точек зрения: как месторождения полезных ископаемых — руд, угля, нефти, солей, в гидрогеологии — как резервуары и коллекторы для подземных вод, в инженерной геологии, грунтоведении — как основания и среда для строительства различных сооружений. В этом случае породы называют грунтами.

Знание структуры и текстуры, физико-химических свойств и условий залегания горных пород предопределяет ряд их важных агрономических и инженерных особенностей — таких, как устойчивость при процессах выветривания, поведение при растворении, прочность при гидромелиоративном и гидротехническом строительстве и т. д.

Магматические горные породы

Магматические горные породы классифицируются по химическому составу (содержанию SiO_2) и условиям залегания (см. табл. 10).

Схематическая классификация магматических горных руд

| Состав горной породы | | Физические свойства | | | | Условия образования | | | | Вулкано-клатические |
|----------------------------|--|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------|------------------------------|---|--------------|---------------------|
| | | преобла-дающие цвета | плотность, удельный вес, g/cm^3 | глубинные | | назвшиеся | | Вулкани-ческий пепел, вулкани-ческие туфы, лемза, брекчин, стекла | | |
| химический SiO_2 , % | минералогический (главные минералы) | | | абиссаль-ные | гипоабис-сальные подуглу-бинные | жильные | палеотипные | | кайнотип-ные | |
| Ультра-кислые, $> 75\%$ | Кварц, ортоклаз или альбит, биотит | Светлые | 2,6—2,7 | | Пегма-тит | Пегма-тит | | | | |
| Кислые, 65—75% | Ортоклаз или альбит, кварц, слюда, рого-вая обманка | Светлые, розовые, пестрые | 2,6—2,7 | Гранит | Гранит-порфи-рит | | Кварцевый порфир | Липарит | | |
| Средние, 55—65% | Иногда кварц, оли-гоклаз, роговая обманка, авгит | Пестрые и темно-серые | 2,7—2,8 | Диорит, кварцевый диорит | | | Порфирит, кварцевый порфирит | Андезит | | |
| Средние (щелочные), 55—65% | Ортоклаз или не-фелин, слюда, ро-говая обманка | Пестрые и темно-серые | 2,7—2,8 | Сyenит, не-фелиновый | Сyenит-порфи-рит | | | Трахит | | |
| Основные, 45—55% | Кварца нет. Лабра-дор, авгит, роговая обманка, оливин (иногда) | Черные | 2,9—3,0 | Габбро | Габбро-порфи-рит | | Диабаз | Базальт | | |
| Ультра-основные, $< 45\%$ | Авгит, оливин, роговая обманка | Черные или темно-зеленые | 3,1—3,3 | Пироксенит, перидотит, дунит | | | | | | |

По химическому составу выделяют: ультракислые ($\text{SiO}_2 > 75\%$), кислые ($65-75\% \text{SiO}_2$), средние ($65-55\% \text{SiO}_2$), основные ($55-45\% \text{SiO}_2$), ультраосновные ($\text{SiO}_2 < 45\%$) породы.

По условиям залегания выделяют: глубинные (интрузивные) и излившиеся (эффузивные), вулканокластические и жильные.

Глубинные (интрузивные) породы образуются вследствие затвердевания магматического расплава в недрах земной коры. На глубине происходит медленная последовательная кристаллизация вещества, возникают ясно- и полнокристаллические структуры.

Порядок кристаллизации зависит от удельного веса минералов, температуры их плавления и химической среды расплава (кислая или основная магма, см. магматическое минералообразование, стр. 54—58).

Интрузивные породы подразделяются на две группы: абиссальные, образовавшиеся на больших глубинах (граниты, сиениты), и гипоабиссальные (полуглубинные) — гранит-порфиры, габбро-порфиры.

Жильные породы образуются при затвердевании магмы или застывании горячих водных растворов в трещинах ранее образовавшихся горных пород. Кристаллизация происходит без дифференциации. В результате возникают полнокристаллические породы, например пегматиты.

Излившиеся (эффузивные) породы образуются в результате затвердевания лавы (магмы), вылившейся на поверхность земли. Затвердевание лавы и газообразных веществ в условиях низкого давления и небольшой температуры происходит быстро. В этих условиях совершается дифференциация, часть расплава застывает в виде аморфной массы и обычно возникают неполнокристаллические породы (порфиновые структуры) — липариты, базальты.

Вулканокластические породы образуются при извержении вулканов, материал извержений накапливается на поверхности Земли или в морских бассейнах. Расплав остывает очень быстро, выделяется много газов — образуются вулканические стекла, туфы, брекчи, пемзы разнообразного состава и строения. Структура их обычно обломочная, зернисто-угловатая, «лепловая»; текстура пористая, пеннистая, туфовая, пузырчатая.

Среди пород различают: полиминеральные (многоминеральные) породы, например гранит, состоящий из трех основных минералов — полевых шпатов, кварца и слюды, и мономинеральные (одноминеральные) породы, например лабрадорит, состоящий из лабрадора, и дунит, включающий в основном оливин. Большинство пород состоит из нескольких главных минералов.

Внешним показателем кислотности пород является их окраска, обусловленная присутствием определенных темноцветных

минералов (оливина, авгита, роговой обманки, биотита), и плотность (удельный вес).

Ультракислые породы почти не содержат темных минералов и окраска их светлая, они более легкие (плотность 2,6—2,7). В составе кислых пород содержание темноцветных минералов достигает 10—25% (окраска их пестрая, с преобладанием светло-серой). В средних породах содержание темноцветных минералов возрастает до 35% — окраска их пестрая, с преобладанием темной. В составе основных пород содержание темноцветных минералов достигает 50% — окраска их темная, обычно черная, они более тяжелые, удельный вес около 3. Ультраосновные породы содержат только темноцветные минералы, окраска их отражает преобладающий минералогический состав: темно-зеленая свойственна роговой обманке, черная — авгиту, желтовато-зеленая — оливину (табл. 11).

ТАБЛИЦА 11

Минералогический состав некоторых важнейших интрузивных пород
(по В. И. Лучицкому)

| Породы | Минералы | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------|-------|-----------------|--------|-------------|-------|--------|------------------------|-------|---------|
| | оливин | авгит | роговая обманка | биотит | плагиоклазы | | альбит | каменные полевые шпаты | кварц | нефелин |
| | | | | | Ca—Na | Na—Ca | | | | |
| Пегматит | — | — | — | ± | ± | ± | ± | + | + | — |
| Гранит | — | + | + | + | — | ± | ± | + | + | — |
| Нефелиновый сиенит | — | ± | ± | ± | — | ± | ± | + | — | + |
| Диорит | ± | ± | ± | — | ± | ± | — | — | — | — |
| Габбро | ± | + | ± | — | — | — | — | — | — | — |
| Пироксенит | ± | + | ± | — | — | — | — | — | — | — |

Примечание: + означает, что минерал присутствует; — указывает, что минерал отсутствует; ± показывает, что минерал обычно присутствует, но может и отсутствовать; ± означает, что минерал обычно отсутствует, но может и присутствовать.

Условия залегания. Залегание глубинных и излившихся горных пород различно. Глубинные породы образуют массивные тела: батолиты, штоки, лакколлиты (рис. 29). Батолитами называются крупные внедрения магмы, достигающие сотен километров в длину и десятков километров в ширину. Основания их погружаются в недра земли. Ответвления батолитов, сравнительно небольших размеров и неправильной формы, получили названия штоков. Лакколитами называют магматические тела, имеющие форму каравая или гриба.

Жилы образуются при заполнении магматической трещины, принимая ее форму. Жилы, секущие пласты вертикально или

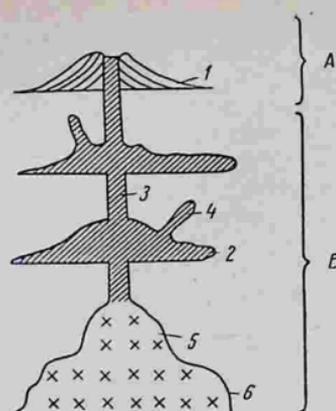


Рис. 29. Формы залегания глубинных и излившихся пород. А — эффузивные породы (базальты, липариты), Б — интрузивные породы (граниты, габбро):

1 — вулканический конус (лавы, туфы, обломки), 2 — лакколит, 3 — жилы, 4 — дайки, 5 — шток, 6 — батолит кристаллической породы

близко к вертикальному положению, называют дайками; мелкие ответвления жил образуют апофизы (рис. 29).

Излившиеся породы образуют на поверхности потоки, покровы, купола (рис. 29). Потоками называют заполненные затвердевшей лавой, вытянутые в длину отрицательные формы рельефа. Покровы образуются при больших излияниях жидких базальтовых лав и занимают огромные площади, измеряемые десятками тысяч квадратных километров (Средне-Сибирское нагорье в Восточной Сибири).

Купола возникают при излияниях вязких гранитных магм, которые не растекаются в стороны, а образуют формы, приуроченные к месту излияния.

Структура и текстура пород. Под структурой породы понимают строение пород, обусловленное формой

и величиной слагающих породу минералов (степенью кристаллизации) и способом их срастания. Структура пород отражает условия их образования. Различают следующие структуры.

1. Зернистые (полнокристаллические), типичные для глубоких пород.

2. Стекловатые с аморфной, некристаллической массой (например, вулканическое стекло — стеклянный блеск, раковистый излом).

3. Порфиоровые структуры — в стекловатой массе разбросаны отдельные крупные кристаллы, так называемые порфиоровые вкрапления.

Полнокристаллическая структура бывает равномерно зернистой и порфиоровидной.

Равномернозернистой называется структура, при которой кристаллы, входящие в состав породы, имеют примерно одинаковые размеры. Она может быть крупнозернистой (размеры зерен кварца, полевого шпата или роговой обманки от 10 до 30 мм), среднезернистой (размеры зерен 1—3 мм), мелкозернистой (размеры зерен менее 1 мм).

Порфиоровидной называют такую полнокристаллическую структуру, при которой порода состоит из двух разновидностей

кристаллов, резко отличных размеров: основная масса кристаллов имеет незначительные размеры, среди них различаются хорошо образованные крупные кристаллы. Подобные структуры возникают, когда кристаллизация совершается в два этапа: сначала на большой глубине образуются более крупные кристаллы, затем на меньшей глубине кристаллизуется уже остальная магматическая масса.

Полнокристаллической структурой характеризуются обычно глубинные породы, причем абиссальные чаще всего имеют равномерно зернистую структуру, гипоабиссальные — порфировидную.

Излившиеся породы отличаются порфировой и стекловатой структурой.

Текстура (сложение породы) — характер расположения составных частей породы в пространстве. Различают однородные и неоднородные текстуры. Среди первых выделяют массивные (сплошные) текстуры, сложенные однородными минералами, расположенными без какой-либо ориентировки. Среди вторых различают: сланцеватые текстуры, когда порода рассланцована на тонкие пластинки; миндалевидные, когда полости овальной формы заполнены веществом иного состава или характера, чем остальная порода; флюидалные (текучие) текстуры, присущие породам, кристаллы которых расположены так, как будто бы они захвачены течением, и, наконец, шлаковые текстуры, возникающие в процессе выделения газов из остывающей лавы, что приводит к образованию в породе различных пустот (пор, ноздреватости) и типично для многих излившихся пород.

Наибольшей прочностью отличаются мелкокристаллические и равномерные структуры и массивные (сплошные) текстуры, менее прочны порфировые и особенно стекловатые структуры.

Трещиноватость и отдельность. В результате неравномерного охлаждения массивов магматических пород они часто пронизываются системой трещин, называемых трещинами отдельности, весьма важными для гидрогеологических свойств пород.

Различают несколько видов отдельностей:

1. Пластовые, или плитняковые, отдельности. Порода разбита на отдельные пласты и плиты, иногда овальной формы (матрацевидная отдельность гранита, рис. 30).

2. Столбчатая отдельность — массив разбивается сетью вертикальных трещин на столбообразные отдельности различных форм (столбчатая отдельность базальтов).

3. Шаровая отдельность возникает при подводных излияниях лавы и характерна для диабазов.

ОПИСАНИЕ ПОРОД

Ультракислые породы ($\text{SiO}_2 > 75\%$)

Пегматит — структура пегматитовая — крупные кристаллы кварца и ортоклаза прорастают один в другой. Окраска светлая, залегание жильное. При химическом выветривании образует каолиновые глины.

Кислые породы (SiO_2 65—75%)

Эта группа пород самая многочисленная: ее представителями являются гранит, кварцевый порфир, липарит, а также вулканокластические разновидности: стекла, туфы, пемзы и т. д. (см. табл. 10).

Глубинные породы. Граниты — породы светлые, от светло-серого до мясо-красного цвета, основная окраска обусловлена цветом полевого шпата, содержание которого в породе достигает 40—60%. В составе гранита также кварц и цветные минералы (слюды, реже роговая обманка, авгит). В зависимости от содержания цветного минерала граниты подразделяются на биотитовые, роговообманковые и т. д. Структура зернистая, полнокристаллическая, реже порфировая, текстура — массивная, однородная. Залегание массивными телами: батолитами, штоками, дайками. При химическом выветривании образуют глинистые породы. При разрушении образуют матрацевидную отдельность (рис. 30). Отличный строительный камень.

Излившиеся породы. Кварцевый порфир — окраска светлая, серая, красноватая. Структура порфировая, основная масса породы стекловатая. Текстура плотная. Минералы кварц, полевой шпат различимы только в порфировых кристаллах. После излияния порода подвергалась изменениям.



Рис. 30. Матрацевидная отдельность гранита

Ли пар и т — окраска светлая, структура порфировая, текстура пористая. Порфиновые вкрапленники — полевой шпат, кварц, слюда — хорошо различимы.

Об с и д и а н — вулканическое стекло. Окраска от светлой до черной, стекловидная структура, плотная, иногда пенистая структура. Излом раковистый, блеск стеклянный.

Т у ф ф и т ы — окраска светлая, сильно пористая структура, неслоистая неоднородная порода, состоящая из продуктов вулканических извержений. Примеси осадочного материала (от 10 до 50%), органических остатков, глинистых и карбонатных веществ.

П е м з а — легкая, чрезвычайно пористая порода светлого цвета. Структура ячеистая или пенистая, блеск матовый или шелковистый.

Средние породы (SiO_2 55—65%)

В эту группу входят: диорит, кварцевый диорит, порфирит, андезит, из щелочных пород (богатых щелочными полевыми шпатами) — сиенит, трахит.

Глубинные породы. **Ди о р и т** — окраска от светло- до темно-серой.

Состав: средний плагиоклаз, роговая обманка, иногда авгит, слюда, редко кварц. Структура полнокристаллическая, зернистая; текстура массивная. Залегаet лакколитами, жилами.

Излившиеся породы. **П о р ф и р и т** — цвет серый, зеленый. Структура порфировая. Характерна плитчатая отдельность. От андезитов отличается значительной выветрелостью.

А н д е з и т — цвет серый, буроватый. Структура порфировая, часто заметны поры. Тонкие зерна и вкрапленники представлены олигоклазом, реже роговой обманкой, авгитом, биотитом. Образует широко распространенные лавовые потоки, покровы в Восточной Сибири, на Кавказе, в Южной Америке.

Щелочные породы. **С и е н и т** — цвет серый, розоватый, красный от нефелина. Состав: ортоклаз, роговая обманка, реже авгит и биотит; кварц отсутствует. Структура полнокристаллическая, равномерно зернистая. Текстура массивная, однородная.

Нефелиновые сиениты — породы с повышенным содержанием щелочей — полевых шпатов (кальциевых и натриевых) и нефелина. Окраска светлая. Залегание в форме массивов и лакколитов. Практическое значение их велико, так как с ними связаны месторождения апатитов (Кольский полуостров).

Т р а х и т — кайнотипный излившийся аналог, имеющий тот же состав, что и нефелиновый сиенит. Окраска светло-серая, красноватая. Структура скрытокристаллическая, порфировая, текстура мелкопористая, шероховатая на ощупь.

Основные породы (SiO_2 45—55%)

Глубинные породы. Габбро — цвет темный, от серого до черного. Кварц отсутствует, в составе основные плагиоклазы (чаще лабрадор), авгит, роговая обманка, иногда оливин. Структура полнокристаллическая, текстура массивная, плотная, плохо поддающаяся обработке. Различают: габбро лабрадоритовые — черные блестящие кристаллы с синим отливом; авгитовые — черные бочонкообразные таблитчатые кристаллы с матовым блеском; роговообманковые — черные удлиненные кристаллы с сильным стеклянным блеском. Габбро — строительный материал для различных гидротехнических сооружений.

Лабрадориты — разновидность габбро, состоящая почти целиком из плагиоклаза — лабрадора. Цвет темно-зеленовато-синий с красивым переливом. Структура крупнозернистая, текстура массивная. Хороший декоративный камень. Мавзолей В. И. Ленина облицован лабрадоритом.

Добывается в Киевской и Житомирской областях.

Излившиеся породы. Базальт — цвет темный, почти черный. Структура скрытокристаллическая, иногда порфиристая, вкрапленниками являются оливин, авгит, основная масса — плагиоклазы — обычно стекловатая. Текстура плотная, иногда пористая. Прочен, стоек к выветриванию. Широко распространен, залегает в форме потоков, покровов. Характерна столбчатая отдельность в виде шестигранных столбов. Дорожный и строительный материал.

Диабаз по составу аналогичен габбро. Является древним излиянием. В диабазе все минералы в той или иной степени изменены выветриванием, много вторичных образований — хлорит, серпентин. Окраска от темно-зеленой до черной. Структура тонкозернистая, текстура плотная.

Ультраосновные породы ($\text{SiO}_2 < 45\%$)

Особенность этих глубинных пород — черный или темно-зеленый цвет, большой удельный вес, в составе нет кварца, полевых шпатов. Структура полнокристаллическая, текстура массивная. Формы залегания — лакколиты, штоки, дайки, жилы. В пределах поверхности неустойчивы, легко разлагаются, переходя в серпентины, тальк.

Пироксенит сложен оливином и авгитом с включением рудных минералов. **Перидотит** — в составе оливин, авгит, роговая обманка, иногда магнетит. **Дунит** — в составе преобладает оливин.

С ультраосновными породами связаны месторождения алмазов, платины, хрома, меди.

Осадочные горные породы

Своеобразными особенностями осадочных пород являются: 1) зависимость состава и свойств пород от климата, 2) содержание остатков растительных и животных организмов, 3) слоистость (см. рис. 31), 4) рыхлость, сыпучесть, а в связи с этим большая подвижность нецементированных пород.

Классификация осадочных горных пород сложна, так как они состоят из трех составных частей: обломков минералов и горных пород самого различного происхождения, включая вулканический пепел и космический материал; минеральных новообразований, возникших в коре выветривания; остатков организмов и органических соединений.

В этих породах могут быть выделены: а) обломки различных пород — магматических, осадочных и метаморфических, б) первичные минералы, сохранившиеся после разрушения и выветривания исходной породы, в) минералы вторичного происхождения, возникшие в результате химического разложения первичных минералов, г) минералы, образовавшиеся при формировании самой осадочной породы. В соответствии с этим при изучении осадочных пород обращают внимание на химический состав обломков, отдельных зерен, входящих в породы, и на химический состав основной массы (цемента) породы. Сами осадочные породы могут быть рыхлыми, сыпучими и сильно уплотненными, сцементированными.

Зерна и цемент неодинакового состава, что обуславливает различие инженерно-геологических свойств пород. Минералы



Рис. 31. Слоистость осадочных пород

осадочных пород могут быть в кристаллическом, аморфном, коллоидном состоянии. По составу породы различают полиминеральные (например, пески) и мономинеральные (известняки, мел). Минералогический состав осадочных пород приведен в табл. 12.

ТАБЛИЦА 12

Средний минералогический состав магматических
и осадочных пород
(по М. С. Швецову)

| Название минералов | Средняя магматическая порода, % | Средняя осадочная порода, % |
|--|---------------------------------|-----------------------------|
| Авгит | 12,90 | — |
| Анортит | 9,80 | — |
| Биотит | 3,86 | — |
| Оливин | 2,65 | — |
| Роговая обманка | 1,60 | — |
| Альбит | 25,60 | 4,55 |
| Ортоклаз | 14,85 | 11,02 |
| Кварц | 20,40 | 34,80 |
| Мусковит, серицит и гидрослюда | 3,85 | 15,11 |
| Другие глинистые минералы | — | 14,51 |
| Доломит, частью сидерит | — | 9,07 |
| Кальцит | — | 4,25 |
| Железистые осадочные минералы | — | 4,00 |
| Гипс и ангидрит | — | 0,97 |
| Органическое вещество | — | 0,73 |
| Фосфатные минералы | — | 0,35 |
| Прочие | 4,60 | 0,09 |
| Итого | 100,11 | 99,45 |

Из таблицы видно, что наравне с первичными минералами исходных пород (полевые шпаты, кварц, слюда, роговая обманка и др.) в породах большую роль играют минеральные новообразования (глинистые минералы — каолинит, монтмориллонит) и ряд других минералов осадочного происхождения: карбонаты — кальцит, доломит, сульфаты — гипс, ангидрит, отсутствующие в магматических породах.

Таким образом, минералогический состав магматических и осадочных пород совершенно различен. Зависимость от климата выражается в том, что в условиях ледниковых и материковых пустынь обычно откладывается материал обломочного характера (пески и песчаники), в замкнутых бассейнах жаркого климата накапливаются толщи солей, в условиях теплого моря

образуются коралловые известняки, фосфориты и т. д. Окраска разнообразна и часто также зависит от климата. Породы, образовавшиеся в условиях холодного сырого климата, окрашены в светло-серые, темно-серые, черные тона и характерны для отложений болот и озер; красноватые породы характерны для субтропиков и тропиков.

Весьма часто породы содержат ископаемые остатки растений и различных животных организмов (части скелетов, раковин) в виде окаменелостей или отпечатков, характеризующих относительный геологический возраст отложений. На изучении ископаемых окаменелостей основывается подразделение органической жизни нашей планеты на геологические периоды и эры (см. главу двадцать первую).

Процессы разрушения пород, их перенос и накопление происходят в различных условиях, в связи с чем осадочные породы можно подразделить на морские и континентальные. Общепринятой генетической классификации осадочных пород до сих пор не выработано, так как оказалось, что одни и те же разновидности в природе образуются различными путями — механическим, химическим, биогенным, биохимическим, смешанным. Обычно систематизация осадочных пород основывается главным образом на делении по размерам, величине частиц, а также по форме обломков, рыхлости и цементированности. В связи с этим выделяют (см. табл. 13):

1. Механические породы — обломочные.
2. Глинистые породы.
3. Биогенные и хемогенные породы, а также породы биохимического происхождения.

Условность этого подразделения заключается в том, что часто в природе механические, хемогенные и биогенные процессы переплетаются, вследствие чего в образовании некоторых пород, например глин, кристаллических известняков, эти процессы протекают одновременно, накладываясь друг на друга.

В основу подразделения обломочных пород кладется величина обломков и частиц, их форма (окатанные и угловатые), а также степень цементации (рыхлые, связные, уплотненные, цементированные).

В соответствии с этим породы подразделяются на: грубообломочные — псефиты, величина обломков от 100 до 2 мм; песчаные — псаммиты, величина зерен от 2 до 0,05 мм; пылеватые — алевроиты, величина частиц от 0,05 до 0,005 мм; глинистые — пелиты, величина частиц от 0,005 мм.

Пелиты состоят из тонкодисперсного коллоидного вещества, обладают целым рядом специфических инженерных свойств, широко распространены в природе. В настоящем курсе, следуя классификации осадочных пород М. С. Швецова, пелиты выделяются в особую группу пород (см. табл. 13).

Схематическая классификация осадочных горных пород

| | | Условия образования | | | | | | | Преобладающий минералогический состав |
|---|------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|---------------|---------------|---|---------------------------------------|
| | | механические (обломочные) | | глинистые | | биохимические | | | |
| рыхлые | связные | селектированные | связные | сильно уплотненные | химические | органические | биохимические | | |
| Глибы, валуны, щебень, галечник, дресва, гравий | Валунистый суглинок (морена) | Брекчия, конгломерат, гравелит | | | | | | Обломки разнообразных горных пород и наиболее устойчивых минералов | |
| Песок | | Песчаник | | | | | | Кварц, полевой шпат, слюды, глаукоцит и др. | |
| | Супесь, суглинок, лесс, ил | Алеврит | Покровный суглинок | | | | | Каолинит, монтмориллонит, гидрослюда, кварц, иногда кальцит, лимонит, органические соединения | |
| | Глина | | Глина | Аргиллит | Глина | | Глина | Галит, сильвин и др. | |
| | | | | | Каменная и калийная соль | | | Гипс | |

| Условия образования | | | | | | | | | | Преобладающий минералогический состав |
|---------------------------|---------|-----------------------|-----------|------------------|----------------------------|--------------------------------------|--------------|------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| механические (обломочные) | | | глинистые | | | биохимические | | | биохимические | |
| рыхлые | связные | сцементированные | связные | сильно угловатые | химические | органические | органические | органические | | |
| | | | | | Ангидрит | | | | | Ангидрит |
| | | Известняки обломочные | | | Известняки кристаллические | Известняки-ракушечники, доломит, мел | | | Ил | Кальцит, доломит |
| | | | | | Фосфорит | Фосфорит | | | Бурый железняк, фосфорит | Лимонит, фосфорит |
| | | | | | | Мергель | | | | Каолинит, кальцит |
| | | | | | | | | Трещел, диатомит | | Опал |
| | | | | | | | | Опока | | Каолинит, опал |
| | | | | | | | | Торф, уголь | | |



Рис. 32. Конгломерат

Механические, или обломочные породы

Псефиты. Грубообломочные породы (псефиты) состоят из рыхлых или цементированных обломков горных пород и минералов размером более 2 мм в поперечнике. Цементированные скопления угловатых обломков называют брекчией, а окатанных — конгломератом (рис. 32). Подразделение других пород дано в табл. 14.

ТАБЛИЦА 14

Подразделение обломочных и глинистых пород

| Наименование пород | Размеры зерен, мм | Наименование окатанных форм | Наименование остроугольных форм |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Псефиты грубообломочные | 100 100—40 40—2 | Валуны Галька Гравий | Камень, глыбы Щебень Дресва |
| Псаммиты (песчаные) | 2—0,05 | Песчаные частицы | |
| Алевриты (пылеватые) | 0,05—0,005 | Пылеватые частицы | |
| Пелиты (глинистые) | <0,005 | Глинистые частицы | |

По составу цемента брекчии и конгломераты могут быть кремнистыми (цемент из SiO_2 или $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), известковыми

(цемент из CaCO_3), железистыми (цемент из $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и т. д. Состав обломков также может быть совершенно различен. Породы имеют четко выраженное обломочное строение.

Песчаные породы (псаммиты) состоят из обломков минералов или горных пород размером от 2 до 0,05 мм и подразделяются на рыхлые — пески и сцементированные — песчаники.

Классификации песков основаны на подразделении по размерам зерен, минералогическому составу, происхождению.

По размерам зерен различают пески: грубозернистые — 2—1 мм, крупнозернистые — от 1 до 0,5 мм; среднезернистые — 0,5—0,25 мм, мелкозернистые — 0,25—0,05 мм, однородные — размер зерен более или менее постоянен, разнозернистые — размер зерен разный.

По составу различают кварцевые, слюдяные, глауконитовые, железистые пески, состоящие из зерен этих минералов, и полимиктовые, содержащие, кроме зерен кварца, включения других минералов, а иногда и обломки горных пород. Цвета песков разнообразные: глауконитовых — зеленые, железистых — желтые, глинистых — серые.

По происхождению пески бывают морскими и континентальными, последние подразделяются на аллювиальные, ледниковые, делювиальные, эоловые (ветровые) и т. д. Пески часто являются почвообразующими породами и содержат обильные грунтовые воды.

Песчаники. В них различают состав зерен, обломков и состав связующего вещества — цемента. Цвет их различный. В зависимости от цементирующего вещества различают песчаники: карбонатные (вскипают с HCl), кремнистые — очень твердые (не царапаются ногтем), глинистые (если подышать на породу, издадут землистый запах), железистые — окраска охристая, ржаво-бурая и т. д.

В зависимости от содержания глинистых частиц (фракций менее 0,005 мм) выделяется группа песчано-глинистых пород — супесь, суглинок, моренный суглинок, описываемые среди глин.

Пылеватые породы (алевериты). Порода состоит из мельчайших пылеватых пластинок (0,05—0,005 мм) кварца, полевого шпата, слюды, кальцита.

Характерный представитель — широко распространенная порода лёсс. Это неслоистая порода светло-палевого цвета, пылевато-глинистой структуры, строение землистое, бурно вскипает с HCl , рыхлая, легко режется ножом и хорошо растирается пальцами в пылеватую однородную массу, мелкопористая. С водой дает малопластичную массу.

Минералогический состав: кварц, полевой шпат, слюды,

кальцит, гипс. Происхождение континентальное: ветровое, аллювиальное, водно-ледниковое.

Лёссовидные суглинки по внешнему виду сходны с лёссом, но более плотные, глинистые по составу. Текстура часто слоистая.

Лёсс и лёссовидные суглинки — очень важные почвообразующие породы, при увлажнении дают просадки.

Алевролитами называют пылеватоглинистые породы с плотной текстурой. Строение плитчатое, иногда слоистое.

ГЛИНИСТЫЕ ПОРОДЫ

Эти породы широко распространены в природе. Глины состоят из коллоидных тонкодисперсных частиц диаметром меньше 0,005 мм и представляют собой не только механические обломки породообразующих минералов, но и различные новообразования. Главными составными частями глин являются: SiO_2 — 40—70%, Al_2O_3 — 10—35%, K_2O , Na_2O , MgO , Fe_2O_3 и H_2O .

Из минералов присутствуют глинистые минералы (каолинит, монтмориллонит, гидрослюда) и кварц, реже слюды и др. Цвет глин разнообразен — бурый, белый, зеленый, зависящий от состава минералов глинистой массы и красящих примесей (окислы железа, органическое вещество). Сильно уплотненные глины носят название аргиллиты.

Диагностика: в сухом состоянии характеризуются землистым строением, легко растираются пальцами, во влажном состоянии жирны на ощупь, водоупорны. При впитывании влаги глины становятся вязкими и пластичными, при высыхании сохраняют приданную им форму, а после обжига приобретают твердость камня.

Происхождение: различают глины осадочные (переотложенные, вторичные) и остаточные (первичные). Первые более распространены и образуются в результате осаждения из воды тонковзмученного материала как в морях, так и на суше. Они могут быть прибрежно-морскими, лагунными и континентальными — аллювиальными, делювиальными, озерными и т. д. Вторые образуются на месте залегания в результате процесса химического выветривания.

По минералогическому составу различают глины жирные, содержащие большое количество каолинита, монтмориллонита, и тощие, состоящие из значительной примеси обломочных минералов — кварца, опала, халцедона.

Глины в сухом состоянии твердые и плотные, в соединении с водой дают пластичную, жирную на ощупь массу и увеличиваются в объеме (набухают). Величина набухания зависит от степени их дисперсности, от состава глинистых минералов и

Гранулометрическая классификация обломочных и глинистых пород (упрощенная)

| Наименование пород | Содержание частиц в % | | |
|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| | песчаные фракции 2—0,05 мм | пылеватые фракции 0,05—0,005 мм | глинистые фракции < 0,005 мм |
| Песок | Больше чем пылеватых | Меньше чем песчаных | < 3 ^o / _o |
| Песок пылеватый | Меньше чем пылеватых | Больше чем песчаных | < 3 ^o / _o |
| Супесь легкая | Больше чем пылеватых | Меньше чем песчаных | 3—6 ^o / _o |
| Супесь тяжелая | То же | То же | 6—10 ^o / _o |
| Суглинок легкий | > | > | 10—15 ^o / _o |
| Суглинок средний | > | > | 15—20 ^o / _o |
| Суглинок тяжелый | > | > | 20—30 ^o / _o |
| Глина | > | > | 30 ^o / _o |
| Глина пылеватая | Меньше чем пылеватых | Больше чем песчаных | 30 ^o / _o |

поглощенных ими катионов. Больше всего набухают монтмориллонитовые глины, содержащие катион натрия. При высыхании глин они изменяют свой объем, дают усадку, нередко разбиваются системой трещин. Эти свойства глин — пластичность, набухание, усадка — специально изучаются в грунтоведении и инженерной геологии.

Залегают глины пластами, линзами среди песков, известняков, мергелей. В зависимости от процентного состава в породе песчаных, пылеватых и глинистых фракций среди обломочных и глинистых пород выделяют песчано-глинистые породы — супеси, суглинки, валунные суглинки, имеющие большое распространение среди поверхностных отложений (см. табл. 15).

Песчано-глинистые породы. Супесь — землистая порода серо-желтого цвета. Состав разнообразный, в зависимости от содержания фракций песка, глины может приобретать различные свойства и быть легкой, средней, тяжелой. Иногда вскипает с HCl.

Суглинок — неслоистая землистая порода от серого до красно-бурого цвета. Различают суглинки покровные, лёссовидные, валунные.

Морена — суглинок валунный — неоднородная неслоистая землистая порода обломочного строения. Растирается между пальцами. Цвет от красновато-бурого до серого. Содержит прослой песка, глины, супеси, включения валунов различных пород в виде обломков разной величины. Происхождение ледниковое. Широко распространена в областях, испытавших материковое оледенение.

БИОГЕННЫЕ, ХЕМОГЕННЫЕ И ПОРОДЫ БИОХИМИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Химическими (или хемогенными) называют породы, образовавшиеся в результате выпадения солей из водных растворов или в результате химических реакций, происходящих в литосфере и на ее поверхности. Например, гипс, ангидрит, каменная соль и др.

Органогенными (биогенными) называются осадочные породы, образовавшиеся целиком или частично в результате жизнедеятельности животных и растительных организмов. Например, мел, известняк-ракушечник, диатомиты, торф, уголь.

В природе часто оба эти процесса происходят одновременно и тогда выделяют биохимическое образование. Таким путем образуются многие железистые и марганцовые породы, фосфориты и др.

Химические (хемогенные) породы

Сюда входят породы, относящиеся к следующим группам:

1. Галонды — каменная и калийная соли.
2. Сульфаты — гипс, ангидрит.
3. Карбонаты — известковый туф (травертин), кристаллические известняки.
4. Силикаты — кремнистый туф (гейзерит).

Гипс, ангидрит, фосфориты были описаны в главе пятой как минералы.

Напомним, что, когда природные химические соединения залегают пластами большой мощности (100—150 м и более), имеют широкое горизонтальное распространение, измеряемое десятками и сотнями квадратных километров, и по составу неоднородны, их называют горными породами (пласты калийных солей, фосфоритов, гипса).

Таким образом, гипс, когда он образует отдельные небольшие, хорошо ограниченные кристаллы, — минерал, когда же залегает большими пластами, — горная порода.

Многие из перечисленных выше пород — гипс, ангидрит, калийная соль, фосфориты, известковые туфы, известняки кристаллические и ракушечники — весьма ценные агрономические руды, имеющие большое значение для сельского хозяйства.

Карбонатные породы. Известняк. Хемогенный, тонко- и мелкозернистый, массивный, часто оолитовый. Окраска светлая, твердость 3, бурно вскипает с HCl. Образует различные натечные образования — сталактиты, сталагмиты, корки, часто окремнелый.

Известковый туф. Окраска светло-бурая, строение очень пористое, пузырчатое, часто содержит раковины наземных организмов, ветки растений. Бурно реагирует с HCl. Образуется

на континентах в местах выхода родников, богатых CaCO_3 . Важные агрономические руды.

Кремнистые породы. Кремнистый туф (гейзерит). Окраска светлая, пористый, образует натечные формы. Выпадает из горячих вод в местах выхода родников, вблизи скважин.

Кремнистые породы состоят из мельчайших раковин, невидимых без микроскопа.

Опока. Состав глинисто-кремнистый. С HCl не вскипает. Строение плотное, излом раковнистый, легкая, цвет светлый, серый, желтый.

Диатомит — слабо сцементированная рыхлая порода, состоящая из остатков диатомовых водорослей, или диатомей. Легкий, пористый, мягкий на ощупь. Цвет белый, светло-желтый.

Трепел состоит не из органических остатков, а из мелких опаловых или кремниевых зерен. Пористый, рыхлый, иногда плотный, компактный. Окраска светлая.

Фосфоритные породы (фосфориты) описаны на стр. 92—93.

Углеродистые породы — каустобиолиты.

В эту группу входят своеобразные по составу и весьма важные по практическому применению породы в твердом (торф, ископаемые угли), жидком (нефть) и газообразном (газы) состоянии. Характерная черта этих пород — их горючесть.

Торф состоит из не полностью перегнивших и обуглившихся растительных остатков и представляет собой полужидкую кашеобразную массу, содержащую около 80—90% воды. Цвет бурый, черный. Залегает в виде слоев, линз в торфяных болотах. Отличается большой пористостью и влагоемкостью, вследствие чего является плохим основанием под сооружения.

Органогенные (биогенные) породы

Образуются из скоплений остатков различных животных и растительных организмов. По своему составу они подразделяются на карбонатные, кремнистые, фосфатные и углеродистые породы (каустобиолиты).

Карбонатные породы наиболее многочисленные среди осадочных пород. Почти все они находят применение в качестве агрономических руд.

Органогенные известняки обладают пористостью и кавернозностью. Окраска их самая разнообразная. В составе преобладает кальцит, часты примеси. Бурно вскипает с HCl . Раковины и скелеты организмов могут сохраняться полностью или претерпеть дробление, перекристаллизацию. В том случае, когда известняк состоит из целых и битых раковин, он называется ракушечником (рис. 33). Эти известняки широко распространены на юге СССР. Среди них в зависимости от преобладания тех или иных организмов различают: фузулиновые известняки, сложен-



Рис. 33. Известняк-ракушечник

ные из корненожек (фузулин), напоминающих по форме и размеру зерна ржи, нуммулитовые с раковинами в виде диска, ичевицы или монеты, криноидные, мшанковые и т. д.

К органогенным известковым породам относится также мел — белая мягкая землистая порода, сложенная из мелких частиц порошкообразного кальцита, раковин фораминифер и одноклеточных морских водорослей (кокколитов). Мел имеет пористое строение и бурно вскипает от HCl .

Доломит имеет скрытокристаллическое строение и плотную текстуру. Состоит из минерала доломита, кальцита и глинистого материала. Вскипает с HCl при нагревании или без нагрева, но при растирании породы в порошок. Цвет белый, серый, желтый. Между доломитами и известняками имеются промежуточные разновидности, именуемые доломитизированными известняками. Образование доломитов различное: при доломитизации известняков, путем выпадения из растворов, как химический осадок.

Мергель — известково-глинистая порода с содержанием глинистого материала около 30—50%. Цвет разнообразный. Вскипает с HCl , оставляя после реакции темное пятно. Если подышать, издает запах глины.

Породы биохимического происхождения

Железистые породы (бурый железняк). Эти породы образуются из коллоидных растворов в связи со сменой физико-химических условий, когда континентальные речные воды соприкасаются с соленоватыми морскими или благодаря действию гумусовых кислот и жизнедеятельности бактерий.

В зависимости от количества свободного кислорода выпадают окисные (гематит), карбонатные (сидерит) соединения.

Наиболее распространены различные лимониты (описание см. на стр. 109—110), представляющие собой механическую смесь гидроокислов железа с глинистым и часто песчаным материалом.

Фосфориты (описание см. на стр. 92—93) образуются обычно в морской среде в результате жизнедеятельности организмов. Выпадение фосфатных солей в осадок происходит вследствие удаления углекислоты и нарушения равновесия, из-за чего растворимость фосфатов и карбонатов в новой среде уменьшается. Вначале происходит химическое выпадение CaCO_3 , а затем P_2O_5 . Обедненные P_2O_5 морские воды поднимаются в верхние слои, населенные растительными и животными организмами, которые вторично поглощают фосфор, и он выпадает в виде фосфорита, образуя часто характерные слои желваков (см. рис. 26).

Метаморфические горные породы

Метаморфические породы. Эти породы образуются на глубине в результате перекристаллизации магматических и осадочных пород под действием высоких температур и больших давлений, а также под влиянием внедрения магмы. Классификации метаморфических пород построены на различных принципах — метаморфизма, текстуры и т. д. В первом случае выделяют породы глубинного (регионального) метаморфизма, образовавшиеся в результате горообразования в зоне прогибов, опусканий блоков земной коры (гнейсы, кварциты, различные сланцы), и породы контактовые, возникшие в результате интрузий расплава магмы в осадочные породы (мрамор, скарны).

Для целей почвоведения удобнее классификация, построенная на делении пород по сложенности — текстуре (табл. 16).

ТАБЛИЦА 16

Схема классификации метаморфических пород

| Текстура | Исходные породы | Метаморфические породы | Минералогический состав |
|-------------|---|------------------------|--|
| Сланцеватая | Гранит, спенит, глинистые породы | Гнейсы, сланец | Полевые шпаты, кварц, слюда, роговая обманка |
| Массивная | Известняки Доломиты Песчаники кварцевые | Мрамор Кварцит | Кальцит, реже доломит Кварц и примеси |

Сланцевые породы. Гнейс. Текстура сланцеватая, полосчатая, структура зернистая. Цвет светлый, пестрый. В породе хорошо различимы широкие белые полосы, сложенные кварцем, полевым шпатом, линейное положение чешуек слюды и роговой обманки.

Сланцы. Текстура сланцеватая, строение кристаллическое. Состав более или менее однородный. По преобладающему минералу различают: слюдистые сланцы — листоватые; тальковые — белые или светло-зеленые, жирные на ощупь; роговообманковые — черные, игольчатые; графитовые — темно-серые, мягкие, пишут на бумаге.

Зернистые (массивные) породы. Мрамор. Строение крупно-, средне- и мелкокристаллическое, иногда сахаровидное; плотная, иногда мозаичная текстура. Цвет самый разнообразный: белый, серый, розовый, красный. Бурно вскипает с HCl. Ценный облицовочный и строительный материал.

Кварцит. Мелкокристаллическое, слитнокристаллическое или массивное строение. Высокая твердость. С HCl не реагирует. Окраска разнообразная: светлая, розовая, вишневая, красная и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

- Александрова Л. Н., Найденова О. А., Юрлова О. В. Практикум по основам геологии. «Высшая школа», 1966.
- Богданов А. А., Жуков М. М. и др. Руководство к практическим занятиям по курсу общей геологии. Госгеолтехиздат, 1945.
- Ларионов А. К., Ананьев В. П. Основы минералогии, петрографии и геологии. «Высшая школа», 1961.
- Лебедева Н. Б. Пособие к практическим занятиям по общей геологии. Изд-во МГУ, 1962.
- Мамина С. Е., Терехина Г. М., Паушин Г. А. Руководство к практическим занятиям по инженерной геологии. «Высшая школа», 1965.
- Швецов М. С. Петрография осадочных пород. Госгеолтехиздат, 1958.

Часть третья

ДИНАМИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

ВНУТРЕННИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Глава восьмая

ВУЛКАНИЗМ

Особенности процессов. Динамическая геология — наука о геологических процессах, изменяющих состав, строение и лик Земли. Она исследует перемещение пород в земной коре, изучает все современные процессы, обусловливаемые энергией, возникающей в недрах Земли, и энергией Солнца.

Геологические процессы можно подразделить на две большие группы: эндогенные, порождаемые внутренними силами, и экзогенные, вызываемые внешней энергией.

К эндогенным (внутренним) процессам относятся: магматизм, метаморфизм, вулканизм, движения земной коры (землетрясения и горообразование). К экзогенным (внешним) — выветривание, деятельность текучих атмосферных и поверхностных вод (дождевые и талые воды), рек, подземных вод, моря, ветра, ледников, животных и растительных организмов и, наконец, геологическая деятельность человека. Необходимо отметить взаимозависимость и единство этих сил.

Эндогенные геологические процессы порождают на поверхности Земли различные крупные неровности (высочайшие горы), приводят к разрывам в земной коре и перемещению отдельных частей земной коры по этим разрывам.

Экзогенные процессы — работа воды, ветра, ледников и организмов — создают детали рельефа и направлены к размыву, разрушению и сглаживанию гор* и различных неровностей, явившихся следствием эндогенных процессов. Эти процессы протекают на подвижном основании суши, которое непрерывно развивается. Под влиянием борьбы внутренних (эндогенных) и внешних (экзогенных) геологических сил облик Земли — рельеф дневной поверхности — непрерывно изменяется. Эта борьба происходила на протяжении всей истории земной коры и является одной из диалектических черт ее развития.

* Иногда эти процессы создают невысокие аккумулятивные возвышенности.

Вулканизм и магматизм. Излияние по трещинам расплавленных масс — лав, газов и растворов — получило название вулканизма*. Этот процесс обусловлен возникновением жидких обособленных цистерн магмы, появляющихся временно и на короткий срок вследствие скопления в этих зонах радиоактивных элементов и других физико-химических процессов. Глубина обособленных жидких цистерн (очагов) — до 100 км.

Не всегда магматическим массам удается пробиться через земную кору и излиться на ее поверхность. Чаще жидкая магма лишь внедряется в земную кору и, оставаясь на глубине, затвердевает там в виде своеобразных форм, создавая интрузивные тела (глубинный вулканизм — магматизм).

Морфология вулканов. Вулкан обычно представляет собой конусообразную гору различной высоты. Выводной канал — жерло — заканчивается на поверхности чашей или воронкой, называемой кратером. Поперечник этой чаши редко более 2—2,5 км. Высочайший вулкан в Южной Америке Аконкагуа имеет высоту 7035 м, потухший вулкан имени Мушкетова в Забайкалье — всего лишь 100 м, Ключевская сопка — 4800 м, знаменитый Везувий — всего 1300 м. Некоторые высокие вулканы покрыты вечным снегом.

Диаметр кратера Везувия — 568 м, Ключевской сопки — 675 м, Этны — 800 м. Различают кратеры конусовидных и щитовидных вулканов. Стенки кратеров конусовидных вулканов часто круты и скалисты, дно их завалено рыхлым материалом, оно плоское или круто спускается к центру. У щитовидных кратеров стенки отвесны, дно плоское, занятое в виде озера жидкой лавой. Главный кратер находится на вершине вулкана; паразитический кратер представляет собой выводной канал, ответвляющийся от нижней части центрального жерла.

Помимо широко распространенных вулканов, имеющих форму конических гор (например, Везувий, Ключевская сопка), существуют также маары, диатремы, шлаковые конуса, лавовые озера (вулкан Нираконго), трещинные и площадные излияния и т. п.

Вулканы типа маар — это по существу недоразвившиеся вулканы, которые не имеют формы конусообразной горы, а состоят только из одного жерла, не поднимающегося выше поверхности окружающей местности (рис. 34). Многие маары на поверхности Земли имеют округлое или овальное озеровидное понижение, которое наполнено не твердыми каменными массами, а туфами или смесью вулканического пепла и обломков тех горных пород, которые пересечены этими каналами — колодцами в земной коре.

* Вулкан у древних римлян — бог кузнечного дела, огня и металла.

Вулканы типа диатрем очень близки к маарам и лишены только заполненного водой кратера. Они широко распространены в Кимберлее (Южная Африка). Диатремы представляют собой цилиндрические колодцы, выполненные брекчией перидитовых и других пород. Они образуются в результате взрыва газов, выделяющихся из магмы, при этом получают «кратеры взрыва».

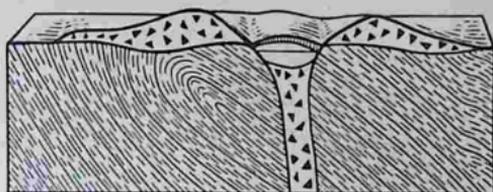


Рис. 34. Схема маары

Трещинные вулканы не имеют определенного центрального выводного канала, магма заполняет трещины. Подобные вулканы тянутся почти всегда по прямой линии, нередко на несколько километров.

В результате излияния магмы на поверхности часто образуются лавовые покровы со шлаковыми конусами правильной формы.

Интенсивная деятельность трещинных вулканов наблюдалась в третичный и четвертичный периоды в пределах Армянского вулканического нагорья. В результате излияния базальтовая лава покрыла площадь в $50\,000\text{ км}^2$, а объем излившейся магмы составил примерно $5000\text{—}8000\text{ км}^3$.

Различают однофазные и многофазные вулканы. Однофазные образуются в один этап вулканического процесса, как маары и диатремы. Многофазные вулканы характеризуются периодически возобновляющейся деятельностью, примером их могут служить вулканы на Гавайских островах, на Камчатке, а также Этна и Везувий.

Распространение вулканов. Вулканы подразделяются на действующие и недействующие (потухшие). Действующих вулканов насчитывается до 600, из них 60 подводных, недействующих — около 1500—2000. Подобное подразделение весьма условно; извержения трудно поддаются учету, так как огромное количество вулканов расположено в дне океанов. Часто какой-либо вулкан бездействовал в течение нескольких тысячелетий и относился к потухшим, а потом начинал проявлять себя. Везувий и Безымянный вулканы (на Камчатке) бездействовали несколько столетий, японский вулкан Бандай-Сан находился в покое более 1000 лет. Эти вулканы перешли из недействующих (потухших) в группу действующих.

Современные вулканы расположены на земном шаре полосами или поясами, приуроченными к подвижным участкам земной коры, называемым геосинклиналями. Таких крупных полос намечается три (рис. 35).

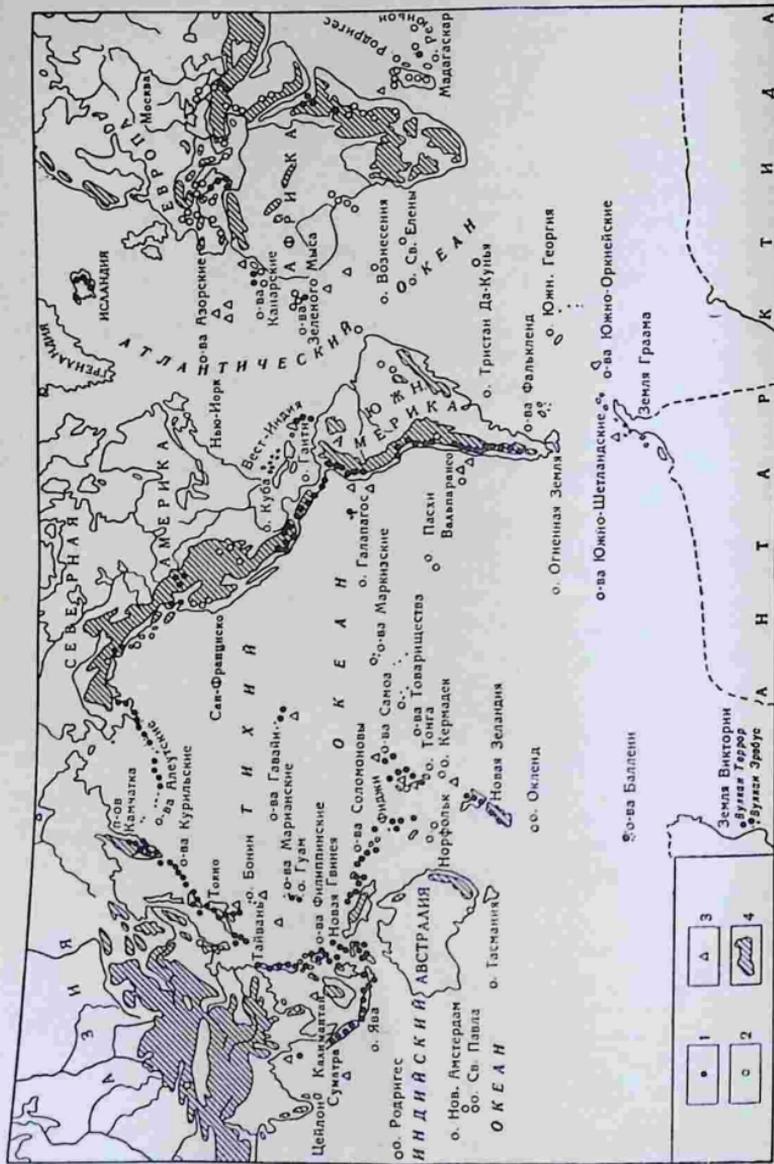


Рис. 35. Карта распространения вулканов на Земле:

1 — действующие, 2 — подтопные, 3 — подтопные, 4 — области с высотой 1000 м и более над уровнем моря

1. «Тихоокеанское огненное кольцо» обрамляет Тихий океан. Вулканы начинаются на Алеутских островах и продолжаются на Камчатке, Курильских и Японских островах, Филиппинских, Больших Зондских, Новой Гвинеи и Новой Зеландии, Огненной Земле, в Андах, Латинской Америке, Кордильерах.

2. Евразийский широтный пояс — итальянские вулканы: Везувий, Вулкано, Стромболи, Этна; потухшие — кавказские вулканы: Казбек, Эльбрус, Арарат, а также вулканы Индонезии.

3. Атлантическая меридиональная полоса, расположенная на восточной окраине Атлантики, — на островах Ян-Майен, Исландии, Азорских, Канарских, Зеленого Мыса, Вознесения, Св. Елены, Тристан-да-Кунья. Кроме этого, выделяются еще вулканы, приуроченные к гигантским разломам древних материков (Центральная Африка) и дну океанов.

Вулканы распределены на суше и дне океана неравномерно. В основном они расположены по берегам морей и на океанических островах, особенно много их в Мексике, Южной Америке, Индонезии, на Курильских островах. Мало вулканов в Австралии, Европе, совсем нет их в Бразилии.

Продукты вулканических извержений. Продукты, которые при извержении вулканов выносятся из недр земли на дневную поверхность, бывают газообразными, твердыми и расплавленно-жидкими.

Газообразные продукты. Обычно при извержении сначала выделяются газы и пары, затем измельченные рыхлые продукты в твердом состоянии и уже после выливаются жидкие потоки лавы, из которых после затвердения образуются изверженные горные породы.

В начальную стадию фумарольной* деятельности вулкана при температурах 400—500°C преобладают газы хлористоводородного состава.

Газообразные продукты, выделяемые при извержениях вулканов, имеют примерно следующий химический состав:

| | |
|----------------------------|---------------------------|
| Пары воды H_2O | Водород H |
| Углекислый газ CO_2 | Азот N_2 |
| Сернистый газ SO_2 | Метан CH_4 |
| Сероводород H_2S | Хлористый водород HCl |
| Хлористый аммоний NH_4Cl | Хлористый натрий $NaCl$ |
| Кислород O_2 | Хлористый калий KCl |
| Аргон Ar | Хлористое железо $FeCl_3$ |

Состав газов у различных вулканов непостоянен и обусловлен температурой и давлением. У Везувия преобладает хлористоводородный газ, у Этны — сернистый. В процессе извержения с понижением температуры до 200—100°C выделяются водяные пары и сероводородный газ. Эта стадия извержения называется

* Фумарольная — от лат. слова *fumigare* — дымить; выход газов.



Рис. 36. «Бомба» типа хлебной корки

сульфатной. Завершающим этапом является выделение углекислого газа, паров воды, температура при этом около 100°C (моффетная стадия). В районах современной вулканической деятельности в горных долинах, пещерах скапливается углекислый газ («долины и пещеры смерти»), вследствие чего в этих местах происходит массовая гибель животных.

Температура в жерле вулкана Нираконго достигала 1030°C .

С деятельностью современных вулканов связаны гейзеры, а иногда и весьма сложные по своему составу термальные минеральные источники. Гейзеры — периодически действующие выбросы столбов воды и пара, образующиеся в результате циркуляции на небольшой глубине подземных вод, в трещинах и пустотах застывших лавовых потоков, в которых находятся неостывшие магматические очаги. Происходит мгновенное парообразование с мощным взрывом — выбросом воды и пара на высоту до 100 м. Гейзеры действуют периодически. Большой известностью пользуются гейзеры Исландии, США и Камчатки.

Термальные минеральные источники, в водах которых содержится бор, аммиак, мышьяк, а иногда и уголекислота, характерны для участков молодой вулканической деятельности (Камчатка).

Твердые продукты. У вулканов, извергающих кислые и средние лавы, в начальную фазу за газами, а часто вместе с ними, выбрасываются твердые продукты в виде вулканического пепла, песка, камней — так называемых лапиллей*, щебня и вулканических бомб. Начальная скорость вулканических выбросов достигает 1000 м/сек . Пепел состоит из мельчайших зерен кварца, полевого шпата, лейцитита, авгита и мелких осколков вулканического стекла. Уплотненный и сцементированный вулканический пепел превращается в плотную, весьма легкую и пористую породу — вулканический туф, который залегает обычно на склонах конуса вулкана. Вулканические бомбы в виде кусков, брызг раскаленной лавы имеют размеры от нескольких сантиметров до 5—7 м (рис. 36). Выброшенные во время взрыва на огромную высоту, они вращаются в воздухе и принимают своеобразную форму — округлую, грушевидную, веретенообразную, а затем, охлажденные, падают на землю.

* Лапилли имеют округлую форму и величину от горошины до ореха.

Количество материала, выброшенное вулканами Земли, весьма значительно. В СССР лавами покрыто $\frac{1}{7}$ площади — 3 млн. км². Вулкан Этна в Сицилии выделил продуктов извержений в 1669 г. 0,98 км³, в 1887 г. — 0,57 км³. Ключевская сопка в 1829 г. выделила свыше 3,5 км³ продуктов, а в среднем — около 4,5 км³ за каждое извержение. Наблюдениями установлено, что этот вулкан извергается каждые 7—8 лет, причем объем конуса выноса вулкана в настоящее время около 3400 км³. Таким образом, для образования подобной горы потребовалось около 700 крупных извержений, а возраст вулкана Ключевская сопка исчисляется всего только в 5000 лет.

Количество пепла при извержениях достигает колоссальных размеров. Так, при извержении вулкана Кракатау в 1883 г. взрывами была снесена большая часть острова. От самой горы уцелела только третья часть. На месте суши стало море глубиной 200—300 м. В продолжение двух дней вулкан выбрасывал огромные куски пемзы, шлаков и тягучей тестообразной массы и грязи. В Исландии в XVIII в. вулкан Гекла выбросил раскаленную лаву, уничтожив 37% населения острова. Пепел этого вулкана долетал до берегов Норвегии. Количество пепла при извержении Везувия достигало 200 000 м³. В 1956 г. на Камчатке начал действовать Безымянный вулкан. Поселок Ключи, находящийся на расстоянии 40 км от вулкана, был покрыт густым слоем пепла (на 1 м² поверхности земли его отложилось до 16 кг). Было выброшено 2,4 млрд. т продуктов извержения. Энергия при взрыве достигла $4 \cdot 10^{23}$ эрг, или 40 млн. квт/ч.

Жидкие продукты. Последней стадией вулканического извержения является излияние огненно-жидкого силикатного расплава, называемого лавой.

Лавы по содержанию SiO₂ подразделяются на две большие группы: кислые с содержанием кремнезема от 65 до 75% и основные с SiO₂ 45—52%.

Кислые лавы богаты окислами Na₂O и K₂O (6—8% по содержанию); окислов Ca, Mg, Fe мало. Удельный вес 2,7—2,8. Кислая лава светлого цвета, отличается большой вязкостью, малоподвижностью. Потоки застывают на месте, образуя конусообразные глыбовые возвышения, сложенные липаритом, кварцевым порфиром, вулканическим стеклом и туфом. В настоящее время кислые лавы выделяют вулканы Италии на Липарских островах.

Основные лавы бедны окислами Na₂O и K₂O, а богаты окислами FeO, CaO, MgO (от 7 до 15%). Лава окрашена в темный, а иногда в черный цвет. Удельный вес ее возрастает до 2,9—3,1, по составу она жидкая, подвижная, невязкая. При застывании образует огромные лавовые (базальтовые) потоки с волнистой поверхностью длиной от 60 до 80 км, шириной 10—24 км, при толщине от 10 до 30 м и более (Исландия, Гавайские острова, Камчатка). Скорость движения лав 1—2 м/сек, иногда 8—10 м/сек.

Типы вулканов. Вулканические извержения зависят от внешней формы вулкана, характера деятельности его и продуктов извержения (лавы, газы, пепел). В связи с этим выделяют пять типов извержений.

1. Гавайский тип. Кратер представляет собой по форме опрокинутый таз или щит с плоскими стенками. Лава очень жидкая, бедна газами, выбросы вулканического пепла и бомб

отсутствуют. Истечение лавы (базальтовой по составу) представляет величественное, поражающее своим спокойствием зрелище. Потоки лавы имеют длину до 5,5 км, ширину 15 м и образуют своеобразные лавопады.

2. Тип Стромболи. Вулкан имеет конусообразную форму. Лава также жидкая (базальтовая), обогащенная газами и парами, но без пепла. Часты сильные взрывы и извержения рыхлых продуктов в раскаленном состоянии.

3. Тип Вулькано. К этой группе относятся Везувий, Этна, Ключевская и Авачинская сопки, яванские, японские вулканы. Гора конусообразной формы. Лава вязкая, тягучая, быстро застывает, часто закупоривая выводной канал, что приводит к сильным взрывам, измельчающим продукты извержения, чем объясняется обилие пепла. Потоки лавы медленно передвигаются и разливаются на небольшом расстоянии.

4. Пелейский тип (Мон-Пеле — Лысая гора на острове Мартиника Мало-Антильского архипелага). Лава очень вязкая, застывающая в жерле вулкана до выхода наружу. Выдавливается лава очень медленно и, застывая в виде куполов, закупоривает канал, не давая выхода газам и парам.

5. Тип Кракатау, или взрывной, извержение в 1883 г. (без излияния лавы). Отличительной особенностью извержений этого типа являются взрывы и удары наподобие выстрелов. Воздушные волны переносят огромное количество пепла, кусков пемзы, жидкой грязи. Вследствие провала вулкана образуются большие морские волны.

Особенности некоторых вулканов. Известны многочисленные подводные вулканы. В Тихом океане часто происходят вулканические извержения, в результате которых возникают острова, которые вскоре исчезают. Например, на островах Богослов с 1796 по 1907 гг. произошли весьма большие изменения (рис. 37), вызванные вулканическими извержениями. В 1952 г. в 462 км к югу от Токио образовался вулканический остров Медзин. После первого вулканического взрыва началось извержение лавы, затем последовали дальнейшие выбросы. Первоначально образовавшийся остров был разрушен и образовался новый. В ноябре 1963 г. у берегов Исландии также наблюдалось извержение подводного вулкана. За 10 дней выброшено 28 млн. т лавы, остров возвышается на высоту более 100 м над уровнем океана.

Вулканы в настоящее время образуются и на суше. Самый молодой вулкан Мексики — Эль-Бокерон («Большая пастух») образовался на острове Сан-Бенедикто в 1952 г. В 1943 г. в Мексике внезапно возник молодой вулкан Парикутин. 20 февраля 1943 г. местный пастух заметил, что после сильных подземных толчков в небольшой впадине на кукурузном поле появились два белых дымка, которые постепенно превратились в сильные струи газа и пара. В последующем газы стали выбрасывать различные горные породы. От этих

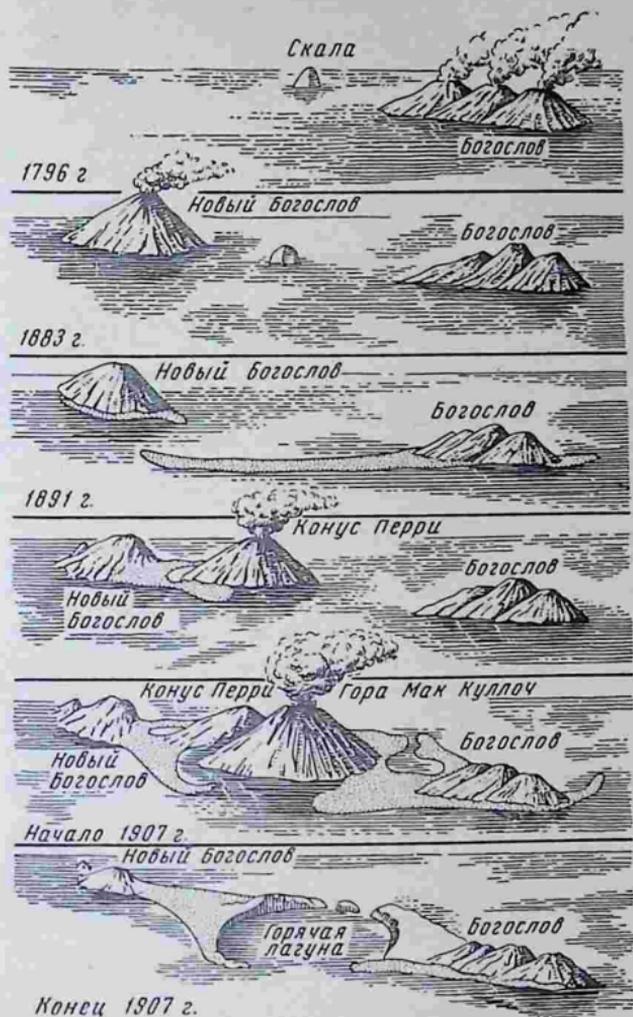


Рис. 37. Схема расположения вулканической группы островов Богослова

выбросов начал расти конус. Из кратера потекла со скоростью 20 м/мин вязкая лава с температурой 950°С. У подножия вулкана образовался ряд паразитических кратеров. Лава поглотила деревушку Парикутин, затем погребла селение Парангаракутиро, в 5 км от вулкана. Вулкан быстро рос, высота его достигла 450 м от основания, а клубы газов, пара, пепла и вулканической пыли поднимались до 5 км, расплываясь в воздухе по горизонтали. Вулканические бомбы имели вес 15—20 т. Вся местность покрылась толстым слоем пепла. Окрестные леса высохли, реки иссякли. Вулкан Парикутин — первый в мире вулкан, возникший на глазах человека на ровном

месте. Он изучается с момента своего возникновения. В 1944 г. его высота достигла 1400 м, в 1953 г. он затих, ныне его высота 2770 м.

Крупнейший вулкан Советского Союза — Ключевская сопка — хорошо изучен учеными Академии наук СССР. По высоте это третий вулкан в мире (4810 м), а по возрасту весьма молодой. Во время извержений из отверстий в дне кратера выдавливается густая, вязкая лава, выделяется много пепла. По данным советского ученого проф. Б. И. Пийпа, когда лава движется, то она выглядит, как нагромождение темных шлаков. В расколах этой густой массы сверкают огненно-красные пламенные отсветы. Высота потока, излившегося в 1953 г., достигала 12 м, температура 1000—1100° С. Поток двигался со скоростью не более 30 м в сутки. Часто в кратере происходят сильные взрывы, сопровождающиеся выбрасыванием вулканических бомб размером от нескольких сантиметров до 5—7 м.

Извержение вулканов — грозное и величественное явление. Во время сильного извержения в 1945 г. над конусом Ключевской сопки поднимался на высоту 15 км колоссальный огненный фонтан, сверху клубилась туча пепла. Молнии, сверкавшие в этой туче, были видны на расстоянии около 400 км, а грохот извержения был слышен за 300 км. На склоне сопки образуется множество побочных, паразитических вулканов.

В СССР для изучения вулканов создана вулканологическая станция Академии наук, расположенная на Камчатке вблизи вулкана, в поселке Ключи.

Большой научный и практический интерес представляют первые данные, открывающие возможность предвидеть извержения, а иногда и давать прогнозы их наступления, характера и силы.

Грязевой вулканизм. Грязевыми вулканами называют невысокие холмы, имеющие на вершине воронкообразный кратер, из которого выделяются газ, вода (иногда с пленками нефти) и грязь, представляющая собой жидкую глину. Последняя, растекаясь по склону вулкана, наращивает его конус. Грязевые вулканы могут быть связаны с вулканической деятельностью, представляя собой разновидность фумарола, моффеты, проходящих через слои глины.

Наиболее широко распространены грязевые вулканы, не имеющие никакого отношения к вулканизму, а приуроченные к месторождениям нефти. Такие вулканы широко распространены в Азербайджане, Закаспии, Кубано-Черноморской области, где они располагаются рядами вдоль антиклинальных складок. Вулканы выделяют преимущественно углеводородные газы (главным образом метан), воды содержат пленки нефти, йод, бром, бор. Выбросы часто достигают значительной силы, сопровождаются изливанием жидкой грязи, самовозгоранием газов.

Использование тепла земных недр для народного хозяйства. Природный пар и горячая вода используются во многих странах для промышленности и народного хозяйства.

В 1904 г. в Италии, в районе Северной Тосканы, впервые началась эксплуатация геотермических электростанций на подземном паре. В этой стране на базе горячего пара двух месторождений — Лардерелло и Кастильнуово — работает семь геотермических станций общей мощностью до 265 тыс. кВт, которые используют более 1 млн. кг пара в час при температурах около

200°C и действующем давлении от 2 до 5 атм. Из водяного пара добывают также борную кислоту и сернокислый аммоний.

В Новой Зеландии построена электростанция мощностью 10 тыс. кВт, которая работает на пару, выходящем из недр земли. Ее мощность предполагают довести до 130 тыс. кВт.

Успешно используются природные «котельные» в Исландии, в столице которой, г. Рейкьявик, горячей водой гейзеров обогревают дома. Часть воды используется для технических нужд и обогрева парниковых культур (томаты, огурцы, лимоны). В 1956 г. была сооружена специальная электростанция мощностью 3000 кВт. В Исландии нет нефти, угля и леса, поэтому горячие источники имеют большое значение для экономики страны.

В СССР, несмотря на огромные ресурсы горячих вод на Кавказе, в Средней Азии, на Камчатке, Курильских островах, используются они еще недостаточно. Для отопления зданий, бань, обогрева теплиц подземное тепло используется в Ташкенте, Нальчике и Махачкале.

В 1958 г. у подножия вулканов Кошелева и Камбилы на Камчатке была заложена первая скважина. На поверхность земли с глубины всего 300 м поднялся горячий фонтан пароводяной смеси. Теперь здесь действует ряд скважин. Из одной из них вытекает под давлением до 7 атм 33—35 л/сек горячей воды. Температура этой пароводяной смеси 160—195°C, теплопроводная способность пара 160—188 ккал·кг/час.

В СССР пущена первая геотермическая Паужетская станция. Подсчеты показывают, что эксплуатация этой электростанции мощностью 5 тыс. кВт/ч с теплофикационной установкой производительностью 40 т пара в час позволяет экономить на топливе несколько миллионов рублей в год. Электростанция обслуживает большой рыбопромышленный Озерковско-Опальский район.

Велики перспективы использования тепла подземных источников в сельском хозяйстве. Парниково-тепличному хозяйству для обогрева почвы необходимы сравнительно низкие параметры тепла (например, для теплолюбивых огурцов 25—27°C). Поэтому вода с температурой от 30 до 70°C, непригодная для технических целей в промышленности и коммунальной теплофикации, должна использоваться в сельском хозяйстве. Вода с температурой от 30 до 40°C пригодна для обогрева утепленного грунта, от 40 до 60°C — для обогрева парников, а от 60 до 70°C и выше — для теплиц.

На Колыме, на курорте «Талая», горячая вода с температурой выше 90°C используется для обогрева не только жилых зданий, но и теплиц, в которых выращивают помидоры и различные овощи.

Кроме дешевого природного пара и горячей воды, широко используют в строительстве излившиеся горные породы (базальт,

липарит, андезит, вулканический туф и пепел). Почвы, формируемые на этих породах, вследствие богатства их калием отличаются высоким плодородием.

Вулканизм — один из немногих глубинных процессов, проявление которого на поверхности земли доступно непосредственному изучению и наблюдению.

Замеры температуры лав, химические анализы лав и пепла, газов и паров воды, регистрация жизнедеятельности действующих вулканов, наблюдения за кристаллизацией лавы и процессами минералообразования имеют большое познавательное значение для понимания сложных процессов, происходящих в более глубоких оболочках нашей планеты.

Глава девятая ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Предмет геотектоники. Геотектоника — раздел геологии, изучающий движения и деформации Земли. Геотектоника рассматривает условия и характер залегания горных пород на отдельных участках земной коры и в целом на всей Земле. Изучая современное строение Земли, геотектоника пытается выяснить историю ее развития в далеком прошлом, устанавливает закономерности внутреннего строения Земли и стремится вскрыть, какие причины и какие силы вызывают изменение характера залегания горных пород.

Перемещения вещества Земли, приводящие к изменению формы залегания горных пород, обусловленные действием внутренних сил и частично силой тяжести, называются тектоническими движениями. В это понятие не включается перемещение поверхностных горных пород, вызванное внешними геологическими процессами: растрескивание пород при выветривании, оползни, обвалы, действие подземных текучих вод, действие ледника.

Выделяются два типа тектонических движений: 1) складчатые и разрывные, объединяемые понятием орогенеза; 2) колебательные, или эпейрогенетические, называемые эпейрогенезом.

Все тектонические движения взаимно связаны; складчатые и разрывные движения могут переходить друг в друга; в результате их действия в земной коре происходят землетрясения.

Условия залегания горных пород. Вследствие действия складчатых и разрывных движений в сиалическую оболочку земной коры внедряются магматические интрузии в виде массивных сплошных тел, которые покрываются различными осадочными породами, залегающими в виде слоев, пластов. Пласты могут быть горизонтального (ненарушенного) залегания и нарушенного — волнистого, когда породы изогнуты в сложную систему

складок, смяты. Степень смятия горных пород различна: от слабо изогнутых до весьма сильно смещенных и даже разорванных. Интенсивность складчатости зависит от податливости пород силам, вызывающим смятие и смещение слоев. Размеры складок и их форма также весьма разнообразны. Если складки обращены своей выпуклостью кверху, то такие дугообразные, сводчатые изгибы слоев (валы) называют антиклиналями или антиклинальными складками. Короткие антиклинали овальной или эллиптической формы называют брахантиклиналями.

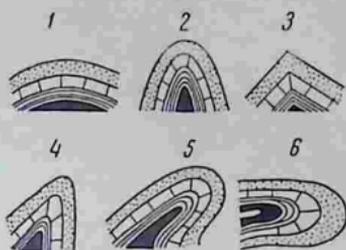


Рис. 38. Складки:

1, 2, 3 — прямые (1 — плоская, 2 — круглая, 3 — с переломом в седле); 4 — косая, 5 — опрокинутая, 6 — лежачая

К таким поднятиям горных пород приурочены скопления нефти и газа. Складки, обращенные своей выпуклостью книзу, называют синклиналями, а синклинали с короткой осью — брахисинклиналями. К синклинальным складкам приурочены артезианские воды. У каждой складки различают: замок складки — место перегиба слоев горных пород в складке, где сходятся ее крылья; ось складки — линия пересечения осевой поверхности складки с поверхностью Земли. Далее выделяют крылья, части пласта, образующие изгиб и идущие от перегиба либо вниз — нисходящие (у антиклинали), либо вверх — восходящие (у синклинали). Поверхность, проведенная через замок и ось складки, образует осевую поверхность. По положению осевой поверхности выделяют складки (рис. 38): прямые, или симметричные, — осевая поверхность вертикальна, крылья падают под одинаковым углом; косые (наклонные), или асимметричные, — осевая поверхность наклонная и крылья падают под разными углами; лежащие — осевая поверхность горизонтальная. Сложные по строению складки, у которых ядро проткнуто внедрившимися снизу породами, называют диапировыми складками.

С точки зрения механизма образования различают: складки изгиба, которые образуются вследствие скольжения друг относительно друга изгибающихся пластов; складки скальвания, возникающие вследствие перемещения материала по поверхности скальвания; складки нагнетания, образующиеся в результате течения горных пород, способных к пластической деформации (например, каменная соль).

Различные формы залегания горных пород образуют структуры в земной коре. При поисках газа, нефти геологи ищут антиклинальные структуры, при разведках для водоснабжения стремятся очертить синклинальные структуры — впадины, где

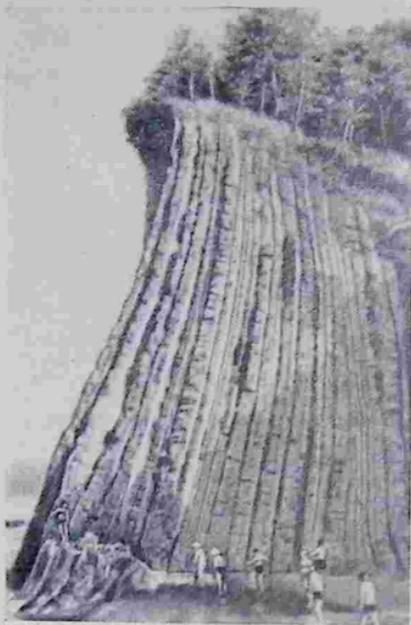


Рис. 39. Породы, поставленные на «голову» (побережье Черного моря под Туапсе)

содержатся бассейны артезианских вод (например, Московский, Ангаро-Ленский).

Складчатые (орогенические) движения. Складчатые движения происходят относительно быстро и вызывают резкое изменение залегания горных пород, образование сложных складок, гор (орогенез — горообразование). Складчатые движения приводят к смятию, изгибу горных пород. Два фактора способствуют этому сложному процессу: медленность смятия пластов горных пород и их пластичность, т. е. способность сохранять форму после того, как силы, вызвавшие эту деформацию, перестают действовать. Таким образом, пластические деформации — процессы необратимые. Известно, что песчаные, глинистые и карбонатные осадки, осевшие

на морское дно, испытывают сложные процессы преобразования и превращения в горные породы. Эти горные породы залегают обычно горизонтальными пластами за исключением тех случаев, когда осадочные породы покрывали неровности дна. Первоначально слои горных пород должны были залежать горизонтально; такая форма залегания называется нормальной, или ненарушенной.

Однако в природе, чаще в горных областях, слои пород залегают волнисто, они собраны, смяты в складки самых различных форм (рис. 39). Слои пород бывают надвинуты друг на друга, обращены выпуклостью вверх (сводчатые, сундучные, дугообразные складки) и, наоборот, вогнуты вниз — корытообразные. Одни и те же пласты смещены, разорваны, опущены или приподняты одни по отношению к другим. Такие формы залегания горных пород называются нарушенными, вызваны они сложными складчатыми движениями, приводящими к деформации пород. Все деформации, вызывающие смятие пород, схематически можно подразделить на две большие группы в зависимости от сил, вызывающих деформацию: а) верти-

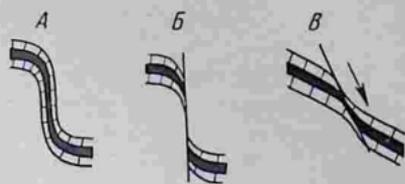


Рис. 40. Флексура и сброс. А — флексура, перешедшая в сброс Б, В — сброс

кально направленных сверху или снизу, приводящих к растягиванию слоев, и б) боковых, тангенциальных, обуславливающих сжатие. Следствием первых сил обычно являются растяжение слоев, возникновение флексур, трещин, сбросов, разломов, расколов, излияние лав; в результате сжатия пластов происходит внедрение магмы, образуются различные сложные складки, взбросы, надвиги и т. д.

Породы деформируются в большинстве случаев на глубине, где благодаря высокой температуре и большому давлению они более пластичны, податливы.

Различают два типа деформаций: пликативную и разрывную. Пликативная деформация наблюдается обычно в галогенных глинистых породах, сланцах, обладающих податливостью, когда силы, вызывающие смятие слоев, недостаточны для разрыва сплошности пластов. Характерный пример пликативной дислокации — флексура (рис. 40).

Флексура представляет собой складку с перемещением одного участка пород относительно другого в вертикальном направлении без разрыва, но с растяжением слоев, связывающих опустившийся участок с поднятым крылом. Дальнейшее растяжение промежуточного крыла приводит к разрыву сплошности слоев и образованию сброса (рис. 40). Этот тип деформации представляет собой дислокации с нарушением сплошности пластов, когда одна часть разорванного участка пород опущена по вертикали по отношению к другому или, наоборот, поднята.

Разрывные движения. Разрывные (дизъюнктивные) движения состоят в образовании в земной коре разрывов, слоев по какой-либо поверхности, в связи с чем различают сбросы, грабены, горсты. Смещение горных пород с разрывом слоев обычно по вертикали с опусканием одного пласта по отношению к другому называется сбросом. Величина перемещения слоев различна. Величина перемещения слоев относительно друг друга определяется в метрах и километрах и называется амплитудой нарушения. У сброса различают поднятое и опущенное крыло. В земной коре известны многочисленные уча-

стки, раздробленные вертикальными и наклонными трещинами, по которым в последующем перемещались отдельные глыбы (блоки) относительно друг друга.

При параллельных сбросах вертикальные смещения глыб могут опускаться ступенями, тогда сбросы называются ступенчатыми (Гибралтар). Сбросы широко распространены на Урале, в Донбассе, на Апшеронском полуострове. Сбросовые трещины иногда служат путями, по которым из глубины поднимаются газы, нефть, вода.

Значительно опустившиеся участки горных пород между поднятыми массивами носят название грабен. Выступ земной коры, расположенный между двумя опустившимися участками и ограниченный двумя сбросами, получил название горста. Примером грабена может служить впадина озера Байкал, опустившаяся на глубину 1741 м. Окружающие ее горы являются горстовыми. Горы Шварцвальда и Вогезы по своему происхождению также горстовые. К грабену относится впадина, занятая Красным морем и озерами Рудольф, Альберт, Танганьика, Ньиса (так называемый Великий Восточно-Африканский грабен); долина р. Рейна — Верхне-Рейнский грабен. В последнее время геофизическими методами прослеживаются глубинные разломы, имеющие большую протяженность.

В горах Кавказа, Урала, Забайкалья, в Альпах отмечается смещение пластов под влиянием бокового (тангенциального) давления, когда одна часть горных пород надвигается по плоскости, наклонной к горизонту, при этом более древние слои могут оказаться залегающими сверху, на более молодых. Такое перекрытие одних пород другими носит название надвига, которое характеризуется пологим углом падения, обычно менее 45°.

Колебательные движения. Колебательные (эпейрогенические) движения — это медленные вековые вертикальные движения земной коры, заключающиеся в поднятиях и опусканиях. Земная кора медленно поднимается в одном месте и прогибается в другом. В большинстве случаев эти процессы приводят к созданию континентов. В результате волновых вертикальных движений в истории Земли выделяются эпохи наступления моря на сушу — трансгрессии и периоды отступления моря — регрессии. Небольшое вторжение моря в сушу при опускании полосы побережья, когда морем покрываются устья долин рек и прибрежные впадины, называется ингрессией (пример: берег Черного моря, устья рек Днепра, Буга).

Движения этого типа могут быть подразделены на: а) колебательные прошедших геологических периодов; б) новейшие колебательные, бывшие в четвертичный период; в) современные тектонические, происходящие в современную историческую эпоху.

Рассмотрим примеры преимущественно современных тектонических движений.

На территории Европы классической областью вековых колебаний является Скандинавия, где установлено пять древних береговых террас*. Свидетельством того, что вся эта область подвергается в настоящее время поднятию, могут служить морские осадки с современными морскими раковинами, которыми покрыты террасы. Установлено, что район, где расположена столица Швеции Стокгольм, поднимается со скоростью около 24 см в столетие.

В городе Торнео, расположенном в северной части Ботнического залива, причальные сооружения ныне находятся на суше. Скорость поднятия дна исчисляется здесь около 1 см в год, или 1,2 м в 100 лет. Участками опусканий являются берег Гренландии, побережье Северной Франции, Бельгии, Голландии, северная часть ФРГ и ГДР, западное побережье Экваториальной Африки, Абхазское побережье Черного моря. Так, в Гренландии крепость норвежских викингов, сооруженная в IX в., ныне погружилась ниже уровня моря и окружена водой.

Голландцы ведут длительную борьбу с морем, отвоевывая у него участки побережья, находящиеся ниже уровня океана. Устье р. Рейна прослеживается далеко от берегов Европы в Северном море (рис. 41), подтверждая, что здесь имело место значительное опускание суши со скоростью около 30 см за 100 лет. То же установлено для устья р. Роны. Устье р. Конго прослеживается на расстоянии 100 км от берега Африки в Гвинейском заливе.

В 1953 г. на дне моря в Сухумской бухте, примерно в 70—100 м от берега, найден массивный мраморный барельеф женщины с мальчиком, там же найдены под водой остатки древних стен. По данным археологов, барельефу более 2000 лет, стены принадлежат древнему городу Диоскурия.

Известны участки с попеременными поднятиями и опусканиями. Примером этого служит Неаполитанский залив, на берегу которого во II в. до нашей эры был построен храм Сераписа. Ныне на развалинах этого сооружения сохранились следы моллюсков-камнеточцев; на высоте 7 м над землей колонны изъедены моллюсками, что указывает на то, что после постройки храма местность стала дном моря, в последующем произошел снова подъем суши. Размах этих колебаний достигает 12,5 м. Попеременные движения известны в районе оз. Байкал: западный берег с 1880 г. опустился на 40—50 см, восточный — поднялся на 12 см.



Рис. 41. Затопление долины на дне Северного моря и Атлантического океана

Вековые колебательные движения имеют существенное значение для хозяйственной деятельности человека. С поднятием связано усиление эрозии, перестройка всей гидрографической

* Терраса — горизонтальная поверхность, имеющая вид уступа, представляющая остаток прежней береговой штормовой площадки моря.

сети. Подъем суши следует учитывать при строительстве гидротехнических и ирригационных сооружений, так как это ухудшает условия рыбной ловли, создает препятствия для судоходства, вызывает обмеление гаваней и т. д.

Опускания способствуют отложению осадочных толщ, заболачиванию. В геологической истории Земли вековые колебательные движения имели огромное значение для образования мощных осадочных отложений и формирования месторождений ряда полезных ископаемых, в частности нефти, угля, солей.

Структурное строение земной коры. В структурном отношении земная кора состоит из участков, отличающихся друг от друга по характеру движений, магматической деятельности, наличию складок, горных сооружений и мощности сиалического слоя, — геосинклиналей, платформ, щитов, океанических впадин.

В земной коре выделяются узкие полосы, опоясывающие земной шар в различных направлениях, где вертикальные движения и излияния магмы отличались очень большой силой. Длина таких полос во много раз превосходит ширину. Мощность осадочных пород очень велика — до 15 000 м и более. В этих подвижных областях Земли колебания вверх и вниз достигали огромного размаха, происходили сложные процессы магматизма, складкообразования, глубокие разрывы, разломы, землетрясения. Мощность сиалического слоя здесь 70—80 км.

Эти особо подвижные участки земной коры получили название геосинклиналей. В прошлом Земли геосинклинальные пояса занимали значительную площадь. Все молодые горные сооружения — Кавказ, Тянь-Шань, Памир, Гималаи — образовались в различные геологические периоды на месте морских впадин. В настоящее время размеры геосинклиналей сократились и современными геосинклиналями являются территории, прилегающие к Охотскому и Японскому морям, к Малайскому архипелагу.

Подвижным поясам земной коры противопоставляются устойчивые, стабильные участки, называемые платформами. В этих жестких областях земной коры происходили только слабые вертикальные движения с тенденцией к вздыманиям с амплитудой колебаний до 2000—3000 м, магматическая деятельность была весьма незначительной, смятие пластов приводило лишь к небольшим и весьма пологим складкам. Мощность сиалического слоя здесь около 35 км.

Платформы характеризуются двухъярусным строением — в основании залегает кристаллический или складчатый фундамент, прикрытый сравнительно небольшим чехлом ненарушенных слоистых осадочных пород. Примерами древних платформ являются Русская, Сибирская.

Выступы на платформах на дневную поверхность древнейших (допалеозойских) магматических и метаморфических по-

род получили название щитов. В щитах породы метаморфизованы, смяты в складки, пропитаны магматическими интрузиями. В результате этого они консолидированы в жесткие массивы. Примерами древних щитов в европейской части СССР являются Балтийский (в него входит Кольский полуостров, Карельский полуостров) и Азово-Подольский.

Дно океанов еще мало изучено, но интерес к его изучению все больше и больше возрастает, так как под дном находятся крупные месторождения нефти, марганца, железа.

В историческом развитии Земли наблюдается определенная направленность тектонических процессов. Так, примерно около 0,5 млрд. лет назад почти вся поверхность Земли, по-видимому, представляла собой складчатое горное сооружение. В дальнейшем вследствие сложных геологических процессов горная страна постепенно становилась равниной, глубокие морские впадины — мелкими морями, геосинклинальные пояса превращались в складчатые пояса, складчатые пояса постепенно переходили в платформенную стадию развития.

Развитие геосинклиналей, складчатых поясов и платформ распадается на ряд больших «тектонических этапов», каждый примерно по 150 млн. лет. На территории СССР в геологическом отношении намечаются неодинаковые по строению участки земной коры, сформировавшиеся в различные геологические периоды. Эти области соединились в сложно и разнообразно построенное сооружение. Территорию СССР составляют устойчивые стабильные участки земной коры — древние докембрийские платформы: Русская, Сибирская, подвижные участки — Урало-Сибирский геосинклинальный пояс, Средиземноморский, на востоке — Амурский, Верхоянский и Восточно-Азиатский пояса.

Поскольку в геологической истории наблюдается рост платформ и сокращение геосинклинальных поясов, то в течение больших «тектонических этапов» — фаз складчатости и горообразования — происходило образование различных горных сооружений. Эти процессы продолжаются и в нынешнее время, сопровождаясь землетрясениями и вулканическими извержениями (например, Камчатка).

Знание тектонического развития земной коры имеет большое народнохозяйственное значение. Так, на Дальнем Востоке в связи с внедрением магмы залегают различные полиметаллы и руды: олово, свинец, цинк, серебро, медь, золото. В Восточной и Западной Сибири на платформах в осадочных породах содержатся нефть, газ, уголь, бокситы, фосфориты и т. д. Для поисков полезных ископаемых в древних отложениях Урала или Казахстана важно установить, какие геологические процессы и в какой последовательности происходили на этих территориях в далеком прошлом. Важно знать распространение древних морей, очертания их береговых линий, фазы горообразовательных

процессов, периоды магматической деятельности (интрузии, излияния лав), длительность континентальных эпох, когда преобладали процессы выветривания. Установив стадии, через которые происходило развитие геосинклинальных и платформенных областей, можно ориентировать геологов, где, какие виды полезных ископаемых следует искать.

Открытие якутских алмазов — яркий пример успеха советской геологии, доказавшей их приуроченность к древним платформенным структурам определенного типа и возраста.

Глава десятая

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ — СЕЙСМИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ

Типы землетрясений. Землетрясением называется сотрясение земной коры, происходящее от действия преимущественно внутренних сил.

Причины всех землетрясений — тектонические процессы*, вызываемые нарушением сплошности горных пород, вследствие чего силы упругости превышают предел прочности, в результате происходят сотрясения почвы, сопровождающиеся иногда вулканическими и денудационными явлениями (оживление вулканов, опускания, провалы и т. д.).

Вулканические землетрясения происходят в районах действующих вулканов, главным образом в районе Тихоокеанского огненного кольца (Курильские острова, Камчатка, Япония). Сотрясение земной коры либо предшествует извержению вулкана, либо происходит во время самого извержения, как при взрыве вулкана Кракатау в 1883 г., когда вследствие толчков в океане образовались огромные волны — цунами, обрушившиеся на остров и причинившие большой ущерб. Однако область распространения толчков в целом невелика. Землетрясения, вызываемые извержениями Везувия, регистрируются только обсерваторией, установленной на самом вулкане, но не ощущаются в его окрестностях.

Денудационные землетрясения — это так называемые обвальные землетрясения. Они обусловлены обвалами горных пород, залегающих над пустотами, образовавшимися в земной коре. Эти обвалы чаще всего встречаются в районах, сложенных породами, способными легко растворяться подземными водами с образованием пустот (каменная соль, гипс, известняк) (рис. 42). Несмотря на то что пустоты часто достигают больших размеров, обвальные землетрясения относятся к числу слабых, не причиняющих людям бедствий. Колебания почвы ме-

* Некоторые выделяют еще антропогенные, вызванные деятельностью человека, например, атомные взрывы.

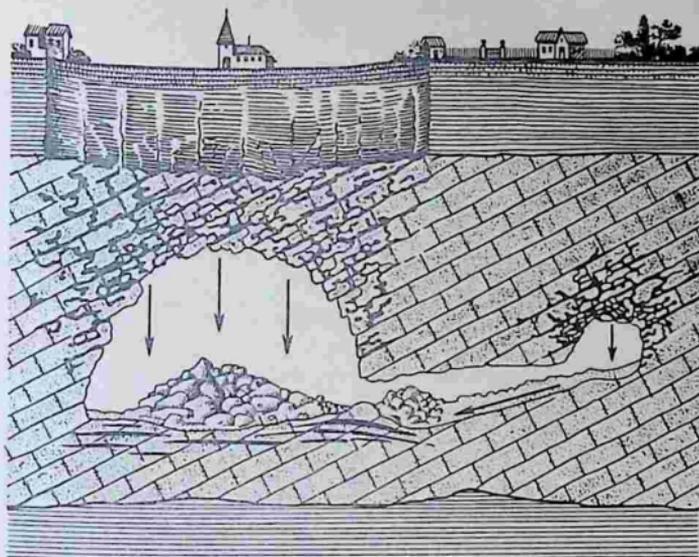


Рис. 42. Обвальное землетрясение

стного происхождения наблюдались на севере СССР — в Пермской и Кировской областях, сложенных легкорастворимыми породами.

Количество и распространение землетрясений. Области, где землетрясения часты, называются сейсмичными, а где они редки, — асейсмичными.

Землетрясения приурочены к определенным участкам земной коры — геосинклиналям, их распространение часто совпадает с зонами разломов и совпадает с районами интенсивной вулканической деятельности.

Землетрясения происходят постоянно. Их регистрируют специальные приборы — сейсмографы. Ежегодно они регистрируют несколько десятков тысяч толчков, т. е. до 9 землетрясений в час. Население замечает только наиболее значительные из них, сопровождаемые толчками и колебаниями земной коры.

В СССР в год улавливается около 5000 толчков. За 50 лет на территории СССР произошло 6000 значительных землетрясений.

Большинство землетрясений (92%) происходит в области молодых складчатых гор, где продолжают процессы горообразования, например на Тянь-Шане, Кавказе, в Карпатах, Балканах, Гималаях. На эти районы приходится 50% всех землетрясений. Около 40% землетрясений приурочено к так называемым

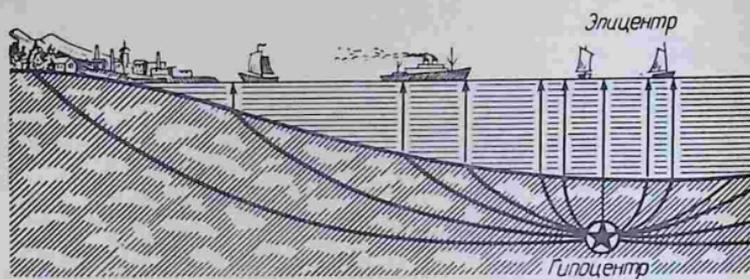


Рис. 43. Гипоцентр и эпицентр землетрясения

тому Тихоокеанскому кольцу — Курильские острова, Филиппины, Суматра, Ява, западное побережье обеих Америк.

На древних платформах — Русской равнине, Восточной Сибири — колебания земной коры крайне редки. Эти области называют асейсмичными. Не установлено землетрясений и в Антарктиде.

Колебания и сотрясения земной коры наблюдаются не только на суше, но и на дне морей и океанов, вызывая огромные сейсмические волны — цунами (Лиссабон — 1755 г., Мессина — 1908 г., Чили — 1960 г.).

Гипоцентр и эпицентр. Участок на глубине, где совершается первое смещение горных пород, вызвавшее сотрясение, называется очагом, фокусом землетрясения, или гипоцентром. Проекция гипоцентра на поверхность Земли (она может иметь различную форму — точка, линия, площадь) называется эпицентром (рис. 43).

Волны упругости — продольные и поперечные, подобно лучам, расходятся во все стороны от очага — гипоцентра землетрясения и, направляясь в стороны и вверх, достигают поверхности. Точки на дневной поверхности, где зарегистрированы толчки одинаковой силы, на картах соединяют кривыми линиями, которые называются изосейстами.

Гомосейстами называют кривые линии, соединяющие точки, в которых сейсмические волны достигают поверхности земли одновременно. При помощи изосейст и гомосейст составляют специальные карты областей землетрясений. Подобные карты имеют большое народнохозяйственное значение.

По глубине возникновения очагов землетрясения подразделяют на: 1) нормальные, с глубиной от 0 до 60 км; 2) промежуточные, с глубиной от 60 до 300 км; 3) глубокие — более 300 км.

Обычно гипоцентр находится на глубине не более 50 км. В Италии 90% всех землетрясений имеет глубину гипоцентра до 8 км. В последнее время на Дальнем Востоке и в других

местах (например, Испании) отмечаются так называемые глубокофокусные землетрясения с очагами глубиной более 300 км и даже до 600—700 км.

Сила землетрясений. В основу измерения силы землетрясений положено количество энергии, выделяющееся в очаге землетрясения. Установлено, что в недрах Земли каждую секунду выделяется энергии в среднем до 10^{17} эрг. Когда выделяющаяся энергия превышает прочность горных пород, происходят разрывы, разломы, смещения каменных масс — упругие колебания, идущие от очага разрыва, доходят до поверхности Земли, вызывая ее потрясения. При катастрофических землетрясениях в очаге выделяется до 10^{24} — 10^{25} эрг, что соответствует примерно 1 триллиону лошадиных сил. Соотношение катастрофического землетрясения к слабому 10^{17} :1. Энергия сейсмических волн определяет интенсивность землетрясения, она оценивается так называемой магнитудой. Самые сильные землетрясения имеют магнитуду 9,5.

В основу государственной шкалы ГОСТ 6249—52 для измерения силы землетрясений в СССР положена скорость распространения упругих волн I , определяемая по формуле

$$I = \frac{4\pi^2 A}{T^2},$$

где A — амплитуда колебания, мм,

T — время колебания, сек,

I — скорость распространения упругих волн, мм/сек².

Чем большую скорость распространения волн регистрирует сейсмограф на сейсмической станции, тем сильнее землетрясение в его очаге. Скорость распространения колебательных движений зависит от глубины очага, состава и структуры (сложения) пород. В рыхлых, сыпучих породах скорость распространения упругих колебаний слабее и медленнее, чем в плотных, скальных, но в то же время землетрясения наиболее разрушительные. Особенно велики разрушения в тех районах, где рыхлые породы лежат на скальных — магматических, либо на болотистых основаниях.

Сила землетрясения измеряется баллами, в СССР принята 12-балльная шкала. Сила толчков определяется так: 1 балл — землетрясение микросейсмическое, 5 баллов — чувствительное, 10 — уничтожающее, 12 — сильная катастрофа (табл. 17).

Описание некоторых землетрясений. Землетрясения часто приводят к катастрофам.

1. Лиссабон, 1755 г., сила 10—12 баллов; землетрясение вызвало цунами, пожары. Погибло 60 000 человек.

2. Сан-Франциско, 1906 г. На поверхности земли образовались разломы. Погибло 1000 человек.

12-балльная сейсмическая шкала ГОСТ 6249—52 (схематизированно)

| Сила (в баллах) | Характеристика землетрясения |
|--------------------|---|
| 1 | Не ощущается. Отмечается только специальными приборами |
| 2 | Очень слабое. Ощущается только очень чуткими домашними животными и некоторыми людьми в верхних этажах зданий |
| 3 | Слабое. Ощущается только внутри некоторых зданий, как сотрясение |
| 4 | Умеренное. Ощущается в зданиях, слышны звуки падающих половиц, балок, звон посуды, дроби |
| 5 | Среднее. Ощущается в зданиях, слышны звуки падающих половиц, балок, звон посуды, дроби. Ощущается в зданиях, слышны звуки падающих половиц, балок, звон посуды, дроби. Ощущается в зданиях, слышны звуки падающих половиц, балок, звон посуды, дроби. |
| 6 | Среднее. Ощущается в зданиях, слышны звуки падающих половиц, балок, звон посуды, дроби. Ощущается в зданиях, слышны звуки падающих половиц, балок, звон посуды, дроби. |
| 7 | Очень сильное. Ощущается всеми людьми. Разрушаются плохо построенные и ветхие дома. В крепких зданиях появляются небольшие трещины, осыпается штукатурка. Изменяется уровень воды в колодцах. В реках и озерах мутнеет вода. Иногда наблюдаются оползни и осыпи |
| 8 | Разрушительное. Деревья сильно раскачиваются, часть их ломается. Разваливаются прочные каменные ограды, падают фабричные трубы. Разрушаются многие крепкие здания. На почве появляются трещины |
| 9 | Опустошительное. Дома разрушаются. Появляются значительные трещины на почве |
| 10 | Уничтожающее. Разрушаются хорошо построенные деревянные дома, мосты, крепкие здания и даже фундаменты. Разрушаются водопроводные и канализационные трубы. Повреждаются насыпи, плотины и дамбы. Возникают оползни и обвалы, трещины и изгибы в почве. Из рек и озер вылетает вода |
| 11 | Катастрофа. Почти все каменные постройки разваливаются. Разрушаются дороги, плотины, насыпи, мосты. Образуются широкие трещины со сдвигами |
| 12 | Сильная катастрофа. Разрушаются все сооружения. Отдельные предметы подбрасываются при толчках. Преображается вся местность. Изменяются русла рек. Образуются водопады. На поверхности грунта видны земляные волны |

3. Мессина, 1908 г. — 10 баллов. Из-за плохого строительства зданий погибло 160 000 человек.

4. Китай, 1920 г. — 12 баллов. Катаклизм планетарных масштабов. Земля вздыбилась. Жертв около 100 000 человек. Землетрясение произошло в пустыне.

5. Япония, 1923 г. — 9—10 баллов. Магнитуда 8,2. Энергия $7 \cdot 10^{23}$ эрг, или 19 240 млн. квт/ч. Изменилось дно моря. Жертв 60 000 человек.

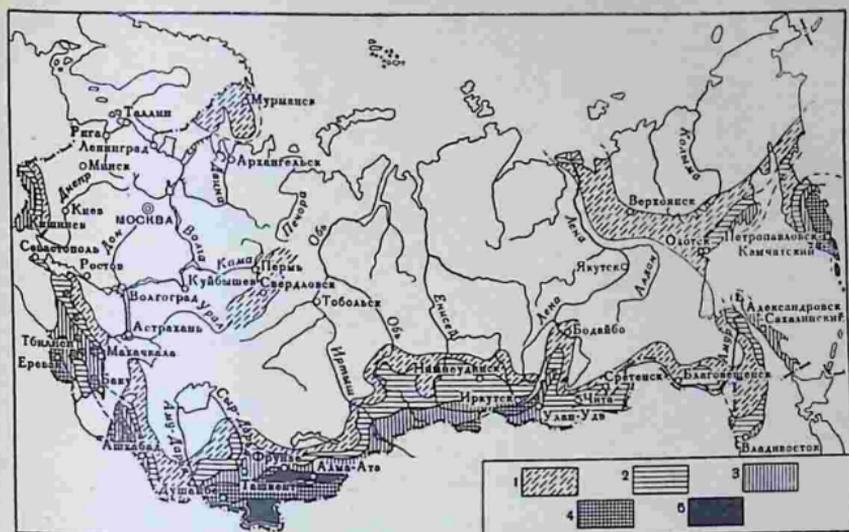


Рис. 44. Сейсмическая карта СССР:

1 — 5 баллов, 2 — 6 баллов, 3 — 7 баллов, 4 — 8 баллов, 5 — 9 баллов и более

6. Ашхабад, 1948 г. Магнитуда землетрясения была более 7, сила баллов более 9. Жертв 90 000 человек.

7. Чили, 1960 г. — 10 баллов, магнитуда 8,4—9,5. Энергия $8,4 \cdot 10^{24}$ эрг, или 233 млрд. квт/ч. Оживление вулканов, цунами. Жертв 10 000 человек.

8. Ташкент, 1966 г. — 8 баллов, магнитуда 5,5. Энергия 10^{21} эрг. Особенность — гипоцентр в центре города, на глубине 8 км, в дальнейшем он переместился на глубину 3 км.

Энергия, выделяемая при сильных землетрясениях, в тысячи раз больше энергии атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму в 1945 г.

Землетрясения в СССР (рис. 44) приурочены к молодым горным сооружениям (Крым, Кавказ, Средняя Азия, Дальний Восток). На древних платформах (в частности, Русской равнине), которые являются областями асейсмичными, фиксировались редкие толчки: так, колебания земной коры наблюдались и в Москве (1802 и 1940 гг.). 10 ноября 1940 г. в Карпатах произошел подземный удар огромной силы, определяемый в 9—10 баллов. Упругие волны достигли Москвы, где они отличались заметной силой (3—4 балла) и проходили через город последовательными волнами в течение трех часов непрерывно.

Регистрация и измерение землетрясений. Для изучения и регистрации землетрясений во всех странах организована сейсми-

ческая служба, в ведении которой имеется около 400 станций, оснащенных современной, весьма точной аппаратурой. В СССР организовано около 70 сейсмических станций, из них одна находится в Москве.

Все сейсмические станции СССР и других стран работают в контакте друг с другом. Это позволяет определять положение очага землетрясения, удаленного на многие тысячи километров (землетрясение в Чили), и более точно характеризовать то или иное землетрясение.

Инструментом, регистрирующим землетрясения, служит сейсмограф, который чаще всего представляет собой горизонтальный или вертикальный инертный маятник, прикрепленный к раме. Когда землетрясения нет, то вся система неподвижна. При толчках грунта фундамент здания, рама маятника начинают смещаться, а маятник по инерции отстает от рамы, и острие его отмечает колебания с помощью часового механизма.

Когда земля неподвижна, острие маятника вычерчивает прямую линию, при сотрясениях маятник начинает колебаться, возникают зигзаги. Чем сильнее землетрясение, тем больше размах зигзагов. Полученная таким образом на специальной ленте запись в виде кривой изломанной линии называется сейсмограммой, которая дает возможность установить время, силу и место землетрясения.

Сотрясения, подвижки в земной коре фиксируются не только острием маятника, но и высокочувствительными гальванометрами. Сейсмограф системы Б. Б. Голицына представляет прибор, где тяжелый груз на пружине прикреплен к раме. Индукционная катушка помещена между сильными магнитами. Если где-либо происходит землетрясение, на станции раздается звонок, указывающий, что волны далекого землетрясения вызвали слабые колебания, подставка смещается, груз по инерции начинает отставать от подставки. Перемещение груза между индукционными катушками вызывает электрический ток, который поворачивает зеркало. Появление тока регистрируется высокочувствительным гальванометром. Световой луч, отраженный от зеркала гальванометра, записывает на движущейся светочувствительной бумаге кривую. Бумага проявляется, и полученная сейсмограмма поступает для исследования.

Прогнозирование землетрясений и меры борьбы с их разрушительным действием. Землетрясения — закономерные явления, происходящие в определенных участках земной коры. Важно знать, где и когда оно будет. Предсказать дату катастрофического землетрясения, как это делается для солнечных и лунных затмений, наука пока еще не может. На основе анализа ряда геологических материалов можно предвидеть, что в ближайшие 10—20 лет в таком-то районе может произойти разрушительное

землетрясение, но указать точно его время нельзя. Косвенными предвестниками возможного землетрясения являются слабые толчки, запахи газа в районах, где до этого воздух был чист, беспокойство домашних животных.

Землетрясения причиняют большой урон народному хозяйству и поэтому ослабление их последствий составляет задачу государственного значения.

В первую очередь надо знать, в каких районах и с какой силой могут быть землетрясения. Для этого составляются так называемые карты сейсмического районирования, на которые наносятся сейсмические зоны от 5-балльных до 9—12-балльных (рис. 44). В зависимости от этого разрабатываются специальные приемы и методы антисейсмического строительства, где материал и конструкции зданий регламентируются особыми правилами и инструкциями, обязательно применяющимися во всех сейсмических районах СССР. В этих областях строятся антисейсмические монолитные каменные сооружения со стальными и железобетонными частями и балками и сложными связями между стенами, часто применяются металлические каркасы. Большое внимание уделяется качеству строительного камня и раствора. Широко учитывается литологический состав пород: скальное основание, состоящее из невыветрившихся пород без трещин, предпочтительнее, чем влажные разрыхленные песчаноглинистые породы.

Комплексное научное изучение методов прогноза землетрясений в СССР и других странах начато в 40-х годах. В основу одного из этих методов положено исследование наклонов земной поверхности, которые представляют собой проявление медленных деформаций земной коры, связанных с процессами горообразования. Предполагают, что под влиянием сил, действующих внутри Земли, на дневной поверхности происходят изменения. Но наклоны земной поверхности вызываются в результате проявления не только внутренних сил, но и внешних — изменения атмосферного давления, температуры, осадков. Чтобы выявить признаки для прогноза землетрясений, ученые включают из записей наклонов ту часть, которая зависит от внешних воздействий.

Другой метод заключается в изучении распространения упругих колебаний в горных породах. Считают, что перед землетрясением физическое состояние горных пород, через которые проходят колебания, меняется, поэтому должна меняться и скорость прохождения через эти пласты сейсмических волн. Следовательно, вызывая волны с помощью искусственных взрывов в сейсмически опасных районах, можно уловить момент, когда скорости распространения сейсмических волн станут свидетельствовать о возможности землетрясений.

ПРИЧИНЫ И ИСТОЧНИКИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ
И МАГМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрим главнейшие современные представления о происхождении материков и океанов, гор и землетрясений, вулканизма и магматизма.

Гипотеза сжатия (контракционная). Всю сложность строения земной коры эта гипотеза объясняет сжатием в результате охлаждения нашей планеты. По гипотезе Канта — Лапласа, Земля рассматривается как первично раскаленное тело, которое непрерывно отдает тепло в окружающее мировое холодное пространство. При остывании Земля сжимается, и земная кора оказывается слишком просторной по отношению к ядру, в результате чего между корой и ядром образуется свободное пространство, над которым повисает наружная оболочка. Под влиянием силы тяжести и боковых (тангенциальных) напряжений горные породы морщатся, коробятся, подобно усыхающему яблоку. Сжатие Земли от ее охлаждения — одна из причин, создающих напряжение в земной коре. Поэтому все разнообразные горы, складки, крупные неровности — результат сморщивания Земли.

До начала XX столетия контракционная гипотеза оказывала плодотворное влияние на развитие тектоники и получила распространение во многих странах, в том числе и в России. Однако постепенно накапливался материал, заставивший пересмотреть принципиальные основные положения контракции, а ныне отказаться от них. Эти возражения сводятся к следующему.

1. Земля имеет собственные источники тепла и не охлаждается, а вследствие процессов радиоактивного распада, напротив, постепенно разогревается. Установлено твердое состояние мантии Земли.

2. Складки (горы) на поверхности распределены неравномерно. Эпохи горообразования сменялись периодами покоя. По контракции земная кора должна сжиматься непрерывно, поскольку потеря тепла совершается все время равномерно.

3. Подсчеты показывают, что если мысленно разгладить все складки горных систем, находящихся на одном меридиане по окружности Земли, то можно вычислить, каковы были размеры окружности до образования этих складок, и узнать, на какую величину сократился объем Земли в результате возникновения гор. Расчеты показывают, что радиус Земли должен был бы сократиться при разглаживании складок в Альпах на 9%, а складок на Урале — на 12%. Так, для Альп современное расстояние между Женевским озером и Сен-Клюд равно 16 800 м, а после мысленного разглаживания всех складок, лежащих между ними, это расстояние составляло бы около 22 000 м.

Цифра в 5200 м выражает абсолютное сжатие этой местности. Но на меридиане Альп по окружности Земли существуют и другие складки. Поэтому очевидно, что эта цифра сильно возрастет.

4. Боковое, тангенциальное давление не в состоянии объяснить все разнообразие типов складчатости.

В настоящее время выделяются следующие их типы.

1. Глыбовая складчатость — сундучные (коробочные) складки.

2. Складчатость нагнетания, возникшая в результате послыного перетекания пластических масс (глин, гипса, каменной соли).

3. Складчатость глубинная, или метаморфическая, играющая большую роль в глубоких частях складчатых зон.

4. Складчатость общего смятия, возникает в результате горизонтального сжатия в земной коре.

Полностью отрицать процесс сжатия геологи не могут, однако если он существует, то протекает в иных масштабах и формах, крайне медленно.

Отвергая примитивные варианты контракционной гипотезы, следует отметить, что, согласно мнениям ряда ученых (А. Д. Архангельский, Н. С. Шатский), тангенциальное сжатие возникает в верхних слоях твердой оболочки из-за уменьшения радиуса Земли, следствием чего является складчатость и внедрение магматических интрузий. Причину постоянного (пульсационного) уменьшения радиуса Земли В. А. Обручев и другие ученые объясняют уплотнением вещества, составляющего ядро Земли. Таким образом, в старые представления вводится новая идея о глубинной контракции, приводящей в отдельные геологические эпохи к сжатию всей Земли. Эти новые идеи заслуживают внимания.

Радиоактивные гипотезы. В начале XX в. шотландский геолог и геофизик Джон Джоли (1851—1933) предложил для объяснения причин горообразования интересную гипотезу, в основу которой положены процессы радиоактивного распада. В истории Земли наблюдается известная цикличность явлений: эпохи горообразований сменяются эпохами покоя. Все дислокации вызываются двумя родами сил: сжимающими (тангенциальными) и растягивающими, после которых в отдельные периоды истории происходили грандиозные излияния базальтовых лав (Деканское плоскогорье в Индии, базальты р. Колумбии в Северной Америке). Высочайшие горные цепи расположены на окраинах океанов и отделены от них сравнительно небольшими участками материка — Анды, Кордильеры и Аппалачи в Америке, Гималаи и горы Индокитая в Азии.

Джоли полагал, что материка и подстилающая их базальтовая постель содержат радиоактивные элементы, постепенный распад которых происходит с выделением большого количества тепла. На некоторой глубине накапливается такое количество

тепла, что базальты постепенно плавятся, увеличиваются в своем объеме. Расплавление базальтовой постели сказывается на сиалических слоях, которые начинают растягиваться, образуют разрывы, расколы, по которым материки глубже погружаются в базальт. При этом на материках происходит трансгрессия, накапливаются осадки, вызывающие дальнейшее опускание континентальных массивов. Жидкий слой базальта испытывает притяжение Солнца и Луны, в нем возникают приливы и отливы, и материки начинают скользить по жидкой постели, двигаясь с востока на запад. Дно океана перемещается в те места, где раньше были материки, базальтовое ложе постепенно остывает и затвердевает. Застывая и уменьшаясь в объеме, базальт сжимается, дно геосинклиналей сминается в складки, одни участки надвигаются друг на друга, по трещинам внедряется магма. Гранитные материки всплывают, происходит регрессия — уход моря, и континенты становятся местом действия внешних геологических агентов — эрозии.

Охладившись, базальтовая постель снова затвердевает и находится в покое до нового накопления тепловой энергии от распада радиоактивных веществ, на что потребуется, согласно Джели, около 30—50 млн. лет.

Ряд идей в гипотезе Джели заслуживает внимания. Он первый высказался о значении процессов радиоактивного распада в тепловом режиме Земли и о смене периодов охлаждения и нагревания земной коры. Однако в методологическом отношении многое встречает возражения. «Циклы» Джели в истории Земли представляют замкнутые, в которых без существенных изменений повторяются одни и те же явления. Земная кора непрерывно протекает в циклах, каждый последующий этап прочем предыдущий, и приводит к другим результатам.

Гипотеза «дрифта» материков. Эта увлекательная гипотеза немецкого ученого А. Вегенера лежит идея о разнородности материков. По этим взглядам, легкие материковые глыбы плавают на базальтовом тяжелом субстрате, как льдины в море. В начале истории Земли представляли единое целое («Пангея») и состояли, как и в настоящее время, из легких сиалических пород. Пангея (слой Sial) как бы плавала на более тяжелом базальтовом субстрате, одевая планету равномерным тонким слоем, как лед покрывает поверхность замерзшего озера. Легкие материковые глыбы (Sial), которые Вегенер уподоблял воску, скользят, перемещаются горизонтально в двух направлениях: под влиянием вращения Земли с востока на запад и под действием центробежной силы, сжимаясь от полюсов к экватору.

Около 450 млн. лет назад в палеозое приливные силы сбили, соединили всю кору в единую материковую глыбу — первичный материк Пангеа. Вращение Земли с запада на восток вызвало разрывы в земной коре.

В мезозое глыба раскололась. Расщепление началось с юга; сначала от первичного материка отделилась Африка от Южной Америки; трещина разрыва, где образовался Атлантический океан, протягивалась на север, глыба удалялась на запад и встретила там большое сопротивление в вязком субстрате океанического дна. Таким же путем из первичного материка Пангеа образовалась Африка и Индостан, Антарктида с Австралией.

По этим представлениям, горы, складки в горных породах — итог давления, возникающего в результате перемещения в горизонтальном направлении материковых глыб. Передний край материковых глыб сдвигается, задний край растягивается. Западный край обеих Америк при своем продвижении на запад встречал все возрастающее сопротивление при движении по вязкой магме и начал сминаться в складки, в результате чего возникли Анды и Кордильеры, растяжение заднего края образовало гирлянды островов; так, в вязкой магме «застряли» острова Гренландия, Исландия, на востоке Евразийской глыбы — Филиппинские, Большие и Малые Зондские острова. Материковые глыбы раскалывались и, двигаясь в определенном направлении, давили друг на друга, вследствие чего формировались складчатые сооружения. Так, наджигание Индостана на Азию привело к образованию Гималаев.

Гипотеза Вегенера сравнительно просто объясняла многие сложные вопросы геологии, зоологии, ботаники, климатологии. В частности, прежняя связь материков объяснялась не только большим внешним сходством очертаний-конфигураций береговых линий побережья Атлантики (выпуклым частям Европы и Африки соответствуют вдающиеся части Северной и в особенности Южной Америки), но и целым рядом других факторов: 1) большим сходством в строении, литологии одновозрастных пород, геологической истории, размещении полезных ископаемых (например, алмазов) Южной Африки и Южной Америки; 2) наличием одинаковых ископаемых и современных растительных и животных остатков в местах, разделенных громадными просторами океанов: на острове Лорд Хоу (возле Новой Зеландии) и острове Сан-Фернандес (у берегов Чили) встречено более 162 одинаковых растений.

Все эти загадки отпадают, если допустить, что в далеком прошлом материк были вместе, а затем раскололись, разошлись.

В последнее время гипотеза Вегенера в новой трактовке получила название мобилизма, «дрифта» материков и находит сторонников, особенно среди геологов Южного полушария. Эту гипотезу подтверждают работы французов Шевелье и Телле, установивших явления палеомагнетизма. Оказалось, что при образовании пород путем отложения осадков в море либо охлаждения и затвердевания лавы в них обнаруживается остаточное намагничивание, сохранившееся со времени их образования. Это намагничивание выражается в определенном направлении залегания пород, которое зависит от широты их нахождения и указывает, в какой стране находился магнитный полюс в эпоху

образования пород. Обнаружено, что в более древних породах намагничивание обычно отличается от намагничивания современных.

Сторонники «мобилизма» основывают свою теорию на следующем:

1. Палеомагнитные измерения. Остаточное намагничивание различных пород показывает, что некоторые матерки систематически перемещались (Африка, Индостан, Австралия, Южная Америка), двигаясь в северном направлении.

2. Геодезические измерения, проведенные в конце XIX в. и начале XX в., показали, что расстояние между Европой и Гренландией увеличивается примерно на 32 см в год, а расстояние между Европой и Северной Америкой на широте 45° возрастает на 65 см в год. Измерение координат острова Корсика показало, что он переместился к востоку за 80 лет на 10—12 м.

3. Океанологические наблюдения. Направление линий разломов — расщелин, встречающихся в единой непрерывной горной цепи на дне океанов, совпадает с направлением палеомагнетизма.

Полагают, что перемещение материков захватывало большие блоки земной коры и верхней мантии, которые двигались одновременно под влиянием обычных горизонтальных и вертикальных движений подкорового вещества и вращения Земли.

Противники этих представлений утверждают, что теоретические основы палеомагнитных измерений не являются еще твердо установленными, а геодезические измерения дают противоречивые результаты.

Представления русских ученых. Еще М. В. Ломоносов (1763) выдвинул оригинальные мысли о движении земной коры, причину которого он видел во внутреннем состоянии Земли. Волнистое залегание горных пород, складчатость рассматривались им как результат влияния внутреннего огня. Все движения в земной коре М. В. Ломоносов подразделял на быстрые и медленные.

Эти медленные движения земной коры, получившие название колебательных, глубоко изучены академиком А. П. Карпинским (1894), взгляды которого сыграли огромную роль для развития геологической науки. Причиной крупных дислокационных явлений в залегании пластов А. П. Карпинский считал изменения земной коры вследствие сокращения земного шара от охлаждения.

Интересны представления о причинах складчатости М. М. Тетяева, В. В. Белоусова, М. А. Усова, В. А. Обручева.

В. В. Белоусов предложил радиомиграционную гипотезу, по которой все разнообразие складок в земной коре является следствием нагревания и охлаждения вещества ввиду неравномерного содержания в оболочках Земли радиоактивных элементов. Распределение радиоактивных элементов неравномерно и изме-

няется по времени вследствие их миграции, которая происходит фазами, толчками. Наиболее богата радиоактивными элементами силикатная оболочка. При нагревании породы расширяются, при охлаждении сжимаются. В участках земной коры, где имеет место расширение, нагретые массы горных пород давят снизу вверх, в результате чего происходит сдавливание, сплющивание пород. Поскольку породы разогреваются на глубине, а сверху противодействует огромная толща вышележащих пластов, горные породы сминаются в складки. В участках, где преобладает сжатие, происходит опускание, погружение горных пород. Эти вертикальные колебательные движения являются ведущими в тектоническом развитии Земли и своего максимума они достигают в геосинклинальных поясах. Все разнообразие складок, дислокаций в земной коре В. В. Белоусов объясняет действием вертикальных сил — давлением, направленным снизу вверх. Эта гипотеза объясняет складчатость на равнинах, где породы залегают почти горизонтально, дислоцированы мало, но для горных областей с породами, сильно смятыми в складки, осложненными большими нарушениями в горизонтальном и вертикальном направлениях, трудно понять механизм складкообразования при действии сил, направленных вертикально, снизу вверх. Природу складчатости для этих сложных участков земной коры легче объяснить боковыми, тангенциальными силами.

В основе геотектонической гипотезы академиков М. А. Усова и В. А. Обручева лежит идея борьбы двух факторов — притяжения и отталкивания. Гипотеза получила название «пульсационной», так как развитие Земли сравнивается с фазами деятельности сердца. Эти взгляды можно назвать модернизированными представлениями контракционных гипотез — глубинной контракцией (сжатия ядра). Развитие Земли рассматривается скачкообразно, как борьба двух сил: притяжения, обусловленного силой тяготения, и сил отталкивания, вызванных излучением тепловой и световой энергии. Намечаются эволюционные и революционные периоды. Первые включают медленные колебательные движения, изостатическое выравнивание поверхности Земли, вторые — скачки — резкое изменение рельефа земной поверхности, образование сложных складок, гор. Когда сжатие превалирует над растяжением в результате процессов уплотнения ядра под действием тангенциального давления в каменной оболочке, породы сминаются в складки, образуются горы, происходит внедрение магмы. Растяжения в земной коре вызывают большие разрывы, разломы, по которым магма выливается на дневную поверхность.

Некоторые итоги. Мы ознакомились со строением Земли, ее оболочек и земной корой, с гипотезами о происхождении нашей планеты, материков и океанов, гор, а также успехах науки,

достигнутыми за последние годы, в частности в вопросах физико-химических исследований свойств пород и минералов при высоких давлениях и температурах (геохимия), в региональных сейсмических работах (геофизика). Считают, что Земля состоит из различных по составу и плотности пород, которые тверды, но в то же время пластичны. Доказано различие в строении и толщине материковой и океанической коры. Под океаном залегают породы верхней мантии, состоящие из вещества, превосходящего по своей плотности все породы, известные у поверхности суши. Выявлено сочетание и взаимоотношение тектонических и магматических процессов, основой которых является радиоактивное тепло.

Вопрос происхождения Земли еще окончательно не решен, тем, не менее наибольшим признанием в настоящее время пользуются представления о «холодном» происхождении Земли путем концентрации мелких и крупных частиц и обломков, летавших в космосе в виде огромного роя. Увеличение размеров Земли происходило постепенно, более глубокие слои древнее верхних. Когда Земля достигла размеров, близких к современным, внутри нее стали развиваться радиоактивные процессы и накапливаться радиоактивное тепло.

Установлено, что в верхних слоях перидотитовой мантии Земли, на глубине около 100 км, теплопроводность вещества Земли наименьшая и быстро возрастает на больших глубинах вместе с ростом температуры. Эта малая теплопроводность и препятствует интенсивной потере тепла через поверхность. Расчеты показали, что условий для охлаждения всего земного шара и возникновения контракции (сжатия) не могло быть. Вследствие неодинаковой теплопроводности наибольший градиент температуры должен быть в верхних слоях мантии, примерно до глубины 1000 км. Через 2—3 млрд. лет после образования «холодной» Земли в этой ее части возник пояс, где на глубинах от 50—200 до 500—700 км температура местами могла достигать температуры плавления ультраосновных пород.

В пределах этого пояса, названного Е. А. Любимовой «поясом дифференциации», создались условия для возникновения обособленных магматических очагов и начала дифференциации вещества, приведшей к образованию сиалической оболочки земной коры. Характерно, что глубины очагов глубокофокусных землетрясений и глубины обособленных магматических цистерн (очагов) примерно совпадают: их глубина около 500—700 км. Глубинные разломы—расщелины (открытие Юинга и Хизена) также достигают этих величин.

Все эти открытия позволяют с новых позиций рассмотреть вопрос о происхождении гранитного слоя материков (континентальный тип коры), базальтового слоя океанов (океанический тип коры) и, наконец, вещества верхней мантии.

Изучая материки и океаны, нельзя рассматривать отдельно земную кору и мантию, так как кора в своем развитии тесно связана с верхней мантией. По-видимому, главный источник всех тектонических и магматических процессов — верхняя мантия.

Таким образом, научно обоснованной теории причин и источников тектонических и магматических движений, удовлетворяющей требованиям современного естествознания, пока еще не создано.

Следует отметить, что различные гипотезы правильно отмечают отдельные возможные причины этих движений, но пока целиком эта проблема еще не решена.

ВНЕШНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Глава двенадцатая ВЫВЕТРИВАНИЕ

К экзогенным процессам, действующим под влиянием лучистой энергии Солнца, относятся деятельность ветра, атмосферных, поверхностных и подземных вод, ледников, снега, морей, озер, животных и растительных организмов, а также деятельность человека.

Работа этих, на первый взгляд малозаметных, агентов в течение многих сотен миллионов лет (человек существует как разумное существо всего около 1 млн. лет) изменяет лик Земли, преимущественно сглаживая, выравнивая формы рельефа, созданные внутренними геологическими процессами, и создавая скопления рыхлых горных пород.

Под процессом выветривания понимают разрушение горных пород на поверхности земли или близ нее под воздействием воздуха, воды, льда, колебаний температуры и жизнедеятельности организмов — высших и низших растений, животных и человека. Выветривание подготавливает породы к образованию почвы и является важной частью процесса ее формирования. Этот процесс создает в породах скважность, водопроницаемость, поглотельную способность. Надо подчеркнуть, что только под совместным и одновременным воздействием выветривания и почвообразования горная порода обращается в почву. Сам по себе процесс выветривания не аккумулирует в породах элементов питания растений: азота, фосфора, калия и др.; наоборот, некоторые соединения калия, азота, фосфора вымываются; другие, например сернистое железо, окисляются и т. д. Только процесс почвообразования создает плодородие, превращая бесплодную горную породу в почву.

Главные агенты выветривания следующие.

1. Лучистая энергия Солнца, поглощаемая и накапливаемая на Земле, колебания температуры, нагревание и охлаждение пород.

2. Вода с растворенными в ней веществами, проникающая в земную кору из атмосферы при ее круговороте на Земле.

3. Кислород и углекислота, также проникающие из атмосферы и возникающие при биохимических и минералогических процессах.

4. Растительные, животные организмы.

Особую роль в этих процессах играет человек. Все эти агенты разрушают горные породы, а продукты разрушения частично сносятся реками, ледниками, ветром в морские водоемы или же на прилегающие низменности. На дневной поверхности образуются толщи пород, из которых возникают различные типы континентальных рыхлых отложений. Эти образования имеют большое практическое значение: являясь часто почвообразующими породами, под воздействием растительных и животных организмов они преобразуются в почвы; в ряде случаев рыхлые отложения служат основанием для фундамента различных сооружений.

Различают два вида выветривания: физическое и химическое. Некоторые исследователи выделяют еще и биогенное выветривание. Все эти виды тесно связаны друг с другом. Биогенное, или органогенное, выветривание осуществляется химическими и физическими агентами. На процессы выветривания исключительно большое влияние оказывает климат местности.

Наружные слои литосферы, где осуществляются процессы выветривания, называют корой выветривания. Различают: 1) пояс современного выветривания, т. е. поверхностную часть земной коры; 2) пояс глубинного, или векового, — древнего выветривания.

В поясе современного выветривания происходит почвообразовательный процесс. К поясу векового, древнего выветривания, мощность которого местами достигает 300—400 м, бывают приурочены важные полезные ископаемые: каолин (преимущественно на кислых породах — гранитах), латериты (на кислых и основных породах в условиях влажного климата), железные руды и руды никеля (на основных и осадочных породах).

Глубина проникновения различных агентов выветривания колеблется в широких пределах в зависимости от структуры и пористости пород.

Физическое выветривание. При физическом выветривании происходит раздробление пород без изменения их химического состава. Процессы физического выветривания происходят под влиянием различных агентов и при участии различных высших растений, животных и деятельности микроорганизмов. Различают

температурное выветривание и механическое. В первом главный фактор — колебание температуры; во втором — замерзание воды, кристаллизация минералов, корневая система растений, различные землерои и т. д.

Суточные и сезонные колебания температуры, неравномерный нагрев горных пород, сложенных различными минералами, ночное охлаждение разрушают горные породы. Эти процессы наиболее интенсивны в пустынях и полупустынях, где суточные колебания температуры достигают более 70°C (днем на солнце до 70°C , ночью ниже 0°C). При нагревании породы расширяются, при охлаждении сжимаются. Коэффициенты объемного расширения минералов неодинаковы: так, коэффициент расширения кварца в два раза выше, чем у ортоклаза, и примерно на $\frac{1}{3}$ больше, чем у роговой обманки. Темные минералы нагреваются сильнее, чем светлые. Вследствие неодинакового расширения и сокращения объема минералов породы начинают трескаться, раздробляться. Так, крупнозернистый гранит, состоящий из разноцветных зерен ортоклаза, кварца, слюды, роговой обманки, постепенно начинает разрушаться. Таким образом возникают щебневые покровы — «каменные моря», гольцовый рельеф Восточной Сибири и т. д.

Замерзание воды. Воды, передвигаясь по трещинам, при понижении температуры замерзают, расширяются, увеличиваясь в объеме до 9%, и разрушают горные породы, превращая их в зависимости от структуры в обломки различной величины.

Для определения силы расширения воды при замерзании был проделан опыт: чугунное ядро наполнялось водой и выставлялось на мороз, при замерзании воды ядро разрывалось, давление при этом достигало более $1000\text{ кг на }1\text{ см}^2$.

Рост кристаллов, особенно в районах, сложенных породами химического происхождения, также способствует разрушению и измельчению пород. Так, широко распространенный минерал ангидрит CaSO_4 в поверхностных условиях, гидратизируясь, присоединяет две молекулы воды: $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, превращаясь в гипс. Эта химическая реакция сопровождается физическим явлением — увеличением объема на 33%, вследствие чего вышележащие породы сминаются в складки, в кровле пород возникают трещины, пустоты, по которым происходит обрушение пород.

Значительна также роль растений и животных-землероев в разрыхлении поверхностных отложений.

Наконец, человек (см. главу двадцатую), извлекая из недр земли руды и металлы, занимаясь сельским хозяйством, строя различные сооружения, каналы, водохранилища, преобразуя поверхностные отложения, измельчает, разрушает огромную массу горных пород.

Химическое выветривание. В нем участвуют химически активные элементы — O_2 , H_2O , CO_2 и органические кислоты. Процессы химического выветривания сопровождаются новообразованием, созданием минералов, устойчивых в коре выветривания.

Скорость разложения минералов определяется их химическим составом, физическими свойствами (твердость, спайность), что, в свою очередь, обуславливается строением кристаллической решетки. Способ упаковки атомов, ионов, молекул играет в этом процессе ведущую роль.

Наиболее характерные из этих процессов — это окисление сульфидов, разложение силикатов, окислов (каолинизация, лимонитизация, латеритизация) органических соединений, гидратация. При этом происходит как новообразование, создание минералов, так и разрушение, растворение различных минералов и вынос подвижных соединений. Химическое выветривание вносит в породу большие изменения: оно обогащает ее новыми свойствами — связностью, пористостью, капиллярностью. Кислород — весьма важный агент разложения горных пород и минералов. В атмосферном воздухе содержится около 21% свободного кислорода. В воздухе, растворенном в воде, относительное содержание кислорода колеблется от 33 до 35%. Глубина проникновения кислорода в глубь биосферы достигает сотен метров и предопределяется пористостью и трещиноватостью пород, глубиной залегания грунтовых вод, обуславливая пояс аэрации, в котором интенсивно идут процессы окисления. Ниже пояса аэрации окислительные процессы постепенно прекращаются, а граница, совпадающая обычно в горных породах с уровнем грунтовых вод, называется окислительно-восстановительной. Выше нее преобладают окислительные процессы, ниже — восстановительные.

Максимальной мощности пояс окисления достигает в местностях с сильно расчлененным рельефом при глубоком залегании грунтовых вод, в теплом и жарком климате. В районах с многолетнемерзлыми горными породами и среди болот пояс окисления почти отсутствует.

Окисление — очень важная реакция, широко распространенная в зоне выветривания. Окислению подвергаются многочисленные минералы — сульфиды, окислы, силикаты; органические соединения. При окислении широко распространенного минерала пирита FeS_2 , кроме сульфатов и железа, образуется свободная серная кислота, вызывающая образование ряда новых минералов.

В процессе окисления изменяется первоначальная окраска горных пород, появляются желтые, бурые и красные тона. Сильноокисленные породы обычно приобретают землистое, пористое строение (например, бурый железняк), что вызывает быстрое их разрушение.

Температура также влияет на ход химического разложения минералов: повышение температуры на каждые 10° ускоряет течение химических реакций в 2—2,5 раза. В средней зоне СССР, где температура примерно на 20° ниже, чем в экваториальной области, процессы химического разложения значительно замедляются.

Вода — очень энергичный растворитель горных пород и минералов. Передвигаясь в поясе выветривания, она вызывает различные химические реакции, приводящие к разрушению, разложению и изменению пород. Разложение водой минералов усиливается с повышением температуры, а также с увеличением концентрации воды и насыщением ее углекислотой.

Углекислота — весьма важный агент химического разрушения горных пород. Ее источником в воздухе и воде является жизнедеятельность организмов, а иногда также разложение карбонатов и вулканические процессы. Углекислота, входящая в состав природных вод, не вся бывает активной. Часть ее связана в виде малорастворимых карбонатов CaCO_3 , MgCO_3 , другая часть также связана, но уже в виде растворенных бикарбонатов $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и только третья часть является свободной, или агрессивной. Эта углекислота имеет огромное значение в растворении и разложении минералов.

Растворяющая способность грунтовых вод, содержащих свободную углекислоту, сильно возрастает: так, при 15°C и нормальном давлении в одном литре воды растворяется 0,013 г CaCO_3 ; в одном литре воды, обогащенном свободной углекислотой, растворяется уже 1,17 г CaCO_3 , т. е. в 90 раз больше.

При процессах химического выветривания минералы, входящие в состав горных пород, отличаются различной устойчивостью. Наиболее стоек при выветривании кварц, который не меняет своего состава даже при тонком измельчении, вследствие чего он широко распространен в обломочных породах и входит в состав многих почв. Из силикатов сравнительно быстро разлагаются ортосиликаты (оливин) и метасиликаты (авгит), в связи с чем граниты разлагаются медленнее, чем габбро и диуниты. Полевые шпаты разлагаются по схеме: полевые шпаты → гидрослюда → каолинит → латерит. Сульфиды окисляются следующим образом: сульфиды → сульфаты → карбонаты → окисные соединения. Органическое вещество, включенное в породы, очень неустойчиво при выветривании.

Биогенное выветривание. Этот процесс рассматривается как часть физического и химического выветривания. Только в результате деятельности организмов горная порода получает главнейшие элементы питания растений (азот, фосфор, калий), приобретая новое свойство — плодородие.

Растения, различные лишайники, черви и другие землерои — весьма энергичные агенты выветривания. Растения своими кор-

ниями не только способствуют разрыхлению породы (агенты физического выветривания), но, произрастая на породе, усваивают из нее многие элементы питания. В дальнейшем под воздействием различных органических кислот начинается процесс химического разложения горных пород. Интересен так называемый «высокогорный загар»* на Центральном Тянь-Шане, представляющий собой химическое разрушение скал микроорганизмами. В этом процессе четко намечаются две стороны: физическое выветривание — размельчение, разрушение материала и химическое выветривание — химическое разложение горных пород и образование новых, вторичных минералов.

В этом же направлении проявляется деятельность различных землероев, в частности дождевых червей, термитов, сусликов. Они заглатывают некоторое количество породы, пропускают ее через кишечник и, извлекая из нее пищу, не только разрыхляют породу, но значительно изменяют ее химически. Аналогичную работу, только в меньшем размере, проделывают некоторые птицы, заглатывая гальку, гравий. Масштаб геологической работы дождевых червей исключительно велик. Дождевые черви имеют громадное значение как структурообразователи поверхностных отложений. По данным А. А. Соколова, в Казахстане за теплый период 1949 г. дождевые черви на гектаре светло-серой лесной оподзоленной почвы переработали 225 т, а на гектаре среднегумусного чернозема — 175 т. Количество особей на 1 м² оподзоленных почв доходит до 50.

На процессы разрушения алюмосиликатов и образования свободных гидратов глинозема (латеритов и бокситов), по мнению В. И. Вернадского, оказывают влияние микроорганизмы. Нитрофицирующие бактерии усваивают азот из почвы, а углерод — преимущественно из карбонатов осадочных горных пород. Таким образом, карбонаты превращаются в нитраты, например CaCO_3 — в CaNO_3 . Освобождающаяся угольная кислота идет на питание, рост и размножение бактерий.

В результате сложных процессов выветривания возникают многочисленные минеральные новообразования гипса, углекислой извести, закиси железа, выцветы марганца, образующие многочисленные налеты и выцветы, примазки, корочки, прожилки, трубочки (гипс, углекислая известь), конкреции, стяжения («ласточкины хвосты» гипса, «журавчики», «дутики», «белоглазка» углекислой извести и т. д.).

Элювиальные образования. Продукты выветривания горных пород, оставшиеся на месте своего образования, называют элювием.

* «Загар», или «защитная кора», — черная блестящая корка из окислов железа и марганца на поверхности скал, возникающая при переменном увлажнении в результате химических процессов.

Отложения этого типа отличаются рыхлостью, отсутствием слоистости и сортировки. Характерен постепенный переход к исходным материнским породам. В минералогическом отношении они часто состоят из наиболее устойчивых минералов — кварца, мусковита, ортоклаза, альбита.

Характер элювиальных отложений весьма разнообразен и зависит от особенностей состава исходных пород, характера рельефа и климата. Почвообразовательные процессы преобразуют верхнюю часть элювия и под влиянием жизнедеятельности растений образуются почвы.

Продукты выветривания магматических и осадочных пород, имеющих различную пористость, зернистость, сланцеватость, твердость, сильно различаются. По составу и характеру элювия можно судить о составе материнских пород. Так, при разрушении крупнозернистых пород магматического происхождения образуются крупные обломки остроугольной формы — глыбы камня, щебня, брекчии, дресвы. Грубообломочные породы элювия, оставаясь на месте своего залегания, создают элювиальные россыпи.

Некоторые устойчивые в отношении выветривания минералы хорошо сохраняются в россыпях. К ним относятся золото, платина, алмазы, корунд, циркон, касситерит и т. д. Больше всего в россыпях встречается кварца, из которого главным образом слагаются пески. Многие элювиальные россыпи разрабатываются для извлечения из них металлов, другие используются в качестве строительного материала.

При разрушении мелкозернистых пород магматического происхождения образуются пески различного состава — кварцевые, полевошпатовые, слюдяные и т. д.

При разрушении сланцев, плитчатых мергелей обломки приобретают форму чешуек, пластин, листов. Рыхлые поверхностные отложения обогащаются различными микроэлементами, важными для питания растений и животных, — медью, молибденом, бором.

Зональность процессов выветривания, понятие о ландшафте. Скорость раздробления и измельчения горных пород, образование элювия, процессы формирования почвенных горизонтов зависят не только от характера и состава материнских пород, но и подчиняются географо-климатическому фактору (географическая зональность).

Процессы выветривания, так же как и растительный покров, почвы, поверхностные и грунтовые воды, подчиняются зональности, впервые установленной В. В. Докучаевым.

Различают три основных пояса: тропический, умеренный и арктический. Явление зональности особенно четко выражено на территории европейской части СССР, на которой при движении с северо-запада на юго-восток последовательно сменяется

ряд географических зон: тундровая, лесная, лесостепная, степная, пустынная. Но и здесь устанавливаются некоторые отклонения от зональности (аномалии, интразональность и аazonальность).

Под ландшафтом подразумевают природный географический комплекс, характеризующийся суммой типичных признаков, в котором различные элементы — климат, почва, растительный и животный мир, рельеф, человек и его хозяйственная деятельность — соединяются в одно целое, взаимодействуя друг с другом.

Соответственно выделяют ландшафт тундр, степей, пустынь, ледниковый и т. д.

Химический состав ландшафта, в котором сосуществуют организмы, оказывает на них влияние, вызывая изменения, а иногда и болезни. Например, недостаток в почвах магния, марганца, железа вызывает хлороз у растений, недостаток фосфора и кальция — заболевание костей у животных, недостаток иода — появление зоба у людей, недостаток фтора в воде — кариес зубов и т. д. Ряд химических элементов является ядами для животных и растений — это ртуть, таллий, свинец, кадмий, уран.

Растения различных ландшафтов характеризуются своеобразным составом. В пустынях они богаты натрием, хлором и серой. Растения и животные степей богаты кальцием, но бедны алюминием, железом, марганцем, а на болотах они часто содержат много железа и марганца. Растения влажных тропиков бедны натрием, кальцием, хлором, серой, но богаты алюминием и кремнеземом. Вторичный кремнезем (опал) накапливается в злаках, мхах, лишайниках, особенно в зоне влажных тропиков, например, в Индии в стволах бамбука «табашир» образуются желваки опала.

Многие растения как своеобразные насосы перекачивают химические элементы из нижних горизонтов почвы в верхние. Растения солончаков ежегодно вовлекают в биохимический круговорот до 200—500 кг солей на 1 га, поддерживая таким образом засоленность почвы.

Все это показывает, что роль растений в преобразовании поверхностных слоев земной коры весьма значительна.

Глава тринадцатая

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВЕТРА

Ветер и его работа. Ветром называют движение частиц воздуха в горизонтальном направлении вследствие разности в атмосферном давлении, которая возникает от неравномерного нагревания воздуха.

Ветер — один из важных геологических агентов, его деятельность называют эоловой, или ветровой. Выражается она в разрушении горных пород (выдувании, развевании и шлифовании),

транспортировании (переносе) и отложении (накоплении, аккумуляции) обломочного материала.

Ветер создает разнообразные скульптурные и аккумулятивные формы рельефа, изменяет влажность воздуха, влияя на урожай сельскохозяйственных культур. Наиболее сильно его деятельность проявляется в полупустынных и пустынных областях, местностях, лишенных растительного покрова.

Особенности пустынь, полупустынь. Пустыни занимают около $\frac{1}{5}$ поверхности материков и на территории СССР составляют около 8% площади.

Пустынями называют засушливые территории земного шара с небольшим количеством годовых атмосферных осадков (всего 70—200 мм), выпадающих преимущественно зимой и весной. Так, летом температура воздуха в районе Термеза (Узбекская ССР) достигает 50°C , а почвы — 80°C .

Полупустыни — это переходные зоны в засушливом климате от степей к пустыням, атмосферных осадков выпадает 200—350 мм, испарение в 3—5 раз больше суммы годовых осадков. Здесь встречаются как степные элементы растительности (дерновые злаки), так и пустынные (полыни, солянки). В СССР к полупустыням относится Прикаспийская низменность.

Пустыни подразделяют по географическому расположению и рельефу местности. Среди первых выделяют внутриматериковые пустыни умеренного пояса (Каракумы, Кызылкумы, Гоби) и субтропические (Сахара, Аравийская). По рельефу различают пустыни: горные — с невысокими, но голыми и скалистыми хребтами и равнинные — каменные, песчаные, глинистые (такыры) и глинисто-солончаковые.

Каменные пустыни характеризуются полным отсутствием всякой растительности, представляя собой ровные или слабо-волнистые площади с участками выветрелых ячеистых и пустотелых скал, щебня. На породах часто выделяются марганцово-железистые пленки — черные, блестящие корки (пустынный загар). Эти корки состоят из окислов железа, марганца, а также из глинозема и кремнезема и образуются в результате химических процессов, обусловленных особенностями климата пустыни, когда большое значение приобретает чередование увлажнения и высыхания вследствие резкого недостатка влаги. В каменных пустынях преобладают процессы развевания и коррозии.

Песчаные пустыни характеризуются накоплением песчаных и глинистых частиц. Для песчаных пустынь характерны отполированные и отшлифованные песком многогранники, скапливающиеся в виде гряд. Песчаные холмы, имеющие форму полумесяцев, называют барханами.

Пески пустынь — это своеобразные губки, они легко поглощают воду и также легко ее отдают.

Глинистые (такырные) пустыни занимают более или менее обширные пространства по окраинам песчаных пустынь и в СССР приурочены к предгорьям Копет-Дага. Такыр — идеально выровненная поверхность, совершенно оголенная, в сухое время плотная, твердая, с характерной полигональной трещиноватостью. Во влажном состоянии вследствие размокания глины поверхность такыра вязкая, липкая, почти непроходимая для транспорта. Такыры образуются в результате накопления мелкозема в понижениях рельефа и характеризуются большой водоудерживающей способностью, усиливающейся в связи с почвообразовательными процессами солонцового ряда. Такыры богаты солями хлоридов натрия, магния, кальция, глауберовой солью.

Глинисто-солончаковые пустыни образуются вследствие капиллярного поднятия и испарения грунтовых вод, выносящих соли; последние концентрируются в верхнем слое почвы и на поверхности, образуя солевые корки.

Процессы развевания и формы рельефа, созданные ветром. Разрушительная деятельность ветра складывается из вытачивания (коррозии) и развевания (дефляции) горных пород.

Коррозией называют вытачивание песком, переносимым ветром, скал и горных пород. Дефляция — сдувание, выдувание и развевание ветром мелких частичек горных пород. Оба эти про-



Рис. 45. Ячешстое выветривание



Рис. 46. Эоловый столб

цесса тесно связаны друг с другом и наиболее интенсивно происходят в пустынях, где давление движущегося воздуха во время ураганов достигает 110 кг на 1 м². Ветровая дефляция в виде пыльных бурь ежегодно наблюдается во многих степных районах Северного Казахстана, причиняя ущерб сельскому хозяйству. На юго-востоке европейской части СССР большой вред сельскому хозяйству наносят горячие сухие восточные ветры — суховеи. Температура воздуха при этих бурях повышается до 35—40° С, относительная влажность резко падает, почвенный мелкозем сносится, корни растений обнажаются, растения сохнут. Суховеи переносят огромное количество пыли и песка.

В Средней Азии широко известен ветер «афганец», дующий в юго-западном направлении, который несет с собой из пустынь Афганистана огромное количество пыли. В Афганистане большое зло причиняет северо-западный и западный горячий ветер «120 дней», или «гармсилъ», приносящий пески и зной из пустыни Каракум и иранских пустынь. Ветер часто транспортирует материал на огромные расстояния: при извержении Кракатау в 1883 г. пепел достиг Петербурга, при извержении Безымянного вулкана на Камчатке в 1956 г. — Великобритании. В Воронежской области известен слой вулканического пепла мощностью 0,60—1,10 м, принесенный при извержении ныне потухших кавказских вулканов.

Ветры меньшей силы, действуя длительное время, также оказывают существенное воздействие на горные породы, скалы и различные сооружения. Многочисленные мелкие осколки горных пород, песок, пыль бороздят, сверлят и истирают обнаженные поверхности скал. В результате разрушительной деятельности ветра образуются различные так называемые эоловые формы рельефа: эоловые столбы, столы, многогранники, ниши выдувания, ячеистые и сотовые поверхности (рис. 45), котловины и остаточные эоловые равнины.

Эоловые столбы (рис. 46) возникают в горизонтально залегающих породах в результате выдувания ветром слабосцементированных или сильнотрещиноватых пород. Эти столбы часто имеют крайне причудливые формы останцов в виде грибов, седел, иел, перьев, шаров, различных животных (рис. 47).

Эоловые многогранники — обломки горных пород с несколькими гранями — образуются в результате шлифовки песком под действием ветра, дующего в различных направлениях.



Рис. 47. Каменный верблюд в Оренбургской области

Многие глыбы имеют хорошо выраженные грани, пересекающиеся под острыми углами и придающие им форму пирамидок.

Ниши выдувания, желоба и карнизы, ячеистые и сотовые поверхности, останцы возникают вследствие того, что различные минералы и прослойки пород оказывают неодинаковое сопротивление ветру, стремящемуся просверлить и стереть обнаженные поверхности. Многие породы в этих условиях приобретают характерную отдельность — матрацевидную, плитняковую, шаровую, образуя своеобразные золотые ворота, арки, колонны.

Коррозирующее действие песка сказывается на различных сооружениях. Колокольни многих церквей, башен, построенных в умеренных широтах, имеют следы разрушающей работы ветра. Так, Сумбекина башня в Казани, построенная еще в XV столетии, имеет внутри в верхней части пустоты и углубления в виде карманов овальной и продолговатой формы. Эти пустоты могли образоваться только под воздействием ветра, врывающегося в башню через открытые амбразуры.

В Калифорнии телеграфные столбы возле поверхности земли перепиливаются воздушными течениями, несущими огромные массы песчаных частиц. Телеграфные провода вдоль Ашхабадской железной дороги в Туркмении приходится менять каждое десятилетие, так как они под действием летучего песка истираются и рвутся.

Ветер — переносчик солей. Следует отметить роль ветра в переносе (миграции) солей, что наравне с другими причинами приводит к засолению почв и грунтовых вод.

Количество морских солей, выносимое штормовыми ветрами с поверхности Мирового океана в атмосферу, достигает 27 млрд. т в год, из них ежегодный вынос хлора составляет $15 \cdot 10^9$ т.

Ветер, дующий с моря, переносит морскую пыль с содержанием различных солей. В курорте Гагра в воздухе прибрежных аллей приморского парка содержание солей в бурю достигает почти 2 мг на 1 м³ воздуха, а при штиле падает до 0,022 мг.

На Тарханкутском мысе в Крыму черные кисти винограда после каждого штормового ветра покрывались белым налетом солей в виде изморози. В бездождный период в районе курорта Саки на почве осаждается около 30 кг хлора на 1 га за год. Во время дождей в 1 л дождевой воды содержится 15,2 мг хлора. Если пересчитать это количество на осадки, выпавшие в течение года, то окажется, что в среднем за год в этом районе на площади 1 га выпадает более 50 кг хлора. Вместе с хлором, принесенным ветром, это составляет 80 кг на 1 га (А. И. Дзенс-Литовский).

Количество растворимых солей, выпадающих на 1 га в год с атмосферными осадками, в приморских местностях может достигать весьма значительных величин (табл. 18).

Соляные бури и соляные дожди на степных полях часто губят всходы культурных растений, засоляют колодцы с питье-

вой водой, которые в целях предохранения покрывают крыш-ками из мешковины или брезента.

В пустынях Средней Азии ветер, развеивая соляную корку, переносит в воздухе соли натрия, хлора, серы.

ТАБЛИЦА 18

| Местность | Количество солей в кг на 1 га в год | Автор |
|----------------------------------|--|----------------|
| Нижнее Поволжье | 475 | Н. И. Усов |
| Аскания-Нова (УССР) | Более 217 | В. В. Бурксер |
| Одесса | 172 | Н. Е. Федорова |
| Окрестности Ленинграда | Более 111 | П. С. Коссович |

Среднее количество иода, вносимое атмосферными осадками в почву континентальных областей, составляет около 10 г на 1 га в год. На поверхность Земли атмосферные осадки в год приносят около 100 000 т ртути, что в 20 раз превышает ее ежегодную добычу. Таким же образом поступают в почву мышьяк, бор и другие элементы. На юге Украины источником сульфатов в атмосферных осадках является пыль, поднимаемая с поверхности лёсса, содержащего до 1% серы в виде гипса.

В больших городах в воздухе отмечено повышенное содержание сульфатных ионов вследствие сжигания топлива, содержащего серу.

Созидательная деятельность ветра. Минеральные частицы горных пород, выдуваемые и сдуваемые со скал, переносятся ветром на значительные расстояния, где постепенно откладываются. Эоловые отложения—это субаэральные отложения, образующиеся в результате: а) переноса минеральных частиц ветром во взвешенном состоянии и выпадения их из воздуха или б) перевевания или перекаtywания (волочения) рыхлых пород под действием других денудационных агентов (эоловые пески).

К субаэральным отложениям относят пески дюн, барханов, барханных гряд, а некоторые исследователи—и лёсс.

Хотя транспортирующая способность ветра почти в 300 раз меньше, чем текучей воды, тем не менее сильный ветер способен перемещать песчаные частицы диаметром 0,5 мм и даже гравийные зерна. Так, ветром при скорости от 4,5 до 6,7 м/сек переносятся уже зерна более 1 мм, а ураганами (25—30 м/сек)—гравийные зерна.

Все эти процессы интенсивно протекают в пустынях, в полупустынях. Так, пыль из Сахары переносится ветром в Европу на расстояние свыше 3000 км. В Ливии знойный ветер «хамсин», дующий из Сахары, в течение трех суток переносит тонкую пыль, которая, оседая, образует слой в 6 мм. Видимость при этих ветрах падает до нуля.

Эоловый лёсс. Первичный лёсс эолового происхождения, по акад. В. А. Обручеву, является продуктом медленного прерывистого накопления атмосферной пыли на сухой травяной степи в условиях сухого климата. Под защитой растительности лёсс накапливается большими толщами мощностью несколько десятков метров, отлагаясь со скоростью от 1 до 2 мм в год. Таким образом, толща в 1 м накапливается примерно за 1000 лет.

Отличительные особенности первичного лёсса: палево-желтый цвет, отсутствие слоистости, однородность, пылеватость и макропористость; при увлажнении сжимается; в рыхлом состоянии лёсс в обнажениях способен образовать крутые отвесные обрывы и давать просадки.

Помимо первичного лёсса, выделяют еще вторичные лёссовидные породы, которые представляют собой более грубый мелкозем самого различного происхождения. Лёсс и лёссовидные породы широко распространены на всех материках, служат основанием для строительства и имеют очень большое агрономическое и гидромелиоративное значение (глава двадцать вторая).

Эоловые пески. Пески этого типа образуются преимущественно путем перевеяния аллювиальных, флювиогляциальных, морских, озерных песков, и только сравнительно незначительная их часть возникает непосредственно путем развеяния коренных пород.

Доказано, что громадные песчаные пространства среднеазиатских пустынь возникли не из морских отложений, как это предполагалось ранее, а из древнеаллювиальных равнин, созданных деятельностью рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. Очевидно, в большинстве случаев материнскими породами для эоловых песков будут также пески, но другого происхождения.

Характерная особенность эоловых песков — подвижность, рыхлость, округленность, хорошая сортировка и совершенная шлифовка зерен, значительная мощность и т. д.

Типы песчаных форм в различных областях. По условиям своего залегания в пустынях, на побережьях морей эоловые пески подразделяются на четыре группы: материковые, приморские, приозерные и приречные.

Среди материковых песков различают барханные, бугристые, грядовые, кучевые, солончаковые.

Барханами называют формы рельефа, образовавшиеся в условиях чрезвычайно сухого воздуха, инсоляции и резких колебаний температуры. Эти условия характерны для пустынь. Бархан представляет собой асимметричный песчаный холм подвижного песка. У бархана различают два склона — наветренный, длинный, пологий (уклон до 12—15°), с острым гребнем и подветренный, короткий, крутой, причем уклон соответствует углу есте-

ственного осыпания песка (до 36°). Высота гребня определяет высоту бархана; обычно она не более 20—25 м. Заостренные концы, или рога, вогнутой дуги ориентированы в направлении господствующих ветров, но в целом они неустойчивы, и их ориентация меняется в направлении преобладающих ветров. В плане бархан имеет форму полумесяца или серпа.

Скорость передвижения небольших барханов может достигать сотен метров в год. Обычно бархан образуется у какого-либо препятствия (им может быть отдельный куст, небольшой холмик) из песков, переносимых со стороны. Направление ветров приводит к массовому скоплению барханов, так могут возникать барханные цепи.

Величина амплитуды годового движения барханных цепей около 20 м, причем в колебательном движении участвуют лишь края (рога), а основное ядро цепи передвигается очень медленно, вследствие чего гребень барханной цепи почти не смещается. В барханных песках содержится малое количество растворимых солей по сравнению с другими типами песков; капиллярное поднятие воды за 40 ч достигает в среднем 45 см.

Эоловая обработка изменяет цвет песков на более темный за счет покрытия песчинок гидроокисью железа. Песок становится более отсортированным, зерна его приобретают окатанную и полуокатанную форму, полированную и даже блестящую поверхность, количество пылеватых и глинистых частиц (до 1,5—2%) резко сокращается, уменьшается количество зерен крупнее 0,25 мм, возрастает содержание фракций размером 0,25—0,05 мм.

Бугристыми песками называют почти совсем неподвижные, закрепленные и преобразованные растительностью (кустарниками, саксаулами) барханные гряды. Бугры имеют небольшую высоту (до 10 м) и самую разнообразную форму (кос, гребней). Они протягиваются на десятки километров в песчаных пустынях Средней Азии. Эти пески также бедны легко растворимыми соединениями.

Грядовые пески — высокие песчаные гряды от 10 до 50 м высотой и до 3—5 км шириной, длина их достигает нескольких километров. Межгрядовые пространства превышают ширину гряд и представлены глинистыми и щебневыми отложениями. Поверхность гряд покрыта растительностью, вследствие чего пески развеваются ветром только там, где они оголены.

Кучевые пески в виде своеобразных куч — гряд накапливаются вокруг растительности, где она не образует сплошной заросли. Высота куч 4—6 и редко 10 м. Условия для образования этих песков — сравнительно небольшое поступление развеваемого песка в таком количестве, чтобы растительность не была занесена и гряда не перешла бы в бархан.

В зависимости от вида растений различают камышовые, саксауловые, тамарисковые пески.

Солончаковые пески образуются за счет развевания солончковых почв. Эти пески богаты хлоридами, глауберовой солью. Эти соли на поверхности часто образуют белые выцветы — корку. С глубиной количество солей уменьшается. Рельеф песков бугристый, с небольшими валами и буграми и неглубокими западинами.

Солончаковые пески не имеют большого распространения.

Приморские, приозерные и приречные пески в сущности образуют одинаковые холмы-дюны. Приморские дюны обычно превосходят приозерные и приречные по величине и площади распространения.

Условиями для образования морских дюн служат: пологое строение берегов и состав слагающих пород (пески), направление и сила ветра, морские течения и характер колебательных движений. 90% дюн Европы находятся на берегах, испытывающих опускание, и только в немногих местах они известны на берегах поднимающихся.

Одиночные дюны возникают из небольших скоплений песка в форме бугорка перед каким-либо препятствием. Процесс образования дюны напоминает образование бархана, однако имеющаяся обычно на побережье моря, озера, реки хотя и редкая растительность в виде осок, тальника отличает дюну от бархана. В пустыне скопления песка на глинистой поверхности легче переносятся ветром по бокам бархана, а не на вершине, поэтому по бокам у бархана вырастают рога, имеющие в плане форму полумесяца. Иное положение у дюн: растительность по бокам задерживает песчинки, в силу чего средняя часть бугра (его наветренный склон) растет скорее, чем края. В этих условиях дюны приобретают не форму полумесяца, а овальные очертания. Поперечный профиль дюн асимметричный: наветренный склон пологий — от 5 до 15°, подветренный, отделяемый гребнем, крутой — до 33—36°. Высота дюн различна: под Сестрорецком, на берегу Финского залива, они имеют высоту 6—8 м, а наиболее высокие — 10—13 м.

Высота морских дюн во Франции на берегу Бискайского залива достигает 200—300 м. Они обычно располагаются грядами, образуются под различными широтами и почти не зависят от климатических условий.

Вследствие сдувания песка с гребня дюны могут передвигаться все дальше и дальше, создавая угрозы культурным землям. Например, хорошо изученные Сестрорецкие дюны расположены на поднимающемся песчаном берегу и занимают полосу 13 км в длину и 1—2 км в ширину. Полоса, состоящая из дюнных холмов, тянется параллельно берегу моря, с севера на юг. Берег моря почти всюду покрыт сосновым лесом. При уничтожении растительности на песках образуются отдельные участки пе-

ревания, на которых дюны передвигаются со скоростью около 2—4 км в год, засыпая постепенно сосновый бор.

Укрепление песков. Способы укрепления песков весьма разнообразны, они зависят от природных условий и устойчивости песков. Цель закрепления песков — прекратить их дефляцию (развевание) и движение и создать условия, необходимые для сельскохозяйственного освоения.

Развеванию и передвижению песков способствуют климатические условия: высокая температура, малое количество осадков, преобладание сухих ветров, большая испаряемость. Все эти условия имеют место на юго-востоке СССР и в среднеазиатских республиках.

По подсчетам акад. И. Л. Прасолова, площадь, занятая сыпучими песками, в СССР занимает 720 000 км², или 3—4% всей его территории. Движение песков представляет опасность для сельскохозяйственных угодий, железных дорог, поэтому укрепление песков — проблема государственной важности. В одних случаях необходима охрана песков от пастбы скота, уничтожения растительности, кустарников, в других случаях для защиты железных и шоссейных дорог устанавливают щиты, заборы, пески выстилают камышом, хворостом, соломой.

В СССР для укрепления песков и песчаных грунтов применяют различные физические и химические способы: силикатизацию, битуминизацию, замораживание и, наконец, посадку растительности. Последний способ получил наименование фитомелиорации, он широко распространен у агролесомелиораторов.

Закрепление подвижных песков растительностью достигается травосеянием, посадкой кустарников и древесных пород (лесоразведение). Эти мероприятия рассматриваются в курсах почвоведения и лесоводства.

Управление ветровой энергией. Человек издавна использовал энергию ветра для своих целей. В СССР получили распространение многолопастные ветродвигатели ТВ-5 мощностью до 2,5 л. с. В ряде засушливых районов в период засухи дуют сильные ветры, что дает возможность использовать энергию ветра для орошения.

Для борьбы с засолением почв, а также для механического орошения в Туркмении применяются ветроэлектрические установки Д-12 и Д-18. При большой сети оросительных каналов часто поднимаются минерализованные грунтовые воды и засоляют почву. В этой местности откачка воды с использованием энергии ветра может опреснить соленые воды.

Ветродвигатели с успехом можно использовать в сельском хозяйстве, а также для электрификации в районах, где среднегодовая скорость ветра превышает 4,5 м/сек.

Глава четырнадцатая
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕКУЧИХ ВОД

Деятельность атмосферных вод (ливневых, дождевых)

Виды эрозии. Атмосферные осадки, выпадая на поверхность земли, распределяются так: часть из них, испаряясь, возвращается обратно в атмосферу; другая, просачиваясь через водопроницаемые породы, скапливается на первом от поверхности водоупорном слое и дает грунтовые воды; остальная часть образует временные, безрусовые потоки, которые мелкими струйками стекают по склонам, сливаются вместе и создают постоянные русловые потоки — ручьи, реки.

Деятельность временных безрусовых вод приводит преимущественно к плоскостному смыву, а постоянные русловые потоки (реки), имея сток, размывают почву на глубину и в стороны.

Геологическая работа поверхностных вод заключается в разрушении горных пород, транспортировании материала и его отложении (аккумуляции). Под эрозией в геологии понимают процесс размыва горных пород водой, заключающийся в отрыве текучими водами разрушенных частиц от массива горных пород, вследствие чего русло потока углубляется и расширяется.

Различают смыв и размыв. Смывание происходит в плоскостном направлении и совершается относительно медленно. Размывание (врезание), разрушение на глубину происходит относительно быстро. Размывание, или глубинная эрозия, приводит к образованию промоин, оврагов, снижая качество сельскохозяйственных угодий. Мало заметная длительная деятельность атмосферных вод оказывает большое влияние на рельеф, сглаживая его формы и создавая особые типы континентальных материковых отложений, являющихся почвообразующими. Процесс смыва с водоразделов дождевыми и снеговыми водами продуктов выветривания и скопления их на склонах и у подошвы возвышенности получил название делювиального процесса, а генетический тип образующихся при этом отложений, по предложению А. П. Павлова, назван делювием (от латинского слова *deluo* — смываю) (рис. 48).

Характеристика делювия. Характерные особенности делювиальных отложений:

- а) отсутствие ясно выраженной слоистости и сортировки материала; изредка отложения обнаруживают неправильную местную слоистость и неполную сортировку;
- б) разнообразие петрографического состава — делювий может представлять собой рыхлую брекчию различного состава и степени крупности обломков, разнозернистый песок, суглинок, лёсс;

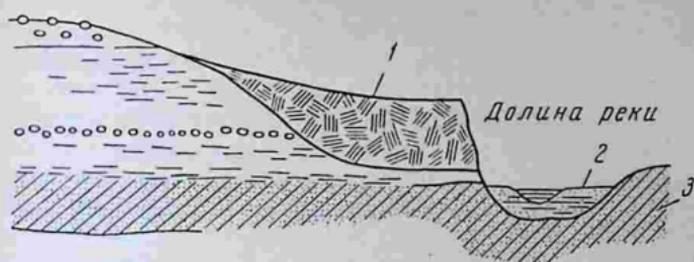


Рис. 48. Образование делювия:

1 — делювий, 2 — аллювий, 3 — коренные породы

в) небольшая мощность (до 2—5 м), залегание преимущественно на склонах долин в виде плаща, шлейфа, без оформленного русла; некоторые разности делювия приурочиваются к понижениям, западинам водораздельных пространств;

г) содержание обломков органических остатков: ископаемых древних — морских, свойственных коренным породам, перенесенных водами и находящихся во вторичном залегании, и ископаемых современных, соответствующих времени образования делювия.

По месту своего отложения на склонах делювий иногда имеет некоторую общность с осыпями, вследствие чего в некоторых случаях эти отложения трудно отличимы друг от друга.

В ряде районов Сибири иногда за делювий можно принять мелкий осыпной материал, переместившийся под действием силы тяжести и морозного сдвига и накопившийся у подножия склонов в горах. Такой обломочный материал называется коллювием (*colluvio* — скопление). Способ и характер сортировки коллювия, происходящий под влиянием силы тяжести, иной, чем на склонах, совершаемый вследствие энергии стекающих вод. В случае крутого склона и явного преобладания в отложениях, покрывающих коренные породы, крупных осыпавшихся обломков осыпной характер таких образований становится вполне очевидным.

Смывание продуктов выветривания в плоскостном направлении дождевыми и снеговыми водами сильно изменяет прежний рельеф склонов, уменьшает их крутизну, покрывая ровные пологие откосы рыхлыми отложениями с сильно измененными почвами.

Склоны с почвами, образовавшимися на делювиальных отложениях, обычно используются для возделывания сельскохозяйственных культур.

Ливневые и талые снеговые воды, смывая коренные отложения, обнажают новые слои пород, подвергая их выветриванию. При этом происходят процессы вмывания, выщелачивания и вымывания. Соотношение этих процессов зависит от

крутизны склона и климата и определяет быстроту изменения зернистости делювиальных отложений. Минеральные частицы различных горных пород транспортируются мелкими, разрозненными струйками талых и дождевых вод перпендикулярно к оси долин на малое расстояние. Распределение по склонам и перемешивание материала обуславливают зональность строения делювия. Образование делювия особенно хорошо наблюдается на склонах белых меловых пород, плохо покрытых растительным покровом. В этом случае пути дождевых струй, несущих обломки мела, четко обозначаются по склонам возвышенностей.

Механический состав делювиальных отложений весьма различен. Отложившиеся на склонах рыхлые образования в разных частях склона имеют различный размер частиц. Верхняя часть делювиального склона иногда сложена из щебня или рыхлой брекчии, или из обломков пород, находящихся на еще более высоких частях возвышенности. Среди них часто попадаются песчаники и щебенка, изредка образующие линзообразно выклинивающиеся пропластки. Средняя и нижняя части покрыты типичными для делювия однородными толщами более мелкозернистых пород (суглинками, супесями, лишенными слоистости). Среди неслоистых отложений делювиального покрова обычны лёссовидные суглинки, представляющие собой породы, близкие к лёссу.

Окраска делювиальных отложений обычно зависит от цвета исходных коренных пород. Так, в Татарской АССР в области развития пермских мергелей и песчаников делювий имеет красно-бурюю окраску. На Украине, где распространен лёсс, делювиальные суглинки окрашены в палево-бурый цвет. В местах выходов белого мела (Белгородская область) делювиальные суглинки имеют желто-бурый или красно-бурый цвет, в области развития третичных глин — серо-бурый. Наконец, в Аджарской АССР, где развиты красноземы, делювиальные суглинки желто-красные. В Московской области покровные делювиальные суглинки часто залегают на верхней морене, и их окраска имеет кирпично-красный, а иногда палево-желтый оттенок.

Распространение делювия и его значение для сельского хозяйства. Дождевые и снеговые воды в течение длительного времени сортируют обломочный материал, подготовленный выветриванием, перемещают его по склонам и создают толщи делювиальных отложений. По словам А. П. Павлова, делювиальный процесс — процесс отмучивания, совершаемый в природе в большом масштабе. Этот процесс преобразовал и продолжает преобразовывать и рельеф, и распределение продуктов выветривания, образующих почву и подпочву.

Делювиальные отложения накапливались в течение всего четвертичного периода, особенно в областях, не испытавших

оледенения. Наиболее интенсивно делювиальный процесс происходил в районах, где поверхность не защищена растительным покровом.

Область широкого распространения делювия занимает степную полосу и протягивается до Черного и Каспийского морей. Разлит делювий и в бассейне р. Волги, ниже г. Чебоксары, где эти отложения перекрывают склоны современных и древних оврагов и речных долин.

Делювиальные образования занимают большие площади и служат почвообразующей породой, так как они совершенно изолируют почву от коренных пород, развитых в данной местности.

Изучение делювиальных процессов, происходящих на склонах, важно не только для познания генезиса почв, но имеет немаловажное практическое значение. Оценка какого-либо склона для сельского хозяйства или инженерного строительства зависит от состава рыхлого покрова или коренной основы, занимающих вышележащие части склона. Так, различные по своему составу пески с более возвышенных участков могут наноситься на нижележащие почвы. В этих случаях на склоны с почвой, бедной известью или солями калия, приносятся известковые или глауконитовые частицы с полосы, расположенной выше. Это наблюдается, например, на склонах, сложенных из нижнемеловых глин, богатых серным колчеданом (FeS_2) и дающих при выветривании малопродуктивные почвы. Если выше по склону эти глины покрываются верхнемеловыми глауконитовыми мергелями, тогда при выветривании образуются почвы, богатые калием.

Таким образом, для делювиальных образований устанавливается зависимость состава и структуры породы от крутизны склона, положения на склоне и залегания в геологическом разрезе, а также от состава дочетвертичных пород прилежащих водораздельных высот.

Глубинная эрозия (размывание). Отдельные струйки атмосферных вод образуют весьма сложную сеть на склонах, смывая минеральные частицы и уменьшая крутизну склонов. При соединении отдельных струек друг с другом они образуют более мощные русловые водные потоки, которые в состоянии уже образовывать отдельные небольшие углубления, называемые вымывами, рытвинами, т. е. совершать некоторую работу по размыву пород в стороны и в глубину. Так, постепенно в результате образования мелких углублений начинают возникать отрицательные формы рельефа — овраги.

Таким образом, при развитии глубинной и боковой эрозии из оврага может образоваться речная долина. В других случаях при затухании процессов размыва на глубину рост оврага приостанавливается, склоны его задерновываются, дно стано-

вится плоским, и овраг превращается в балку. Не все балки являются конечной стадией развития оврага, некоторые из них представляют собой части древней гидрографической сети.

Рассматривая эрозию, следует остановиться на характеристике некоторых процессов, ее обуславливающих. В соответствии с законами силы тяжести вода течет сверху вниз, а размыв начинается снизу вверх, от какого-то определенного уровня. Поток вырабатывает себе путь (овраг, долину) от устьев к верховьям, т. е. регрессивно, поэтому размыв идет снизу вверх путем пятящейся эрозии. Горизонтальная поверхность, от которой начался размыв и ниже которой не может происходить разрушение, получила название базиса эрозии. Общим базисом эрозии для рек служит поверхность Мирового океана, базис эрозии р. Волги — уровень воды в Каспийском море, а р. Москвы — уровень в месте впадения в р. Оку около Коломны. Местным базисом эрозии какого-либо оврага служит горизонтальная поверхность в его устье. Вполне очевидно, что базис эрозии является уровнем, изменяющимся во времени под влиянием как причин геологического характера, так и в результате деятельности человека. К первым относятся медленные колебательные движения земной коры, в итоге которых при восходящих движениях отдельные участки суши поднимаются (эрозия усиливается), при нисходящих — опускаются (размыв ослабевает).

Широкое гидротехническое строительство приводит к тому, что ряд рек перегораживают плотинами, строят шлюзы, вследствие чего уровень воды в реках на отдельных участках поднимается, что ослабляет эрозию. Так, после строительства канала им. Москвы горизонт р. Москвы в столице оказался поднятым до 120 м против 116,78 м абсолютной высоты.

Овраги, их характеристика. Овраги — характерный элемент эрозионного рельефа. Они образуются в результате сочетания причин геологического, климатического и орографического характера. Оврагом называется глубокая (10—15 м и более) выемка, рывина с крутыми, часто отвесными стенками. Протяжение оврагов различное — от нескольких метров до десятков километров. Различают растущие, деятельные овраги, с обнаженным дном, в которых часто выходят коренные породы, и древние, нерастущие, с мягкими, пологими склонами, покрытыми делювием и растительным покровом, называемые и балками, и логами.

Рост оврагов приводит к сокращению и уничтожению сельскохозяйственных угодий — пашен, пастбищ, сенокосов. Понижая уровень грунтовых вод, овраги иссушают дренируемую площадь, конуса выносов оврагов засоряют русла рек и препятствуют судоходству. В Поволжье за 30 лет потеряно около 30% пахотной земли.

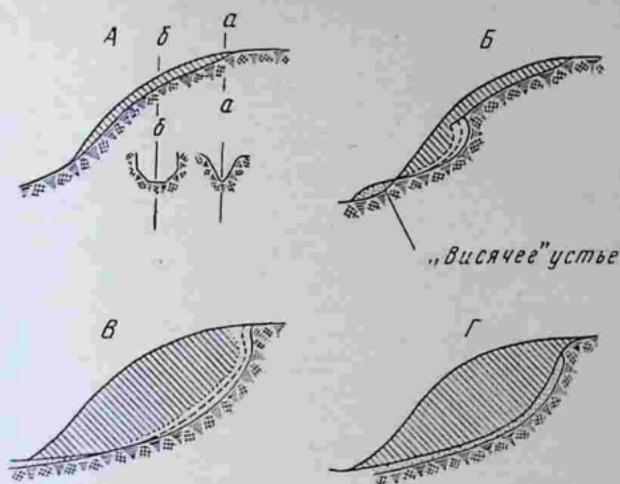


Рис. 49. Стадии развития профиля оврагов. А — промоины или рытвины, Б — врезание оврага вершиной, В — выработка профиля равновесия, Г — затухание

Овраги очень широко распространены в европейской части СССР, в особенности в Среднерусской и Приволжской возвышенностях. В СССР они занимают площадь около 4,5 млн. га. Во многих районах Приволжской возвышенности глубина оврагов достигает 100 м. Овраги растут очень быстро, иногда по 50—80 м в год (в Тамбовской области — до 35 м в год, в Орловской — от 7 до 35 м, в Куйбышевской — 17 м в год). В Каневском районе, Киевской области, два ливня промыли на пойменной террасе ров глубиной до 15—17 м, шириной 20 м и длиной 3 км. Особенно много оврагов близ г. Алатыря, где протекают три реки: Безна, Алатырь, Сура. Здесь, на отрезке шоссе длиной 24 км между городами Алатырь и Ардатов за 50 лет пришлось построить через вновь образовавшиеся овраги 39 мостов. Большой ущерб овраги причиняют Киеву, Горькому, Новосибирску.

Образованию оврагов благоприятствуют атмосферные осадки в виде ливней, холмистость рельефа, рыхлость горных пород, слабая задернованность склонов и, наконец, деятельность человека (уничтожение растительности и разрушение дернового покрова, сброс сточных вод в балки, лощины).

В развитии оврагов имеется несколько стадий (рис. 49). Поверхность дна растущего оврага стремится сравняться с уровнем вод того водоема, куда овраг впадает. Чем больше превышение плато над местным базисом эрозии, тем быстрее растут и образуются овраги. Вершина оврага вследствие размыва поднимается кверху, захватывая новые плодородные

участки, дно углубляется, овраг растёт и расширяется в разные стороны.

Существенным фактором развития оврага служит вскрытие эрозией водоносных горизонтов, при этом в дне его образуются родники, по дну устремляется водоток, который усиливает размыв. Так из оврага может возникнуть речная долина. При чередовании в склонах водоносных и водоупорных пород возникают оползни (Приволжье), образуя террасы. Овраги могут быть донные, проходящие по дну балок, и склоновые, выпадающие в балку или долину сбоку.

Литологический состав горных пород — наличие на склонах песков, рыхлых лёссовидных суглинков, лёсса — также способствует быстрому росту оврагов. В этих условиях они принимают разветвленный характер.

Типы ветвления овражно-балочной сети зависят от формы водосборной площади. Так, на левобережье р. Айдара (Луганская область) и на восточном склоне Ергеней овражные системы слабо ветвятся и напоминают древесные побеги без листьев. Напротив, на междуречье рек Днепр — Донец, в верховьях р. Береки система развития оврагов похожа на облиственную ветвь дерева. Формы оврагов зависят от профиля склонов. Различают ромбовидную, яйцевидную, линейную, булавовидную, четковидную формы и т. д.

Мероприятия по борьбе с оврагами можно подразделить на две группы: профилактические, направленные на предотвращение образования новых оврагов, и борьбу с ростом уже существующих. Эти мероприятия рассматриваются в курсах почвоведения и лесоводства.

Грязе-каменные потоки. Кратковременные и бурные потоки в глубоких руслах, вырытых на склонах гор, получили название сели, или сели. Основными условиями развития селевых (силевых) потоков считают: 1) наличие в верховьях долины, в пределах ее водосбора, рыхлых продуктов выветривания и отсутствие растительности; 2) крутое падение горной долины (в среднем 0,06; но иногда уклон дна потока бывает и меньше — 0,02); 3) ливни, а в некоторых случаях таяние снегов и льда, дающие внезапные большие потоки воды.

Селевые потоки, или, как их иначе называют, грязе-каменные потоки, причиняют большие убытки народному хозяйству. Грязе-каменный поток в Алма-Ате в 1921 г. вызвал большие разрушения, оставив миллионы тонн камня на центральных улицах города. Сель в Ереване в 1946 г. образовался в результате двухчасового ливня. Обычно р. Гедар имеет сухое русло, проложенное в узкой долине с крутыми склонами. В результате разлива р. Гедар покрыла валунами многие улицы и разрушила некоторые кварталы.

В 1952 г. в Тбилиси состоялась 3-я Всесоюзная конференция по борьбе с селями, на которой сели были подразделены на две категории: текущие (турбулентные) и связные (структурные). Текущие подчиняются закону динамики жидкости и обладают большой разрушительной силой; связные передвигаются вне зависимости от русла и не подчиняются законам динамики жидкости.

Мероприятиями по борьбе с грязе-каменными потоками являются уменьшение скорости потока, перестройка мостов, создающих подпор в русле, устройство камнеудерживающих площадок путем расширения русла, сохранение лесного и травяного покрова в верховьях реки.

Проловиальные отложения сухих конусов выноса. Акад. А. П. Павлов выделил особый генетический тип отложений — пролювий, который определил как «отложения, накапливающиеся путем распространения по равнинам минерального материала, вносимого временно изливающимися из горных долин и растекающимися по равнине потоками»*. Области развития пролювия — это по преимуществу прилегающие к горам местности с сухим климатом. Проловиальные отложения А. П. Павлов рассматривал только как мелкоземистый материал, отлагающийся по периферии сухого дельтового конуса временных потоков и образующий среднеазиатский лёсс. По его представлениям, этот процесс протекал следующим образом: сухие конуса выносов временных потоков в своей нижней части обычно сливаются между собой и образуют сплошную зону обломочного материала — мелкозема, тянущуюся вдоль предгорий на несколько тысяч километров в длину и 100 км в ширину, например, вдоль северного подножья Тянь-Шаня. Мутные воды горных потоков широко разливаются по равнине, образуя временные озера и лужи, в которых отлагаются мелкие частицы; последние могут размываться при таянии снегов и выпадении дождей и еще дальше относиться от гор. Их отложение возобновляется с каждым новым вторжением воды в пустынную равнину. Так как на большое расстояние от устьев потоков относятся только тонкие иловатые частицы, то этот процесс ведет к образованию однородной неслоистой толщи из очень мелких минеральных частиц, обнаруживающей все признаки, характеризующие лёсс.

Отложения плоских конусов выносов определенной формы называют сухой, или субаэральной, дельтой, в которой накапливаются все литологические разности конусов выноса: грубообломочный материал, отлагающийся в вершине конуса, более мелкие частицы, отлагающиеся в средней и нижней частях его, и самые мелкоземистые лёссовидные осадки, выпадающие из временных луж и озер по периферии конусов.

* А. П. Павлов. Статьи по геоморфологии и прикладной геологии. Бюлл. МОИП, сер. геол. М., 1951, стр. 68.

По мнению С. А. Яковлева и других геологов, под пролювиальными отложениями следует понимать все литологические разности конусов выноса, а не только мелкозем.

Деятельность русловых потоков (рек)

Реки, их типы, режим. Реками называют естественные значительные и непрерывные потоки воды, образующиеся там, где местность имеет хотя бы незначительный уклон. По своему водному режиму реки могут быть дождевого, снегового, ледникового и подземного питания. При классификациях рек обычно учитываются источники их питания и сезонное распределение стока. В связи с этим выделяют пять типов питания: 1) снеговое (Волга, Днепр); 2) ледниковое, встречающееся в пустынях (Аму-Дарья, Тарим), окаймленных высокими горами; половодье совпадает с временем таяния снега в горах (летом, весной); 3) дождевое; 4) смешанное: русский тип с весенним разливом, особенно сильным в безлесных местах, и альпийский тип — питание с высоких гор с разливом весной, но чаще летом вследствие таяния снега в горах; 5) подземное (отдельные участки р. Неман).

Работа реки состоит в размыве, переносе материала и накоплении рыхлых отложений. В результате деятельности этих противоречивых процессов формируется речная долина.

В режиме рек выделяют паводок — половодье — и период низких (обычно летних) вод, называемых меженью. В паводок горизонт воды в реке превышает самый низкий уровень весьма значительно, например, высота разливов р. Москвы в городе в 1908 г. достигла наибольшей величины 8,8 м над меженью у Бабьегородской плотины. Несколько ниже она была в 1926 г. (7,3 м) и в 1931 г. (6,7 м). В 1908 г. во время сильного наводнения р. Москва затопила площадь в 16 млн. м². У г. Орша на Днепре уровень в паводок превышал самый низкий уровень на 9 м; на Волге у Горького — на 13 м, у Ульяновска — на 14 м, Волга у устья Камы при весеннем разливе затопляла полосу в 30 км.

Разливы рек оставляют в поймах большое количество песчаной мути, илов, богатых элементами питания растений (N, K, P) и поэтому весьма плодородных. Хлопководство в долине р. Нила основано на разливах реки, отлагающей очень плодородный известковый ил, богатый органическим веществом. По мнению некоторых ученых, таким путем в долинах многих рек откладывается лёсс и лёссовидные породы.

Работа рек. Атмосферные осадки, выпавшие на сушу, подчиняясь силе тяжести, возвращаются в Мировой океан, так как только 800 тыс. км² поверхности суши лежит ниже уровня мо-

ря; на остальных же 148,2 млн. км² любая точка на суше выше точки на поверхности океана. Реки благодаря винтообразному движению воды в потоке выполняют огромную механическую работу по перемещению материала и сильно изменяют рельеф страны.

Реки переносят разнообразный материал тремя способами: 1) во взвешенном состоянии в виде мути; 2) перекатыванием обломков различной величины по дну; 3) в растворенном состоянии.

В настоящем разделе описывается преимущественно механическая деятельность рек, хотя и химическая работа водных потоков имеет большое значение для переноса солей в гидросфере.

Механическая работа реки состоит из четырех видов: 1) разрушение, размыв, или эрозия; 2) обтачивание и шлифование; 3) перенос, или транспортирование, материала; 4) отложение, накопление материала — аккумуляция.

Сила водных потоков (рек) определяется следующей формулой:

$$\sum_{\text{размыва}} \text{энергия} = \frac{mV^2}{2} \text{ (груз),}$$

где Σ — сила водного потока;
 m — масса воды;
 V — средняя скорость воды;
 если $\Sigma >$ груза → эрозия,
 $\Sigma =$ грузу → равновесие,
 $\Sigma <$ груза → аккумуляция.

Таким образом, размыв резко возрастает с увеличением скорости течения воды, которая в свою очередь увеличивается при больших уклонах местности. Поэтому эрозивная деятельность горных рек, текущих с большой скоростью, значительно превосходит размыв реками, медленно несущими свои воды в широких долинах. Но размыв будет значительнее также и там, где породы, залегающие в склонах долины, более рыхлые и мягкие.

Аму-Дарья и другие среднеазиатские реки протекают среди рыхлых песчаных и лёссовидных отложений, русло их непрерывно блуждает, быстро размывая свои берега. Аму-Дарья постоянно меняет свое русло: до XIII в. преобладало отклонение вправо, с XIII в. — влево, с XVI — снова вправо, затем произошло отмирание притока Куна-Дарья. В 1932 г. река размывала около 500 м берега в районе г. Туркуль. Огромное количество рыхлого материала заносит ирригационные сооружения, причиняя большой вред народному хозяйству.

Блуждание, изменение русла характерно и для других рек. Так, межениное русло Волги за 17 лет (1910—1927) переместилось на полную ширину. Р. Сура впадала в Волгу у г. Васильевска, ныне устье ее находится выше этого города на 1,5 км. В Индии приток Ганга — небольшая р. Коси —

за последние 200 лет передвинулась в западном направлении на 112 км. За год она переносит 116 млн. м³ наносов.

У Дона, Днепра склоны в нижнем течении сложены рыхлыми отложениями, а в основании залегают скальные породы, что ограничивает на этих участках рек размыв в глубину. Реки горного Урала (Чусовая), Карелии протекают в устойчивых, трудноразмываемых породах.

Общий сток взвешенных наносов рек с поверхности всей земли, за исключением Антарктики, Гренландии и Канадского архипелага, по данным Г. В. Лопатина, равен 12695 млн. т. в год (табл. 19). Таким образом, годовой сток взвешенных наносов для всей суши превосходит годовой сток растворенных веществ более чем в два раза.

ТАБЛИЦА 19

Интенсивность речной денудации на различных материках
(по Г. В. Лопатину)

| Материки | Площадь, млн. км ² | Сток воды, км ³ | Средняя мутность воды рек, г/м ³ | Сток взвешенных наносов, млн. т | Сток растворенных веществ, млн. т | Показание по-верхности суши, мм/год |
|---|-------------------------------|----------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Европа | 9,67 | 2,577 | 163 | 420 | 305 | 0,050 |
| Азия | 44,89 | 11,464 | 649 | 7445 | 1916 | 0,139 |
| Африка | 29,81 | 6,052 | 291 | 1395 | 757 | 0,048 |
| Северная и Средняя Америка | 20,44 | 6,440 | 233 | 1503 | 809 | 0,075 |
| Южная Америка | 17,98 | 8,080 | 208 | 1676 | 993 | 0,099 |
| Австралия | 7,96 | 610 | 421 | 257 | 88 | 0,020 |
| Вся суша без Антарктиды, Гренландии и Канадского архипелага | 130,75 | 35224 | 360 | 12695 | 4869 | 0,09 |

Величина стока взвешенных наносов некоторых рек выражается (по Г. В. Лопатину) следующими цифрами (в миллионах тонн в год).

| | |
|------------------------------|------|
| Ганг и Брахмапутра | 1800 |
| Тигр и Евфрат | 1050 |
| Амур-Дарья | 96,7 |
| Нил | 69,0 |
| Кура | 36,0 |
| Терек | 25,8 |
| Волга | 25,5 |
| Обь | 13,4 |
| Дон | 6,4 |
| Днепр | 2,4 |

Количество рыхлого материала, переносимого такими сравнительно небольшими реками, как Кура, Терек, близко к переносу материала Волгой и во много раз превосходит наносы

Оби, Дона и Днепра. На этих примерах отчетливо видна исключительная большая роль уклонов рек: так, уклон Терека почти в 125 раз больше среднего уклона Оби. Величина бассейнов и размеры рек значения не имеют.

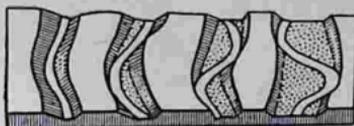


Рис. 50. Стадии расширения долины действием боковой эрозии

Особенности речной эрозии. Развитие речной эрозии сложно, но закономерно протекает путем взаимодействия различных сил при ведущем значении эндогенной энергии. Особенности речных долин, процессы эрозии и аккумуляции, меандры, асимметрия склонов находят объяснение в проявлении этих разнообразных сил (вращение Земли, медленные колебания суши, скорость потока, состав пород и т. д.).

Схематично можно отметить, что в верховьях реки происходят преимущественно процессы разрушения — размыв, в средней части — транспортировка, перенос, а в низовьях — накопление, аккумуляция материала. Все эти процессы, хотя и противоречивы, но едины и в некоторых случаях происходят одновременно, накладываясь друг на друга.

В процессе развития реки в равнинах глубинная эрозия преобладает в верховьях, где русло потока углубляется и долина имеет V-образную форму. В среднем течении имеет место более интенсивная боковая эрозия (рис. 50). Здесь долина расширяется, разрушенный материал выносится в низовье, где эрозионная деятельность ослабевает, и в этой части реки накапливается материал.

Вследствие различного состава горных пород в начальный период образования долины продольный профиль реки часто имеет много неровностей. Однако с течением времени размыв достигает отметок базиса эрозии, река вырабатывает так называемый профиль равновесия, или предельный профиль, при котором устанавливается равновесие между эрозией и аккумуляцией. Выработка профиля равновесия зависит от многих причин: состава горных пород, слагающих долину, рельефа бассейна реки, уклонов, климатических условий.

По характеру профиля равновесия реки можно подразделить на равнинные — с профилем равновесия, выработанным на значительном протяжении, и горные — с невыработанным профилем равновесия.

В горных реках почти на всем протяжении течения интенсивно действует глубинная эрозия и преобладает вынос разрушенного материала.

По мере выработки профиля равновесия интенсивность энергии врезания уменьшается, несколько ослабевает и боковая эрозия, однако расширение долины продолжается. Еще в про-



Рис. 51. Расположение на реке плесов (по В. Д. Галактионову)

цессе заложения речной долины течение реки не бывает прямолинейным, а всегда имеет в плане некоторую извилистость, обусловленную динамикой руслового процесса и различными препятствиями и неровностями на пути водного потока. Эти изгибы и извилины получили название меандр (рис. 51, 52).

Поскольку скорость течения реки зависит от уклона ее ложа, то скорость прямо пропорциональна ширине русла; она уменьшается от середины потока к берегам и ко дну и увеличивается от поверхности к некоторой глубине. Линию, соединяющую вдоль реки места наибольших скоростей в каждом поперечном сечении, называют стрежнем*, или фарватером.

Стрежень в реке занимает различное положение: при изгибах реки он приближается то к одному, то к другому берегу, образуя плесы, перекаты (рис. 51). Выпуклые берега равнинных

* Стрежень — искаженное русское слово «стержень», или, иначе говоря, динамическая ось потока.

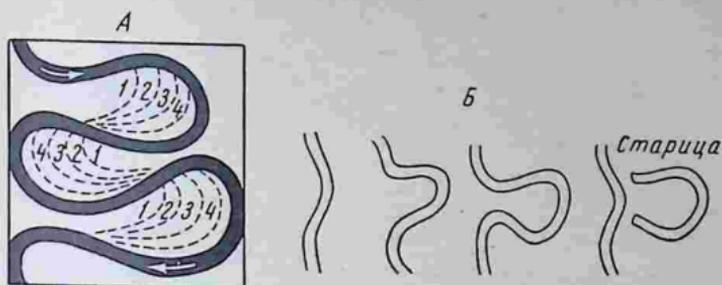


Рис. 52. Развитие меандров и их смещение. А — вниз по долине, Б — схема развития и отмирания меандра

рек обычно размываются, разрушаемый материал транспортируется водой и откладывается на вогнутом низком берегу.

Речные долины. Речной долиной называют узкое (по сравнению с длиной) и большей частью извилистое углубление в земной поверхности, имеющее на всем протяжении уклон от верховьев к устью. При встрече долины никогда не пересекаются, а сливаются, образуя одну общую полую форму. Их размеры как в длину, так и в ширину и в глубину, могут быть весьма различны. Происхождение равнинных речных долин в основном эрозионное, но в ряде случаев в их возникновении и развитии играют роль и другие геологические процессы.

Элементы речной долины — русло реки, пойма, склоны, террасы, коренные берега (рис. 53). Руслом реки называют ложе, по которому она постоянно течет. Пойма — плоская, затопляемая в половодье часть речной долины. Блуждающая петля по дну, русло реки образует ступени, уступы, называемые террасами.

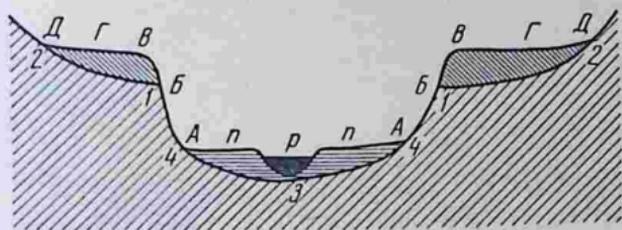


Рис. 53. Морфологические элементы речной террасы. Р — русло (речное ложе), п — пойма (пойменная терраса), ДД — подошва надпойменной террасы, Б — обрыв надпойменной террасы, В — бровка надпойменной террасы, Г — поверхность (площадка) надпойменной террасы, Д — тыловой шов.

Выработка поверхностей: 1—2 и 3—4 соответствуют периоду боковой эрозии, В—Д — концу периода аккумуляции, А—В — периоду глубинной эрозии

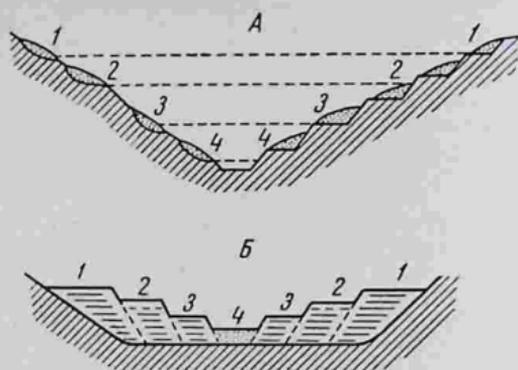


Рис. 54. Террасы. А — размытые, эрозионные, Б — аккумулятивные

Террасы (рис. 54) могут быть аллювиальными (аккумулятивными) и эрозионными (денудационными). Аллювиальные террасы — это более или менее горизонтальные площадки, отделенные друг от друга уступами, представляющие собой остатки прежних днищ речных долин, сформировавшихся при более высоком уровне реки (рис. 53). При понижении базиса эрозии или при

подъеме земной поверхности река врезается в свое ложе и вырабатывает в нем новую долину на более низком уровне, а остатки старой сохраняются по ее склонам в виде террас (рис. 53). Такой процесс может повторяться неоднократно, после чего на склонах долин образуется несколько этажей (ярусов) террас.

Аллювиальные террасы, широко распространенные вдоль равнинных рек нашей страны (Волги, Днепра, Дона, Оки), имеют большое значение для сельского хозяйства, так как в ряде областей характеризуются плодородными почвами, богатыми органическими веществами. Кроме аллювиальных террас, выделяют еще эрозионные (рис. 54), которые уже не представляют остатков прежних днищ долин. Они образуются в результате размыва пород, ложа реки вследствие их различной устойчивости. Ровная поверхность террасы совпадает с поверхностью определенного, обычно менее устойчивого, пласта, из числа тех, что слагают склоны долин. Эти террасы размыва характерны для рек, текущих в горных местностях.

Пойма — пойменная терраса, затопляемая в половодье часть долины реки. В поперечном направлении пойма делится на три части: прирусловая пойма — наиболее возвышенная и расчлененная, поднимающаяся на несколько метров над меженным уровнем реки; центральная пойма — несколько более ровная, занимающая среднюю часть и прилегающая к коренному пологому склону или уступу следующей террасы долина; притеррасная пойма — наиболее пониженная часть, имеющая вид заболоченной ложбины, где встречаются болота, озера, старицы.

Пойменная терраса может быть разной ширины; это обуславливается характером геологического строения русла и водоносностью реки. Например, на Верхней Волге ширина поймы колеблется от 0,5 до 5 км, а на Средней Волге — 3—8 км. На

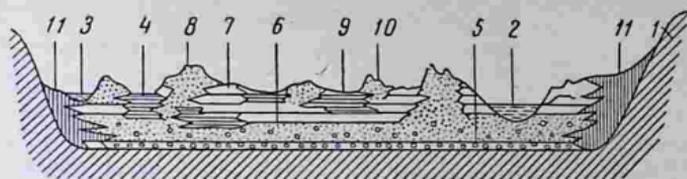


Рис. 55. Схема строения аллювия поймы (по Н. И. Николаеву):

1 — коренные породы, 2 — русло, 3 — притеррасовая речка, 4 — старица, 5 — галечник руслового аллювия, 6 — пески руслового аллювия, 7 — пойменный аллювий, 8 — пески прирусловых гряд, 9 — старичный аллювий, 10 — золотые перевернутые пески, 11 — аллювиально-делювиальные отложения

участке Волгоград — Астрахань находится Волго-Ахтубинская пойма, ширина ее от 30 до 60 км. На Оке у г. Каширы ширина поймы всего 1 км, а у Рязани — почти 15 км. Выше заливной пойменной террасы обычно располагаются надпойменные, счет которых ведется снизу вверх (первая надпойменная терраса, вторая надпойменная терраса и т. д.). Образование террас большинства рек европейской части СССР связано с оледенениями, поэтому их часто называют: вторая надпойменная рисская терраса, третья — вюрмская; в бассейне Нижней Волги выделяют нижнюю террасу — хвалынскую, верхнюю — древнюю хазарскую и т. д. В долине р. Москвы на некоторых участках выделяется ряд террас — пойменная и три надпойменные. У подножья Татаровских возвышенностей, выше г. Москвы, прослеживается ряд горизонтальных площадок, отделенных друг от друга уступами высотой 30—20 и 6—8 м над уровнем реки.

В среднем течении Днепра в районе Киева выделяются четыре террасы, у Днепропетровска имеется шесть, а к устью, ближе к Херсону, террасы (кроме второй) в рельефе уже не выражены. Большой ширины достигают аллювиальные равнины между Киевом и Прилуками.

Механизм образования надпойменных террас тесно связан с изменением режима течения реки, что может обуславливаться причинами геологического и климатического характера, деятельностью человека. К первым относятся колебательные (вековые) движения — поднятия в верховьях реки, понижение базиса эрозии и т. д. Деятельность человека — строительство крупных гидротехнических сооружений (шлюзов, плотин, каналов) также существенно изменяет уклоны рек, их водоносность. Отражением всех этих процессов являются ступенчатые уступы — прежние днища речных долин, запечатленные на склонах долины.

Накопление материала — аллювий. Намывной материал, отлагаемый на суше текучими водами реки, называется аллювием (alluvio по-латыни — намываю).

Особенности аллювиальных отложений:

- 1) ясно выраженная, часто косая слоистость;
- 2) преобладание песков различной зернистости и состава, галечников, гравия, супесей, суглинков и реже глин;
- 3) быстрая и значительная изменчивость как по простира-нию, так и по мощности, многочисленные карманы и линзы;
- 4) пресноводная фауна;
- 5) сравнительно небольшая мощность — 20—60 м;
- 6) залегание в речных долинах полосами шириной в десят-ки километров.

На геологических картах мелкого масштаба эти отложения выглядят относительно узкими полосами.

Различают современный аллювий и древний, а также аллю-вий равнинных рек, горных рек и дельт.

По литологическому составу различают три типа аллювиаль-ных отложений (см. рис. 55): а) русла реки, б) старицы и в) поймы.

Русловые отложения обычно песчаные. Пески отличаются косой слоистостью и в минералогическом отношении характе-ризуются постоянством состава. Например, у Волги на расстоя-нии 2000 км в легкой фракции песков преобладает кварц (70—80%), полевые шпаты (10—20%). Этот тип отложений образу-ется в водной среде.

Отложения стариц представляют собой образования различ-ных затонов, озер, болот. Сложены они мелкозернистыми пе-сками, супесями, илами, глинами с разнообразной слоистостью и обычно содержат много органических веществ, водорослей и и гидрофильной болотной растительности и иногда образуют торфяники.

Наиболее интересны отложения поймы, которые в течение го-да испытывают изменения в режиме: материал накапливается то под водой, то после спада воды на суше, в условиях вывет-ривания. В речных долинах различают высокую — «зернистую» и низкую — «слоистую» поймы. Низкая пойма заливается во время половодий и ежегодно преобразуется за счет размыва и отложения осадков чисто механическим путем. Осадки имеют слоистое строение. Высокая пойма заливается редко и у рав-нинных рек в СССР обычно покрыта лугами, представляя в сельскохозяйственном отношении весьма плодородные угодья. Осадкообразование сопровождается здесь и физико-химиче-скими процессами, а отложения приобретают зернистое строение.

При боковой эрозии в пределах поймы образуются излучи-ны, и поэтому вниз по реке пойменные массивы смещаются. На Волге скорость смещения пойменных массивов достигает 20—35 м в год. Основная масса отложений на пойме в равнинных реках скапливается у русла. Обычно русло отграничено от осталь-ной части поймы прирусловыми валами высотой до несколь-

ких метров. В нижней части пойменных массивов Волги и Оки в год отлагается около 10 см наносов. Во взвешенных наносах в воде Оки во время половодий содержится до 64% частиц < 0,001 мм. В Днепровском водохранилище осадки сложены на 55—65% из зерен < 0,01 мм, в том числе на 15—20% частицами < 0,001 мм.

Равнинные реки (Нил, Аму-Дарья и др.) переносят огромное количество взвешенных наносов и откладывают мелкий материал. Горные реки перекачивают большие обломки пород по дну, поэтому пойменные отложения у них представлены крупными валунами, галечником, крупнозернистыми песками.

Устья рек. Только небольшую часть отложений река отлагает в среднем и нижнем течении, а огромное количество аллювия выносит в устье, где наносный материал аккумулируется.

Конус выноса реки, аллювиальная равнина, отвоеванная рекой у моря, имеет в плане форму греческой буквы Δ и называется дельтой. Выделяют наземные (древние) и подводные дельты.

При опускании суши часть долины реки в нижнем течении затопляется морем, и устье в виде узкого залива — лимана — называется эстуарием (в Северном море — губой). Побережье Черного моря в местах впадения Днестра, Буга и Днепра в недавнее время опустилось, устья рек здесь имеют форму эстуария (Днепровско-Бугский лиман), в то время как на западном берегу Черного моря у Дуная устье хорошо выражено в виде наземной дельты.

Некоторые реки имеют огромные дельты. Так, площадь подводной дельты р. Хуанхэ до 500 000 км² (длина 1100 км, ширина 400 км), и по размерам она равна Каспийскому морю. Наземная дельта Нила имеет веерообразную форму и по площади равна Донбассу (до 200 000 км²), длина подводной части 170 км, подводной — 100 км. Общая площадь дельты Лены около 30 000 км², из которых ³/₄ приходится на острова. Всего в дельте Лены 6500 км речных рукавов и 30 000 озер. Площадь дельты Оби 4000 км², причем острова занимают 40%, а водная поверхность — 60%. Большую наземную дельту имеет Волга, ее ширина 250 км, скорость нарастания достигает 190 м в год (рис. 56). Другие реки земного шара также ежегодно отвоевывают у моря значительную часть суши: Миссисипи — от 175 до 350 м, Терек — 100 м, Тигр и Евфрат — 54 м, Хуанхэ — 30 м; Дунай, Нил — 4 м.

Многочисленные плодороднейшие аллювиальные равнины занимают древние наземные дельты рек. Так, часть Бельгии, Нидерландов, ФРГ представляет собой объединенную древнюю дельту р. Рейна, Мааса, Шельды, Эмса; Амазонская, Ломбардская, Индо-Гангская низменности, равнины Миссисипи, Месопотамии являются древними аллювиальными равнинами больших рек. Степи Закавказья — Ширванская, Мильская, Му-ганская — занимают древнюю дельту р. Куры. Отличительная особенность этой реки — мутность (перенос огромного количества взвешенного материала). Весной близ устья река содержит

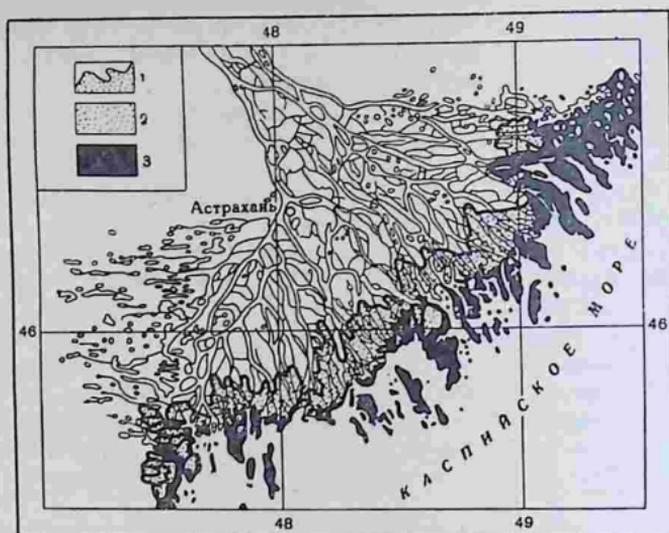


Рис. 56. Нарастание дельты Волги:

1 — край дельты в 1873 г., 2 — участок дельты, возникший с 1873 по 1927 гг., 3 — часть дельты, появившаяся с 1927 по 1945 гг.

в одном кубометре воды 1,67 г ила, в то время как Нил — только 1,49 г.

Среди дельтовых отложений выделяют две фации* — подводную и надводную части. Наносы в надводной части дельты откладываются на суше в обстановке чередования пресноводных, солоноводных и морских условий.

Среди дельтовых отложений р. Волги выделяют проточные (авандельтовые), слабопроточные (култучные и низменные) и периодичные проточные (прирусловые). Авандельтовые отложения сложены пылеватыми, реже мелкозернистыми или глинистыми песками. Осадки слабопроточных водоемов возникают в култуках и ильменях. Култуки — заливы, покрытые зарослями густой водной растительности; эти наносы богаты органическим веществом и окрашены в серый цвет. Осадки, образующиеся в условиях периодической проточности, представлены отложениями прирусловых валов, они отличаются тонкой слоистостью, содержат остатки корней растений.

Современные наземные дельты, отличаясь плодородием почв, имеют большое экономическое значение. Обилие протоков, стариц, ильменей придает дельтам важное значение и в рыбном хозяйстве.

* Фация — серия отложений однотипного литологического состава, образовавшихся в сходных геологических условиях.

Распространение песков на территории СССР весьма значительно.

Площади в европейской части СССР, занятые песками различного происхождения, распределяются следующим образом (в процентах): древнеаллювиальные — 51, ледниковые — 24, золотые — 11,3, морские — 6,5, элювиальные — 3,6, озерные — 1,8. Подзолистые песчаные почвы занимают в СССР площадь 347 600 км², черноземы супесчаные — 94 700 км², каштановые и бурые песчаные и супесчаные почвы — 57 700 км² и т. д.

Таким образом, роль текучих вод — рек — в образовании песчаных почв очень велика.

Развитие речных долин и их асимметрия. Динамика руслового процесса — блуждание русла реки, размыв берегов — прослежена во всех частях земного шара и экспериментально доказана гидрологами в лабораторной обстановке. В основе меандрирования лежит внутренняя динамика водного потока (М. А. Великанов).

В развитии рельефа страны выделяется ряд эрозийных стадий, через которые обычно проходят речные долины. Это стадии юности, зрелости и старости.

Первая стадия — юность — характеризуется слабо разветвленной речной сетью, продольный профиль русла (профиль равновесия) не выработан, долина узкая, порожистая, уклон реки неравномерен. Преобладает глубинная эрозия, река углубляется, врезает свое русло. Аллювия откладывается мало. Рельеф страны разработан слабо.

В стадию зрелости сокращаются междуречья, продольный профиль реки становится более сглаженным, долина расширяется, преобладает боковая эрозия, отлагается аллювий. Река выработала профиль равновесия.

В дальнейшем эрозийная деятельность начинает постепенно замедляться, наступает стадия старости, долины заполняются аллювием, по которому, сильно меандрируя, медленно текут реки, образуются старицы, затоны. Общий уровень поверхности страны едва приподнят над базисом эрозии, деятельность текучих вод почти замирает, отложение аллювия прекращается.

Каждая стадия эрозии оставляет после себя этаж террас, по относительной высоте которых можно судить о причинах, вызвавших изменение режима реки.

Медленные и постепенные изменения земной поверхности зависят от геологического строения данной местности, тектоники и состава пород. В итоге поверхность страны утрачивает все черты горного и холмистого рельефа и приближается к равнине, которая называется пенепленом. История развития рельефа (от юности к старости) может быть нарушена новыми движениями земной коры, которые создают условия для нового эрозийного этапа (оживление эрозии), вследствие чего каждый раз

рельеф может развиваться по-разному. В различные стадии эрозии размыв происходит по-иному. Так, в стадию старости особенно интенсивно проявляется боковая эрозия, попеременно наблюдающаяся то на правом, то на левом берегу.

Установлено, что в реках Северного полушария, особенно текущих в равнинной местности с севера на юг, правый берег более подвержен боковой эрозии, чем левый. В соответствии с этим у рек Северного полушария наблюдается асимметрия долин: правый берег обычно крутой, обрывистый, левый — пологий, низменный. Это явление получило название правила Бэра* (1857) и обусловлено неодинаковой скоростью вращения отдельных точек земной поверхности с запада на восток в различных широтах. На экваторе каждая точка Земли движется со скоростью 1666 км в час, на шестидесятом градусе широты скорость движения в два раза меньше, а на полюсе скорость равна нулю. Все точки земной поверхности движутся с запада на восток, в силу закона инерции частички воды реки будут отставать от движения Земли, отклоняться вправо, ударяться и подмывать правый, западный (для рек Северного полушария) берег и отходить от левых берегов.

Помимо вращения Земли, важное влияние на скорость размыва берегов оказывает геологическое строение склонов реки, состав пород, их залегание (наклон к реке), а также экспозиция склонов — освещение солнцем, растительный покров и т. д.

Очень часто отдельные участки долины одной и той же реки имеют неодинаковое происхождение и различный возраст. Например, возраст долины Волги очень сложный. Выше г. Калинина долина находится в стадии юности, ей около 20 000 лет, сформировалась она после ухода последнего ледника. В среднем течении, ниже устья р. Камы и до г. Камышина, долина очень древняя — дочетвертичная, ей более 1 млн. лет. На участке Волгоград — Астрахань долина вновь молодая. Возраст поймы реки определяется по радиоуглеродному методу всего от 8 000 до 10 000 лет.

Новейшие тектонические движения, происходившие в четвертичный период, оставляют следы в строении долины. В верховьях Днепра, где отмечались недавние поднятия, она глубокая, узкая и молодая; в районе же Полесья произошли опускания, и долина сформировалась широкая, с большой мощностью аллювия и болотами. При рассмотрении речных долин следует обращать внимание на их глубину и ширину, наличие или отсутствие террас, водопадов, порогов, крутизну склонов и т. д.

Долины узкие, глубокие, без террас, с водопадами — обычно молодые.

* К. М. Бэр — русский ученый, член Российской Академии Наук.

Река Ниагара, вытекающая из оз. Эри в оз. Онтарио, обрушиваясь с высоты 50 м, образует Ниагарский водопад, который стирает свой порог, отступая вверх по течению ежегодно на 1,5 м. Ученые подсчитали, что около 60 000 лет назад водопад был возле оз. Онтарио, а при данной скорости размыва он через 20 000 лет подойдет к оз. Эри, «сотрет» свой порог и совсем исчезнет.

Процессы формирования речной долины часто имеют весьма своеобразный характер. Известны случаи, когда более мощная река «перепиливает» своей долиной водораздел и «похищает» другую речную долину. Так, в недалеком прошлом р. Березань впадала в Черное море, а р. Чичикля являлась притоком Южного Буга, однако в дальнейшем р. Чичикля «перепилила» водораздел и захватила долину р. Березань, которая превратилась в небольшую реку с непропорционально большим эстуарием — лиманом. Сходное явление имело место и у Северной Двины, приток которой — р. Пинега, являясь продолжением р. Кулой, впадал ранее в Мезенскую губу. В настоящее время Северная Двина захватила верховья р. Кулой, образовав приток р. Пинега и заставив его впадать в Двинскую губу.

Современная гидрографическая сеть для областей, испытывавших материковое оледенение, сформировалась после ухода последнего ледника. Ледник запрудил ряд рек, после таяния и ухода его реки проложили себе новые долины, на месте старых доледниковых долин образовались озера, болота и большие толщи древнеаллювиальных отложений.

Процесс формирования долин важен для понимания истории рельефа и возраста некоторых материнских пород и самих почв, а также инженерного строительства.

Значение рек для народного хозяйства. Реки и их устья играют очень большую роль в жизни человека. Освоение устьев рек, пойменных террас началось много тысяч лет назад. На обильно обводненных дельтовых равнинах Ганга, Нила, Тигра и Евфрата, Аму-Дарьи, имеющих исключительно плодородные почвы, орошаемое земледелие появилось и развивалось более 5000 лет назад. На террасах рек, сложенных аллювием, строились крупные города (Москва, Киев, Горький и др.), издавна велась добыча россыпных месторождений золота, алмазов, платины. Режим рек, их водоносность, водная эрозия, отложение наносов издавна интересовали гидрологов, гидротехников, географов, геологов, почвоведов. Устройство крупных оросительных систем, мелиоративные сельскохозяйственные работы, крупное гидротехническое строительство нарушают первоначальный облик рек, их режим, водоносность. Строительство плотин, шлюзов, гидростанций, создание крупных водохранилищ изменяют уровень местного базиса эрозии, вследствие чего на отдельных участках реки усиливается боковая эрозия, а на других, наоборот, происходит интенсивное накопление рыхлых отложений.

Одна из задач современной науки — управление деятельностью рек, разработка комплекса мероприятий, направленных на предотвращение эрозии.

Глава пятнадцатая

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ И ИХ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Общие сведения. Подземные воды изучает гидрогеология, которая рассматривает их происхождение, историю, состав, режим, динамику, механическую и химическую деятельность в недрах Земли. Практическое значение подземных вод для человека очень велико.

Известно, что с глубиной на каждые 33 м температура повышается на 1°C . Поэтому полагают, что на глубине 12—16 км, где температура достигает $365\text{—}370^{\circ}\text{C}$, геологические процессы в земной коре происходят без участия воды.

Общее количество подземной воды на всем земном шаре трудно поддается учету, объем воды в земной коре до глубины 12—16 км определяется цифрами от 100 до 200 млн. км³. Значительная часть этих вод сильно минерализована.

В литосфере выделяют поверхностный пояс — так называемый пояс аэрации, залегающий выше уровня подземных вод, где горные породы в порах содержат воздух и не полностью заполнены водой, и более глубокий нижний пояс — пояс насыщения, полностью насыщенный водой (рис. 57).

Общий круговорот воды в природе. Водный баланс суши складывается из следующих элементов: атмосферных осадков, полного испарения и стока, состоящего из поверхностного и подземного стоков и просачивания.

Распределение атмосферных осадков в общем виде выражается так: осадки = испарение + сток + просачивание (инфильтрация). Соотношение между этими элементами водного баланса неодинаково для разных зон и зависит от климатических условий, рельефа, литологического состава почв и пород, растительного покрова.



Рис. 57. Разрез между речного пространства:

1 — уровень грунтовых вод, 2 — источники. Стрелками показано направление потока грунтовых вод

Так, для СССР годовой водный баланс суши составляет (данные 1964 г.): атмосферные осадки 389 мм, испарение 195 мм, полный речной сток 194 мм, из них подземный 40 мм, поверхностный 154 мм. Таким образом, испаряется около 45% осадков, идет на сток тоже около 45% и только около 10% — на питание (образование) подземных вод.

Запасы подземных вод могут пополняться также просачивающимися водами из рек, озер, каналов, а также конденсацией водяных паров. Расход подземных вод идет за счет испарения, транспирации растений и забора подземных вод человеком. Соотношение между прибылью и убылью подземных вод называют балансом подземных вод.

Задача гидрогеологии заключается в том, чтобы регулировать круговорот вод, усилить испарение, сократив малополезный сток вод и направив его на питание подземных вод.

Геологов больше всего интересует та часть атмосферных осадков, которая просачивается в почву. Просачивание (инфильтрация) зависит от факторов, обуславливающих водопроницаемость почв. Часть воды поглощается почвами, другая часть, просачиваясь вглубь и встретив непроницаемые горные породы, образует скопление капельножидких подземных вод, называемых водоносными горизонтами.

Виды подземной воды в природе *. Вода в природе встречается в трех фазах: газообразной (пары воды), твердой (лед) и жидкой. В жидкой фазе различают атмосферную воду, поверхностную, или наземную, и подземную.

В горных породах подземная вода может быть в связанном и свободном состояниях. Связанная вода подразделяется на воду, содержащуюся в минералах (цеолитная, кристаллизационная и конституционная — см. главу шестую) и в порах пород, — прочно связанную (гигроскопическая и адсорбционная) и рыхло связанную (пленочная).

Свободная (жидкая, гравитационная) вода делится на подвешенную, капиллярную, инфильтрационную, ненапорную и напорную. Все виды воды в природе тесно взаимосвязаны друг с другом и обычно изучаются различными дисциплинами: парообразная — метеорологией и физикой, твердая (лед) — гляциологией (см. главы шестнадцатую и семнадцатую), связанная — почвоведением.

В минералах выделяют следующие виды связанной воды.

Конституционная вода входит в кристаллическую решетку в виде ионов OH^- , H^+ . Из минерала она может быть выделена в ограниченном количестве с большим трудом при

* Здесь не рассматриваются такие свойства пород, как пористость, влажность и т. д.; эти понятия подробно описываются в курсах почвоведения.

его нагревании от 300 до 1000° С и полном разрушении молекулы (например, белая слюда — мусковит $KAl_2[OH]_2(AlSi_3O_{10})$).

Кристаллизационная вода входит в состав кристаллической решетки минералов в виде молекулы H_2O , например гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, мирабилит $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, лимонит $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$. Выделяется эта вода при нагревании в определенном интервале температуры ниже 300° С, а иногда и 100° С. При этом один минерал, разрушаясь, переходит в другой, например гипс, при температуре 107° С переходит в ангидрит.

Выделение кристаллизационной воды из минералов может происходить в масштабах, которые следует учитывать в балансе подземных вод.

Цеолитная вода — разновидность кристаллизационной воды, связанная с решеткой наименее прочно, удаляется из минерала постепенно, при этом минерал изменяет свои свойства, например опал $SiO_2 \cdot nH_2O$ (аморфный), теряя воду, превращается в кристаллический кварц.

Гигроскопической (прочно связанной) водой называют пары воды, поглощенные породой из воздуха, это вода увлажнения, механически примешанная к той или иной породе. Она не подчиняется силе тяжести, не передает давления, не обладает растворяющей способностью, образуя на стенках пор тончайший слой молекулярного притяжения. При нагревании породы или минерала до 105—110° С вода полностью удаляется. Гигроскопическая вода недоступна растениям.

Пленочная (рыхло связанная) вода образуется в породах при конденсации водяных паров. Она покрывает тонкой пленкой не толще 0,0001 см поверхности отдельных частиц стенок пор сверх слоя гигроскопической воды. Рыхло связанная вода не подчиняется силе тяжести, не передает гидростатического давления, не замерзает при температуре $-1,5^\circ C$. Движение происходит от более толстых пленок в сторону более тонких, покрывающих поверхности пор, трещин. Движение ускоряется с повышением температуры.

Пленочная вода благоприятствует деятельности микроорганизмов, способствуя почвообразованию.

Капиллярная вода — вода в капиллярных порах горных пород. Она передает капиллярное давление, ее замерзание зависит от величины капилляров. Обычно она замерзает при температуре немного ниже 0° С. В капиллярном движении воды выделяют капиллярное поднятие — движение воды вверх под воздействием поверхностного натяжения. Высота этого поднятия образует капиллярную кайму над поверхностью грунтовых вод. Эту воду обычно и называют капиллярной, она удерживается в порах породы силами капиллярного давления и может передвигаться также под действием напорного градиента. При вскрытии выработками вытекания этих вод не происходит.

Знание высоты капиллярного поднятия весьма важно для районов освоения целинных земель юго-востока СССР, так как в сухом климате капиллярная вода — источник снабжения корневой системы растений.

Гравитационная (свободная, капельножидкая) вода передвигается в горных породах под влиянием силы тяжести, выполняя большую механическую и химическую работу. Этот вид воды имеет наибольшее значение для человека и описывается ниже.

Основные понятия и определения подземных вод. Породы, в которых поры, трещины, пустоты заполнены гравитационными водами, называются водоносными.

Часть пласта или весь пласт, насыщенный гравитационной водой, образует водоносный горизонт. В каждом водоносном горизонте выделяют область питания и область стока, разгрузки. Участки выхода проницаемых горных пород на дневную поверхность, где атмосферные осадки просачиваются в горные породы и пополняют запасы подземных вод, называются областями питания.

Пониженные участки поверхности рельефа, а также места, где водоносные горизонты прорезываются глубокими оврагами, долинами рек, участки, где образуются родники, называют областями стока или разгрузки подземных вод. Площадь, лежащая между этими областями, составляет область накопления, миграции и напора подземных вод.

При вскрытии горной выработкой, колодцем, скважиной подземных вод ее верхняя поверхность получила наименование уровня подземных вод. Различают свободную, ненапорную поверхность подземных вод, которую называют также зеркалом, или скатертью грунтовых вод, гидростатическим уровнем. Если же после вскрытия водоносного горизонта уровень воды в выработке поднимется на некоторую высоту, то такую поверхность называют напорной, а уровень — пьезометрическим. Уровни подземных вод колеблются во времени, поэтому различают уровни постоянные и непостоянные, установившиеся или неустойчившиеся.

Линии на карте (плане), соединяющие точки одинаковых высот зеркала грунтовых вод над условной нулевой поверхностью, называются гидроизогипсами. Карты гидроизогипс составляют по наблюдениям за уровнем грунтовых вод в скважинах за определенное время.

Мощностью водоносного пласта (горизонта) называют расстояние по перпендикуляру между его плоскостями, измеряемое в метрах. Дебит, или производительность колодца, скважины, родника, — это количество воды, выдаваемое водопунктом в единицу времени. Иногда дебит называют водообильностью. Определяется дебит либо в литрах в секунду, либо в кубиче-

ских метрах в час и в кубических метрах в сутки для больших расходов.

Родники. Родниками называют естественные выходы подземных вод на дневную поверхность. Эти выходы обычно приурочиваются к пониженным участкам рельефа — склонам речных долин, оврагам. Родники по дебиту могут быть постоянно действующими, слабоизменчивыми, периодическими и сезонными, временными. По гидродинамическим особенностям родники делятся на восходящие, напорные, в которых токи подземной воды под давлением достигают поверхности земли, и нисходящие — выходы грунтовых вод со свободной поверхностью. По химическому составу родники могут быть пресными, солоноватыми, солеными, рассольными; по температуре — холодными, теплыми, горячими; особую группу представляют источники минеральные и гейзеры. Знаменитый минеральный источник Шпрудель в Карловых Варах имеет температуру до 75°С и бьет на высоту 9 м из гранитов. В местах выхода некоторых родников образуются минеральные новообразования. Лавовые и грязевые вулканы также представляют своеобразные родники подземных вод.

Режим подземных вод. Подземные воды, залегающие в горных породах, изменчивы во времени. Под влиянием естественных (геологических и климатических) и искусственных факторов имеют место колебания уровня вод, изменения их дебита, скорости движения, состава и физических свойств.

Все эти изменения в состоянии подземных вод во времени называют их режимом, под которым понимают естественноисторический процесс, представляющий собой отдельные стадии формирования подземных вод, протекающий под воздействием совокупности взаимодействующих и изменяющихся факторов (климатических, гидрологических, геологических, почвенных, биогенных и искусственных).

Режим подземных (грунтовых) вод, залегающих вблизи дневной поверхности, больше подвержен сезонным колебаниям, чем режим вод глубоких, перекрытых сверху глинистыми пластами. Режим подземных вод в СССР специально изучается режимными станциями Министерства геологии и других ведомств.

Классификация подземных вод. Все подземные воды могут быть подразделены на группы в зависимости от условий залегания в земной коре, характера водовмещающих пород, физических особенностей, происхождения, химического

По условиям залегания, верховодку, дождевые, пластовые, пенапорные — артезиальные.

ные воды делятся на почвенные, артезиальные, жильные, карстовые, — грунтовые и напорные — бассейны со стоя-

чей, неподвижной водой и потоки с быстро передвигающимися трещинными водами.

Подземные воды могут быть пресными, солоноватыми, солеными и рассольными.

По происхождению воды могут быть инфильтрационными, древними и современными. Древние морские бывают погребенными и седиментационными. Кроме того, выделяют конденсационные и магматические воды.

Инфильтрационные воды — воды, образовавшиеся от проникновения атмосферных вод и осадков в местах выхода горных пород на дневную поверхность. Различают древние — проникшие в прошлые геологические эпохи, и современные, заполнившие породы в нынешнее время.

Древними водами морского происхождения являются иловые воды и воды древних морей, лагун и других водоемов, сохранившиеся в измененном составе в породах после их окаменения. Седиментационные воды — воды сингенетического возраста вмещающих пород. Погребенные воды моложе возраста вмещающих пород, проникли в породы из древних морей позднее.

К конденсационным водам относят подземные воды, образовавшиеся от конденсации водяных паров вследствие различной упругости пара. Воды магматического происхождения образовались из паров воды, содержащихся в магме.

Для сельского хозяйства — водоснабжения, орошения — наибольшее значение имеют воды инфильтрационные.

По составу — количеству растворенных солей — воды подразделяются на пресные — с концентрацией солей до 1 г/л; слабосоленые — 1—3 г/л, сильносоленые — 3—10 г/л, соленые — от 10 до 35 г/л, рассольные — более 35 г/л.

Наиболее важны для сельского хозяйства воды с минерализацией до 3 г/л.

Минеральными водами называют природную воду, содержащую какие-либо химические элементы (S, Fe, As, C, Br, J и др.), оказывающие бальнеологическое воздействие на организм человека. Минеральная вода по концентрации солей может быть и пресной, и солоноватой.

Подземные воды, имеющие значение промышленного сырья, называют минерализованными, из них выпаривают поваренную соль, извлекают иод, бром и т. д. В эту группу входят различные рассолы, часто воды нефтяных месторождений.

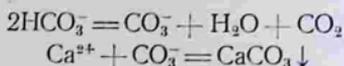
По содержанию преобладающих в воде анионов выделяются три семейства: карбонатное, содержащее соли угольной кислоты; сульфатное, содержащее соли серной кислоты; хлоридное, содержащее соли соляной кислоты.

Первое семейство включает пресные воды, в него входят воды большинства рек, озер, подземные воды верхней части пояса насыщения (пояс интенсивного водообмена). Сульфатные

воды — солоноватые, горькие и соленые. К ним относятся некоторые соленые озера, грунтовые воды засушливых районов. Хлоридные воды — воды Мирового океана. К семейству хлоридных должны быть отнесены глубокие воды пояса насыщения — рассолы, залегающие в глубоких впадинах земной коры, артезианские воды нефтяных месторождений и т. д.

Подземные воды на глубине часто имеют повышенную температуру. В курортологии принято следующее подразделение подземных вод: воды с температурой 20°C — холодные, с температурой от 20 до 50°C — теплые, с температурой свыше 50°C — горячие. Большинство пресных и солоноватых вод холодные, соленые и рассольные воды часто бывают теплыми и горячими. Следует принимать во внимание среднюю годовую температуру местности, где выходит родник, т. е. термальным родником и термальными водами будут ключи с постоянной температурой выше среднегодовой, а холодные — с постоянной температурой ниже среднегодовой.

Свойства и питьевые нормы подземных вод. Присутствие ионов Ca и Mg обуславливает жесткость подземных вод. Выделяют жесткость общую, временную и постоянную. Временная жесткость образуется ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} , осаждающимися при кипячении воды в виде карбонатов вследствие разрушения гидрокарбонат-иона:



Постоянную жесткость определяют ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , остающиеся в воде после кипячения в виде сульфатов.

Раньше жесткость воды выражали в градусах. 1° отвечал содержанию CaO в воде 10 мг/л , теперь жесткость выражают в миллиграмм-эквивалентах Ca^{2+} и Mg^{2+} на 1 л воды, причем 1 мг/экв жесткости, равный $2,8^{\circ}$, соответствует содержанию $20,04 \text{ мг/л}$ Ca^{2+} , или $12,16 \text{ мг/л}$ Mg^{2+} .

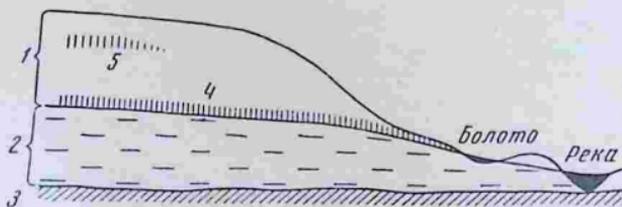


Рис. 58. Схема залегания грунтовых вод и верховодки:

1 — пояс аэрации, 2 — пояс насыщения, 3 — водопроницаемый слой, 4 — капиллярная кайма, 5 — верховодка

Природные условия СССР настолько разнообразны, что единых норм оценки вод для питьевого водоснабжения не существует. В ряде районов существуют местные нормы.

Согласно ГОСТ, для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения сухой остаток воды не должен превышать 1000 мг/л, а общая жесткость — 7 мг/экв (20°). Однако во многих районах юго-востока СССР (Казахстан, Средняя Азия) из-за отсутствия доброкачественных вод для питья используют более жесткие воды.

Классификация подземных вод по условиям залегания. Условия залегания подземных вод в поясе насыщения литосферы предопределяют их генезис и все другие свойства: гидравлические особенности, качественную и количественную характеристику.

В поясе аэрации выделяются почвенные воды и верховодка, в поясе насыщения — грунтовые и артезианские воды.

Почвенные воды (прочны и рыхло связанные) очень тесно связаны с атмосферой, поверхностными водами, растительными и животными организмами (см. стр. 211—212).

Геологическая деятельность почвенных вод незначительна, однако агрономическое значение этих вод огромно, так как почвенная влага является одним из элементов плодородия почв. Этот вид воды изучается в почвоведении.

Верховодка. Под верховодкой понимают воды временного, сезонного характера, залегающие на невыдержанном водоупоре вблизи самой поверхности земли (рис. 58). Летом колодцы с этой водой пересыхают, зимой — промерзают. Области питания и распространения совпадают, напор отсутствует. Гидравлической связи с реками не имеет. Воды содержатся в порах песчаных слоев и прерывистых линзах. Эта группа вод широко распространена на водораздельных пространствах, в степях.

В этих областях верховодка часто является единственной подземной водой, пригодной для питьевых целей, так как нижележащие водоносные горизонты соленые. Например, на целинных землях в Кустанайской области из одного неглубокого колодца в сутки можно получить 1 м³ воды. В флювиогляциальных и аллювиальных отложениях Подмосковья верховодка используется на высоких террасах Волги, Оки.

Верховодка может служить источником мелкого колодезного водоснабжения в тех районах СССР, где грунтовые и артезианские воды либо засолены, либо залегают очень глубоко и в экономическом отношении невыгодны для вскрытия. Верховодка имеет большое значение для питания растений, в частности древесных культур. Большая часть растений использует воду при уровне не глубже 4 м. В зоне избыточного увлажнения верховодка заболачивает местность, при этом в почве воз-

никают восстановительные процессы, приводящие к вредным для растительных культур явлениям.

Грунтовые воды широко распространены в природе и их роль для народного хозяйства как агентов растворения и выщелачивания горных пород весьма значительна.

Грунтовые воды — это обычно ненапорные воды, залегающие на водонепроницаемых породах вблизи дневной поверхности, выше базиса эрозии. Области питания и распространения у них могут совпадать, в этом случае грунтовые воды открыты с поверхности, выше залегают капиллярная кайма и пояс аэрации. Такие воды называются открытыми, со свободной поверхностью. Их режим из-за сезонных климатических условий подвержен особенно сильным колебаниям. Между выпадающими атмосферными осадками и уровнем грунтовых вод, дебитом, химическими и физическими свойствами существует прямая связь. Пласт не полностью насыщен гравитационной водой.

Если грунтовые воды прикрыты водонепроницаемыми породами, то область питания находится на расстоянии от области распространения.

Закрытые грунтовые воды перекрыты сверху глинистыми породами, в этом случае пласт полностью заполнен водой, вследствие чего воды характеризуются небольшим, часто местным напором. Области питания и распространения не совпадают. Эти грунтовые воды особенно широко распространены среди ледниковых отложений Калининской, Ярославской, Смоленской областей, где в межморенных флювиогляциальных образованиях устанавливается ряд горизонтов закрытых грунтовых вод, располагающихся этажно по отношению друг к другу. Режим этих вод подвержен сезонным колебаниям.

По характеру вмещающих пород грунтовые воды могут содержаться в порых песках и могут быть слоевыми, линзовыми, пластовыми, в известняках — трещинными, трещинно-пластовыми, жильными. По минерализации грунтовые воды могут быть пресными, солоноватыми, солеными и рассольными.

Грунтовые воды, содержащиеся в аллювиальных отложениях речных долин Волги, Камы, Оки, Днепра, обильны, характеризуются хорошими питьевыми качествами и широко используются для водоснабжения многих городов, заводов, колхозов, совхозов. Грунтовые воды могут эксплуатироваться неглубокими колодцами, что позволяет быстро и без больших затрат получить питьевую воду.

Иногда аллювиальные и флювиогляциальные отложения и небольших рек, например Яузы, характеризуются большими запасами грунтовых вод. Так, еще в 1805 г. для водоснабжения Москвы был сооружен так называемый мытищинский водопровод, питающийся родниками, выходящими в долине р. Яузы.

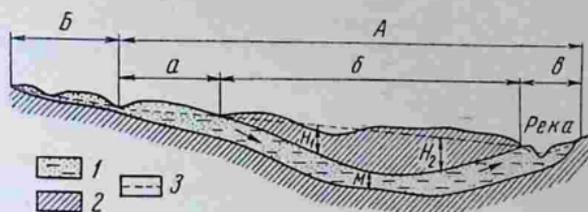


Рис. 59. Разрез артезианского бассейна (по А. М. Овчинникову). *А* — пределы распространения артезианских вод; *а* — область питания (и частично стока), *б* — область напора, *в* — область стока; *Б* — пределы распространения грунтовых вод; H_1 — напор положительный; H_2 — напор отрицательный; *М* — мощность артезианского пласта:

1 — водоупорный пласт, *2* — водоупорные породы, *3* — пьезометрический уровень. Стрелками показано направление движения артезианских вод

Водопроводы многих городов (Новочеркасск, Казань, Сызрань) базировались на каптаже грунтовых вод.

Артезианские воды получили название от провинции Артуа, под Парижем, где еще в 1126 г. были пробурены скважины, сопровождавшиеся фонтанированием. Артезианские воды характеризуются напором над кровлей пласта, вследствие чего они часто поднимаются в скважинах на сотни метров, а при низких абсолютных отметках земной поверхности образуют естественные фонтаны.

Напор — восходимость артезианских вод — обусловлен законом коленчатой трубки, согласно которому при вскрытии какого-либо изогнутого пласта вода в нем стремится подняться на высоту, равную высоте разности выхода пласта на поверхность земли в области питания и области стока.

Особенности артезианских вод: залегание обычно в крупных впадинах, называемых артезианскими бассейнами, между водоупорными породами, часто на большой глубине; постоянная температура, возрастающая с глубиной; режим вод мало подвержен колебаниям и обусловлен давлением воды, находящейся в пластах; области питания и распространения вод не совпадают с областью миграции и зоной разгрузки (стока) (рис. 59). Напорные воды могут возникать и при асимметричном залегании водоносных пластов, образующих артезианский склон, а также и в горных районах в трещиноватых, осадочных, магматических и метаморфических породах.

По составу воды могут быть пресными, солеными и рассольными, а по характеру водовмещающих пород — поровыми, трещинными, жильными, пластовыми и трещинно-пластовыми.

Артезианские воды имеют очень большое значение для народного хозяйства. Они служат для водоснабжения ряда горо-

дов, в том числе частично и таких больших центров, как Москва, Киев, Харьков. Эти воды по своим вкусовым качествам, температуре и гигиеническим свойствам имеют ряд преимуществ перед поверхностными и грунтовыми водами, более загрязненными с поверхности.

Артезианские пресные воды особенно широко используются для водоснабжения сельских местностей, а также для орошения (отдельные районы Средней Азии).

Минеральные артезианские воды применяются для лечебных целей. Широкой известностью в нашей стране пользуются углекислые воды Кисловодска, Эссентуков типа нарзана, сернистые — Мацесты, хлоридные — Старой Руссы и т. д.

Наконец, рассольные воды применяются в химической промышленности для извлечения различных элементов — брома, иода, выварки соли и т. д.

Артезианские бассейны. В СССР имеется несколько тектонических впадин, представляющих собой идеальные условия для артезианских бассейнов. Такими бассейнами являются Московский, Украинский, Причерноморский, а на востоке — Якутский, Ангаро-Ленский и многие другие.

Московский бассейн сложен отложениями карбона, девона и нижнего палеозоя. Пресные артезианские воды содержатся в известняках и доломитах всех трех отделов карбона. Воды в начальный период разработки в Москве, Калинин, Ногинске фонтанировали с большим дебитом. Ныне уровни снизились, а для подъема вод пользуются насосами. Глубина скважин от 40 до 200 м, производительность — 20—50 м³/час с небольшими понижениями. Качество вод хорошее, воды мягкие. От глубины 250—275 м в Московском бассейне качество воды ухудшается: воды делаются солоноватыми, а ниже становятся рассолами.

В Москве, находящейся в центральной части огромного Московского артезианского бассейна, имеются все три класса артезианских вод. Пресные, с плотным остатком 0,200 до 0,530 мг/л, общей жесткостью от 10 до 20° (4—8 мг/экв), заключены в отложениях среднего и нижнего карбона на глубине до 250 м.

Минеральные — содержатся в отложениях верхнего девона на глубине 350—500 м; по составу это воды сульфатные, сходные с Эссентуковскими № 20. Плотный остаток до 1,4 г/л.

Наконец, ниже глубины 500 м в толще пород девона и нижнего палеозоя мощностью более 1000 м содержатся хлоридно-натриевые рассолы с плотным остатком более 200 г/л и содержанием брома, иода. По своей концентрации эти воды более чем в 6 раз превосходят соленость воды океана (35 г/л). Главные области питания пресных вод карбона находятся к западу и юго-западу от гг. Гжатска, Калуги, а также в местах выхода пород на поверхность. Отсюда потоки воды устремляются на восток и север.

Украинская мульда, или Украинский артезианский бассейн, сложен породами мезозойского возраста, а в нижней части — палеозоем. Пресные артезианские воды содержатся в отложениях третичных, верхнего мела (сеноманский и мергельно-мело-

вой водоносный горизонт), юрских. Основные области питания расположены на севере и северо-востоке, области разгрузки — в долине Днепра. Скважины для водоснабжения имеют большую глубину (от 60—100 и до 600 м).

Артезианские воды мела и юры широко эксплуатируются в Киеве, Харькове, Полтаве, Курске. В Киеве усиленно эксплуатируются воды сеноманского водоносного горизонта. Глубина скважин от 80 до 95 м. Из-за большого водозабора уровни в настоящее время снизились на 30—40 м. Качество вод хорошее.

В районах освоения целинных земель, расположенных в пределах Казахского мелкосопочника, аккумуляторами пресных артезианских вод являются структуры, сложенные раскарстованными известняками, трещиноватыми песчаниками и конгломератами. Глубина залегания вод здесь редко более 50—100 м.

Во многих районах, например в северной части Актюбинской области, основным источником водоснабжения новых зерносовхозов являются трещинные воды, связанные с трещиноватыми зонами эффузивов силур-девона и песками континентального засоления на глубинах не более 50—80 м. В Прииртышской низменности, где нет доброкачественных водоисточников, основные горизонты пресных артезианских вод залегают в верхнемеловых породах на глубине 300—500 м и более.

Таким образом, подземные воды в комплексе с поверхностными водами рек и озер при их рациональном использовании дают возможность решить вопросы водоснабжения хозяйств и обводнения пастбищных территорий районов освоения новых земель.

Использование подземных вод для водоснабжения и орошения. В ближайшие годы в СССР планируется оросить 28 млн. га земель, обводнить более 30 млн. га пастбищ. В ряде городов и населенных пунктов предусмотрено строительство водопроводов.

По данным Гипроводхоза (1965), общая площадь ирригационно-подготовительных земель определяется цифрой 9,4 млн. га, из них засолено в разной степени 3,9 млн. га, или 42%.

В СССР подсчитаны прогнозные эксплуатационные запасы подземных вод в количестве 6600 м³/сек, что превосходит среднегодовой сток Волги. Однако на орошение они используются еще мало; так, в Узбекской ССР из перспективных запасов 514 м³/сек на орошение идет только 15 м³/сек, в Киргизии из 180 м³/сек — 1,5 м³/сек.

В США, Индии, Австралии для водоснабжения и орошения подземные, в частности артезианские, воды широко используются: в США за счет подземных вод орошается 30% всех земель, в Индии орошается 28 млн. га, из них за счет грунтовых вод 20%, для этого пробурено около 6000 скважин глубиной до 438 м. В Австралии площадь пастбищ около 175 млн. га, при этом пробурено около 700 000 скважин.

В СССР за последние годы пробурено и сдано в эксплуатацию много скважин для сельскохозяйственного водоснабжения. Так, количество скважин, сооруженных в 1955—1962 гг. по заданию только Министерства геологии, превосходит 16 000.

Геологическая деятельность подземных вод

В земной коре подземные воды, в особенности артезианские, совершают очень большую работу. В противоположность водам поверхностным подземные воды особенно сильно проявляют себя в гидрохимическом отношении как растворители различных горных пород, минералов. Одновременно с процессами разрушения огромных толщ пород, образованием пустот, пещер, миграцией минеральных солей имеет место и процесс созидания — образование новых минеральных агрегатов в результате испарения растворов (засоление почв). В областях с избыточным увлажнением и плохим оттоком грунтовых вод происходят процессы заболачивания — образуются торфяники (см. стр. 259).

Роль подземных вод весьма значительна. В одном месте в один геологический период преобладают процессы растворения, в другом — минеральные новообразования.

Разрушительная деятельность вод. Карст, его образование и особенности. Выщелачивание подземными водами легкорастворимых пород (карбонаты, гипс, соли) на глубине с образованием пустот, пещер, а на поверхности — углублений, воронок и обширных замкнутых котловин называют карстом. Наименование этого явления произошло от названия известнякового плато в Каринтии (Югославия) — Карст.

Для развития карста необходимы следующие условия:

- а) толщина карстующихся легкорастворимых трещиноватых пород без прослоев глин должна быть значительной;
- б) ровная или слабонаклонная поверхность, достаточно высокая по сравнению с окружающим пространством, чтобы вода могла застаиваться и просачиваться внутрь по трещинам;
- в) уровень подземных вод должен быть низким, чтобы подземные воды имели достаточно пространства для вертикального движения.

По глубине уровня подземных вод различают карст глубокий и мелкий. Подземные воды, расположенные в карстовых пустотах, полостях и каналах, называют карстовыми, выходы карстовых вод на земную поверхность — карстовыми источниками, а мощные выходы — воклюзами.

В Горном Крыму, на Яйле, карстовые формы рельефа лишены почвенного и растительного покрова, такой карст называют голым, или средиземноморским. В Центральной Европе в карстовых областях сохраняется кора выветривания и развит

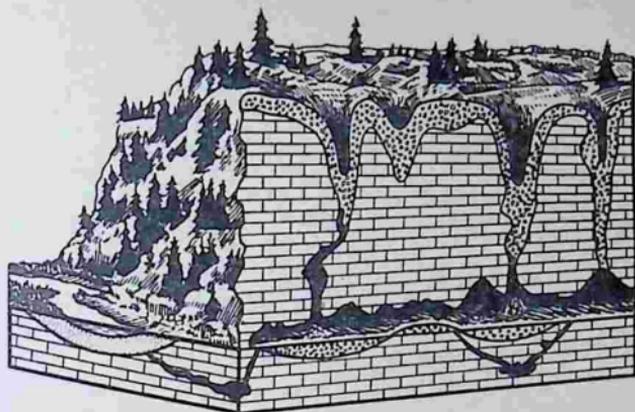


Рис. 60. Схема Кунгурской пещеры

почвенный и растительный покров, такой карст именуют средне-европейским.

Карст образует своеобразные формы рельефа: карстовые воронки, колодцы, пещеры, карры, долины, поля, подземные карстовые реки (рис. 60).

Карстовые воронки — замкнутые впадины различной величины и формы. Среди них различают:

- а) блюдцеобразные — глубина приблизительно в 10 раз меньше диаметра, крутизна склона обычно в пределах $10-12^\circ$;
- б) воронкообразные — стенки крутые до отвесных;
- в) провальные воронки, связанные с пещерами.

Блюдцеобразные воронки широко распространены в Горьковской области, в Татарии и причиняют большой вред сельскому хозяйству, портят ценные угодья.

Пещерами называют подземные полости иногда значительных размеров, образующиеся в легкорастворимых породах в результате деятельности подземных вод. Наиболее долговечны и наибольшей величины достигают пещеры в доломитах и известняках, в каменной соли и гипсе они вследствие неустойчивой кровли часто обваливаются.

Самая большая пещера на земном шаре — Мамонтова пещера в США в штате Кентукки. Она состоит из ряда залов и коридоров и имеет длину ходов до 100 км. В Венгрии пещера Агтелик имеет в длину 22 км. В СССР много пещер в Крыму, на Кавказе и в Приуралье. Широкой известностью пользуется ледяная пещера в г. Кунгуре, Пермской области.

Согласно легендам, в «каменных хоромах» этой пещеры всю зиму зимовал Ермак Тимофеевич с дружиной в 200 человек. На вершине Ледяной горы сохранились остатки «Ермакова городища». Изученная часть этой пещеры

имеет длину 4,6 км и четыре этажа. В дне пещеры протекает река, имеется 36 озер. Вблизи от входа наблюдается отрицательная температура и со стен свисают огромные ледяные сосульки. Зимой здесь температура почти такая, как и на поверхности, в глубине пещеры температура достигает 5°C и льда уже нет. Холодный, более тяжелый и приземной воздух не смешивается зимой с более теплым и легким воздухом карстовых пустот. Летом в пещере наземная и подземная атмосфера не перемешивается, наблюдается своеобразный застой масс холодного зимнего воздуха, который, проникнув еще зимой, обуславливает сохранение льда в течение круглого года.

Ныне часть пещеры электрифицирована, для ее изучения в ней действуют 60 гидрометрических постов.

В 1953 г. во Франции, в Веркоре, в известняковом плато Сорэн, были открыты пещеры Берже, представляющие собой длинную цепь идущих на большую глубину огромных залов, колодцев и расселин. Гигантская подземная лестница имеет общее протяжение более 3 км на глубине более 1100 м. Среди вертикальных колодцев, галерей, огромных колонн протекает бурная подземная река, образующая крупные водопады, озера с опасными водоворотами.

Оползни. Оползнями называют отрыв земляных масс и перемещение их по склону под влиянием силы тяжести. Земляные массы смещаются без нарушения структуры и текстуры пород. Поверхностные (не глубже 1 м) смещения с нарушением структуры и текстуры называют оплывинами, сплывами.

Образование оползней вызывается различными геологическими причинами, среди которых видное место занимает совместная деятельность атмосферных, поверхностных и подземных вод, скольжение вышележащих, насыщенных водой пород по пластичным слоям — глинам. При насыщении водой рыхлые породы делаются более тяжелыми и, увлажняя глины, соскальзывают вниз.

По крутизне верхней части поверхности скольжения различают оползни пологие — от 5° до 15° , крутые — от 15° до 45° , очень крутые — свыше 45° . По глубине залегания поверхности скольжения выделяются оползни: поверхностные — не глубже 1 м (оплывины, сплывы), мелкие — до 5 м, глубокие — до 20 м и очень глубокие — глубже 20 м.

Как показывает карта (рис. 61), оползни в европейской части СССР широко распространены на морских побережьях (Крым, Кавказ — окрестности Сочи), на берегах рек Волги, Днепра, Москвы. Главные причины, вызывающие неустойчивость пород на склонах, — это чередование глин, песков, песчаников при падении слоев в сторону берега; деятельность подземных вод, выходящих в виде родников; деятельность атмосферных осадков, выпадающих на самом склоне (образование селей); тектоническая трещиноватость пород, тектонические движения, опускание суши в береговой зоне; хозяйственная деятельность человека.

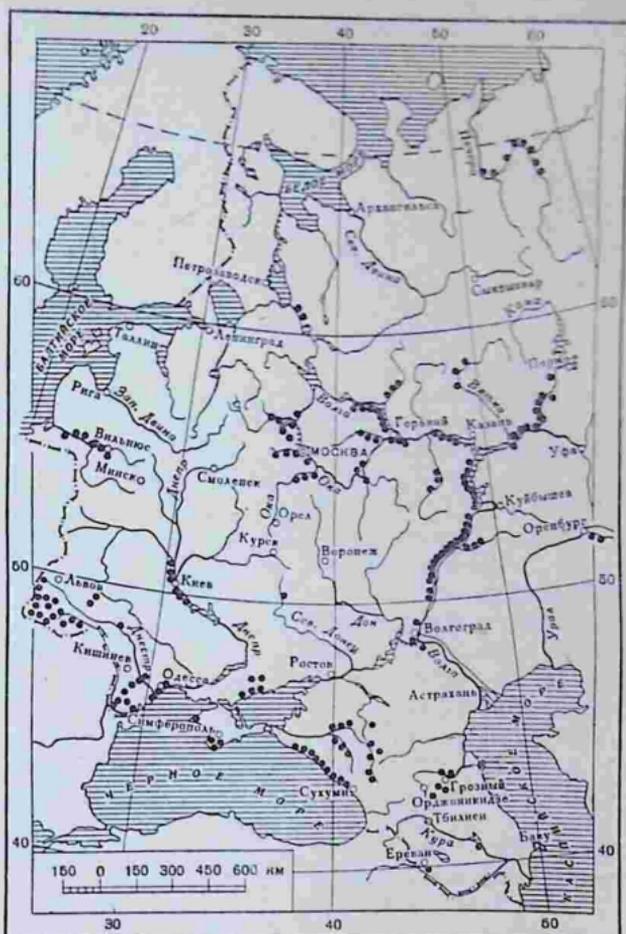


Рис. 61. Карта распространения оползней

Для сельского хозяйства наибольший вред приносят поверхностные и мелкие оползни (до 5 м), вызывающие нарушения и смещения почвы на поверхности земли. Оползающими породами могут являться почвы, залегающие на делювии, на элювии, на делювии по элювию, на элювии по коренным породам, на делювии по коренным, т. е. на суглинках и супесях по глинам и тяжелым суглинкам, на песках по глинам, на песках по глинам и супесям.

В результате подобных смещений гибнут культурные насаждения (виноградники), рвутся деревья, кустарники, образуется «пьяный» лес, смещаются дороги, канавы и т. д.

Воды, поступающие в породы, слагающие склоны, могут быть естественными (родники) и хозяйственно-техническими (сточные), связанными с деятельностью человека.

Разнообразие природных условий исключает возможность стандартизации схем противоположных мероприятий. В каждом конкретном случае следует учитывать своеобразие участка, где происходят оползни.

В сельском хозяйстве, когда сползает почвенный и элювиальный слой небольшой мощности (оплывины), часто применяют подземный или поверхностный дренаж, когда поверхностные воды, стекающие в оползневой части склона, сверху перехватываются и отводятся нагорными канавами. Положительные результаты дает также посадка деревьев, кустарников, запрещенные выемки пород, излишних нагрузок на рыхлые породы.

Оползни причиняют большой вред народному хозяйству. Их специально изучают оползневые станции Министерства геологии, расположенные в районах, наиболее подверженных оползням (Сочи, Горький, Одесса, Киев, Южный берег Крыма).

Созидательная деятельность вод. Подземные воды, передвигаясь в толщах пород, при выходе на поверхность выносят частицы мелкозема и растворенные вещества. В этом месте образуются отложения минералов. Воды вымывают из горных пород соли. Например, грунтовые воды, обогащенные свободной углекислотой, протекая по известняковым массивам, растворяют плохо растворимый карбонат кальция CaCO_3 , переводя его в бикарбонат $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, который уже хорошо растворим. Вымывание водами какого-либо вещества приводит к появлению трещин, которые со временем превращаются в полости, затем в пустоты, пещеры. Залегающие над образовавшейся пустотой породы под влиянием силы тяжести давят вниз, вследствие чего кровля не выдерживает и обрушивается — происходит обвал, и на поверхности земли образуется воронка. Грунтовые воды на дневной поверхности теряют свою углекислоту, вследствие чего $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. CaCO_3 выпадает в осадок, CO_2 улетучивается и поглощается растениями. В местах выхода родника в дне оврага из вод выпадает углекислая известь — образуется известковый туф, а на потолках и на дне пещер возникают сталагмиты и сталактиты.

Сталактиты — это минеральные натечные образования на потолках пещер, свисающие вниз наподобие сосул (от греч. слова *сталактос* — текущий по капле). Сталагмиты — это натечные образования, возникающие на дне пещер. Сталактиты и поднимающиеся снизу сталагмиты соединяются вместе, образуя причудливые колонны, арки, выполняющие пещеры. Натечные образования льда в пещерах называют ледяными сталактитами. Они встречаются во многих пещерах Чехословакии, Югославии, Крыма, Кавказа и окрестностей Кунгура.

Из горячих углекислых источников часто выпадает травертин (известняковый туф) причудливой формы, из вод, содержащих кремневую кислоту, — минерал гейзерит (Камчатка, Исландия). Вокруг устьев скважин, вскрывших термальные воды, возникает много оригинальных новообразований, состоящих из карбонатных соединений (п-ов Челекен, Дагестан, Таджикистан). В сухих степях, полупустынях и пустынях при орошении из-за подъема грунтовых вод и их испарения в поясе аэрации часто образуется гипс, что приводит к засолению почв. Образование перечисленных химических осадков указывает на энергичную геологическую деятельность подземных вод.

Глава шестнадцатая ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СНЕГА, ЛЬДА, ЛЕДНИКОВ

Значение и роль снега. Снег является термическим изолятором, он сохраняет тепло в почве, вызывая охлаждение приземного слоя воздуха. Обилие его предохраняет озимые культуры от вымерзания, обуславливая хороший урожай. Снег оказывает большое влияние на климат, на распределение растительности, на животный мир.

Снежный покров площадью в 1 га с толщиной 80 см при таянии может дать около 20 т воды. Снег питает реки, влияет на уровень грунтовых вод.

Геологическая деятельность снега различна: при таянии он дает начало аллювиальным струям и питает реки, при замерзании под давлением образуется лед. В горах, помимо питания рек, таяние снега приводит к образованию гляциоселей, солифлюкционных натеков, которые переносят со склонов продукты механического выветривания — валуны, щебень и более мелкий материал. Развеваемый ветром снег образует снежные заносы, вредные для народного хозяйства.

Распространение льда и ледников. Ледниковые явления изучает особый раздел геологии — гляциология (glaciers по-латыни — лед). Существует так называемая хиносфера, заключенная между нижней и верхней снеговыми границами, в которой накапливается снег и образуются ледники. Мощность и высота хиносферы над уровнем моря определяются снеговой границей, которая в горах зависит от географической широты, количества осадков и характера рельефа. В полярных областях хиносфера опускается к поверхности суши, в Западной Гренландии область вечных снегов находится на высоте всего 1500 м, в Мексике на 18° с. ш. — на высоте 4700 м, в Гималаях на 30° с. ш. — на высоте 6000 м; над экватором эта область поднимается на высоту до 6500 м. В умеренном поясе

в СССР снеговая граница колеблется от 2500—2700 м (северо-западные склоны Кавказа) до 3800—3900 м (юго-восточные склоны Кавказа).

Площадь современных ледников на земле составляет 15,5 млн. км², т. е. 11% площади суши. Количество льда на Земле около 30 млн. км³. Лед распределяется следующим образом (в км²):

| | |
|----------------------------------|----------|
| Арктика | 2083138 |
| Европа | 8655 |
| Азия | 114147 |
| Северная Америка | 67661 |
| Южная Америка и Африка | 1015 |
| Антарктика | 13204000 |

99,5% льда приходится на полярные области и только 0,5% на высокие горы — Гималаи, Памир, Кавказ, Альпы. По последним данным, максимальная мощность льда в Антарктиде 4887 м, средняя температура в верхних горизонтах льда — 56° С. Здесь же установлен и полюс холода Земли — станция Восток (88,3° С).

На земной поверхности различают следующие виды льда: почвенный — многолетняя мерзлота (см. главу семнадцатую), речной, озерный, морской, горный и материковый. Наибольшее значение в жизни Земли имеет лед материковый, образующий ледники, т. е. массы льда, возникающие от смерзания и преобразования больших количеств снега. Этот лед обладает зернистой структурой, облегчающей его течение, и часто слоистостью.

Почвенный, речной, озерный и морской лед имеет столбчатую структуру, образуется от замерзания воды и также слоистый. Деятельность льда влияет на формирование рельефа и на климат. Подсчитано, что, если растопить льды Гренландии, уровень Мирового океана поднимется на 2 м, а растопленные льды Антарктиды поднимут его на 40 м. На материках в умеренных широтах ледники длительное время находятся на высоких горах, выше снеговой линии.

Особенности ледников. Снег, расположенный выше снеговой линии в горах, под влиянием давления вышележащих слоев, поверхностного таяния и вторичного замерзания воды, просочившейся в глубину, образует фирн и фирновые поля. Фирн, постепенно уплотняясь, переходит в кристаллический глетчерный лед — ледник. Ледники образуются в горах в тех местах земного шара, где выпадает много атмосферных осадков в виде снега. Температура внутри ледника около 0° С.

Ледником называют массу льда определенной формы и значительных размеров, которая наподобие реки движется под действием силы тяжести и пластичных свойств льда. Когда в горах выпадает много снега и в области питания он не успевает таять, ледник постепенно удлиняется, сползает вниз, ниже снеговой линии, ил, как говорят, наступает. Обратный процесс наблюдается при потеплении, когда в горах интенсивно тает снег и лед и ледник отступают. Течение льда впервые было установлено в Альпах пастухами в XVIII столетии. Позднее там были проведены специальные наблюдения, ко-

торые показали, что домик пастуха, построенный в 1827 г. на ледяном языке в долине, за 6 лет продвинулся вниз вместе со льдом на 716 м.

Передвижение ледников зависит от количества осадков в области питания, мощности льда, сечения его долины, топографических условий ледниковой области — уклона ложа. Движение происходит при мощности более 15—20 м, когда вес превышает трение. Скорость продвижения ледников разнообразна и колеблется от 0,1 до 7 м/сут для горных ледников и 15—22 м/сут для материковых. Так, на Кавказе и в Альпах скорость 0,5 м/сут, в Гималаях — 3—7 м/сут. Своеобразный рекорд в этом отношении «установил» ледник Медвежий (Памир), который в мае 1963 г. продвигался со скоростью 50 м/сут. Движение возрастает по мере увеличения уклона ложа и толщины льда. Подвижность ледяного потока можно сравнить со скоростью реки, только во много раз меньше. Движение ледника сильнее в центральной части, слабее у дна и боков, где вследствие сопротивления горных пород передвижение льда замедляется.

Течение льда объясняется пластичностью, т. е. переходом в новое агрегатное состояние, минуя жидкую фазу. Под влиянием нагрузки и уклона ложа структура льда изменяется. Образующаяся при таянии льда вода действует как отличная смазка, вследствие чего лед перемещается.

Пластичность льда иногда сравнивают с воском, варом, а течение льда сопоставляют с дислокациями горных пород, которые сминаются в складки без разрыва сплошности слоев.

Типы ледников. Различают следующие типы ледников: горные (альпийский и скандинавский) и материковые, или покровные (Гренландия, Антарктида).

Тип ледников какой-либо страны определяется стадией развития оледенения данной области и рельефом подстилающего ложа — наличием площадок, на которых мог бы накапливаться снег. При развивающемся оледенении (похолодание климата) возникают горные ледники, которые, разрастаясь, переходят в промежуточные, а затем в материковые ледники. Наоборот, при потеплении и таянии льда материковые (покровные) ледники распадаются на отдельные шапки и затем переходят в ледники горного типа.

В значительной степени формы ледника зависят от рельефа. Так, при сходных климатических условиях при сильно расчлененном рельефе, обилии ущелий в горах возникают долинные, языковые ледники, которые образуют корытообразные долины, так называемые трогн (рис. 62) — альпийский подтип (Альпы, Кавказ). На слаборасчлененной возвышенности, где имеются широкие плоскогорья с незначительными уклонами, возникают фирновые поля, ледники имеют всякие формы, которые затем переходят в ледниковые шапки, — скандинавский подтип.

Покровный, материковый тип, при котором страна скована ледяным панцирем, возможен и в областях

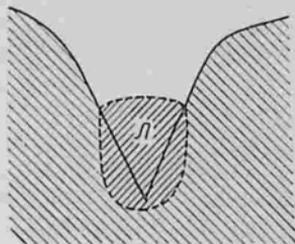


Рис. 62. Схема преобразования эрозионной долины



Рис. 63. Ледниковый гриб

новления оледенений, в частности, направления движения прежнего ледника. Ледниковые ворота — гроты — служат местом выхода талых вод в конце ледника. Интересны так называемые столы и грибы. Они образуются вследствие падения пород на поверхность ледника. Поверхность валуна предохраняет лед от действия солища и теплого воздуха, и лед под камнем тает медленнее, чем на открытой поверхности вокруг, и камень через некоторое время оказывается сидящим на ледяной «ножке», наподобие стола или гриба (рис. 63).

Многочисленные причудливой формы заливы, глубоко вдающиеся в сушу в Норвегии, так называемые фиорды — результат деятельности ледников. Эти формы рельефа существуют и в Финляндии, и в Карельской АССР.

Совокупность форм рельефа, состоящих из различных впадин, многочисленных гряд — валов, котловин между ними, крупных валунов, «курчавых скал», «бараньих лбов», — называют ледниковым ландшафтом. Для него обычны острота и резкость форм. Этот молодой рельеф хорошо выражен в Карелии. Южнее, например в Подмосковье, моренный рельеф сильно сглажен эрозией и характеризуется присутствием среди сглаженных гряд равнин зандровых полей.

Ледниковые (гляциальные) отложения. Выделяют три генетических типа ледниковых отложений:

- 1) ледниковые отложения моренных аккумуляций — $gl\ Q_{II-III}$
- 2) ледниковые отложения стоячих вод — озерных — $l\ gl\ Q_{III-IV}$
- 3) ледниковые отложения текучих вод — флювиогляциальные — $al\ fgl\ Q_{III-IV}$.

сильно расчлененного высокогорного рельефа при благоприятных климатических условиях: обилие осадков в твердом виде и очень низкие среднегодовые температуры (Арктика, Гренландия, Антарктида). Эти ледники медленно сползают к морю и образуют там плавающие ледяные горы — айсберги.

Ледник при своем продвижении производит большую работу и образует ряд характерных форм, штриховку, борозды на породах, ледниковые ворота, котлы, столы и т. д. Борозды и штриховка представляют собой царапины и шрамы, тянущиеся параллельно направлению движения бывшего ледника. Эти особенности являются генетическим признаком для уста-

Отложения, переносимые ледником, называют моренными. Они сложены разнообразным, неслоистым и неотсортированным материалом, угловатыми обломками, причем на валунах имеются шрамы шлифовки. Различают морены донные и конечные.

Озерные отложения — отложения стоячих вод, образовавшиеся после таяния ледника, сложены песчаным, суглинистым и глинистым пылеватым материалом темно-серого цвета. Суглинки обычно слоистые.

Флювиогляциальные отложения — образования текучих вод — характеризуются ясной, часто диагональной слоистостью, быстрым выклиниванием, несогласным залеганием. Характер отложений зависит от скорости потока, быстроты отложения, мощности нагрузки ледника.

Озерные и флювиогляциальные отложения часто сливаются с древнеаллювиальными, образуя сложные разновидности озерно-флювиогляциально-аллювиальных образований, очень широко развитых в центральной части РСФСР, между границами древнего оледенения. Все эти породы являются почвообразующими.

Ледниковая аккумуляция (накопление) прослеживается в равнинных частях областей, испытавших древнее оледенение. Сюда входят средняя полоса европейской части РСФСР, где четко выражены аккумулятивные формы ледникового рельефа — конечные морены, моренные озера, озы, камы, друмлины, флювиогляциальные террасы, зандровые равнины и т. д.

В зависимости от места, которое занимает переносимый материал по отношению к леднику, различают несколько видов морен. По способу накопления и транспортировки пород выделяют: поверхностную морену — глубообломочный материал, падающий на поверхность льда со склонов и переносимый ледником; боковую морену — обломочный материал, захватываемый льдом с боков долины краем ледника; внутреннюю морену — под влиянием лучей солнца под обломками горных пород лед тает и испаряется, вследствие чего обломочный материал проникает внутрь ледника по трещинам.

Донная морена состоит из материала, захватываемого ледником в его ложе и с боков, а также из поверхностного материала, падающего на лед и проваливающегося на дно по трещинам. Смятие донной морены может вызвать образование средней морены.

Конечными моренами называют скопления обломочного материала в виде валов-гряд, образующегося при равновесии между прибылью льда, притекающего из области питания, и убылью его в области таяния на краю ледника. Чем выше вал, тем дольше сохраняется это равновесие.

Ледники своими конечными моренами регистрируют изменение климата. Уход ледникового языка (таяние льда) от конечной



Рис. 64. Ледник Федченко на Памире

мор... о долине указывает на потепление. Отсутствие
у... чька конечной морены означает наступление
ле... ание климата.

С... их морен, выделяют морены движущиеся.
м... зны представляют собой нагромождения
продольных, краевых.

Для моренные отложения широко распро-
сти в СССР. Соответственно происхож-
да по отношению к леднику эти обра-
за на две группы: приледниковые — осад-
ки озон и камов, ленточные глины, откладывающиеся внутри
ледника, и внеледниковые — задровые пески, флювиогляциаль-
ные отложения, образующиеся спереди (к югу) от конца лед-
ника.

Приледниковые образования. Гряды, имеющие форму длин-
ных, узких валов, сложенных неотсортированным гравийно-
галечным моренным материалом, называют озами. Длина этих
извилистых валов протягивается на 30—40 км, ширина у осно-
вания 40—100 м, у гребня — 4—5 м, высота от 25 до 30 м, но
иногда достигает 90 м. На поверхности озон в их краях встре-
чаются глубокие воронки — озонные котлы. Озы распространены
на равнинах — в северо-западной части СССР, в Финляндии, а
также в горах — Алтай, Альпы.

Камы представляют собой формы рельефа, образованные при
таянии ледника. Это беспорядочно разбросанные холмы высотой
до 100 м, сложенные сортированными слоистыми песками с при-

месью валунного материала, разделенные впадинами в виде бессточных или занятых озерами заболоченных котловин. Образуются у края материковых ледников в условиях их отступления. В СССР распространены в Ленинградской области и Карельской АССР.

Друмлины— холмы продолговато-овального очертания длиной до 25 км, шириной 100—150 м, высотой 5—25 м. Холмы сложены моренным материалом и располагаются в краевой части области оледенения, позади гряд поперечных морен. Ядро друмлины часто сложено коренными породами, реже флювиогляциальными отложениями. Скопление друмлины образует так называемый друмлинный ландшафт, распространенный в Ленинградской, Псковской, Новгородской областях.

Слоистые образования приледниковых озер, состоящие из чередующихся слоев песка и глины — продуктов осаждения ледниковой мути, образующихся при таянии ледника, получили наименование ленточных глин. Процесс образования этих отложений следующий. Летом, когда принос ледниковыми водами обломочного материала больше, в озерах отлагается более песчаный светлый слой. Зимой отстаивается муть, образующая тонкий глинистый темный слой. Так ежегодно образуются годичные слои, называемые лентами. По годичным слоям определяют период времени, прошедший после ухода (таяния) ледника. Ленточные глины распространены в Ленинградской и Новгородской областях, в Финляндии, Дании.

Внеледниковые образования. Водные потоки, вытекая из-под льда, выносят большие количества разного материала, который постепенно откладывается за ледником и его конечно-моренным валом, образуя флювиогляциальные отложения (fluvius — поток, glaciус — лед).

Песчаные или галечниковые равнины, образовавшиеся потоками воды, вытекавшими из-под ледников, и расположенные перед внешним краем (впереди) конечных морен, называют зандрами. Зандровые поля и равнины сложены слоистыми осадками талых ледниковых вод — разнозернистыми песками, гравием, галечником, являющимися продуктами перемывания морены. В генетическом отношении зандровые поля представляют собой пологие, плоские, большого радиуса конуса выноса ледниковых потоков.

При материковом оледенении четвертичного периода зандровые поля образовались у края ледникового покрова. К равнинам такого типа могут быть отнесены Мещера, Полесье, Западно-Сибирская низменность. В настоящее время образование зандровых равнин наблюдается у края ледников Аляски и Исландии.

Современные горные ледники. Современные горные ледники хорошо изучены в Альпах, на Кавказе. Геологи Швейцарии и

русские ученые П. А. Кропоткин, П. П. Семенов-Тяньшанский установили многие закономерности в изучении ледников и создали особую дисциплину — гляциологию.

Снеговая линия в Альпах находится на высоте 2400 м; ледники здесь занимают 3850 км², или 2,1% площади гор. Высота снеговой линии на Кавказе вследствие неодинаковых климатических условий колеблется в широких пределах: в центральной части — 3500 м, на северо-западе — 2700 м и на юго-востоке 3800—3900 м. Установлено 1400 ледников, из них висячих — 1112, долинных* — 270. Длина ледников невелика — всего 13—15 км.

В Средней Азии снеговая линия на северных склонах хребтов 3000—3600 м, на южных — 3500—3900 м. Крупнейший ледник на Памире (имени Федченко) имеет длину 77 км (рис. 64). На Алтае климат влажнее, снеговая линия ниже, чем в Средней Азии (от 2300 м на западе до 3275 м на севере).

Изучение геологической истории Кавказа показало неравномерность оледенений, в частности для некоторых районов имеет место сокращение льдов. По нагромождению крупнообломочного материала (конечные морены), принесенного ледником, удалось установить, что около 100 000 лет назад в этом районе ледник спускался на 3000 м ниже, т. е. доходил до абсолютных отметок 600—700 м.

Русский геолог академик Г. В. Абих в 1849 г. посетил на Кавказе ледник Б. Азау, который входил в сосновый бор, спускаясь до высоты 2154 м. Через 24 года Абих снова обследовал этот же ледник и установил его отступление на 172 м, ледник отошел до высоты 2326 м. В последующие годы ледник продолжал отступать и с 1887 по 1933 гг. отодвинулся на 525 м. В 1913 г. было зафиксировано небольшое наступление (на 15 м). Таким образом, почти за столетний период наблюдений установлено на фоне общего таяния два небольших наступления.

Другие ледники также находятся в стадии отступления: так, ледник Ирик за 50 лет отошел на 25 м, М. Азау — на 300 м.

Наблюдения за современными колебаниями ледников позволяют установить связь между климатом и таянием льдов, а также понять некоторые процессы материкового оледенения и его возникновения.

Глава семнадцатая ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ В ЗОНЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Основные понятия и определения. Зона отрицательных многолетних температур занимает, по В. И. Вернадскому, около 20% всей суши. В СССР она охватывает огромную площадь — около 10 000 000 км², или 47% его территории (рис. 65).

* Висячие ледники, небольшие по размерам, образуются на плоскогорьях, долинные текут наподобие рек в глубоких долинах.

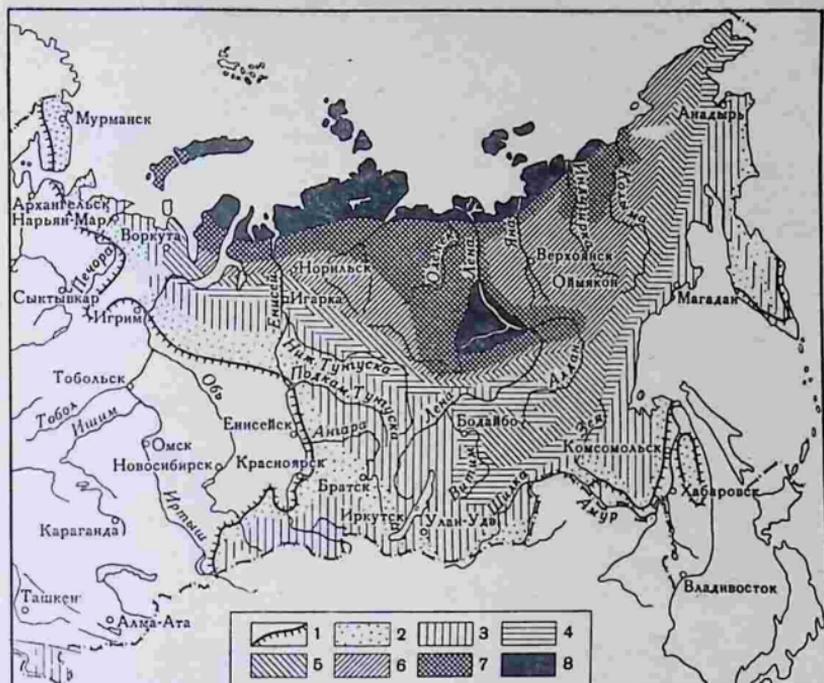


Рис. 65. Схематичная карта распространения многолетнемерзлых пород:
(по В. Баулину и М. Корейша)

1 — южная граница распространения многолетнемерзлых пород, 2 — зона островной мерзлоты с максимальной толщиной до 25 м, 3 — зона сплошного распространения с толщиной до 100 м, 4 — зона распространения с преобладающей толщиной от 100 до 200 м, 5 — с преобладающей толщиной от 200 до 300 м, 6 — с преобладающей толщиной от 300 до 400 м, 7 — с преобладающей толщиной от 400 до 500 м, 8 — с преобладающей толщиной свыше 500 м

Отрасль геологии, занимающаяся изучением мерзлых зон земной коры, называют мерзлотоведением, или геокриологией (криос — холод, мороз). Этот раздел геологии имеет большое значение для народного и, в частности, сельского хозяйства.

В земной коре выделяется пояс многолетних отрицательных температур, характерной особенностью которого является наличие или возможное существование льда. Эту особенность горных пород в литературе обычно называют вечной, или многолетней, мерзлотой.

Под понятием «многолетнемерзлые горные породы» понимается толща горных пород литосферы, залегающая на некоторой глубине от дневной поверхности и сохраняющая неопределенно долгое время отрицательную температуру и прослойки льда, иногда значительной мощности.

Пояса многолетних отрицательных температур существуют при условии сочетания двух обстоятельств — непрерывности и большой длительности.

Например, в Москве за более чем 800 лет ее существования горные породы каждую зиму промерзали на глубину около 1,5 м, т. е. характеризовались отрицательной температурой и наличием прослоек льда. Однако каждое лето породы целиком оттаивали, и отрицательные температуры исчезали, заменяясь положительными. Вполне очевидно, что в этом случае при факторе длительности отсутствует непрерывность. Другое дело в Якутии. Здесь, по документальным материалам, более 315 лет непрерывно на некоторой глубине от поверхности горные породы имеют отрицательную температуру, содержат лед. В породах находят неразложившиеся трупы мамонтов. Это указывает на то, что мерзлые породы существуют здесь непрерывно и весьма длительный срок, измеряемый, вероятно, десятками тысяч лет.

Таким образом, можно говорить о сезонномерзлых и многолетнемерзлых горных породах.

На земном шаре зона многолетних отрицательных температур занимает высокие широты материков — Гренландии, Канады, а также север Сибири и рассматривается как зональное природное явление. Однако и вне этих зон известны участки, благоприятные для сохранения холода, — это ледяная Кунгурская пещера в Пермской области, Розвал на Северном Кавказе, Бузулук в Крыму, пещеры Алтая, Памира и даже Армении (возле оз. Севан). Это так называемая азональная многолетняя мерзлота.

Распространение мерзлых пород. В областях распространения многолетнемерзлых пород по вертикали может быть схематически выделено три слоя: 1) надмерзлотный с плюсовой и минусовой температурой; 2) слой многолетней мерзлоты с постоянно отрицательной температурой; 3) подмерзлотный с положительной температурой.

Надмерзлотный слой получил название сезонноталого слоя. При прочих равных условиях на Крайнем Севере (побережье Ледовитого океана) он минимален, его мощность от 0,2 до 1,5 м; южнее 55° с. ш. — от 0,8 до 4 м. В основании этого слоя в некоторых местах залегает так называемый переходный, или промежуточный, слой, характеризующийся неустойчивой, но обычно положительной температурой и имеющий мощность 0,8—2,5 м. Далее идет мерзлый пояс, достигающий в отдельных районах мощности свыше 500 м (устье Енисея, бухта Кожевникова). Ниже залегают породы с положительными температурами (подмерзлотный слой), в которых температура возрастает с глубиной, согласно геотермическому градиенту.

В европейской части СССР мерзлые породы залегают в районе р. Печоры и к северу от 65° с. ш., в Центральной Сибири — к северу от 50° с. ш., углубляясь в МНР (рис. 65).

С севера на юг в этой зоне мерзлые породы располагаются либо в виде сплошных мерзлых пород (арктическая провинция), либо в виде мерзлых пород с островами таликов (субарк-

тическая провинция); далее — в виде линз, островов мерзлых пород, таликов с островами-линзами (перелетками) мерзлых пород.

Поясная граница распространения мерзлых пород имеет извилистый характер, несколько напоминая конфигурацию изрезанного материка с островами суши.

Несмотря на то что в отдельных (немногочисленных) участках увеличивается (нарастает) мощность мерзлых пород, в СССР прослеживается оттаивание мерзлых пород. Это позволило предположить о деградации вечной мерзлоты и постепенном отступлении ее на север. В целом должно происходить прогрессирующее оттаивание мерзлых пород. На ст. Бомнак за 22 года верхняя граница многолетнемерзлых пород опустилась на 4 м. В г. Мезень в 1837 г. отмечались мерзлые породы, в настоящее время они встречаются на 100 км севернее. Таким образом, вполне очевидно, что границы отрицательной температуры мерзлой зоны литосферы изменяются во времени, перемещаясь в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Условия, способствующие образованию мерзлых пород. Полагают, что такими условиями являются особенности теплообмена на поверхности земли между атмосферой и литосферой, в результате которого в верхних слоях горных пород образуется отрицательная температура и они переходят в мерзлое состояние.

Факторами, благоприятными для образования и существования этих условий, принято считать низкую среднегодовую температуру от -10 до -12°C , холодную малоснежную сухую длинную зиму и короткие весну и осень, высокое давление, сухость воздуха, инверсию температур (зимой на горах температура воздуха нередко выше, чем на дне долины).

В СССР, в Якутии, в районе Верхоянска — Оймякона, находится так называемый полюс холода Северного полушария, где самая низкая температура $-67,7^{\circ}\text{C}$.

Для арктической провинции средняя годовая температура воздуха определяется в -14 — -16°C , для Якутска -10°C , для Забайкалья -3° , для южной границы распространения около 1 — 2°C . Отрицательная среднемесячная температура длится с октября по май, т. е. 7—8 месяцев. Общее количество осадков в год очень мало и приближается к количеству осадков в пустынях Туркмении — от 200 до 300 мм в год.

Снеговой покров неглубок: Восточная Сибирь, Якутия, Дальний Восток — 30—50 см, Читинская область, МНР — 20—10 см в год. В Верхоянской котловине снега выпадает всего 33 мм, на побережье Ледовитого океана — 53 мм, в низовьях р. Олекмы — 80 мм. Для сравнения укажем, что в Москве средняя годовая температура $3,6^{\circ}\text{C}$, января $-10,8^{\circ}\text{C}$, осадков около 550 мм, мощность снегового покрова 50—55 см.

Во многих районах Восточной Сибири снег, падающий при очень низкой температуре, чрезвычайно сух и мелок, он очень подвижен, легко сдувается и уносится ветром с открытых мест. В этих участках верхняя граница мерзлых пород обычно под-

нимается. Высокое давление, большая ясность, низкие температуры обуславливают значительную абсолютную сухость воздуха и способствуют охлаждению и промерзанию горных пород.

Особенности сезонноталого слоя, мерзлых пород и их температура. Залегание верхней поверхности мерзлых пород обусловлено климатическими условиями, составом пород, гидрологией, рельефом местности и снежным и растительным покровом. При прочих равных условиях эта поверхность ближе к поверхности земли на Крайнем Севере, глубже — на юге. Так, в полосе тундры мерзлые породы встречаются уже на глубине от 1 до 3 м, в шахте района г. Бодайбо (низовье р. Витим) — около 10 м, в районе г. Читы — около 17 м.

Литологический состав пород, а также растительность оказывают огромное влияние на скорость их оттаивания и, следовательно, на мощность сезонноталого слоя. Глубина летнего протаивания и зимнего промерзания пород зависит от их состава, теплопроводности, влажности, средней годовой температуры и амплитуды среднемесячных температур. Она больше в гравелистых, песчаных сухих породах, меньше — в суглинистых и глинистых, минимальная — в торфянисто-глеевых влажных почвах, моховых болотах. Торф — хороший термоизолятор, зимой он глубоко промерзает, летом мало оттаивает (на 0,40—0,60 м). Летом на скрытую теплоту таяния льда и на высыхание торфа расходуется очень много солнечного тепла: 100 г сухого мха поглощают 400—1500 г воды, а верхушки его стебельков способны поглотить даже до 5000 г. На такое большое количество воды расходуется много скрытой теплоты парообразования, и значительная часть солнечного тепла тратится на высыхание торфа и не доходит на глубину до мерзлого слоя пород.

Воздух — плохой проводник тепла, вследствие чего большая пористость дернового слоя замедляет процесс оттаивания. Сухой луг с уплотненной почвой оттаивает быстрее, чем заливной.

Ю. А. Ливеровский для Большеземельской тундры (северовосток Архангельской области) приводит следующие данные по мощности сезонноталого слоя (в м):

| | <i>В северной части</i> | <i>В средней части</i> |
|--------------------------------|-------------------------|------------------------|
| В песках | 1,5 и более | 1,6—2,0 |
| В суглинистых почвах | 0,7—1,0 | 1,0—1,2 |
| В торфяниках | 0,5—0,6 | 0,7—0,8 |

М. И. Сумгин указывал мощность сезонноталого слоя для Сибири в зависимости от состава пород и широты (табл. 20).

Большое влияние на мощность сезонноталого слоя оказывают глубина залегания грунтовых вод, характер дренажа, растительный покров, а также рельеф местности и экспозиция (ориентировка по странам света) склонов.

Зависимость мощности сезонноталого слоя от состава пород

| Местность | Мощность сезонноталого слоя, м | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------|
| | песчаные породы | глинистые породы | торфянистые почвы |
| Южнее 55° с. ш. | 3—4 | 1,8—2,5 | 0,8—1,0 |
| Широта Якутска | 1,4—2,0 | 1,5—2,0 | 0,6—0,8 |
| Побережье Ледовитого океана | 1,2—1,6 | 0,7—1,2 | 0,2—0,4 |

Крупные водоемы, долины рек, пресные озера способствуют прогреванию пород. Так, в русле Лены мерзлых пород нет. Под дном Норильских озер (низовье Енисея), по данным бурения, мерзлые породы отсутствуют до глубины 100 м, а рядом, на берегах, они залегают вблизи дневной поверхности. В низовьях р. Анадырь мерзлые породы встречены только на глубине 20 м, а на берегах реки — на глубине 0,7—10 м. То же явление наблюдается в Канаде (долина Макензи, озеро Б. Медвежье). Наоборот, в озерах с соленой водой под дном даже летом удерживается отрицательная температура. Например, в Доронином озере —3°, так как соленая вода не замерзает и при отрицательной температуре; так, в буровой скважине на глубине 210 м температура воды была —4,8°С, в другой скважине на глубине 28 м температура достигала —5°С.

ТАБЛИЦА 21

Мощность сезонноталого слоя (в см) на различных типах сельскохозяйственных угодий в августе
(по Е. И. Цыпленкину)

| Группа районов | Террасы рек Аласы | | | | | | Водораздельные пространства | | | |
|--------------------|-------------------|------|--------|-----|-----|-----|-----------------------------|---------------------|--------|--------------|
| | пашня | | целина | | луг | | раскорчевка | | лес | |
| | I | II | I | II | I | II | старопах-ка | окультуренные земли | густой | перелесенный |
| Центральная Якутия | — | 153 | 130 | 145 | — | 141 | 185 | 172 | 90 | 140 |
| Вилуйская Якутия | — | — | — | — | 160 | 150 | 210 | — | 90 | 120 |
| Олекминская Якутия | 126* | 149* | 140 | 162 | — | — | 190 | — | — | — |

* По состоянию на июль.

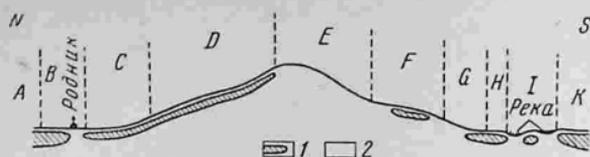


Рис. 66. Схема взаимосвязи мерзлой зоны рельефа и растительности в Южном Забайкалье. АСНК — болотно-луговая растительность, В — «колок» — небольшой лесок из лиственницы в месте выхода родника, D — лес лиственничный, E — обращенные на юг полуобнаженные склоны с редкими деревьями дикой яблони и дикого персика, F — степь, G — луг, I — заросли ивы:

1 — мерзлая зона, 2 — талики

На хорошо дренированных участках с проточными грунтовыми водами мощность сезонноталого слоя больше, чем в низинах и котловинах со стоячими грунтовыми водами. На освещенных летом южных склонах величина оттаивания также больше, чем на северных.

Табл. 21 и рис. 66 иллюстрируют мощность сезонноталого слоя в зависимости от рельефа и окультуренности земель.

Таким образом, большая глубина оттаивания почв наблюдается на водораздельных пространствах, меньшая — на террасах рек. Пахотные угодья в любых условиях оттаивают глубже, чем целинные и луговые земли, а также лесные.

На лесных пространствах за исключением сосновых боров глубина оттаивания почвы меньше, чем на луговых участках. Очевидно, глубина оттаивания почвы летом зависит от целого ряда условий, в числе которых окультуривание земель стоит на первом месте.

| | |
|--|-------|
| Заболоченные лиственничные леса | 55 см |
| Лиственничные леса с покровом брусники | 93 > |
| То же, с покровом багульника | 105 > |
| Березовый лес | 137 > |
| Сырые луга | 133 > |
| Влажные луга | 152 > |
| Сухие луга и лугоstepи | 169 > |
| Сосново-лиственничные боры на сухой песчаной почве | 195 > |

Мерзлые породы, их мощность, температура. Верхняя поверхность мерзлых пород имеет очень волнистый и причудливый характер, обусловленный рассмотренными выше физико-географическими и геологическими факторами.

По своему составу мерзлые породы могут быть рыхлыми (пески, супеси, суглинки, глины) и скальными (известняки, песчаники, граниты, гнейсы), а по происхождению — осадочными, изверженными и метаморфическими. Наиболее богаты

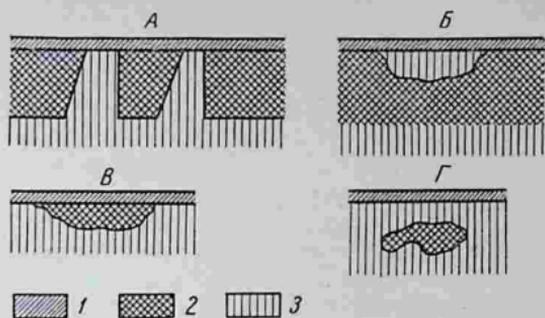


Рис. 67. Виды географического распространения многолетней мерзлоты. А — многолетняя мерзлота с островами таликов, Б — псевдоостров талика, В — остров многолетней мерзлоты, Г — гнездовая, или линзовая, многолетняя мерзлота:

1 — слой зимнего промерзания или летнего протаивания (сезоноталый), 2 — слой многолетней мерзлоты, 3 — постоянно талый слой (с положительной температурой)

льдом глинистые породы. Различают льды, непрерывно идущие в глубь мерзлой породы, слоистые, гнездовые, или линзовые, и, наконец, островные (рис. 67).

Разность между верхней поверхностью и основанием (подошвой) мерзлых пород составляет мощность, или толщину, слоя мерзлых пород и достигает свыше 500 м.

На севере основание мерзлых пород погружается на большую глубину, постепенно приподнимаясь к югу.

Впервые огромная мощность пород с отрицательной температурой была установлена в России. В 1827 г. в Якутске начали рыть колодец для получения питьевой воды. Колодец был вырыт до 30 м, а мерзлые породы не были пройдены. К 1837 г. колодец в научных целях был доведен до глубины 116,43 м, но мерзлые породы так и не были пройдены. Эта выработка вошла в науку под названием «Шергинская шахта». Якутск долгое время был единственным местом в Евразии, где мощность мерзлых пород доказывалась непосредственным наблюдением. В последующие годы (1844—1846) в этой шахте акад. А. Ф. Миддендорф детально измерил температуры, по которым экстраполированием по возрастанию температуры с глубиной была определена мощность мерзлых пород в 185 м.

Позднее мерзлые породы были пройдены глубокими скважинами в ряде районов СССР. На севере европейской части, в Нарьян-Маре, мощность оказалась равной 17,8 м, а несколько восточнее, в Амдерме (к югу от о. Вайгач), мерзлые породы не были пройдены на глубине 274 м. В Иркутской области мощность мерзлых пород около 35 м, в бассейне р. Витим (Успенский приск) — 50 м, в Забайкалье (ст. Бушелей) — 67 м, в Якутии — 210 м, на мысе Нордвик (устье р. Хатанги) — 230 м. В устье Енисея (бухта Кожевникова) слой мерзлых пород не пройдены. Экстраполированием мощность определяется здесь от 400 до 600 м (по-видимому, максимальная в СССР).

На о. Шпицберген мерзлые породы устанавливаются на отметках 250 м ниже уровня моря, на Аляске, на р. Юкон, мощность их 120 м, а на мысе Барроу — ниже 200 м.

Каковы отрицательные температуры в толще мерзлых пород? Замеры показывают, что температуры ниже -8°C встречаются редко, обычные температуры от -7 до 0°C . В. М. Пономарев в одной из скважин определил на глубине около 50 м температуру -12°C . Вероятно, подобные температуры редки.

Приведенные данные указывают на огромные теплопотери или «запасы холода», скопившегося за длительное время в мерзлом массиве горных пород. Например, чтобы поднять температуру столба мерзлых пород высотой всего в 21 м при площади основания 1 см^2 немного выше 0°C , необходимо затратить 68 тыс. кал (С. П. Сулов).

Подсчитано, что для более успешного ведения сельского хозяйства было бы достаточно опустить уровень верхней поверхности мерзлых пород всего на 2 м. Даже при таком ограниченном требовании для оттаивания 1 км^2 пород с отрицательными температурами пришлось бы сжечь 6000 т угля, а на всю площадь, занятую мерзлотой в СССР, потребовалось бы около 600 млрд. т, т. е. $\frac{2}{3}$ запасов угля Донецкого каменноугольного бассейна.

Агрономическое значение сезонноталого слоя. В условиях холода, низких отрицательных температур на севере (в Якутии) микробиологические процессы ослабевают и имеют замедленный характер. Бактерии, разлагающие клетчатку, почти не функционируют, азотфиксирующие бактерии отсутствуют. Нитраты накапливаются только в июне, в почвах преобладают анаэробные условия и господствуют восстановительные процессы. Почвы бедны минеральными элементами питания растений, наблюдается недостаток азота, фосфора, калия и других элементов. Водоупорный слой мерзлых пород является непреодолимой преградой для движения почвенных растворов, обогащения или обеднения почв солями.

Восстановительные условия в почвенных и грунтовых водах стимулируют миграцию коллоидов и окислов железа.

Вследствие низких температур развитие почвенных и биологических процессов сильно запаздывает и происходит не в мае — июне, когда это особенно необходимо для растений, а только к осени. Так, даже у южных границ распространения мерзлых пород весенняя вспашка проводится тогда, когда земля оттаяла только на глубину поднимаемого пласта (20—30 см), плуг скользит по породе, как по камню, а борозда блестит на солнце ледяными кристаллами. Осенью, при уборке урожая, мерзлые породы уже находятся на глубине 2—3 м.

Горизонты почв, располагающиеся над мерзлыми породами, обычно находятся в состоянии сильного переувлажнения, так как мерзлые породы, особенно при обилии в них льда, малопроницаемы и из надмерзлотных слоев происходит капиллярное поднятие воды в верхние горизонты, приводящее к сильному повышению их влажности. Переувлажнение влечет за собой процессы заболачивания, а вместе с ними сглаживание про-

цессов оподзоливания, замену их процессами оглеения. Но процессы переувлажнения наблюдаются не везде. Так, в ряде районов Иркутской области и Бурят-Монгольской АССР почвы переувлажнены только в ложбинах, речных долинах и других понижениях рельефа. На водораздельных, хорошо дренированных участках растения страдают от недостатка влаги в почве.

В целом, однако, мерзлые породы можно рассматривать как сильный конденсатор водяных паров. В условиях Сибири при резко континентальном климате и малом количестве осадков благодаря конденсации создаются дополнительные запасы влаги в почве.

Влияние низких температур на агрономические свойства почвы исключительно многообразно.

Воздействовать на мощность сезонноталого слоя следует весьма осторожно. Например, уничтожение естественного растительного покрова, вырубка лесов и кустарников, пожары и палы, распашка земель могут приводить к двум процессам: с одной стороны — к прогреву почвы в летнее время, с другой — к усилению их зимнего охлаждения. Известны случаи, когда строительство некоторых неотапливаемых построек способствовало их промерзанию.

Действие холода, мороза на плодородие почв исключительно многообразно, противоречиво и проявляется, например в условиях Сибири, по-разному. С одной стороны, холод и морозное выветривание способствуют накоплению влаги в сезонноталом и, в частности, в корнеобитаемом слое, мороз разрыхляет почвы, увеличивая количество растворимых минеральных частиц, которых здесь очень мало. Эти факторы можно рассматривать как положительные, повышающие плодородие почв. С другой стороны, на холодных почвах почти все растения затрудненно используют питательные вещества.

Например, корни берез, кедра и других древесных пород не углубляются в почву более чем на 30—40 см, но развиваются в стороны на расстоянии 10—12 м от главного ствола. Обычно корни картофеля имеют длину 1—1,5 м, а на Крайнем Севере — только 0,70 м. Плохое прогревание почвы в самый важный для растения первый период вегетации (май — июнь) требует повышенного количества питательных веществ в весенний период — минеральных удобрений и навоза.

Одной из задач северного земледелия является повышение температуры в почве, усиление в ней окислительных процессов и микробиологической деятельности. Этому способствуют современная и глубокая вспашка, применение минеральных удобрений, навоза, снегозадержание.

Гидрологические условия. Гидрологический режим рассматриваемых районов весьма своеобразен. Вода и постоянная

отрицательная температура в горных породах—глубокие антагонисты.

Мороз превращает воду в горных породах в кристаллическое состояние — лед. Прослоев и целых пластов льда среди мерзлых пород Сибири довольно много. Иной раз эти льды, которые называют каменными, или ископаемыми, достигают мощности 50 м и залегают между глинистыми и песчаными отложениями рек.

В недалеком прошлом районы Восточной Сибири рассматривались как безводные. Было доказано, что подземные воды содержатся как в сезонноталом слое, так и в самом массиве мерзлых пород и ниже в подстилающих породах с положительной температурой. Все эти разновидности подземных вод тесно взаимосвязаны. Воды пронизывают массив с мерзлыми породами и несут тепловую энергию, нарушая монолитность этих пород. Слоистость мерзлых пород, наличие проталин, а иногда тонких жил с водой обусловлены передвижением подземных вод.

Реки в этих районах имеют свои отличительные особенности. Ряд незначительных рек в Сибири зимой целиком промерзает, они сильно мелеют. Лед уменьшает живое сечение потока воды, вследствие чего воды часто устремляются на поверхность льда, где, разливаясь, вскоре замерзают, образуя огромные речные наледи — тарыни. Эрозионная деятельность малых рек направлена не столько вглубь (из-за наличия мерзлых пород), сколько в стороны, и с течением времени реки вырабатывают непомерно широкие, но сравнительно неглубокие долины. Мерзлые породы способствуют усилению стока рек и служат конденсаторами подземного водяного пара, так как под мерзлыми породами весь год и над ними летом упругость водяных паров всегда больше, что обуславливает приход влаги. Кроме того, большое количество воды образуется при оттаивании льдов, что является главным слагаемым в балансе рек, способствует образованию озер и заболачиванию местности.

Подземные воды. Районы распространения многолетней мерзлоты весьма богаты подземными водами, хотя они еще недостаточно изучены. Поскольку мерзлые породы представляют водоупор, то обычно выделяют три категории подземных вод: надмерзлотные, содержащиеся в сезонноталом слое, воды мерзлых пород и подмерзлотные, залегающие под мерзлыми породами.

В. М. Пономарев по условиям водообмена и циркуляции выделяет три класса грунтовых вод: грунтовые воды низменностей, грунтовые воды горных стран, грунтовые воды плоскогорий. Им описаны грунтовые воды сезонноталого слоя, воды, лежащие выше местного базиса эрозии, воды подрусовые и пойменных террас, воды морских побережий.

В зоне сплошной мерзлоты на Крайнем Севере летом оттаивает небольшой по мощности слой пород — от 0,6 до 2,0 м. Южнее в зонах таликовой и островной мерзлоты, где мощность сезонноталого слоя от 3—4 м и более, широко распространены верховодка и грунтовые воды.

Режим этих вод своеобразен, они имеют сезонный характер, оттаивая только летом, подъем уровня наблюдается в августе—сентябре. Верховодка получает питание за счет атмосферных осадков, поверхностных водоемов, конденсации паров воздуха на холодной верхней поверхности мерзлых пород. Воды передвигаются, следуя рельефу местности. При оттаивании летом они не имеют напора, осенью, промерзая, они приобретают временный напор. Минерализация вод весьма слабая, воды богаты органическими веществами и имеют слабокислую реакцию. Верховодка для водоснабжения пригодна только при условии залегания в песчаных прослоях значительной мощности, часто она вызывает различные деформации в породах.

Подземные воды среди мерзлых пород имеют жильный характер, они передвигаются, как по узким трубам (диаметр сечения от нескольких сантиметров до метра). Встречаются воды и в опесчаненных прослоях, пластах и линзах. По концентрации солей воды могут быть пресными и солеными; в первом случае температура их положительная, во втором—отрицательная. Воды мерзлых пород используются для водоснабжения.

Воды подмерзлотных зон являются артезианскими и в участках «островной мерзлоты» область их питания лежит за пределами распространения мерзлых пород. Эти воды, прорываясь в участки изменившегося теплового режима пород, образуют наледи—гидролакколиты. Температура их всегда положительная, а иногда воды являются термальными. Дебит значителен. В настоящее время в Сибири установлены крупные артезианские бассейны и открыты источники минеральных вод. В Якутске артезианская пресная вода встречена на глубине 312 м, в юрских отложениях.

Физико-геологические явления. Деятельность человека (уничтожение растительного покрова, глубокая вспашка, разработка месторождений полезных ископаемых, крупное строительство, проведение шоссеиных и железных дорог) приводит к оттаиванию многолетнемерзлых горных пород. Сами мерзлые породы—надежное и прочное основание для сооружений. Однако эти породы весьма чувствительны к изменениям температур. Сооружения являются источником тепла, вследствие чего под ними породы протанвают и, переходя в пльвунное состояние, образуют ослабленные участки—«отдушины», что приводит к деформациям.

Задача строителей—не давать оттаивать мерзлым породам.

Лед и снег — очень энергичные агенты морозного (физического) выветривания. Лед интенсивно разрушает породы, превращая скалы в дресву, россыпи. Эти процессы широко развиты на побережье Ледовитого океана, в долинах Лены, Индигирки, Колымы.

Районы, где распространены мерзлые породы, отличаются рядом характерных геоморфологических особенностей, связанных с замерзанием воды и оттаиванием льда. При этом часто возникает солифлюкция (*solum* — почва, *fluctus* — течение) — процесс медленного сползания, течения поверхностных слоев при сильном насыщении их водой. Этот процесс возникает при таянии льда, снега и отсутствии возможности для воды просачиваться вниз из-за расположенных на небольшой глубине непроницаемых мерзлых горных пород.

Тарыны (наледы) широко распространены в Якутии, Восточной Сибири, на Дальнем Востоке и состоят в том, что зимой при сильных морозах на поверхность из почвы выступает вода, которая обычно сразу замерзает, образуя слоистый ледяной покров, ледяное поле. При охлаждении воды и образовании льда происходит расширение, что вызывает «пучение» стенок того резервуара, в котором была заключена вода. По-якутски эти бугры именуется «булгунняхы». «Мари» — бугристые заболоченные участки. Тарыны, бугры, процессы солифлюкции приводят в негодное состояние сельскохозяйственные угодья.

Разработка месторождений полезных ископаемых. Территория с многолетнемерзлыми породами весьма богата полезными ископаемыми. Здесь известны россыпное и коренное золото и алмазы, платина, полиметаллы — серебро, свинец, цинк, железная руда (Забайкалье), каменный уголь (Воркута, Тунгусский бассейн), графит. В Якутии открыты алмазы, железные руды и коксующиеся угли.

Разработка полезных ископаемых связана с большими трудностями. Ныне мерзлотоведы разработали и внедряют в производство несколько приемов искусственного протаивания горных пород за счет естественных источников тепла путем увеличения подачи его в почву и уменьшения потерь тепла из почвы в атмосферу. Применяется также электронагрев пород.

Глава восемнадцатая

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МОРЯ

Виды деятельности моря. Роль моря в жизни Земли и человека исключительно велика. Моря занимают 361 млн. км² поверхности земного шара, имеют объем воды 1370 млн. км³, которая находится в постоянном движении. Море выполняет боль-

шую разрушительную и созидательную работу, которая подразделяется на следующие виды:

1) разрушительная деятельность моря, или морская абразия (от лат. слова «abrado» — брею, соскабливаю);

2) перенос, транспортировка морским прибоем, морскими течениями различного материала;

3) аккумуляция, накопление огромных толщ различных осадков;

4) диагенез — химическая, физическая и биогенная переработка осадков и превращение их в осадочные горные породы.

В результате весьма сложных и разнообразных процессов диагенеза из осадков в итоге окаменения образуются различные горные породы, происходят процессы минералообразования (см. главу пятую).

Большую роль в деятельности моря играет его растительный и животный мир, а также соленость воды, температура и давление.

Животные организмы, населяющие море, в зависимости от образа жизни подразделяются на следующие группы:

1. Бентос — донные животные, живущие на дне. Среди них различают прикрепленные, неподвижные (кораллы) и подвижные, передвигающиеся по дну (мшанки).

2. Планктон — животные, передвигаемые в воде волнами и течениями и не обладающие способностью активного передвижения. В эту группу входят радиолярии, корненожки, мелкие ракообразные и т. д.

3. Нектон — водные животные, обладающие способностью активного передвижения в водной среде (рыбы, киты, медузы).

Породообразующее значение животных, входящих в эти группы, — плеченогих, головоногих, кораллов, фораминифер, — огромно.

Разрушительная работа. Море редко находится в спокойном состоянии. Морской прибой зависит от силы и направления ветра и высоты волны. Так, волна высотой 6 м развивает на каждый метр своего фронта мощность в 240 лошадиных сил. Такой таран, систематически обрушиваясь на берег, не оставляет его без изменения.

Быстрому механическому разрушению пород способствует минерализация морской воды (содержащиеся в воде соли ускоряют растворение горных пород). Животные и растительные организмы, обитающие в зоне прибоя, разрыхляя и раздробляя породы, облегчают абразию берегов (рис. 68). Особенно сильное разрушение морских берегов происходит при штормах, когда волны достигают высоты нескольких десятков метров.

Давление волн прибоя на горные породы берегов Шотландии в летние месяцы в штиль достигает 3 000 кг на 1 м², а зимой при штормах — 30 000 кг. Морской прибой в бурю передвигает глыбы весом в сотни тонн. Так,

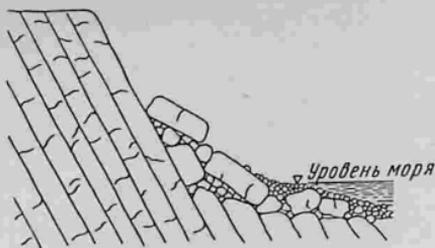


Рис. 68. Абразия

мывания расширяются в год на 2 м. Сильно разрушается остров Гельголанд: так, в 1072 г. его площадь равнялась 900 км², а ныне его площадь составляет всего около 1,5 км². Таким образом, за период менее 1000 лет остров уменьшился в сотни раз, что свидетельствует о наступлении моря в этом районе со скоростью 3 м в год.

Скорость размыва берегов зависит от состава пород, наклона пластов, конфигурации берега, направления ветров и т. д. Магматические горные породы оказывают большее противодействие прибою, чем осадочные, и разрушаются медленнее.

По данным В. П. Зенковича, берега, сложенные массивными породами магматического происхождения, размываются со средней скоростью до нескольких миллиметров в год. Берега, в которых обнажаются осадочные породы — известняки, мергели, песчаники, обладают средней устойчивостью, под влиянием абразии они отступают со скоростью нескольких сантиметров в год. Рыхлые осадочные породы могут размываться морем со скоростью нескольких метров в год (до 15—20 м).

Большое значение имеют условия залегания горных пород, их наклон. Скорее всего, при прочих равных условиях берега разрушаются, когда осадочные горные породы падают в сторону материка, наименьшая скорость будет при падении пород в сторону моря, средняя — при горизонтальном залегании.

При чередовании в геологическом разрезе твердых и мягких пород в берегах образуются мысы, выступы, ниши, глубокие бухты. Мысы сложены более твердыми породами, бухты, заливы — мягкими, менее стойкими. При залегании в зоне прибоя мягких пород они постепенно разрушаются — образуется прибойное горло, по которому обрушиваются вышележащие горные породы. Таким образом, море наступает на сушу.

В целом намечается тесная связь между тектоническим режимом земной коры и деятельностью моря: при опусканиях суши имеет место трансгрессия моря, т. е. наступление моря на сушу и более быстрое разрушение берегов; наоборот, при подъеме континента — регрессия (отступление) моря (абразия замедляется). Эти процессы, захватывающие десятки миллионов лет, сильно видоизменяют лик Земли.

в Немецком море во время шторма искусственная дамба весом 800 т передвинулась на 3 м, в Туапсе во время бури волны сбросили в море штабель цемента объемом 8 м³.

Особенно интенсивно разрушаются берега при тектонических движениях — медленном опускании суши, когда море спиливает берега наподобие пилы. В Шотландии за 5 лет море размывало берег на 16 м в ширину. Берега пролива Ламанш вследствие раз-

Обширная поверхность, выровненная работой морского прибоя, образующаяся при длительном, медленном опускании суши, сопровождающемся наступлением моря на материк, называется абразионной платформой. При поднятии берегов платформа превращается в морскую террасу, от уровня моря она отделяется уступом. Такие древние морские террасы со стоянками человека каменного века находят на Черноморском побережье Кавказа, в Абхазии, в настоящее время они возвышаются над морем на различных высотах.

В ряде случаев разрушению берегов способствуют приливы и отливы. Отливная и наступающая волна в зоне берегового склона разрушает и размывает скалы, придавая им своеобразную форму, напоминающую животных, ворота, — так называемые кекуры (рис. 69), а также транспортирует с места на место обломки горных пород и катает их длительное время. Куски пород трутся друг о друга, измельчаются, остроугольные, угловатые обломки превращаются в окатанные валуны, гальку, гравий, песок.

На накопление материала оказывают влияние конфигурация берега и уклон морского дна. Чем круче уклон берегов, тем крупнее откладывается материал: валуны — при уклоне $20-35^\circ$, галька — при 10 , крупный песок — при $7-8,5$, мелкий песок — при $2-5^\circ$.

Созидательная роль моря (процессы диагенеза, образование осадочных толщ пород, минералообразование в водной среде) имеет исключительно большое значение. Эти процессы описаны в главе пятой.

Строение дна Мирового океана. В дне Мирового океана выделяют следующие участки.

1. Шельф — английское слово, обозначающее — мель, уступ. В мелкоморье включают береговой склон от границы отлива до глубины 200 м. Этот участок называют литоральной, или прибрежной, зоной, а также континентальной платформой.
2. Зона континентального, материкового склона до глубины 3000 м — батинальная зона.
3. Зона океанического ложа от $3000-6000$ м — абиссальная зона.
4. Глубоководные впадины — свыше 6000 м.

Соотношение отдельных участков дна океана дано в табл. 22.

Материковая отмель (шельф) представляет собой нижнюю краевую часть континента, залитую морем. Этот участок земной коры на протяжении истории Земли испытывал колебание между стоянием мелкого моря и невысокой суши. Ширина

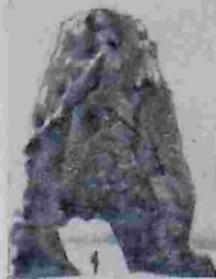


Рис. 69. Абразионный останец на Дальнем Востоке

шельфа доходит до 1200—1300 км у северных берегов Сибири и у берегов Китая; у берегов Чили материковая отмель почти исчезает.

ТАБЛИЦА 22

Площадь и средняя глубина морфологических элементов океана

| Морфологические элементы | Глубина, м | Площадь, млн. км ² | Процентное отношение к общей водной поверхности |
|--------------------------------------|------------|-------------------------------|---|
| Материковая отмель — шельф | 0—200 | 27,5 | 8 |
| Материковый склон | 200—3000 | 54,96 | 15 |
| Ложе океана | 3000—6000 | 265,92 | 77 |
| Глубоководные впадины | > 6000 | 11,2 | 3 |
| Общая площадь океана | | 359,58 млн. км ² | |

Для прибрежной (литеральной) зоны характерны: проникание света на дно, сильные движения воды (прибой, волнения, течения), частое осушение дна, резкое изменение температуры по сезонам.

Для отложений литеральной зоны характерны обломочные и органогенные образования с волноприбойными знаками. Здесь часты отложения наземного происхождения, смытые с материков и называемые терригенными (terra — земля). Осадочные отложения материков (пески, глины, известняки) и приуроченные к ним многочисленные полезные ископаемые представляют собой образования шельфа (рис. 70).

Батинальная, или зона глубокого моря (материковый склон), имеет следующие особенности: свет проникает только в верхнюю ее часть, ниже — полный мрак, температура постоянная для отдельных районов, но различная для всей области, соленость стабильная. Вода находится в движении. Фауна бедна и однообразна, в верхней части встречаются известковые водоросли, в нижней — обилие фосфоресцирующих животных. Среди отложений преобладают илы — синие, красные, зеленые, серые, вулканические и известковые, глубоководные глауконитовые пески.

Абиссальная зона океанического ложа (абиссос — бездна) значительно больше площади суши — 266 млн. км² (площадь суши 149 млн. км²) и занимает более 75% общей водной поверхности земного шара.

Характерные особенности зоны океанического ложа: абсолютная темнота, слабое движение воды, направленное от высоких широт к экватору, постоянная температура около 4° С, высокое

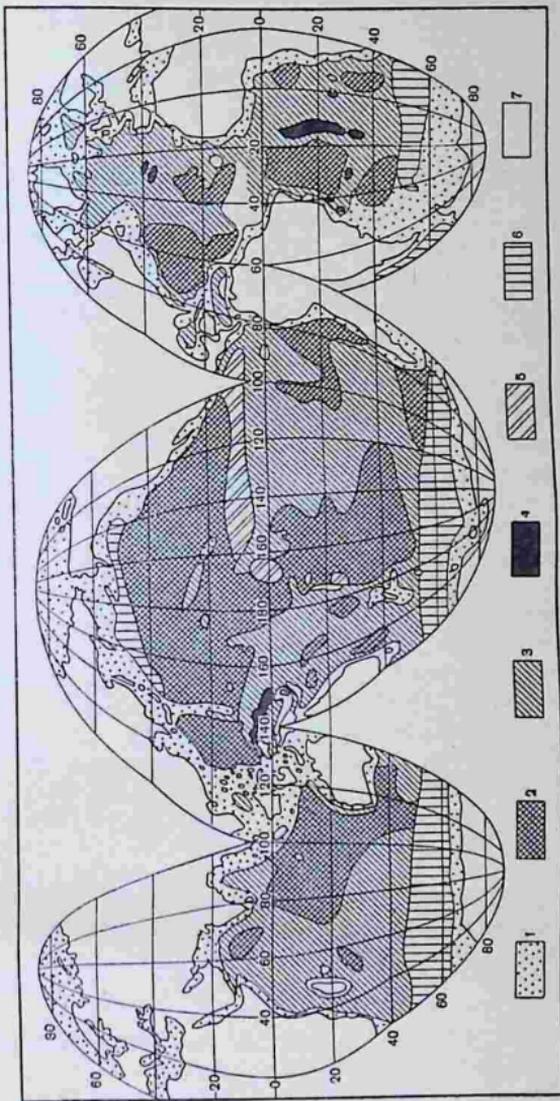


Рис. 70. Распределение осадков Мирового океана (по Шепарду):

1 — терригенные осадки, 2 — красные глины, 3 — глобигерининовый известковый ил, 4 — итероподовый известковый ил, 5 — радиоляриевый кремнистый ил, 6 — диатомовый кремнистый ил, 7 — суша

давление. Органический мир своеобразен — растительные организмы редки, много бактерий, животные представлены хищниками, часто с огромными глазами.

Отложения абиссальной области выражены исключительно органогенными и илстыми осадками — красной океанической глиной, представляющей смесь вулканического пепла, космической пыли, кремнистых скелетов, инфузорий. Среди обломков организмов преобладают глобигерины, птероподы, диатомы, радиолярии.

Фации и формации. Для рассмотренных областей моря характерны особые фации отложений. Под фацией понимают серию пластов осадочных горных пород однородного литологического состава, содержащих одинаковую фауну и флору и образовавшихся в сходных физико-геологических условиях.

Основное свойство фации — однородность отложений. Фация — это единица ландшафта (Д. В. Наливкин). Вся поверхность Земли, ландшафты, почвы представляют собой фации. В геологии фация такая же основная систематическая единица, какой в зоологии является вид. Как весь органический мир, все животные и растения делятся на виды, так и вся земная поверхность, все моря и континенты делятся на фации. Примером может служить Кавказский хребет, где на вершинах развиты фации ледниковых отложений, элювия, озерных отложений; ниже по склону преобладают фации речных отложений, осыпей, оплывин и обвалов, а у подножия лежат фации конусов выноса, речных долин, суглинков и лёсса.

Формация — крупнейшая составная часть земной поверхности. Учение о формациях создано трудами В. В. Белоусова, Н. М. Страхова, Н. С. Шатского и других. Однако это понятие трактуется различно. Выделяют три формации: морскую, континентальную, лагунную. Формации состоят из множества фаций.

Формация моря характеризуется только ей присущими минералами, горными породами, фауной и флорой. Например, кораллы обитают в открытом шельфе со скальным дном, с чистой и прозрачной водой и температурой выше 20° С, фосфориты и глауконит также приурочены к участкам шельфа.

Для формации лагун характерны галогенные осадки — галит, карналлит, сильвин, гипс, ангидрит, тенардит, мирабилит, сода и т. д.

Формация континента представлена: глинистыми минералами — каолинит, монтмориллонит; железистыми — лимонит, вирианит; многими каустобиолитами — торф, уголь и, наконец, рыхлыми породами — аллювий, элювий, делювий, пролювий и т. д.

Особенности морских отложений. Морские осадки разделяются на три группы: береговые, мелководные и глубоководные.

К первым относятся осадки, откладывающиеся в зоне между уровнями прилива и отлива. Здесь выделяют фацию скал, камней, галечника, песка, т. е. грубый по составу обломочный материал. В береговой полосе благодаря намыванию песка и гальки волнами или течением, идущим к берегу под углом, образуются береговые валы высотой до 3 м. Они бывают галечниковыми или галечно-песчаными. Валы часто имеют асимметричный профиль, склоняясь более полого в сторону моря и круче в сторону суши.

Береговые валы, поднимающиеся по мере их роста над уровнем моря, называются косами. Они бывают песчаными, галечными и вытягиваются параллельно пляжу на суше. Ввиду интенсивной механической обработки горных пород — дробления, волочения и перекачки материала — животных организмов в этой зоне мало.

В зоне шельфа кораллы производят большую созидательную работу, образуя коралловые рифы, создавая целые острова, состоящие из известняков. Кораллы для своего роста требуют теплой воды, лучше всего они развиваются на глубине не более 20—40 м. Коралловые рифы образуются при условии крутого подводного материкового склона и небольших глубин, расположенных вблизи берегов.

Коралловые рифы приурочены к опускающемуся дну мелководного моря и нарастают кверху со скоростью до 1 см в год. При длительном опускании создаются крупные коралловые сооружения. Особенно много коралловых рифов в Тихом океане, между 28° с. ш. и 28° ю. ш.: коралловый риф у берегов Австралии имеет длину более 2400 км. Мощность коралловых рифов огромна. По данным бурения, произведенного на о. Бикини (Маршалские острова), она оказалась свыше 800 м.

В прошлые геологические эпохи кораллы были широко распространены в теплом каменноугольном море (в известняках среднего карбона Подмосковья, в карьерах Мячкова, окрестностях Подольска встречается большое количество колониальных и одиночных кораллов).

В зоне шельфа образуются многочисленные химические осадки — карбонатные, железистые и марганцевые оолиты, фосфориты; источником последнего часто служит фосфорный ангидрит, образующийся после разложения организмов. В современных морях скопления фосфоритов известны в песчанистых и глинисто-песчаных осадках, на глубине от 50 до 150 м (вблизи берегов Калифорнии, Ньюфаундленда).

Глубоководные отложения, как отмечалось выше, представлены различными плами. Отложения этого типа на современных материках встречаются сравнительно редко.

Богатства океана. В последние годы достигнуты большие успехи в изучении тайн океанов. Составлены новые, очень

интересные карты рельефа дна Тихого, Атлантического, Индийского океанов. Выяснилось, что в дне океанов выделяются высокие подводные хребты, глубокие впадины—желоба, своеобразные равнины, холмы, овраги, каньоны и гигантские разломы—расщелины. Получены новые материалы о животном и растительном мире, населяющем глубокие зоны. Уточнен состав глубоководных отложений, где обнаружены ценные марганцовые и железистые руды, в шельфах найдены месторождения нефти и газа, в районе Аляски—большие залежи золотоносных песков.

Возможность использования соленой воды океана для получения пресной выявлена совсем недавно. Многие районы земного шара испытывают острый недостаток в пресной воде—уже сейчас ежесуточно из соленой морской воды посредством ее опреснения получают около ста тысяч кубометров пресной воды. В будущем дистилляция морской воды полностью удовлетворит недостаток в пресной воде.

Глава девятнадцатая ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОЗЕР

Озера и их характеристика. Озерами называют углубления суши, заполненные водой, обычно нетекучей и не являющейся частью Мирового океана.

Площадь всех озер составляет около 2,7 млн. км², крупнейшие из них следующие:

| | |
|--------------------------------------|------------------------|
| Каспийское море | 420000 км ² |
| Верхнее в Северной Америке | 82000 > |
| Виктория в Африке | 68000 > |
| Аральское море | 63000 > |

В СССР множество озер. Кроме уже перечисленных, к крупным озерам можно отнести Байкал, Балхаш, Ладожское, Онежское и др. Глубины озер колеблются в широких пределах: Байкал—1741 м, Каспийское море—945 м, Иссык-Куль—702 м, Ильмень—10 м и т. д.

Углубления суши, занятые водой, могут быть различного (эндогенного и экзогенного) происхождения и делятся на котловинные и запрудные (плотинные). Котловины могут образовываться вследствие сбросов, провалов земной коры, вековых колебаний суши, а также ледниковой и речной эрозий, растворения горных пород.

Озера Байкал, Иссык-Куль, Мертвое море приурочены к впадинам, образовавшимся вследствие расколов в земной коре. Запруды (плотинами) у озер являются лавины, осыпи скал, скопления вулканического пепла, ледники, морены.

К запрудным озерам относятся обвалыные (оз. Рица), вулканического происхождения (озера Камчатки, Армении, горного Карабаха). Много озер образовалось вследствие деятельности ледника и его морен (озера северо-запада СССР), в результате растворения пород (карстовые, провальные озера) и т. д.

Подразделения озер по их режиму. Распределение озер на земной поверхности — результат многих причин. Важную роль играют геологическое строение, климат и рельеф местности. Влажный климат, малое испарение, пересеченный рельеф, обильные впадины, высокий уровень грунтовых вод также способствуют образованию озер.

По характеру стока различают следующие виды озер:

1. Бессточные — замкнутые водоемы на суше. Впадающие реки вносят в эти водоемы соли, вследствие сильного испарения вода концентрируется и делается соленой или солоноватой.

2. С переменным режимом — то имеющие сток, то лишаящиеся его на время в зависимости от количества выпадающих атмосферных осадков.

3. Проточные (речные), находящиеся на пути движения рек и имеющие постоянный сток.

4. Слепые, имеющие подземный сток (карстовые озера).

По условиям питания озера могут быть атмосферного, поверхностного и подземного питания, а по химическому составу — пресные, солоноватые и соленые. Пресные характеризуются минерализацией менее 0,1%. Большинство озер на территории СССР, испытавшей материковое оледенение и занятой многолетнемерзлыми породами, относится к этой группе. Солоноватые озера имеют минерализацию от 0,1 до 3,0% и распространены в Казахстане, Западной Сибири.

Соленые озера — с минерализацией более 3,0% — встречаются в Северном Крыму, Прикаспийской низменности. Некоторые из них так насыщены солями, что происходит их садка: Эльтон (садка каменной соли), Танатар и Кучернок (Кулундинская степь; садка соды).

По содержанию растворенных солей различают озера карбонатные, или углекислые, — с пресной, а иногда солоноватой водой с примесью соды; сульфатные, сернокислые озера — с горькой, трудно усваиваемой человеком водой; хлоридные озера — с соленой водой; и борные (оз. Индер).

Источник засоления вод озер различен: хлоридные озера обычно имеют морское засоление, в прошлом они были связаны с морем. Поставщиками солей могут быть и поверхностные, и подземные воды — континентальное или материковое засоление.

Большинство солоноватых и соленых озер Западной Сибири имеет материковое засоление, образовавшееся в ледниковый

период при сухом климате (ледник затруднил сброс речных вод в Ледовитый океан, образовав большую запруду). В режиме некоторых озер наблюдается эволюция химического состава воды: при уменьшении осадков пресные озера начинают засоляться и переходят в содовые, далее в сернокислые и, наконец, в соленые — хлоридные. При переувлажнении имеет место обратный переход.

Деятельность озер и озерные отложения. Из-за меньших объемов воды в озерах волнения и бури здесь сравнительно редкие явления, вследствие чего разрушающая деятельность озер по сравнению с морем менее значительна.

Накопление осадков в озерах происходит весьма интенсивно. Выделяется особый тип континентальных образований — озерных. Характерные их признаки следующие (Д. В. Наливкин): пресноводная фауна, ограниченное ее распространение, ясная, нередко тонкая слоистость, небольшая мощность слоев — обычно десятки метров, преобладание среди пород глин. В озерах образуются много важных полезных ископаемых (уголь, железные руды, соль). Поскольку озера по своему составу могут быть пресными и солеными, то и их отложения отличаются друг от друга.

Пресные озера. Отложения пресноводных озер преимущественно механического и органического происхождения, соленых — химического происхождения.

В пресноводных озерах в прибрежных частях накапливается галечник, песок, дальше от берега — глина, озерный мергель. По берегам развита богатая гидрофильная растительность — осока, камыш, рогоз, кувшинка. По мере зарастания озера на его дне начинают накапливаться органические осадки (сапропель), а у берегов образуются торфяники, которые в последнюю стадию развития распространяются и на середину, в результате чего озеро зарастает и переходит в болото.

Остатки многочисленных растений (споры, пыльца), моллюсков, отмирая, попадают на дно, где в условиях анаэробной среды вследствие воздействия различных микроорганизмов образуется студнеобразная вязкая илистая масса темно-серого или черного цвета, называемая сапропелем (гнилостный ил). При этом наблюдается следующая вертикальная последовательность сверху вниз: осоковый, тростниковый и камышовый торфа, сапропелевый торф, сапропель, сапропелит. Мощность сапропеля от 1 до 10 м, в Плещеевом озере (Московская область) — до 30 м. Сапропель, уплотняясь, переходит в ископаемое состояние, образуя сапропелит. Кроме того, в пресных озерах вследствие процессов окисления и изменения содержания углекислоты, деятельности микроорганизмов и растений минералы образуются химическим путем (выпадение углекислой извести и окиси железа из растворов).

Грунтовые воды вымывают из пород и почв соединения железа, и вследствие коагуляции растворов окиси железа выпадает нерастворимая гидроокись железа — минерал лимонит (см. стр. 109). Эта озерная железная руда откладывается на дне в виде скоплений зерен, горошин, отчего некоторые ее разновидности называют «бобовыми» рудами. Скопления руд такого типа, образовавшиеся в прошлые геологические эпохи, иногда разрабатываются (Липецкое месторождение). Таким же путем на дне озер вследствие потери грунтовыми водами углекислоты выпадает углекислая известь — озерный мергель. При этом после выпадения из воды карбонатов и лимонита озеро остается пресным.

В ледниковых озерах наблюдается чередование песчаных и глинистых прослоев — ленточные глины.

Соленые озера. Соленые озера расположены на земном шаре зонально. В СССР они занимают южную зону степей, полупустынь и пустыни и тянутся на огромном протяжении от нижнего Дуная на западе до Тихого океана на Дальнем Востоке. В Азии к этой зоне относятся степи Казахстана и Западно-Сибирской низменности, пустыни Средней Азии.

Минеральные озера благодаря возможности получения из них ценного сырья для химической промышленности представляют большой практический интерес. Вода их используется и для лечебных целей.

Соленые озера по химическому составу воды подразделяются на карбонатные, углекислые (садка соды), троны*, сульфатные, сернокислые (садка мирабилита), хлоридные (садка галита, карналлита).

Содовые озера обычно проточны, имеют значительную водосборную площадь. К озерам этого типа относятся Михайловское озеро в Кулундинской степи, озера р. Или в Казахстане, Доронинское озеро в Забайкалье. Зимой при вымораживании озер в их дне происходит садка троны, после чего озеро переходит в сульфатное. Сульфатные озера распространены в Кулундинской степи.

Соленые озера расположены в бессточных областях, в недалеком прошлом потерявших связь с морем (территории Прикаспийской низменности, Северного Крыма). Здесь происходит садка галита (озера Эльтон, Баскунчак).

Выпавшие из рапы минералы по генезису разделяются на новосадку, старосадку и корневую соль.

Отложения пресноводных и соленых озер весьма разнообразны (сапропель, торф, различные железные руды, соли,

* Трона — минерал состава $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, образуется при испарении в содовых озерах.

мирабилит, галит), и их значение для народного хозяйства весьма велико.

Ископаемые угли. Из остатков наземных и болотных растений образовались гумусовые угли, а из остатков водорослей и планктона, отложившихся на дне водоемов, — сапрпель и сапрпелевые угли.

Совокупность вторичных процессов, происходящих с растительностью в торфяном болоте, называется углефикацией. Она протекает вслед за торфообразованием после покрытия торфяника толщей осадков под влиянием физико-химических превращений, выразившихся в постепенном обогащении материнского вещества угля углеродом.

В зависимости от типа образования среди залежей каменного угля различают несколько категорий.

Лимническими, или озерными, называют залежи каменного угля, накопившиеся в озерах и болотах среди сырых континентальных пространств. Паралическими называют залежи каменного угля, накопившиеся в болотах, вытянутых вдоль морского берега. По другим классификациям выделяют еще автохтонные первичные месторождения угля («аугос» — сам, «хтон» — земля), образовавшиеся на месте произрастания растительности, послужившей материалом для углеобразования, и аллохтонные — вторичные месторождения («аллос» — другой), образовавшиеся из наносного растительного материала, перенесенного и вновь отложенного текучими водами.

По мере возрастания количества углерода ископаемые угли располагаются в следующем порядке: лигнит, бурый уголь, каменные угли, сапрпелевые (кеннель, богхед), гумусовые, антрацит.

Болота и их характеристика. Болотами называют участки земной поверхности, находящиеся в состоянии избыточного увлажнения. Болота — зональное явление, приурочены к областям с избыточным увлажнением и с малым испарением и стоком. Это обычно пониженные участки, сложенные суглинистыми породами, на которых развиваются торфяники.

Площадь, занятая болотами, в СССР занимает около 9,5%, или 210 млн. га, из них в европейской части СССР — 12%, в азиатской — 9%. Особенно много болот в зоне тайги (торфяные болота) и в зоне смешанных лесов. На юге в зоне степей болота редки (Барабинская низменность).

По условиям залегания болотных массивов и по рельефу выделяют болота водораздельных междуречных пространств и речных долин (рис. 71). Среди первых различают болота водораздельного залегания, водораздельно-склонового и котловинного. В холодном и умеренном климате растительность верхних болот состоит из сфагновых мхов, пушцы, мелких кустарничков и сосны. Ко вторым относят пойменные, притер-

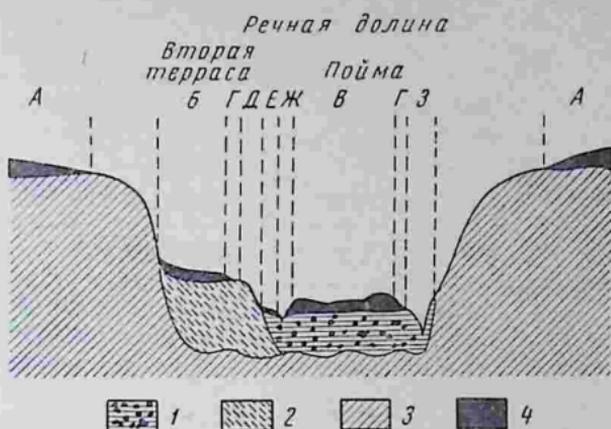


Рис. 71. Профиль долины реки с болотами. А — верхнее водораздельное болото, Б — болото второй террасы, В — болото центральной части поймы, Г — заболоченный лес, Д — лес на дренированной части второй террасы, Е — притеррасное болото, Ж — притеррасная речка, З — прирусловая незаболоченная часть поймы:

1 — аллювиальные отложения первой террасы, 2 — аллювиальные отложения второй террасы, 3 — постлюциновые аллювиальные отложения, 4 — торф

расные болота и болота староречий. Этот вид болот широко распространен в РСФСР. Поймы многих рек — Оки, Припяти, Ветлуги — характеризуются высоким уровнем грунтовых вод, плохой проточностью и обилием болот (Мещерская, Припятская и Ветлужская низменности).

В основу классификации болот по водному режиму положены три особенности (по К. Е. Иванову).

1. Геоморфологические условия залегания болотных массивов и условия их питания.

2. Рельеф поверхности болотных массивов, условия стока и степень проточности.

3. Растительный покров и закономерности распределения его на территории болотных массивов.

На многих болотах разрабатывают торфяники. На этой основе болота СССР подразделяют на несколько групп: 1) с толщиной слоя торфа более 50 см; 2) низинные, минерального питания, с толщиной слоя торфа менее 50 см или совсем без торфа (заболоченные луга, леса и тундры); 3) заболоченные земли с маломощным слоем торфа; 4) зарастающие водоемы.

На территории болотных массивов органические остатки медленно разлагаются и накапливаются в виде торфа. Ниже

располагается глеевый горизонт, обогащенный закисными соединениями марганца и железа.

Торфяники богаты азотом и фосфором и служат хорошим органическим удобрением.

Глава двадцатая

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

Понятие о техносфере и техногенезе. В связи с тем что деятельность человека захватывает значительную часть земной коры, а карьерная разработка недр, отходы промышленности и строительство крупных водохранилищ меняют облик целых географических районов, выдвигается понятие о техносфере и техногенезе.

Техносфера — это среда, связанная с жизнью и производственной деятельностью человека, а техногенез — процессы, приводящие к возникновению новых образований — горных пород, минералов.

Виды деятельности человека. Деятельность человека приобретает масштабы, соизмеримые с геологическими процессами. Так, все реки земного шара ежегодно сносят в море около 10 км^3 осадков; человек же ежегодно из всех горных выработок добывает свыше 1 км^3 пород и, ежегодно вспахивая почву, делает доступным выветриванию и активным биологическим процессам около 3000 км^3 пахотной земли.

Можно выделить следующие основные виды деятельности человека: 1) разработка недр — добыча полезных ископаемых и стройматериалов; 2) строительные работы — возведение различных сооружений, каналов, водохранилищ, дорог и т. д.; 3) сельскохозяйственные работы — распашка угодий, полив, орошение, внесение удобрений, посадка растительности и т. д.

Разработка недр. С развитием производительных сил в хозяйственной деятельности человека используется все больше и больше химических элементов. Так, в древние века использовалось не более 20 элементов, в том числе медь, свинец, серебро, золото. До XV в. начали добывать также мышьяк, кобальт, бор, фосфор, в XVIII в. — иод, в XIX в. — барий, бром, радий, уран, марганец, молибден, в XX — используются все известные на земле химические элементы и, кроме того, получены еще неизвестные в природных условиях — трансурановые (нептуний, плутоний) и радиоактивные изотопы известных элементов.

Непрекращающиеся ядерные взрывы заражают атмосферу, гидросферу и литосферу ядовитыми радиоактивными веществами, что настоятельно требует соблюдения международных соглашений, предусматривающих недопущение радиоактивного заражения окружающей человека среды — природных вод и ландшафта.

В связи с этим возникает новая проблема разработки методов подземного хранения вредных отходов.

О масштабах деятельности человека дает представление годовая добыча полезных ископаемых: миллиарды тонн — углерод в виде горючих ископаемых (нефть, уголь); сотни миллионов тонн — железо; миллионы тонн — медь, свинец, цинк, алюминий, калий, натрий, хлор, агоруды (фосфор, калий, кальций, азот, сера); сотни тысяч тонн — олово, хром, никель; десятки тысяч тонн — серебро, молибден, вольфрам, мышьяк, сурьма.

В СССР добыча полезных ископаемых за 1966 г. составила*:

Топливная промышленность всего 969,0 млн. т
из них:

| | | |
|--|-------|--------|
| уголь | 415,9 | > |
| нефть | 347,3 | > |
| газ природный (включая и попутный) | 151,3 | > |
| торф | 17,0 | > |
| сланцы | 7,5 | > |
| железная руда | 153,4 | тыс. т |

Минеральных удобрений всего 31253 (в условных единицах)

в том числе:

| | | | | |
|----------------------------|-------|---|---|---|
| азотных | 13217 | > | > | > |
| фосфорных | 8550 | > | > | > |
| калийных | 5691 | > | > | > |
| фосфоритной муки | 3690 | > | > | > |

Из недр извлекается всего только 60—70% общих запасов полезных ископаемых, нефти — 40%.

При добыче полезных ископаемых еще велики потери. Так, потери угля в недрах достигают 15—34%, миллионы кубометров газа уходят из скважин в атмосферу, очень часто при добыче каких-либо металлов из руд извлекают только основные минералы, а «попутные» минералы, содержащие ценные элементы, не извлекаются и идут в отвалы, отходы.

В районе КМА глубина котлована на Михайловском и Лебединском карьерах достигает 100 м. Ежедневно здесь откачивается до 120 тыс. м³ воды, в результате чего в ряде районов испортились водоносные горизонты. В Москве за 20 лет откачано более 2,3 млрд. м³ подземных вод, что по объему равно восьмидесяти Химкинским водохранилищам. Итог — понижение уровня воды на 40—50 м.

Соликамский и Березниковский калийные комбинаты на каждую тонну хлористого калия получают в качестве отхода 3 т поваренной соли. Такой соли оба комбината ежегодно выдают миллионы тонн. Эта соль сваливается в огромные конусообразные отвалы, сливается водой в особые бассейны, образуя

* Народное хозяйство СССР в 1965 г. «Статистический ежегодник», М., «Статистика», 1966.

озера соленой воды. Фильтруясь через почву, соленая вода засоляет ее, превращая в безжизненный солончак. Так, в результате беспхозяйственной деятельности человека окрестностям Березняков угрожает наступление солончака. Разработки угля открытым способом (разрезами), взрывные работы на многочисленных карьерах — все это, вместе взятое, не только изменяет формы земной поверхности, но усиливает и облегчает процессы выветривания, ускоряет миграцию веществ.

Человек, извлекая из недр Земли различные руды, минералы, элементы, способствует миграции веществ. Отдельные элементы — алюминий, серебро, радий, уран — в процессе производства концентрируются, другие — калий, углерод — рассеиваются. Так, углерод сжигается в виде угля и нефти, возвращаясь в атмосферу в виде угольной кислоты в количестве более $2-5 \cdot 10^6$ т ежегодно; калий уходит в качестве минерального удобрения.

Строительные работы. Огромные работы — строительство плотин, шлюзов, водохранилищ, постройка заводов-гигантов, высотных зданий, проведение железнодорожных и шоссежных дорог в условиях многолетнемерзлых пород в Сибири и т. д. — изменяют природу. Обводнение и орошение пустынь в Средней Азии меняет облик целой страны.

Строительство плотин, шлюзов, водохранилищ (Рыбинского, Цимлянского и др.), каналов создает подпор в реках, повышает базис эрозии (на Волге уровень воды в результате строительства многочисленных ГЭС оказался значительно приподнятым), в водохранилищах подмываются берега, изменяется уровень грунтовых вод. Интенсивно, на наших глазах разрушаются берега Цимлянского водохранилища, имеющего длину 180 км. В зависимости от строения затопленной долины Дона в водохранилище есть участки, где у берега преобладает абразия, происходят обвалы, оползни, в других местах, наоборот, наблюдается аккумуляция материала.

Кроме того, искусственные водные бассейны влияют на климат, что также отражается на процессах выветривания. Проведение каналов изменяет водоносность рек, что сказывается на их гидрологии и процессах денудации.

Строительство крупных заводов, новостроек иной раз приводит к уничтожению природных богатств. Так, в Курской области, Татарской и Чувашской АССР общая площадь дубовых насаждений с 1940 по 1960 гг. сократилась более чем в два раза. Сброс химических отходов заводов в реки загрязняет водоемы, в результате чего в рр. Белой и Уфе практически перестала нереститься белорыбца. В районе Горького загрязнение Волги нефтью превышает предельно допустимые концентрации в 25—70 раз. Загрязняются озера Байкал, Ладжское и др.

Наконец, человек отвоевывает значительные пространства у моря и, соорудив дамбы, смягчает процесс абразии, превращая участки морского побережья в плодородные низменности (земледелие в Голландии).

Сельскохозяйственные, агротехнические и мелиоративные мероприятия. Деятельность человека — распашка целинных массивов, внесение удобрений, полив и осушение — изменяет поверхностные слои земной коры и способствует созданию новых геохимических соединений, не свойственных данной местности.

В целях повышения плодородия почвы в нее вносятся в большом количестве химические удобрения. До последнего времени чаще всего применялись четыре основных элемента: азот, фосфор, калий и кальций. В настоящее время вносят борные, марганцевые, медные, цинковые, магниевые и прочие удобрения. В среднем в почву ежегодно поступает вместе с калийными удобрениями 4,1 г хлора на 1 м² площади. Следовательно, на 1 га поверхности почвы в течение 25 лет вносится $4,1 \times 10\,000 \times 25 = 10\,250\,000$ г, т. е. в среднем одна тонна. Такое большое количество хлора, поступающее в почву, должно сказаться на изменении химического состава грунтовых вод, и, действительно, в ряде районов РСФСР в грунтовых водах обнаруживается повышенное содержание хлора. Богатство почв и грунтовых вод соединениями кальция обуславливает их слабощелочную реакцию, неблагоприятную для миграции марганца. Многие культурные растения в подобных условиях нуждаются в значительных количествах марганца. Марганцевые удобрения, вносимые в почву, создают новое геохимическое сочетание, не свойственное местности, — значительное количество подвижного марганца в слабощелочной среде. Это наблюдается и при осушении торфяных болот, когда в породах и почвах возникает значительное количество органического вещества в виде торфа в резко окисленной среде.

Эвкалипты («деревья-насосы»), усиленно насаждаемые в Абхазии и Аджарии, резко снижают уровень грунтовых вод. Деревья, растущие на площади 1 га, за год «выпивают» миллион ведер воды, осушая огромные массивы колхидских болот. Многочисленные культурные растения извлекают из почвы планеты громадное количество минеральных веществ: фосфора — 10 млн. т, азота и калия около 30 млн. т, т. е. немного больше того, что вносится в почву при удобрении. Извлекаемые элементы попадают в круговорот в биосфере и рассеиваются в атмосфере.

Для борьбы с вредителями сельского хозяйства используются различные ядовитые полихлористые и хлорфтористые соединения. В последнее время получены новые сильнодействующие препараты, состоящие из фосфорорганических соединений. Применение этих препаратов (фосфаты цинка) отрав-

ляет почвы, растительность, поверхностные и грунтовые воды. Применение в огромных масштабах «большой химии» выдвигает задачу охраны природы.

Освоение и обводнение пустынь, борьба с засолением почв после орошения, борьба с потерями воды в оросительной сети и регулирование оросительных норм в необходимых биологических процессах, разработка методов опреснения морских и соленых подземных вод — важнейшие задачи сельскохозяйственной науки.

ЛИТЕРАТУРА

- Александрова Л. Н., Антипов-Каратаев И. Н., Гаркуша И. Ф., Горшенин К. П., Соболев С. С. Почвоведение. М., Сельхозгиз, 1958.
- Берг Л. С. Географические зоны Советского Союза. М., Географгиз, 1947.
- Владимиров А. Г. Мелиоративная гидрогеология. М., Госгеолтехиздат, 1960.
- Гвоздецкий Н. А. Карст. М., Географгиз, 1954.
- Докучаев В. В. Способы образования речных долин Европейской России. Избр. соч., т. II. М., Сельхозгиз, 1949.
- Докучаев В. В. О зональности в минеральном царстве. К учению о зонах природы. Избр. соч., т. III, Сельхозгиз, 1949.
- Каменский Г. Н., Толстихин Н. Т., Толстихина М. М. Гидрогеология СССР. М., Гостеолтехиздат, 1959.
- Климентов П. П. Общая гидрогеология. М., «Высшая школа», 1962.
- Козменко А. С. Основы противозерозионных мероприятий. М., Сельхозгиз, 1954.
- Кора выветривания. Сб. статей под ред. Б. Б. Полюнова. АН СССР. Вып. I, 2, 1952, 1956.
- Коломенский Н. В., Комаров И. С. Инженерная геология. М., «Высшая школа», 1964.
- Малахов А. А. Краткий курс общей геологии. М., «Высшая школа», 1962.
- Николаев Н. И. Изучение процессов выветривания. Справочник путешественника и краеведа, т. II. М., Географгиздат, 1950.
- Основы геокриологии (мерзловедения), ч. I. Общая геокриология. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Павлов А. П. Статьи по геоморфологии и прикладной геологии. М., Изд. МОИП, 1951.
- Панников В. Д. Основы геологии. «Высшая школа», 1961.
- Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М., Географгиз, 1961.
- Полюнов Б. Б. Избранные труды. «Кора выветривания» и др. Статьи. М., Изд-во АН СССР, 1956.
- Семихатов А. Н. Гидрогеология. М., Сельхозгиз, 1954.
- Суслов С. П. Физическая география СССР. Учпедгиз, 1954.
- Тазиев Г. Встречи с дьяволом. ИЛ, 1962.
- Тазиев Г. Вулканы. ИЛ, 1963.
- Шанцер Е. В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит. Тр. ин-та геол. наук АН СССР, вып. 135, № 155, 1951.
- Щукин И. С. Общая геоморфология, т. I. Изд-во МГУ, 1961, т. II. Изд-во МГУ, 1964.

Часть четвертая

ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Глава двадцать первая

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ И АБСОЛЮТНАЯ ГЕОХРОНОЛОГИЯ

Методы и задачи исторической геологии. Задача исторической геологии — восстановление последовательного хода развития земной коры и жизни на ней от древнейшего состояния до современного и выяснение присущих этому развитию закономерностей. В задачи исторической геологии входит:

- 1) определение относительного геологического возраста пород и расчленение их по возрасту;
- 2) реконструкция (воссоздание) физико-географической обстановки в различные периоды жизни Земли;
- 3) прослеживание истории возникновения и развития тектонических структур, выяснение их пространственного соотношения друг с другом;
- 4) воссоздание истории вулканизма и метаморфизма.

Одна из главных задач исторической геологии — выяснение последовательности образования различных горных пород, определение относительного геологического возраста пород, а также расчленение их по возрасту. Основой для решения этой сложной проблемы служат: а) горные породы и условия взаимоотношений между ними; б) ископаемые остатки различных животных и растительных организмов в виде окаменелостей, отпечатков на горных породах и остатков костей; в) геологические процессы, происходящие на поверхности и в земной коре.

Методы геологии как науки описаны в главе первой, где подчеркнута значимость метода актуализма для выяснения физико-географических условий прошлого.

Особенность геологической истории — ее длительность (миллиарды лет), а также неполнота геологической летописи: многие ее страницы — толщи горных пород не сохранились, вследствие чего различные этапы истории Земли оказываются неизвестными. Опираясь на палеонтологию, геологи изучают окаменелые ископаемые остатки фауны и флоры и по ним пытаются воссоздать историю развития органической жизни на Земле, ее эволюцию и тем самым косвенно восстановить физико-гео-



Рис. 72. Мамонт (чучело), найденный в замороженном состоянии

графическую обстановку этих процессов. Задача эта очень трудная.

Изучая взаимоотношения осадочных горных пород, их состав, окаменевшие остатки организмов, геологи установили много интересного. От длинной цепи жизни, начиная от простейшего одноклеточного до совершеннейшей формы — человека, — сохранились только отдельные обрывки. Наиболее древние, до-

кембрийские напластования земной коры состоят из сильно метаморфизованных горных пород и почти не содержат никаких признаков органической жизни. В ряде случаев окаменелые остатки растительных и животных организмов (фауна и флора) плохо сохранились, многие из организмов вообще бесследно исчезли, сохранивались лишь формы, обладавшие твердым скелетом. Иногда сохранялись не части скелетов, растений, не самые раковины, кости, а только их отпечатки, отпечатки насекомых, раковин, листьев растений, как бы «слепки». Наконец, среди окаменелостей различают «следы на камне», т. е. непосредственные проявления жизни животных. Так, известны следы копыт древних животных (лошадей), следы ползания червей. Отдельные находки костей животных, кусков древесины хранятся в музеях разных стран.

Русским геологом В. П. Амалышким в бассейне Северной Двины были найдены огромные скелеты гигантских пресмыкающихся — ящеров длиной до 30 м, живших около 200 млн. лет назад. Эти находки хранятся в Палеонтологическом музее Академии наук СССР, в Москве. Скелет змеообразного пресмыкающегося — мозозавра — был найден среди меловых отложений Донецкого бассейна. Он находится в Ленинграде, в геологическом музее им. Ф. Н. Чернышова.

В музее на кафедре геологии Тимирязевской сельскохозяйственной академии хранится образец окаменевшего дерева триасового периода, произраставшего около 180 млн. лет назад на территории нынешней Вологодской области. Отрезок ствола имеет высоту 80 см и около 60 см в обхвате, древесина целиком пропиталась кремнеземом.

Среди многолетнемерзлых пород Сибири находят не скелеты, а целые трупы шерстистых носорогов, мамонтов, сохранившихся в «промороженном» состоянии около 10 000—15 000 лет (рис. 72). И все же геологическая летопись неполна, и поэтому очень трудно расшифровать разрозненные и неполные материалы.

Последовательно изучая отдельные толщи осадочных горных пород, обнажающихся во многих карьерах, в долинах рек,

геологи установили, что некоторые из них характеризуются четко выраженными слоями определенного петрографического состава, однородностью фракций, многочисленными отпечатками животных и растительных организмов. Однако в некоторых обнажениях, например в карьере у г. Подольска под Москвой, характер слоистости в юрских глинах нарушается, начинают встречаться прослойки гальки, черные пластичные глины сменяются желто-бурыми песками, отпечатки флоры и фауны исчезают, минералогический состав отложений резко изменяется, появляются новые минералы. Все это указывает на смену физико-химических условий осадкообразования, в этом случае, по видимому, море сменилось континентальными условиями, наступил, как говорят, «перерыв в отложениях». В настоящее время на суше преобладают процессы разрушения пород, в то время как в морях идет накопление осадков. Вероятно, сходные явления были и много сотен миллионов лет назад.

Во время существования континентальных условий отложенные ранее осадочные породы разрушались эрозией, смывались поверхностными водами и сносились в море. В результате этих процессов, повторявшихся в истории Земли неоднократно, но всякий раз в новых условиях, многие осадочные горные породы с отпечатками растений и животных были уничтожены и пропали бесследно.

Стратиграфический и палеонтологический методы определения возраста горных пород. Изучая условия залегания и взаимоотношения отдельных слоев осадочных пород в земной коре и анализируя многочисленные сохранившиеся в них остатки, геологи научились определять относительный возраст осадочных горных пород. Определение возраста слоев по их залеганию относительно друг друга получило название стратиграфического метода (стратум — латинское слово, буквально — настил, здесь — слой).

В серии ненарушенных осадочных горных пород, залегающих пластами, слоями с небольшим уклоном, всякий вышележащий пласт будет моложе нижнего. В случае нарушенного залегания применение этого метода затрудняется.

Другой метод был предложен английским горным инженером Смитом в начале XIX в. Занимаясь строительством каналов, вскрывающих верхние горизонты осадочных горных пород, Смит обнаружил в различных толщах многочисленные остатки окаменелых животных организмов. При более тщательном изучении он установил, что отдельные формы животных приурочены только к определенным слоям и отсутствуют в других. Так был сделан очень важный вывод: в пластах одного и того же возраста часто присутствуют одни и те же ископаемые животные и растительные организмы, не встречаемые в более древних и более молодых отложениях; эти организмы получили название

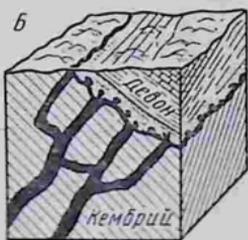
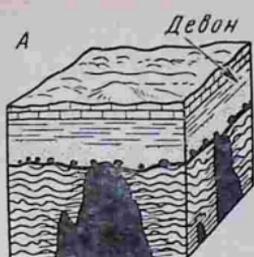


Рис. 73. Признаки определения возраста интрузий. А — батолит гранита метаморфизует сланцы, гранит моложе сланцев, но старше девона, в слоях которого встречаются гальки гранита; Б — дайка диабазы рвет кембрийские слои, диабаз моложе кембрия, но старше девона, т. е. возраст диабазы силурийский

руководящих форм. Оказалось также, что чем древнее пласт, тем более простые виды руководящих форм он содержит. Этот метод стал называться палеонтологическим. Было подтверждено, что в пластах одинакового геологического возраста в различных уголках земного шара содержатся одни и те же формы ископаемых организмов. Наоборот, в одном и том же обнажении, но в пластах различного возраста находятся неодинаковые формы ископаемых органических остатков. С развитием микропалеонтологических методов исследований было установлено множество микроорганизмов, являющихся руководящими формами для весьма многих осадочных свит.

Палеонтологический и, в частности, микропалеонтологический метод очень распространен в современной науке. Но возможности применения палеонтологического метода ограничены. Он пока не может быть использован при изучении древнейших напластований, которые по времени составляют около 85% всей известной истории земной коры, и при определении возраста магматических горных пород.

В случае совместного залегания магматических и осадочных пород относительный возраст первых можно определить

по характеру контакта и взаимоотношениям этих пород друг с другом. Так, если магматические породы внедряются в горизонтально залегающие осадочные породы, содержащие ископаемые остатки фауны и флоры, то очевидно, что интрузия произошла после отложения осадочных толщ с органическими остатками, т. е. магматические породы более молодые. Наоборот, когда интрузия покрывается морскими осадочными толщами, то эти свиты отложений образовались позже и являются более молодыми. Наконец, этим же принципом руководствуются и при совместном положении серии разновозрастных магматических пород: какая-либо жила, секущая гранитный батолит, образовалась позднее, чем пересекаемый ею массив. Каждое внедрение — прорывание моложе пересекаемых им пород (рис. 73).

Для применения стратиграфического и палеонтологического методов необходимы соответствующие условия, поэтому они не могут быть универсальными. Оба метода неприменимы для

определения относительного возраста магматических пород, залегающих сплошными массивами, без видимой слонности и не содержащих каких-либо остатков органической жизни.

Геологическая хронология. На основе определения относительного возраста горных пород, изучения последовательности отложения отдельных пластов осадочных горных пород и тождественности найденных в этих слоях форм древнего органического мира геологи делят всю историю Земли на пять крупнейших единиц, называемых эрами, которые в свою очередь подразделяются на периоды, эпохи, века. Эти термины служат для обозначения промежутков времени. Другая группа терминов применяется для обозначения геологических образований — горных пород, отложившихся в течение всех отрезков времени.

*Единицы накопления
толщ горных пород*

*Единицы подразделения
геологического
времени*

Группа
Система
Отдел
Ярус

Эра
Период
Эпоха
Век

Названия эр отвечают главнейшим этапам развития животного и растительного мира. В переводе с древнегреческого они обозначают: «архе» — начало, «протерос» — первый, «палайос» — древний, «мезос» — средний, «кайнос» — новый, «зоэ» — жизнь. Соответственно с этим архейская — это эра начала жизни, протерозойская — эра первичной жизни, палеозойская — эра древней жизни, мезозойская — эра средней жизни, кайнозойская — эра новой жизни.

Названия геологических периодов были введены в науку учеными различных стран и в разное время. Они даны преимущественно по тем местам земного шара, где впервые были изучены отложения данной системы, или по наиболее характерным породам. Кембрийская система была установлена в Англии в 1836 г., название происходит от древнего названия провинции Уэльс, где эти отложения были впервые изучены. Силурийская и девонская системы также были впервые установлены в этой стране. Название силурийской системы происходит от наименования древних обитателей провинции Уэльс, девонской — от провинции Девоншир, пермской — от названия бывшей губернии в России (ныне Пермская область), триас получил название по делению отложений системы на три отдела в Германии в 1834 г., где они впервые были изучены, юра — по названию гор в Альпах (французская и швейцарская юра). Каменноугольная система (или карбон) получила название по отложениям каменного угля, а меловая — по отложениям белого писчего мела. Поздние по времени периоды — третичный

и четвертичный — сохранили свои названия от старинного деления всей истории Земли на четыре эры: первичную (палеозой), вторичную (мезозой), затем третичную и четвертичную.

Когда говорят о распространении карбона или юры (сокращенные названия каменноугольной или юрской систем), это значит, что подразумевается распространение пород, образовавшихся в течение этого периода.

Например, выражение «забил фонтан нефти из девона» нужно понимать так: скважина, пробуренная на нефть, встретила ее в отложениях девонской системы. Наконец, выражение «те или иные животные и растения были широко распространены в перми» обозначает, что эти ископаемые растения и животные жили в течение пермского периода.

Обозначения для подразделения геологического времени (эра, период, эпоха, век) — международные, утверждаются на международных геологических конгрессах и обязательны для геологов всех стран.

Развитие представлений о возрасте Земли. Одновременно с определением относительного возраста Земли, горных пород и отдельных минералов человека всегда интересовал и их абсолютный возраст. Уже в далекие времена людей интересовал вопрос о древности мира. Так, китайцы и японцы определяли древность мира от 30 000—40 000 до 100 000 лет. Народы, жившие у Средиземного моря, значительно сокращали срок существования мира, называя время всего в 5000 лет. Этот же срок был принят христианской религией, согласно которому время, прошедшее до новой эры, условно принимаемое (рождение Христа), определяется цифрой в 5508 лет. По этим соображениям, в 1968 г. возраст Земли («древность мира») определится всего в 7476 лет (5508 + 1968).

Но колоссальное количество событий, происшедших в истории Земли, не уместится в тот короткий срок, который указывает библия. М. В. Ломоносов полагал, что срок существования Земли значительно больше, чем об этом говорят библейские сказания.

Ч. Дарвин писал, что мысль биолога-эволюциониста неизменно упиралась в те «проклятые миллионы лет», которые необходимы для понимания длительного эволюционного процесса развития органического мира. Советский ученый акад. Л. С. Берг (1947) отмечал, что только на эволюцию одного подтипа животных — позвоночных — ушло около полумиллиарда лет.

Эти примеры показывают несовместимость научного мировоззрения и религии, подтверждая мнение о том, насколько религиозные представления затрудняли развитие естественных наук.

Много времени, труда потребовалось ученым, чтобы кроме относительного метода определения возраста горных пород

подойти к определению абсолютного возраста Земли. Научные предвидения многих поколений ученых во главе с Ломоносовым, Геттоном, Ламарком, Дарвином о длительности процессов эволюции и геологического времени блестяще подтвердились.

Одной из первых попыток определения абсолютного возраста Земли было предложение знаменитого астронома Галлея (1715). Его метод заключался в следующем. Соленость океанических вод (содержание NaCl) — материкового происхождения. Общее количество солей в Мировом океане подсчитано, также известно и количество солей, ежегодно вносимое реками в моря и океаны. Таким образом, если все количество натрия, содержащееся в воде морей, разделить на количество натрия, приносимого реками, то продолжительность засоления вод океана определится примерно в 90 млн. лет. Этот метод весьма несовершенен, так как он не учитывает, что в самом начале своего существования вода в океанах уже была, по-видимому, соленой, а не пресной. Помимо солей, вносимых реками, пополнение солей происходило и за счет магматических выделений, которые в отдельные периоды истории Земли играли одновременно с горообразовательными процессами очень большую роль. Очевидно, поступление солей в Мировой океан не было одинаковым в различные периоды.

Методы определения возраста Земли по скорости накопления осадочных пород. Ученые пытались найти другие, более точные методы определения возраста Земли. Подсчитав среднюю мощность осадочного чехла литосферы, накопившегося за всю историю Земли, и зная среднюю скорость накопления современных осадков в дельте рек, морей, геологи определили ориентировочный возраст толщи осадочных пород. Реки вносят в моря и океаны за год огромное количество наносов: Ганг и Брахмапутра — 1800 млн. т, Аму-Дарья — 96,7 млн. т, Нил — 68,0 млн. т.

Ориентировочная мощность осадочного чехла литосферы, исходя из предположения, что эти породы не претерпевали размыва, исчисляется в 100 км. В дельте рек скорость отложения осадков довольно значительна и для слоя в 1 см определяется цифрами от 30 до 100 лет. В этих случаях возраст осадочных пород Земли выразится цифрами от 300 до 1000 млн. лет.

Однако большинство осадочных пород континентов является не отложениями дельт рек, а осадками мелководных морей, где скорость накопления значительно меньше. К тому же скорость отложения различных типов илов неодинакова. Все это подчеркивает несовершенство и этого типа,

Геохронологический метод определения возраста ленточных глин (метод Де-Геера) основан на подсчете и сопоставлении годичных лент в ленточных глинах озерно-ледникового происхождения или в озерных илах. Метод применим только для территорий, испытавших материковое оледенение. При описании

озерно-ледниковых отложений объяснялся механизм образования годовых лент, каждая из которых состоит из двух сезонных слоев: зимнего — глинистого и летнего — песчаного. В годы с длительным и жарким летом, когда происходило интенсивное таяние ледников, а следовательно, реки выносили в приледниковый бассейн много песка, ила и глины, отлагались мощные летние песчаные слои. При сезонном изменении климата, в годы с суровой зимой и коротким летом, реки выносят в приледниковый бассейн меньше взвешенного материала, вследствие чего образуются менее мощные, обычно ленточные глины. В отдельных разрезах удается проследить от нескольких десятков до нескольких сотен, реже до 2—3 тыс. годовых лент. Толщина каждой ленты около 1 см, иногда встречаются ленты толщиной 20—30 см. Годичные слои начинают отлагаться на дне приледникового озера сразу же после исчезновения ледника в данном пункте. Мощность ленточных глин в Ленинградской, Новгородской и Псковской областях от 1 до 20 м.

Изучая годовичные ленты, залегающие в отдельных участках слоями наподобие черепицы, геологи определили, что со времени отложения этих глин в окрестностях Ленинграда прошло всего 16 500 лет.

Радиологические методы. В настоящее время наиболее точными методами определения абсолютного возраста Земли считаются радиологические, при помощи которых современная наука добилась замечательных успехов.

В 1896 г. Анри Беккерель и супруги Кюри сделали величайшее открытие, обнаружили у урана свойство радиоактивности, т. е. способность его излучать невидимые лучи. Позднее было установлено, что многие элементы являются радиоактивными. Радиоактивные превращения подтвердили изменчивость атомов.

В итоге радиоактивного распада уран и торий превращаются в устойчивые продукты распада — газ гелий и инертный элемент свинец с атомным весом 206 (вместо 207,2). Распад радиоактивных элементов постоянен: ни температура, превосходящая температуру плавления пород, ни давление в тысячи атмосфер, ни химические реакции, ни магнитные и электрические поля не влияют на скорость распада.

Распад радиоактивных элементов — эталон геологического времени — представляет собой своеобразные геологические часы, хронометр горных пород. Период полураспада урана и тория очень велик: для урана с атомным весом 238 период полураспада равен 4,5 млрд. лет. Элементы, для распада которых нужны миллиарды лет, получили название долгоживущих. Нет ли одной горной породы или минерала, в котором не содержалось бы радиоактивных элементов урана, тория, калия и дру-

гих, но с ничтожной концентрацией: содержание урана и тория в горных породах выражается тысячными долями процента. Более богаты ураном и торием кислые породы — граниты, пегматиты, меньше содержится урана и тория в основных породах, совсем мало в ультраосновных породах — перидотитах и дунитах. Для определения возраста, например гранитов, необходимо весьма точными и чувствительными методами химического и спектрографического анализов определить в каком-либо минерале, например слюде, ортоклазе, содержание калия; или в уранините (урановой смолке) — содержание изотопа свинца.

Процесс распада урана, тория и других радиоактивных элементов ведет к образованию устойчивого конечного продукта — свинца. Так, 1 г урана в течение года дает $1351 \cdot 10^{-13}$ г уранового свинца; 1 г тория за это же время дает $513 \cdot 10^{-13}$ г ториевого свинца.

Таким образом, зная скорость распада U и Th, можно определить возраст минерала, входящего в состав горной породы:

$$t = \frac{\text{Pb}_{206} + \text{Pb}_{208}}{\text{U} + 0,38 \text{Th}} \cdot 74 \cdot 10^8 \text{ лет,}$$

где

t — время, в млн. лет;

U, Th, Pb_{206} , Pb_{208} — количество образовавшихся за год новых радиоактивных элементов*.

Этим способом был определен возраст различных магматических пород земного шара. Древнейшими породами материков считаются пегматиты Южной Родезии (Африка) — 2640 млн. лет, гнейсы правобережья р. Днепра — 2600 млн. лет, пегматиты Манитобы (Канада) — 2500 млн. лет, пегматиты Кольского полуострова — 1800 млн. лет.

Значительно более молодыми оказались граниты Приморья, Дальнего Востока, где удалось выделить две группы пород. Возраст одних интрузий оказался равным только 60—90 млн. лет, других — 170—250 млн. лет. Еще моложе граниты Кавказа, их возраст всего 10 млн. лет.

Кроме свинцового метода определения абсолютного возраста горных пород, существуют гелиевый, стронциевый, калий-аргоновый. Название дано по элементам, образующимся при радиоактивном распаде. Сопоставление этих методов для одних и тех же пород дает относительно близкий порядок цифр. И. Е. Старик попытался сопоставить абсолютный возраст (в млн. лет) отдельных этапов истории Земли, полученный различными методами (табл. 23).

* U, Th, Pb_{206} , Pb_{208} — химические символы радиоактивных элементов, цифровой индекс обозначает массу ядра.

| Эры, периоды | Методы исследования возраста отдельных этапов истории Земли (в млн. лет) | | | |
|----------------------|--|----------|-------------|-----------------|
| | свинцовый | гелиевый | стронциевый | калий-аргоновый |
| Юра | 128 | 130 | 120 | 147 |
| Девон | 290 | 340 | 326 | — |
| Протерозой | 2000 | 1550 | 2100 | 1500 |

В настоящее время возраст земной коры определяется ориентировочной цифрой более 4,5 млрд. лет.

Когда ориентировочный возраст горных пород определяется не миллионами тысяч лет, а только тысячами лет (возраст пород позднечетвертичного времени), пользуются углеродным методом. Определение производится по содержанию радиоактивного изотопа углерода (C_{14}) в различных углеродсодержащих минералах. Радиоактивный углерод (или радиоуглерод) в противоположность урану и радиоактивному калию живет сравнительно недолго — период его полураспада длится всего лишь 5568 лет. Это значит, что за это время количество изотопа углерода уменьшится вдвое.

В атмосфере под действием космических лучей образуются нейтроны, которые, вступая в реакцию с изотопом азота с массой N_{14} , дают радиоактивный изотоп углерода (C_{14}) с периодом полураспада 5568 лет.

Соотношение C_{13} и C_{14} в атмосфере постоянно. Растения, поглощая из атмосферы углекислоту, поглощают и C_{14} . Пока растение живет, соотношение C_{13} и C_{14} не меняется. После смерти организма в результате распада C_{14} его количество уменьшается. Измеряя количество C_{14} в растительных остатках, можно вычислить время, прошедшее после смерти организма, и тем самым определить возраст отложений.

В 1948 г. на полуострове Таймыр обнаружили в многолетнемерзлых породах труп хорошо сохранившегося мамонта. Палеонтологи не смогли установить, сколько тысяч лет пролежал он в промерзших горных породах. Остатки мамонта были присланы в Институт геохимии АН СССР. В процессе химических исследований из кости мамонта был извлечен углерод, радиоактивность которого сравнили с радиоактивностью современного углерода, и выяснили, что труп пролежал в породах около 12 000 лет. Аналогичные исследования были проведены над кусками древесины, найденными в аллювиальных отложениях р. Вилюй в Якутии. Оказалось, что возраст большинства образцов деревьев старше 15—20 тыс. лет.

Вполне очевидно, что метод радиоактивного углерода открывает большие перспективы для определения абсолютного возраста многих горизонтов ископаемых почв.

Глава двадцать вторая
КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ИСТОРИИ ЗЕМЛИ

Новая советская геохронологическая шкала (апрель 1964 г.) в абсолютном летоисчислении по данным калий-аргонового метода охватывает огромный отрезок времени в 3 млрд. 600 млн. лет, из них на архей и протерозой приходится 3 млрд. лет (табл. 24).

Архейская эра — эра древнейшая, эра начала (зарождения) жизни (по-гречески архе — начало). Продолжительность эры более 2000 млн. лет. Эти древнейшие породы сложены сильно-метаморфизованными дислоцированными разностями — различными гнейсами, кристаллическими сланцами, амфиболитами, реже мраморами, кварцитами, прорванными многочисленными внедрениями гранитов. Достоверных органических остатков в напластованиях этой эры не найдено. Присутствие толщ мрамора, углерода в виде графита указывает, что в самом конце архея зародилась жизнь, должны были существовать бактерии, простейшие растения, морские водоросли.

Протерозойская эра (протерос — первый, зоз — жизнь) — эра первичной, простейшей жизни. Продолжительность ее более 1000 млн. лет. В это время существовал разнообразный органический мир, представленный преимущественно формами, не имевшими твердого скелета (различные водоросли, бактерии). Формы с твердым скелетом появились только в самом конце эры. Породы представлены кристаллическими сланцами, кварцитами, мраморами, гранитами, гнейсами и метаморфизованы меньше, чем архейские. Найдены остатки кремневых губок, а также древнейших ракообразных. Значительное распространение жизни в протерозойскую эпоху подтверждают многочисленные залежи мрамора, перекристаллизованного из известняка, состоящего из микроскопических форм раковин, а также находки в Карелии минерала шунгита, похожего на уголь антрацит, свидетельствующие о существовании различных растений.

Обычно архейскую и протерозойскую эры объединяют вместе, называя этот долгий этап в истории Земли докембрием.

Докембрий — эра грандиозных вулканических извержений и интенсивных горообразовательных процессов.

Земная кора была неустойчивой, подвижной, имели место горообразовательные процессы, сопровождаемые гигантскими расколами, — осуществлялись докембрийские фазы складчатости. По расколам внедрялись расплавленные магматические массы. Эволюционное развитие земного шара заключалось в том, что постепенно происходил процесс консолидации земной коры, переход ее из неустойчивого, подвижного состояния в устойчивое,

История развития Земли. Главнейшие события

| Эра | Периоды | Длительность, млн. лет | Условные обозначения | Основные события | Главнейшие этапы развития органической жизни |
|--------------|-----------------------------|------------------------|----------------------|---|--|
| Архейская | | 3000 | Ptz | Складчатость, вулканизм, образование высоких хребтов в Карелии, Забайкалье, на Кольском п-ве, Украине | Зарождение жизни на Земле. Появление бактерий, одноклеточных животных |
| | Протерозойская | | | | Появление беспозвоночных животных — одноклеточных и многоклеточных |
| Палеозойская | Кембрий Ордовик Силур | 70 60 30 | Sm O S | Каледонская складчатость, вулканизм и горообразование в Саянах, море покрывает Сибирь, Среднюю Азию | Расцвет беспозвоночных. Широкое развитие иглокожих, моллюсков (брюхоногих, плеченогих) |
| | Девон | 50—70 | D | Море затопляет всю территорию СССР | Появление первых лесов, формирование первых почв. Развитие папоротниковых, появление всех основных видов рыб |
| | Карбон | 55—75 | C | Море затопляет большую часть СССР; образование углей в Подмосковном бассейне | Расцвет споровых растений. Развитие папоротникообразных — папоротников, плаунов, хвощей |
| | Пермь | 45 | P | Герцинская складчатость, вулканизм, образование гор Урала, Алтая, Тянь-Шаня. Сухой климат в Приуралье | Развитие пресмыкающихся — котилозавров и зверообразных |

| Эра | Периоды | Длительность мвл. лет | Условные обозначения | Основные события | Главнейшие этапы развития органической жизни |
|-------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|---|---|
| Мезозой- ская | Триас | 45 | T | Значительная часть территории СССР представляла сушу | Появление новых групп наземных пресмыкающихся — черепах |
| | Юра | 58 | J | Складчатость, вулканизм и образование гор на северо-востоке Азии | Появление первых птиц. Развитие летающих ящеров. Расцвет ихтиозавров, плезиозавров, голоногих моллюсков — аммонитов и белемнитов. Распространение голосеменных растений |
| | Мел | 70 | Cr | Заполнение морем многих районов СССР | Вымирание морских пресмыкающихся, аммонитов и белемнитов. Появление цветковых растений |
| Кайнозой- ская | Третичный Палеоген | 65—66 41 | Tr Pg | Море периодически затопляет Украину, Поволжье, Западную Сибирь, Среднюю Азию | Широкое распространение цветковых и древесных растений |
| | Неоген | 25 | N | Альпийская складчатость и образование гор на Кавказе, в Крыму | Состав фауны и флоры, близкий к современному. Появление человекообразных обезьян и новых групп млекопитающих из отрядов копытных, хоботных и хищников |
| | Четвертичный | 1,5—2,0 | Q | Великое оледенение Русской и Западно-Сибирской равнины. Поднялись Кавказа, Урала, Тянь-Шаня. Образование современных ландшафтных зон: тундры, степей, пустынь | Появление и развитие человека. Расцвет млекопитающих, птиц, рыб, насекомых |

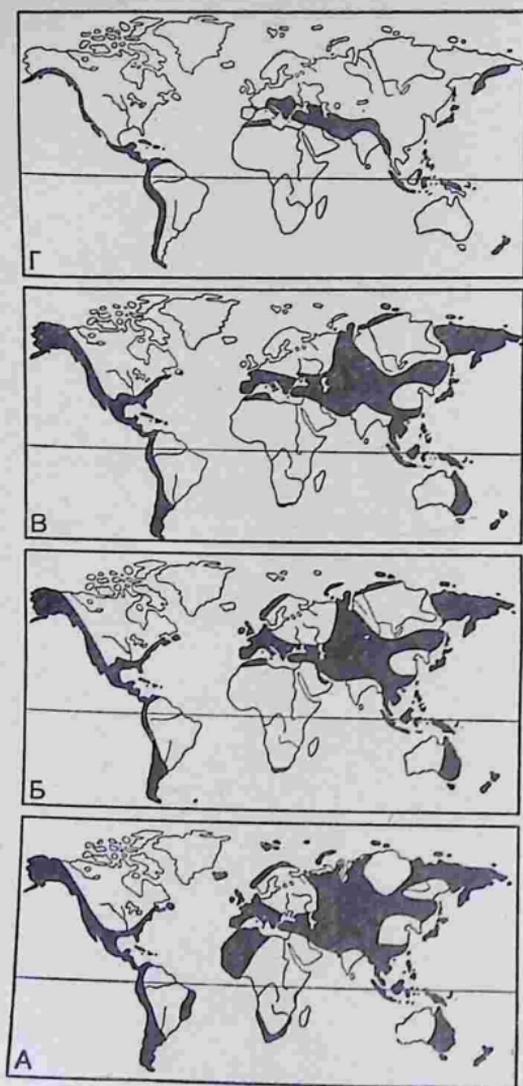


Рис. 74. Геосинклинальные пояса (обозначены черным) и платформы (обозначены белым) на площади современных материков в различные геологические эпохи. А — конец протерозойской эры, Б — ордовик и силур, В — девон и карбон, Г — третичный период

малоподвижное. В конце докембрия земная кора расчленилась на жесткие, малоподвижные участки, которыми явились платформы, и неустойчивые — геосинклинали. Такими древними платформами являются Русская и Сибирская (рис. 74). Древнейшими зародышами этих платформ служил кристаллический фундамент, состоящий из древнейших метаморфических дислоцированных пород, выступы которых на поверхность называют щитами.

Щиты — древнейшие участки суши, по большей части не покрывавшиеся морем с палеозоя. Щиты либо непосредственно выходят на поверхность, либо прикрыты относительно небольшими толщами осадочных пород. Такими древнейшими докембрийскими щитами в Европе были Фенно-Скандинавский, или Балтийский, щит и Азово-Подольский. В начальный период образования платформы представляли одноступенчатые конструкции — щиты с ничтожным чехлом осадочных пород.

В процессе дальнейшего развития платформ отдельные участки, расположенные между щитами, сохраняли некоторую подвижность, они то опу-

скались, то вздымались. При опусканиях эти пространства заливались морем (трансгрессия), в них накапливались осадочные толщи.

В итоге этих процессов на межщитовых территориях накопились толщи осадочных пород, и платформы получили двухъярусное строение: первый ярус — фундамент, состоящий из сильнодислоцированных метаморфических пород, и второй ярус — чехол осадочных пород, залегающий почти горизонтально и имеющий сравнительно небольшую мощность. На Кольском полуострове, в Карельской АССР, кристаллический фундамент выходит над уровнем моря. В районе Ленинграда эти породы вскрываются скважинами на абсолютных отметках около 200 м ниже уровня моря, в Москве — на глубине уже более 1500 м. Чехол осадочных отложений здесь более 1500 м. На Украине между реками Днестром и Днепром и до Азовского моря вновь наблюдаются выходы на поверхность древнейших пород — это так называемый Азово-Подольский щит. Чехол осадочных отложений здесь отсутствует совсем. К югу — к берегу Азовского моря — вновь установлено погружение пород.

Докембрийские отложения богаты различными рудными полезными ископаемыми метаморфического и магматического происхождения: залежами железных руд (Кривой Рог, Курско-Белгородский железорудный пояс), урановой, оловянной рудами, золотом, серебром, свинцом, цинком, никелем, медью и платиной. К пегматитам приурочены крупнейшие месторождения слюды (мусковита) и полевого шпата. Широко распространены месторождения марганца.

Особенность докембрия — отсутствие угленосных и галогенных отложений.

Палеозойская эра (группа) — эра древней жизни. Продолжительность эры около 330 млн. лет. Характерные особенности развития жизни — господство беспозвоночных (различных моллюсков, ракообразных, червей) и появление первых позвоночных (рыб). Растения в течение палеозоя окончательно завоевали сушу; появились первые хвойные и цикадофиты. В палеозое развивались две крупные фазы складчатости — каледонская и герцинская, в которые образовались многочисленные горные сооружения. Горообразовательные процессы сопровождались интенсивной магматической деятельностью. С интрузиями и эффузиями связано много рудных полезных ископаемых (рис. 80).

В палеозое продолжалось развитие коры земного шара. В основном оно заключалось в том, что процесс консолидации коры захватил ближайшие прилегающие к платформам пространства, и эти области в дальнейшем также стали платформами. Они получили название каледонид и герцинид. Таким образом, за счет каледонид и герцинид в палеозойское время расширяется

устойчивая область — платформы и сокращается неустойчивая область — геосинклинали.

Кембрийский период (система) — продолжительность более 70 млн. лет. Этот период характеризуется покоем; горообразовательные и вулканические явления проявлялись слабо.

Растительный и животный мир был довольно разнообразным, но по-прежнему вся жизнь была сосредоточена в море. Растения были представлены лишь водорослями. Из членистоногих сильно размножились трилобиты, несколько напоминающие современных мокриц, морские черви и некоторые другие организмы, не имеющие костного скелета.

В СССР кембрийские отложения широко представлены в Сибири. Эти отложения (песчаники, конгломераты, зеленые сланцы, а иногда известняки) занимают громадные площади и на Сибирской платформе достигают мощности от 2000 до 4000 м. На северо-западе европейской части СССР (Эстония, под Ленинградом) образования кембрия залегают вблизи поверхности земли, являясь в ряде случаев почвообразующими породами. Представлены они синими пластичными глинами мощностью до 160 м.

Рудными месторождениями эта эпоха бедна. Из осадочных полезных ископаемых могут быть названы каменная соль, бокситы, горючие сланцы, месторождения железа, марганца, из агрономических руд — фосфориты Каратау.

Ордовикский период — продолжительность 60 млн. лет. Характеризуется преимущественно покоем. Дальнейший расцвет беспозвоночных, трилобитов, плеченогих и кораллов.

Силурийский период — продолжительность 30 млн. лет. Характеризуется грандиозными горообразовательными процессами в геосинклинальных областях, сопровождаемыми вулканизмом. Происходит так называемая каледонская фаза складчатости (по имени Каледонских гор в Шотландии, где она впервые была изучена), которая охватывает как геосинклинальные области, так и окружающие платформы. Образуются новые устойчивые области — каледониды, которые располагались по краям платформы. Они увеличили область устойчивых участков земной коры. Складкообразование происходило в различных частях света: на полуостровах Канин, Тиман. Эти древнейшие горные сооружения ограничивают Русскую платформу с севера. Структура каледонской складчатости прослеживается и на юге Сибирской платформы: это хребты Западных и Восточных Саян, Забайкалья и Становой. Вулканизм проявлялся не только в форме эффузий, но и в виде интрузий, кислых и основных.

Крупные события — горообразование, излияние и внедрение магмы — изменили существовавшую ранее обстановку: нарушилось соотношение между площадями, занятыми морями и су-

шей, изменились условия внутри самих бассейнов, возникли новые горные цепи и т. д.

Все эти большие перемены вызвали значительные изменения и в развитии органического мира. Одни группы организмов смогли быстро приспособиться к новым условиям жизни в море, другие, наоборот, весьма медленно, третьи оказались нежизненными и стали вымирать. Там, где вместо моря образовалась суша, многие из морских обитателей начали осваиваться в новых условиях, что привело к образованию первой наземной растительности и новых наземных животных.

Среди растений изобилует множество водорослей, а в прибрежных участках — псилофиты, из остатков которых образовались горные породы, в частности горючие сланцы.

Из позвоночных известны первые низшие рыбы с хрящевым скелетом. К концу периода появились новые группы рыб гигантских размеров.

Особого расцвета достигают членистоногие (трилобиты), кишечнополостные (кораллы) и граптолиты, которые являются руководящими для отложений этого периода. Из многочисленных классов беспозвоночных развиваются четырехлучевые и трубчатые кораллы, иглокожие — морские лилии, морские ежи.

В Сибири отложения силура распространены на Сибирской платформе — в верховьях Лены, по Ангаре, Подкаменной Тунгуске. Отложения ордовика и силура широко распространены и в Прибалтике, где диктионемовые сланцы, глауконитовые песчаники, разнообразные известняки залегают совсем близко от дневной поверхности, часто являясь почвообразующими породами.

Отложения силура богаты различными полезными ископаемыми: рудами — золото, свинец, медь, вольфрам, молибден; строительными материалами — известняки, доломиты; агрономическими рудами — фосфориты Сибири; каоустобиолитами — горючие сланцы Эстонии (кукерсит).

Девонский период (система) — продолжительность около 70—50 млн. лет. После мощных горообразовательных процессов каледонской складчатости девонский период характеризуется временем относительного покоя. Изменение соотношения между морем и сушей, распространение во многих местах материков сухого жаркого климата вызвало значительные изменения в животном и растительном мире: почти полностью вымирают граптолиты и трилобиты, достигают расцвета огромные панцирные рыбы (динихтис, титанихтис — длина до 9 м); широкое распространение получают различные моллюскообразные (плеченогие — продуктиды и спирифериды). Животные и растения постепенно завоевывают сушу, приспособляясь к новым условиям жизни. Появляются древние амфибии — стегоцефалы (родственные современным лягушкам), первые насекомые,



Рис. 75. Болотный лес каменноугольного периода

высокоорганизованные типы растений — плауновые и папоротники. Формируются первые почвы.

Девонские отложения очень широко распространены на Русской платформе, образуя два так называемых девонских поля — главное, занимающее значительную часть Белоруссии, Прибалтики, Смоленской области, и центральное — в районе Орла и Воронежа. Здесь девонские отложения

залегают вблизи дневной поверхности, прорезываются долинами рек, корневая система некоторых деревьев углубляется в кору выветривания этих образований. К востоку и северу от главного и центрального девонских полей породы погружаются на большую глубину. Так, под Москвой они залегают на глубине уже более 300 м.

Отложения девона представлены осадочными породами: известняками, доломитами, гипсами, солями, а также песками, песчаниками. Рудные полезные ископаемые магматического типа неизвестны. Из нерудного сырья следует отметить различные стройматериалы: песок, известняк, гипс, калийную и каменную соль. Огромное народнохозяйственное значение имеет нефть, содержащаяся в песках, песчаниках среднего девона на обширной территории между Волгой и Уралом, а также бокситы (восточный склон Урала), осадочные железистые руды. В связи с появлением первой наземной растительности возникают залежи каменного угля.

Каменноугольный период (система) — продолжительность около 55—75 млн. лет. В это время развилась пышная наземная древесная растительность, из которой образовались толщи каменного угля, поэтому период и получил название каменноугольного. Растительный мир стал разнообразнее, влажный теплый климат способствовал расселению растений в различных климатических условиях. Многочисленные споровые растения — гигантские папоротники, огромные лепидодендроны, сигиллярии (плауны), каламиты (хвощи) высотой до 40 м произрастали по берегам морей, озер, рек (рис. 75). Леса были населены разнообразными членистоногими, насекомыми — тараканами, стрекозами, паукообразными.

В конце периода появляются позвоночные — пресмыкающиеся (рептилии), особенность которых заключалась в том, что они уже не метали икру в воде, а откладывали яйца на суше. Рептилии имели холодную кровь и могли жить только в теплом климате. Одновременно распространяются первые наземные моллюски.

Из беспозвоночных в море обитало множество животных, представленных кишечнорастворимыми — коралловыми полипами, одиночными и четырехлучевыми; моллюскообразными: плеченогими — продуктидами, спириферами, мягкотелыми — брюхоногими (гастроподы); иглокожими — морскими ежами и морскими лилиями. После вымирания многочисленных корненожек (фораминифер, фузулинид, швагерин), плеченогих (продуктид, спириферид) образовались большие толщи карбонатных пород Подмосковья — известняки, доломиты.

В конце периода начинается вторая крупная фаза складчатости — так называемая герцинская, получившая свое название от гор (Судеты, Вогезы, Рудные горы), образовавшихся в Центральной Европе. В эту фазу складчатости возникли Урал, часть хребтов Тянь-Шаня, Казахстана и др. Горообразование сопровождалось вспышками вулканизма. С гранитными интрузиями связаны многочисленные месторождения золота, свинца, цинка, серебра, меди, кобальта, ртути.

В начале верхнекаменноугольной эпохи в Южном полушарии — Южной Америке, Южной Африке, Восточной Австралии — было огромное оледенение. В Северном полушарии столь грандиозных климатических перемен не было, но смещения границ климатических зон отмечалось. На территории СССР каменноугольные отложения распространены очень широко, слагая большие площади в центральной части страны (Подмосковье), а также Самарскую луку, Донбасс, Кузбасс, Карагандинский бассейн и т. д. В породах каменноугольного возраста содержатся нерудные полезные ископаемые: мощные залежи углей, а также нефти (Волго-Уральская нефтяная провинция), углеводородных газов. При богатстве скопления органического вещества отложения карбона бедны галогенными образованиями, что обусловлено слабым распространением засушливого климата.

Из многочисленных стройматериалов известны отличного качества известняки, огнеупорные глины. К известнякам и доломитам, залегающим в Подмосковье в виде большой впадины, приурочены артезианские воды, имеющие большое значение для водоснабжения страны.

Пермский период (система) — продолжительность 45 млн. лет. Крупные горообразовательные процессы с проявлением магматической деятельности повлекли за собой значительные изменения климатических условий, отразившиеся на

характере растительности и животного мира. Этот период характеризуется сухим и холодным климатом, вызвавшим сокращение морей, увеличение материков, на которых развивались пустыни, а в лагунах Северного полушария образовались мощные отложения галогенных осадков: галита, сильвина, карналита, гипса. Для периода характерно исчезновение палеозойских форм и появление новых форм, уже мезозойского типа. Вымерли многие группы трилобитов, граптолитов, древних ежей, появляются новые спиральной формы головоногие моллюски — аммоноидеи. Сушу постепенно завоевали новые растения и животные. Древовидные хвощи и плауновые вымерли, известны первые представители голосеменных растений — хвойные, цикадовые. Среди насекомых встречаются первые жуки. Появляются первые крупные пресмыкающиеся. Среди них большого разнообразия достигают травоядные и хищные рептилии. К первым относился парейозавр — неповоротливое животное, питавшееся болотной растительностью, ко вторым — диметродон, достигавший в длину 2 м и имевший вдоль всей спины высокий гребень из игл.

Пермские отложения очень широко распространены в России, вблизи г. Пермь, где они впервые были изучены и получили свое название. Огромные площади севера РСФСР, Поволжья и Приуралья сложены залегающими весьма близко к дневной поверхности различными известняками — доломитами, мергелями, глинами с прослоями гипсов, ангидритов, песчаниками, конгломератами. Ввиду продолжавшихся горообразовательных процессов многие моря потеряли связь с океанами и разбились на внутренние, замкнутые бассейны, в которых из-за сухого климата интенсивно происходили процессы испарения и образования различных химических осадков (галогенез). Таким путем появились галогенные отложения Соликамского бассейна калийных солей. Широко распространены и континентальные толщи, состоящие из красноцветных песчаников и глин. К медистым песчаникам приурочены сульфиды меди. Из нерудных полезных ископаемых, помимо солей, в пермских отложениях следует отметить уголь, нефть, самородную серу, стройматериалы (известняки, песчаники, огнеупорные глины). Рудные месторождения связаны с магматической деятельностью (свинец). Помимо интрузий, в Сибири широко распространены эффузивы базальтовой лавы, называемые траппами, сложенные базальтами, диабазовыми порфиритами и диабазами; с ними связаны магнетитовые руды, свинец, цинк.

Пермским периодом заканчивается палеозойская эра. В конце перми в основном завершилась крупная фаза складчатости — герцинская (или верхнепалеозойская). В результате нее новые крупные участки коры земного шара вступают в новый этап своего развития и становятся платформами, или, как гово-

рят, герцинскими платформами (пример — пространство между Уралом и Енисеем — Западно-Сибирская платформа). Устойчивые герцинские сооружения создавались и в других участках земного шара.

Мезозойская эра — эра средней жизни. Продолжительность около 170 млн. лет. Это время господства пресмыкающихся (наземных позвоночных рептилий — ящеров), а также первых птиц и млекопитающих. В растительном мире преобладают саговниковые, хвойные, появляются покрытосеменные. В мезозое начинается альпийская фаза складчатости, проявления которой установлены во всех частях света.

Триасовый период (система) в тектоническом отношении характеризуется временем относительного покоя. Продолжительность около 45 млн. лет. В органическом мире встречаются как палеозойские, так и мезозойские формы. Вымирают стегоцефалы, палеозойская флора, развиваются голосеменные растения — хвойные, цикадовые.

Характерная особенность триасового периода — появление млекопитающих теплокровных животных, к классу которых относятся многие современные животные, в том числе и человек. Первые млекопитающие были небольшой величины (примерно с крысу) и жили на деревьях. Появляются новые представители пресмыкающихся — первые крокодилы, ящерицы. Разнообразны также наземные рептилии — динозавры. В морях развиваются морские рептилии, так называемые рыбащеры — ихтиозавры и плезиозавры. Распространение получают головоногие моллюски — аммониты, появляются белемниты.

Триасовые отложения распространены в Сибири, на Мангышлаке, в Закаспии, где они представлены преимущественно красноцветными, континентальными отложениями — песками с галькой, рыхлыми песчаниками, глинами. Отложения триаса полезными ископаемыми весьма бедны.

Юрский период (система) — продолжительность около 58 млн. лет. Чрезвычайно большое распространение получают различные рептилии из группы динозавров, которые завоевывают сушу, море. Среди них можно отметить гигантских травоядных и хищных (рис. 76), наземных диплодоков высотой 25—30 м и весом до 50—60 т (по В. И. Громову). Появляются первые птицы — летающие зубастые птеродактили, в море — громадные рыбащеры (ихтиозавры и плезиозавры), морские черепахи. Большое развитие получают головоногие моллюски — аммониты и белемниты, многие виды которых служат руководящими формами для юрских отложений. Для растительного мира характерны хвойные, цикадовые, саговниковые (пальмы), древовидные папоротники и хвощи.

Юрские отложения очень широко распространены на территории СССР — они встречены в центральных районах РСФСР,

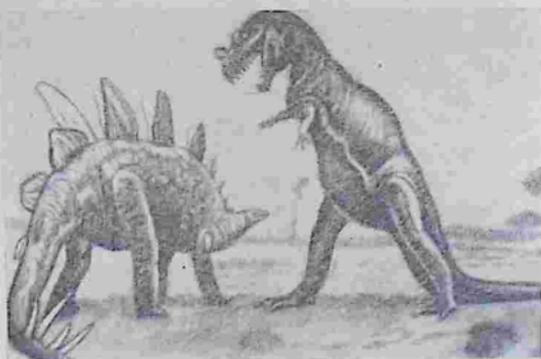


Рис. 76. Ящеры мелового периода

на Волге, в Средней Азии, Восточной Сибири и т. д. Отложения представлены как морскими осадками — известняками, глинами, так и континентальными — конгломератами, песками и др. С горообразовательными процессами связаны интрузии и эффузии, а с ними — ряд полезных ископаемых магматического типа. Юрские отложения весьма богаты полезными ископаемыми. Для них характерны значительные залежи углей (бурых, сапропелевых), горючих сланцев, нефти, а также желваковых фосфоритов (Русская платформа), солей, гипсов. Из руд известны железо, медь, олово.

Меловой период (система) — продолжительность около 70 млн. лет. Для этого периода характерны интенсивные горообразовательные процессы (начало так называемой альпийской фазы складчатости), вспышки вулканизма, большая регрессия в начале периода и трансгрессия — в середине. В течение этого долгого периода климатические условия, очертания морей и континентов, животный и растительный мир претерпели значительные изменения. В растительном мире все больше появляется покрытосеменных — однодольных и двудольных цветковых растений, а также тропические формы — пальмы, магнолии, платаны.

В море весьма многочисленны представители различных корненожек (глобигерины). Из микроскопических раковинок слагаются огромные толщи мела, широко представленные в отложениях этого периода, от которых период получил свое название. Распространены также известковые водоросли, кораллы, морские ежи. Начало и середина мелового периода — расцвет различных травоядных динозавров, ящеров-птерозавров и настоящих птиц — гесперорнисов и ихтиорнисов; последние могли хорошо плавать и нырять. Постепенно вымирают все рептилии. Зубастые птицы, начинают развиваться млекопитающие. Эти

группы животных совершенствовались и хорошо приспособились к жизни на суше, рожали живых детенышей и вскармливали их молоком, а не откладывали яйца. По данным В. И. Громова, в конце мелового периода появилась группа маленьких животных, питавшихся насекомыми, они жили на деревьях и были величиной с белку. Из этих животных в итоге медленных и сложных процессов эволюции произошли обезьяны. Понадобилось более 60 млн. лет, чтобы в результате длительных изменений животного мира в нем появились первые отдаленные, но прямые предки человека — обезьянолюди и, наконец, человек современного типа.

Меловые отложения широко представлены в СССР разнообразными известняками, мелом, песками, песчаниками. Они находятся в центральных частях РСФСР, в Украинской ССР, в Восточной Сибири, Средней Азии и т. д. Из нерудных полезных ископаемых меловые отложения содержат желваковые фосфориты (европейская часть СССР), угли, мел, железные руды.

Кайнозойская эра — эра новой жизни. В результате длительной эволюции на Земле появились все современные нам растения и животные и произошло событие величайшей важности — возник человек, выделившийся из животного мира.

В связи с этим всю историю кайнозоя делят на два неравных периода: третичный, длившийся около 66 млн. лет, и четвертичный, начавшийся около 2 млн. лет назад и продолжающийся ныне. В связи с тем что этот период на Земле ознаменовался появлением и развитием человека и человеческого общества, акад. А. П. Павлов предложил называть этот период антропогеновым, или антропогеном (от греч. слов антропус — человек и генус — род, рождение).

Начавшиеся в конце верхнемеловой эпохи интенсивные горообразовательные процессы (альпийская складчатость), сопровождаемые магматизмом и вулканизмом, происходили и в третичный период. Продолжалось увеличение устойчивых участков земной коры — платформ и уменьшение геосинклинальных поясов, площади которых еще более сократились.

Крупная трансгрессия моря в начале верхнего мела, образование высочайших складчатых гор (Тихоокеанское кольцо, Кордильер, Анд) вызвали сильное изменение климатических условий и похолодание в Северном полушарии. Эти события обусловили массовое вымирание животных и растений. В связи с тем, что температура воды в океанах понизилась, вымерли все огромные морские рептилии — ихтиозавры, плезиозавры и другие пресмыкающиеся, исчезли властители суши — диплодоки, температура тела которых зависела от солнечного тепла, погибли головоногие (аммониты, белемниты), плеченогие, брюхоногие. Некоторые из пресмыкающихся смогли приспособиться к новым условиям жизни и сохранились (крокодилы, змеи, черепахи).

Иной стала растительность: на смену голосеменным растениям — хвойным, сагониковым — пришли цветковые. В лугах произрастали разнообразные травянистые растения, в лесах росли пальмы, мирты, тиссы, магнолии, лавры, кипарисы, гигантские хвойные — секвойи. Эти хвойные в Северном полушарии в дальнейшем составили большие залежи бурых углей. В умеренных широтах были известны также дуб, бук, тополь, береза, клен и другие представители современной флоры.

Среди животного мира продолжают развиваться теплокровные — различные млекопитающие. Киты, кашалоты, моржи, тюлени сменяют ихтиозавров и плезиозавров. Вместо диплодоков и игуанодонов развиваются хищные и травоядные (предки нашей лошади) — диноцерас, динотерий, арсинотерий. Большим разнообразием отличались насекомоядные, грызуны, рукокрылые. Среди лазающих «древесных» животных встречаются первые человекообразные обезьяны — амфипитеки и проплиопитеки, далее обезьяны, обладающие уже прямой походкой, — парантропы и, наконец, обезьянолюди — питекантропы.

Таким образом, к концу третичного периода животный и растительный мир мало отличался от современного. Моря и материки земного шара приняли очертания, также весьма близкие к тем, которые наблюдаются в настоящее время.

Третичный период (система) — продолжительность около 65 млн. лет. Период подразделяется на две эпохи — нижнетретичную (палеоген) продолжительностью около 40 млн. лет и верхнетретичную (неоген) длительностью около 25 млн. лет.

Для растительного и животного мира нижнетретичной эпохи (палеогена) характерно бурное развитие цветковых растений, особенно лиственных деревьев, а также обилие млекопитающих; появляются предковые формы хоботных (слонов), копытных (носорогов, бегемотов), лошадей.

В конце периода появляются первые обезьяны (см. табл. 24). Палеогеновую эпоху можно подразделить на две основные фитогеографические области с распределением растительности на зоны тропического и умеренного климата: северную область (Северная Азия до Казахстана, область Арктики, Северная Америка), в которой росли листопадные леса, и южную область (Западная Европа, южная часть СССР, Южная Азия), где обитали представители вечнозеленых тропических растений. К концу палеогена вследствие похолодания климата листопадные леса продвигаются к югу.

В СССР отложения палеогена широко представлены на Украине, на правобережье Средней Волги, на восточном склоне Урала, в Казахстане, где они сложены органогенными нуммулитовыми известняками (Кавказ, Крым, Донбасс). В других, более северных районах, большое распространение в море полу-

чили планктонные кремневые водоросли — диатомеи. Скопления панцирей этих организмов на дне моря создают огромные толщи органогенных кремнистых пород — трепелов, диатомитов, опок (Поволжье, восточный склон Урала).

Альпийская фаза складчатости вызвала интенсивную магматическую деятельность в виде интрузий и особенно эффузий в Приморье, на Камчатке, Курильских островах. Большое распространение получают базальты, андезиты.

Третичный период был одной из наиболее важных эпох углеобразования и нефтеобразования в истории Земли. Из нерудных полезных ископаемых отложения палеогена содержат большие запасы бурых углей, конкреционные, оолитовые, марганцевые руды, бурые железняки, нефть.

Растительность верхнетретичного отдела (неогена) имеет почти современный состав. Характерно обильное распространение злаков, формирование и постепенное обособление флористических поясов, существующих и поныне, в частности ландшафта травянистых степей. Происходит дальнейшее продвижение на юг листопадной флоры, а к концу неогена Сибирь покрылась хвойными лесами. Климат становится более холодным.

Класс млекопитающих продолжает развиваться и совершенствоваться, появляются высокоспециализированные формы хищных, копытных, хоботных, грызунов. Эволюционируют приматы и к концу периода появляются настоящие лошади и примитивные предки человека — человекообразные обезьяны. Представители многих семейств и родов дожили до нынешнего времени — это медведи, гиены, собаки, носороги, олени, быки. Море населяют разнообразные моллюски — пластинчатожаберные, брюхоногие.

Неоген — эпоха интенсивных горообразовательных движений. В области прежней палеозойской складчатости формируются высочайшие горные цепи, образуются грандиозные грабены, горсты. Эти процессы сопровождаются извержением магмы и оруденением зон альпийской складчатости. Окончательно формируются Альпы, Карпаты, Кавказ. В Тянь-Шане, Алтае, Саянах происходят расколы, образуются глыбовые поднятия и грабеноподобные опускания, в которых возникают котловины — плодородные низменности — Ферганская, Иссык-Кульская и др. На Востоке крупные дислокации проходят на Сахалине, Сихотэ-Алине. Формируется грабен озера Байкал, горстовые глыбы Яблонового и Станового хребтов. Лик Земли приобретает все черты современного. Происходит резкая регрессия моря.

Геологическая история неогена, который в свою очередь подразделяется на миоцен и плиоцен, обусловила некоторые особенности рельефа и состава пород и почв. Растительный покров Земли сильно изменяется, все более и более дифферен-

цируется, обособляются новые ботанико-географические зоны и подзоны — степи и пустыни умеренных широт, широколиственные леса, тайга, тундра. Так, к концу миоцена почти вся площадь нынешней Украины представляла собой сушу, на которой обитали носороги, слоны, антилопы, жирафы, страусы, бобры; из растений — ольха, ива, тополь, вяз. По-видимому, климат был теплее современного. В начале плиоцена значительная территория юга СССР была покрыта слабосолоноватыми водами понтического бассейна. Климат был умеренный. К концу понтического времени сильно сократился бассейн, причем черноморская его часть отчленилась от каспийской. С тех пор поверхность нынешних украинских степей является сушей. Отложения понта образуют одесский известняк, переполненный остатками моллюсков — кардид, дрейссен. Известняк служит главным строительным материалом в Одессе и ее области и широко используется для известкования кислых почв. Знаменитые одесские катакомбы представляют собой подземные карьеры этих пород.

Глава двадцать третья

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ИСТОРИИ ЗЕМЛИ В ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ ПЕРИОД (АНТРОПОГЕН)

Особенности четвертичного периода

Продолжительность антропогена исчисляется примерно от 1 до 2 млн. лет. Это наиболее короткий период в истории Земли. Он подразделяется на два неравных отрезка времени: ледниковый (плейстоцен) продолжительностью более 600 тыс. лет, который в свою очередь делится на древний, средний и новый отделы, и послеледниковый период (голоцен), или современную эпоху, которая продолжается в настоящее время. С момента исчезновения последнего ледника на территории СССР прошло только около 15—20 тыс. лет.

Характерная особенность четвертичного периода — резкое изменение физико-климатических условий, выразившееся в сильном похолодании и развитии большого материкового оледенения на значительных пространствах суши. В органическом мире произошли очень важные события: процесс очеловечения обезьяны сопровождался тем, что у обезьян начала вырабатываться прямая походка, руки постепенно стали свободными, являясь не только органами труда, но также и продуктом труда. Этот длительный и сложный процесс завершился возникновением человека и развитием человеческого общества и материальной культуры.

Кроме появления человека, для периода характерно господство млекопитающих и цветковых растений — различных злаков.

Продолжались горообразовательные процессы третичного времени. В результате длительного развития впадин на месте

современных Черного, Мраморного и Эгейского морей отмечают крупные провалы. Ряд горных хребтов испытывает поднятие: так, амплитуда поднятия Центрального Кавказа определяется в 3 км (С. А. Яковлев); в Средней Азии поднялись северо-западный Памир, Тянь-Шань. Одновременно с этими орогеническими движениями продолжаются медленные колебательные движения. Вулканические процессы значительно проявлялись на Кавказе, в Карпатах, на Камчатке и др. В настоящее время происходят сильные землетрясения (Чили — 1960) и интенсивные извержения на Камчатке, Курильских островах, Индонезии, Мексике и других местах, где на глазах у человека образуются новые вулканы.

Обширная территория СССР в ледниковую эпоху отличалась большим разнообразием физико-географических условий. Так, в европейской части СССР был развит мощный ледниковый щит. Западная Сибирь имела ледниковый покров небольшой толщины, в Восточной Сибири покровное оледенение отсутствовало (рис. 78). В ледниковые эпохи огромный европейский щит достигал более 2 км толщины, покрывая площадь в 5,5 млн. км² (максимальное оледенение).

В связи с наступлением похолодания ряд крупных млекопитающих третичного периода (мастодонты, гиппарионы, лошади Стенона) постепенно вымирают, обособляется растительность различных климатических зон: на юго-востоке Русской равнины саванны с теплолюбивыми формами заменяются лесостепью с малым участием древесных пород, хвойные леса, занимавшие среднюю и центральную часть Русской равнины, редеют и сменяются льдами древнего оледенения.

Похолодание климата, огромные консервации воды в виде льдов (площадь суши, занятая ледниками, превышала 40 млн. км², по К. К. Маркову) вызвали снижение уровня океана на 130—150 м, вследствие чего ряд островов соединился с материками, исчезли Британские острова, Новосибирские, Новая Земля, некоторые проливы стали перешейками (например, Берингов), по которым животные переселялись из Евразии в Америку. Уменьшение воды в реках и поверхностных водоемах в ледниковые эпохи обусловило понижение базиса эрозии — регрессию моря и усиление размыва; образовался ряд террас; формировалась современная гидрографическая сеть. При таянии льдов возникло множество водных потоков, которые переносили большое количество обломочного и песчаного материала. Увеличилось поступление речной воды в моря, что вызвало сильный подъем их уровня, произошло наступление моря на сушу — трансгрессия. Трансгрессии были как на севере, в бассейне Баренцова, Белого и Балтийского морей (бореальная, онежская, мгинская, иольдиева), так и на юге, в бассейне Черного и Каспийского морей.

Трансгрессии Каспия (бакинская, хазарская, хвалынская), занимавшие весьма большую площадь, сыграли значительную роль в формировании рельефа и составе почвообразующих пород Прикаспийской низменности, являющейся в настоящее время областью полупустыни и распространения «черных» земель, широко используемых для отгонного животноводства.

В четвертичном периоде часто повторялись сложные природные изменения. Это проявлялось в наступлении и отступлении ледников, неоднократных трансгрессиях и регрессиях Каспия, понижении и повышении базиса эрозии — врезании и аккумуляции рек, образовании террас, отложении нескольких ярусов лёссовых горизонтов и погребенных почв.

В целом на Русской равнине морских отложений в четвертичном периоде накопилось немного. Главная особенность горных пород — резкое преобладание континентальных фаций, отложение аллювия, элювия, эоловых и моренных горизонтов и т. д. Непродолжительностью четвертичного периода объясняется сравнительно небольшая мощность отложений (30—60 м и редко более), их рыхлость (ввиду короткого времени отложения не успели пройти стадию диагенеза). Поэтому эти породы обладают большей подвижностью и могут легко транспортироваться на значительные расстояния ветром и водой. Органический мир (растения и животные) не успел видоизмениться, поэтому в отложениях четвертичного периода не установлено руководящих форм пресноводных наземных моллюсков. Отличаются породы и тем, что в них находят остатки человека, орудия его труда и материальной культуры.

Своеобразны полезные ископаемые четвертичного периода: кроме различных стройматериалов (песок, гравий, глина), в современных водоемах происходит садка солей, мирабилита, извести и образуются некоторые виды топлива — торф, сапропель и болотно-озерные железные руды. Иногда в аллювиальных песчаных россыпях содержатся самородные металлы — золото, платина, некоторые драгоценные камни — алмазы, изумруды и др.

Четвертичные отложения в виде чехла почти повсеместно покрывают земную поверхность. Являясь почвообразующей породой, они в значительной мере обуславливают химические, физические и водные свойства тех или иных почв. Многие естествоиспытатели — А. Гумбольдт, Ч. Лайель, В. В. Докучаев — подчеркивали важность для сельского хозяйства знания происхождения, состава и условий залегания почвообразующих пород. Исключительное значение имеют лёсс и лёссовидные породы, которые покрывают поверхность материков более чем на 10% (рис. 78). Тонкий слой лёсса иногда обуславливает высокие урожаи сельскохозяйственных культур, давая человечеству, по словам А. Гумбольдта, больше богатства, чем все рудники, вместе взятые.

Л. С. Берг отмечал: «Важность лёсса для географа и агронома станет еще очевиднее, если мы вспомним, какое громадное практическое значение имеет эта порода; из нее образовались плодороднейшие почвы: черноземы, каштановые почвы, сероземы. Области развития лёсса являются кормилицами человечества; таковы украинские и аргентинские степи, оазисы Туркестана, лёссовые области Китая»*.

Значительна роль и моренных отложений.

Для выявления абсолютного возраста почв существенное значение имеет знание времени ухода ледника с территории Русской платформы. В. Р. Вильямс считал, что развитие почвообразовательного процесса исторически связано с отступлением ледника, так как, по его мнению, «...многие следы протекавших ранее земных биологических процессов были стерты, уничтожены льдом. По мере освобождения поверхности из-под ледника биологическим элементам суши пришлось заново завоевывать минеральную поверхность рухляка, отложенную отступающим ледником»**.

ЛЕДНИКОВАЯ ОБЛАСТЬ

Представления об оледенениях и межледниковых эпохах. Причины оледенений — одна из сложнейших и еще не решенных проблем современного естествознания.

Современная наука считает доказанным материковое оледенение в четвертичном периоде. Мнения геологов расходятся только о количестве оледенений, что вызвано сложностью расшифровки тех разнообразных документов, которые анализируют геологи. Резкое изменение физико-географической обстановки в области распространения ледникового щита выразилось в полном механическом уничтожении растительной и животной жизни, значительном изменении рельефа, а за границей щита — в изменении обводненности, рельефа и особенно климата, действовавшего в свою очередь на почвы, фауну и флору. После потепления климата и ухода ледника растительный и животный мир снова развивался, но уже в новой обстановке.

Геологи изучают мощность и состав отложений, фауну и флору и по ним пытаются восстановить историю развития различных областей, выясняя, имелись ли теплые периоды в ледниковую эпоху (межледниковые эпохи), а если были, то сколько раз и как долго они продолжались, на какую площадь распространялись и какую территорию занимали.

Некоторые геологи (В. И. Громов) признают только одно оледенение, другие несколько (С. А. Яковлев, А. И. Москвитин).

* Л. С. Берг. Географические зоны СССР. Географиздат, 1947, т. 1.

** В. Р. Вильямс. Почвоведение. Сельхозгиз, 1939, стр. 143.

Одна группа исследователей ограничивает распространение льдов на Русскую равнину, другая (В. Р. Вильямс) необоснованно допускает проникновение льдов на значительные территории, включая Приазовье, Заволжье. Большинство геологов в СССР (Г. Ф. Мирчинк, К. К. Марков и др.) для европейской части признают трехкратное оледенение в четвертичном периоде. Для азиатской части СССР до настоящего времени нет общепризнанных схем.

Для стратиграфического подразделения четвертичных отложений Русской равнины общепринятая номенклатура еще не установлена.

В СССР до настоящего времени часто пользуются терминами, предложенными А. Пенком и Е. Брюкнером для альпийских оледенений, — гюнц, миндель, рисс и вюрм (табл. 25). Сопоставить альпийские оледенения с бывшими в ФРГ и ГДР в Польше затруднительно. Еще труднее подобное сопоставление провести с оледенением в СССР, где центры их находились далеко от Альп — в Скандинавии, на Новой Земле, на Северном Урале и масштабы, а иногда и время не совпадали с альпийскими. Взгляды различных исследователей по этому вопросу значительно расходятся.

Автор придерживается представлений К. К. Маркова и И. П. Герасимова и описывает три самостоятельных оледенения — лихвинское, днепровское, валдайское (со стадиями), однако для новоледниковья, имеющего особенно большое значение для работников сельского хозяйства, рассматриваются также взгляды С. А. Яковлева и А. И. Москвитина.

Ледниковый период подразделяется на древний отдел (древнечетвертичный, или эоплейстоцен), средний (среднечетвертичный, или мезоплейстоцен) и новый (новочетвертичный, или неоплейстоцен). В соответствии с этим самое древнее, первое оледенение называют древнейшим, или лихвинским (по названию местности, где отложения этого оледенения наиболее полно изучены), за границей оно сопоставляется с миндельским оледенением (схема Пенка — Брюкнера, 1901—1909 гг.); второе — среднее, или максимальное, великое, днепровское и, по западноевропейской схеме, рисское; третье — новое, или валдайское, на западе — вюрмское*.

Участки территории З. Европы и СССР, покрытые великим (максимальным) и новым (валдайским) оледенениями, показаны на рисунках 77 и 78. Площади, занятые льдами на территории Сибири, еще точно не установлены. Полагают, что из-за сухости климата (крайняя бедность снежными осадками и сравнительно

* В настоящее время подобное сопоставление уже имеет исторический характер, так как масштабы оледенений, а иногда и время их в СССР не совпадают с альпийскими.

Сопоставление схем оледенений по различным представлениям

| Стратиграфия | Название оледенений | | | |
|---|--------------------------------------|---|--|---|
| | А. Пенк и Е. Брокдорф (1901—1905) | А. Н. Моксинин (1950) | С. А. Яковлев (1947—1964) | К. К. Марков, И. П. Герасимов (1933) |
| Новочетвертичный отдел | | Шестое — ошаксовское | Четвертичное — новоледниковые | |
| Q _{III} Новый отдел | Четвертое — вюрм | Пятое — казининское | Третье — новоледниковые Второе — новоледниковые (вюрм) Первое — новоледниковые | Третье — валдайское |
| Среднечетвертичный отдел Q _{II} | Третье — рисс | Четвертое — московское Третье — диспрровское | Среднеледниковые | Второе — диспрровское |
| Средний отдел | | | | |
| Древнечетвертичный отдел | Второе — мишль | Второе — верхнемишльское Первое — окское | Второе — дремелединокое Первое — дремелединокое | Первое — анжуйское |
| Q _I Древний отдел | Первое — гюнц | | | |

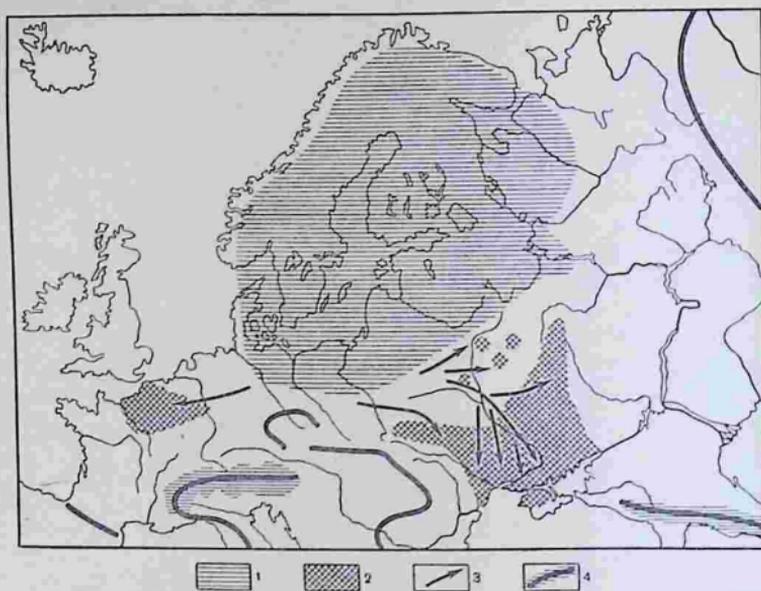


Рис. 77. Новое оледенение в Европе:

1 — область распространения вюрмского ледника, 2 — ледсы вюрмской ледниковой эпохи, 3 — направление ветров, 4 — горные хребты

высокая температура лета) материковое оледенение занимало там сравнительно-небольшую территорию.

Центральная и Восточная Сибирь в ледниковое время представляла собой огромную территорию, на которой существовали условия, благоприятствовавшие непрерывному развитию органической жизни. В Восточной Сибири было только горное и предгорное оледенения. В Западной Сибири вместо мощного ледникового щита преобладал ледниковый покров сравнительно небольшой толщины и существовали отдельные центры оледенения, один из которых находился на Таймыре. Льды отсюда распространялись на юг, где таймырский ледниковый покров соединялся с сибирским. Далее этот ледник распространялся к западу, где у р. Сургута он сливался с новоземельско-уральским ледниковым покровом. На севере Западной Сибири выделяют зырянское (сопоставляемое с валдайским), самаровское (днепровское) и ярское (лихвинское) оледенения. Границы первых двух показаны на рис. 78.

Неясным остается вопрос о продолжительности самостоятельных оледенений и длительности периодов теплых межледниковий. Некоторые геологи полагают, что в течение какого-либо одного оледенения, например днепровского, ледник не был не-

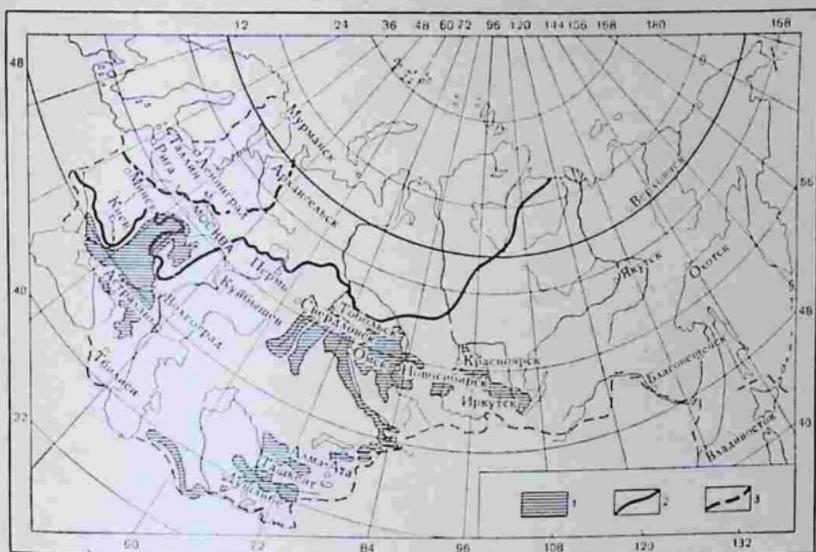


Рис. 78. Границы оледенений в СССР и распространение лёссовидных пород:

1 — лёссовидные образования, 2 — граница максимального оледенения, 3 — граница нового оледенения

подвижным, он таял, отодвигался на север, вновь наступал, южная граница льдов испытывала колебания. В связи с этим в европейской части СССР выделяют ряд фаз, или стадий. А. И. Москвитин трактует стадию отступления днепровского ледника на север как самостоятельную фазу оледенения, называя ее московской. Граница этого оледенения проходит к югу от Москвы (рис. 79); морена установлена в Москве на Ленинских горах. Одну из таких же стадий наступания, но уже нового оледенения А. И. Москвитин выделяет как самостоятельное оледенение (граница показана на карте, рис. 79), называя его калининским. Другие ученые (К. К. Марков) рассматривают эти горизонты морен как фазы временного отступления в днепровском оледенении: днепровскую и московскую, разделенные большим межстадиальным промежутком. В валдайском оледенении также выделяется ряд фаз, в том числе и калининская фаза.

Сопоставление во времени событий, происходящих в ледниковой области (моренные горизонты), с отложениями на территориях, не испытавших оледенения (ярусы лёсса, речные террасы, морские трансгрессии), представляет большие трудности и по-разному трактуется различными исследователями.

Древнечетвертичный отдел (эоплейстоцен), древний отдел — Q_1 — раннечетвертичное время. События, происходившие в это время, изучены еще недостаточно. В начале четвертичного

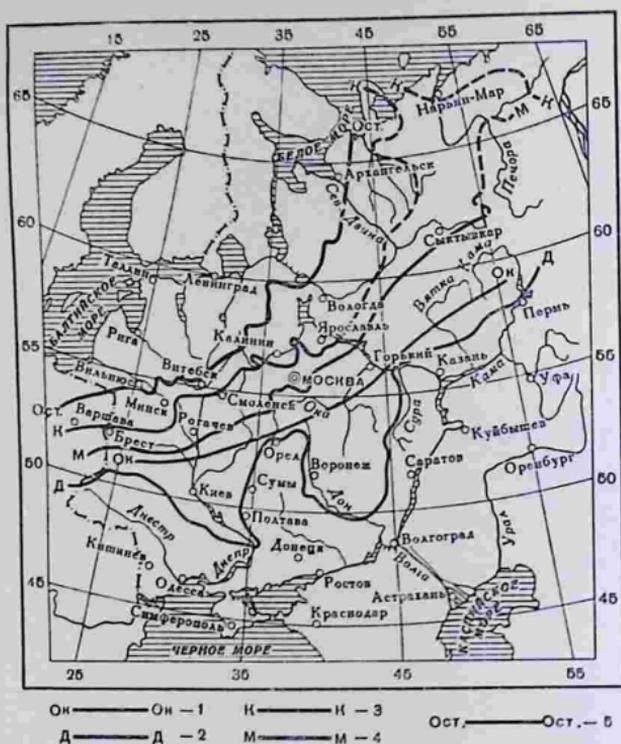


Рис. 79. Распространение оледенений в европейской части СССР:

1 — предполагаемые границы оокского оледенения, 2 — границы днепровского оледенения, 3 — границы калининского оледенения, 4 — границы московского оледенения, 5 — границы оставковского оледенения. (Пунктир — предполагаемые границы)

периода после погружений, начавшихся в конце плиоцена, Русская платформа испытывает подъем: береговые линии континента меняются, усиливается денудация, изменяются очертания морей; впадина на месте нынешнего Черного моря, занятая водами, была меньше современного Черного моря; наоборот, бассейн, существовавший на востоке, значительно превосходил Каспийское море. Иной была и гидрографическая сеть: территорию равнин прорезали водные потоки, далекие «предки» современных Волги, Днепра, Дона, оставившие после себя террасы (самые верхние), часто весьма плохой сохранности. На территории Западной Сибири простиралась обширная аллювиальная равнина.

Около 500 тыс. лет назад наступило прогрессивное похолодание: теплолюбивая фауна (крупные млекопитающие — южный

слон, этрусский носорог, эласмотерий) вымирает (по В. И. Громову); на смену им появляются слон Вюста, носорог Мерка, верблюд, лось, бизон. На территории, занятой льдами, хвойные леса погибают. К югу от них саванны Причерноморья сменяются травянистыми сообществами с малым участием древесных пород (В. П. Гричук).

На карте (рис. 78) видно, что территория, занятая древним оледенением, была значительной. Выходов отложений древнего оледенения на Русской равнине известно немного, например обнажение на р. Оке у г. Лихвина, а также в Подмосковье, на р. Яхроме. В ряде буровых скважин Московской, Калининской, Ярославской областей была вскрыта древняя донная морена. Состав моренных отложений сильнопесчанистый, цвет буро-серый, черный или желто-бурый. Валунные кремнеземные, с примесью фосфоритов, известняков, черных юрских глин и красных, каменноугольных. Реже встречаются красные и серые граниты и гнейсы, темные диабазы. Мощность моренных отложений — от 2 до 5 м. Морена обычно залегает на значительной глубине, сверху перекрыта моренными горизонтами более молодых оледенений, флювиогляциальными, аллювиальными отложениями, лёссовидными суглинками, вследствие чего она не является почвообразующей породой.

Вне территории, занятой ледником на Украине, с горизонтом древней морены в возрастном отношении синхронизируется древний ярус лёсса, на котором образовался полутораметровый слой миндель-рисского чернозема Украины.

В археологическом отношении ранне- и среднечетвертичное время составляют эпохи нижнего палеолита, которые характеризуются: первая — синантропом (*Sinanthropus pekinensis*), вторая — неандертальским человеком (*Homo neandertalensis*).

Среднечетвертичный отдел — Q₂, средний отдел, мезоплейстоцен — среднечетвертичное время. Потепление климата и в связи с этим таяние ледника и его уход с территории Русской равнины вызвали значительные изменения в фауне и флоре. В лихвинско-днепровское межледниковье на территории Евразии был распространен так называемый хазарский фаунистический комплекс, выделенный под названием «Волжская фауна». Эта фауна была распространена на громадной территории Восточной Европы и Северной и Средней Азии, занимая зону между 45 и 60° с. ш., доходя на востоке до пределов Забайкалья, а на западе — включая Англию и Францию. В южной части СССР были распространены бизоны (*Bison priscus longicornis* gr.), верблюды (*Camelus knoblochi* Nehr.). В более северных частях (устье р. Камы) были обнаружены уже явно лесные формы — лось, бурый медведь и очень крупный бобр. С развитием ледников днепровского оледенения некоторые животные вымирают (верблюд, эласмотерий), появляется северный олень

(*Rangifer tarandus*), шерстистый носорог (*Rhinoceras antiquitatis* Blum).

С наступлением теплого периода межледниковья Русская равнина начинает заселяться теплолюбивой флорой (тисс — *Taxus baccata*, граб — *Carpinus betulus*, бук — *Fagus sylvatica*), распространявшейся с юго-запада, где она пережила эпоху оледенения.

Во второй половине межледниковья, когда климатические условия стали ухудшаться, растительность вновь приобретает более северный облик. Ученые выделяют четыре фазы лесных формаций, последовательно сменявшие одна другую: 1) еловых лесов; 2) смешанных елово-дубовых лесов; 3) смешанных грабово-еловых лесов; 4) еловых лесов. В фазу климатического оптимума в лесах Русской равнины произрастали средиземноморско-атлантические виды — тисс, граб, бук, злаки, осоковые, разнотравье, зеленые и сфагновые мхи и т. п. В фазу максимального распространения льдов почти вся внеледниковая область была занята травянистой ксерофильной растительностью. Льды в эту эпоху на территории Русской равнины вдавались двумя языками по Днепру и по Дону далеко на юг — до 48,5° с. ш. (рис. 77, 78). Площадь, занятая льдами в это время, намного превосходит площадь древнего оледенения, в то время как в Западной Европе площади этих двух оледенений почти совпадают. Это объясняется тем, что, как показывает литологический состав валунов, ледниковый покров не был однородным, исходившим только со Скандинавского полуострова, а представлял собой сложное образование из трех ледниковых покровов: Скандинавского, Новоземельского и Новоземельско-Уральского, сливавшихся в один сплошной Скандинаво-Новоземельско-Уральский щитообразный ледник.

По данным С. А. Яковлева, основную часть льда образовал Скандинавский ледниковый покров. Новоземельский ледник распространялся только по северной части Русской равнины, сливаясь со скандинавским льдом примерно по линии Вологда — Киров. Под напором новоземельского льда скандинавский лед отжимался к югу, чем было вызвано образование днепровского и донского ледниковых языков. Площадь этого ледника только на Русской равнине достигала 5 млн. км² (С. А. Яковлев). В зависимости от происхождения валунов можно выделить на равнине три центра разноса валунов: 1) скандинаво-финно-карельский; 2) новоземельско-канинско-пайхойский; 3) новоземельско-уральский.

Согласно С. А. Яковлеву, основная масса средней морены состоит главным образом из глинистых частиц с содержанием мелкозема (пыль, глина) 30—45%. Встречаются также супесчаные и песчаные морены, содержащие небольшое количество мелкозема — от 10 до 20%. Цвет морены непостоянный, смена

окраски, как правило, вызывается процессами выветривания, чаще всего она бывает буро-коричневой, буро-красной и буро-серой.

Некоторые исследователи (Б. М. Даньшин) в Подмоскowie выделили два горизонта морены: нижний (днепровская фаза) и верхний (московская фаза). Мощность нижнего горизонта сильно колеблется вследствие размыва в долинах. На междуречьях мощность достигает 10—20 м, в других участках она изменяется до 5 м. По Б. М. Даньшину, морена залегает плащеобразно, опускаясь с отметок 200—240 м близ водоразделов до 110 м абсолютной высоты в долинах. Состав морены различен: на водораздельных пространствах — это плотный суглинок с редкими включениями песка; в долинах — переслаивание валунного суглинка с линзами песка и галечника. Состав валунов неоднороден: встречаются и известняки с доломитами, и кремни, и фосфориты, и магматические породы. По механическому составу морена содержит: фракций мелкого песка и пыли 0,25—0,01 мм в количестве 40—65%, фракций менее 0,01 мм — от 10 до 35%; частиц меньше 0,005 мм — 7—21%.

По данным К. К. Маркова, песчаные отложения, залегающие между горизонтами морен на Ленинских горах в Москве, на основании изучения пыльцы некоторых растений, обнаруженных в отложениях, следует рассматривать как отложения не полностью растаявшего ледника, несколько отодвинувшегося к северу. Это типичные холодные московско-днепровские межстадиальные отложения, а не теплые межледниковые. Пыльца отдельных групп растений резко отличается от пыльцы межледниковой, так как характеризуется отсутствием теплолюбивых видов.

Верхний горизонт морены (московская фаза) в Подмоскowie, по данным Б. М. Даньшина, сложен красно-бурым суглинком и супесью и в верхней части настолько выщелочен, что морена часто вскипает от кислоты с глубины 3—5 м. Среди валунов преобладают магматические породы — граниты, гнейсы, кварцевые порфиры. Мощность верхнего горизонта 6—15, редко до 25 м. В других районах центральной полосы европейской части СССР (к северу от Москвы) также установлены два моренных горизонта. Так, в полосе Клинско-Дмитровской гряды хорошо прослеживаются верхний горизонт (калининское оледенение, или калининская фаза валдайского оледенения) и нижний горизонт (московское оледенение, или московская фаза днепровского оледенения). Верхний горизонт в этих районах известен только на водораздельных пространствах и обычно не спускается ниже 160 м абсолютной высоты. На размытой верхней поверхности морены залегают различные покровные глины и суглинки мощностью от 2 до 5 м. Элювий и делювий морены на водораздельных пространствах центральной части РСФСР представляют

собой материнскую породу для различных почв. Значение верхнего горизонта морены, широко распространенного на Русской равнине, для образования почв очень велико. Состав, цвет, количество и размер валунов изменяются. На Смоленщине преобладают валуны магматических пород, цвет морены красновато-бурый. На севере Украины северных валунов становится меньше, попадаются валуны местных меловых пород, в связи с чем облик морены сильно видоизменяется — она становится желто-бурой. В области Среднего Приднепровья морена представлена настолько слабовалунной, пористой и тонкой породой, что ее называют «лѣссом с валунами» (Г. Ф. Мирчинк), В. Р. Вильямс именовал ее «карбонатной мореной».

Все эти изменения обусловлены различной степенью удаленности от центра оледенения. По мере ухода на юг ледник разгружался от крупных валунов, крупный обломочный материал, захваченный ледником, все больше перетирался, морена становилась однороднее, на ее окраске и составе все больше сказывалось влияние местного материала.

Особенности строения мезоплейстоцена в Западной Сибири еще выявлены недостаточно.

Новочетвертичный отдел (неоплейстоцен) — новочетвертичное время. Последнее оледенение было совсем недавно — по данным калий-аргонового метода — всего около 20 тыс. лет назад. Некоторые геологи в этом отделе выделяют несколько самостоятельных оледенений: С. А. Яковлев — четыре, А. И. Москвитин — два (калининское, осташковское), Г. Ф. Мирчинк, И. П. Герасимов и К. К. Марков — только одно (валдайское), рассматривая песчано-гравелистые отложения, залегающие между горизонтами морены, не как отложения межледниковых эпох, а как отложения нескольких фаз одного и того же самостоятельного оледенения.

Площадь распространения оледенения ограничивается обычно конечноморенными образованиями, но с получением новых петрографических и палеофаунистических материалов эта граница часто передвигается. Полное решение этого вопроса — дело будущего.

Недостаточно ясна и граница распространения новейшего оледенения, которому исследователи также дали разные названия: С. А. Яковлев — третье поволедниковье; К. К. Марков — валдайское; А. И. Москвитин — осташковское; А. П. Павлов и Г. Ф. Мирчинк отложения этой морены рассматривали как стадию вюрмского оледенения (неовюрм). Границы этого оледенения проводятся геологами по-разному.

Согласно В. П. Гричуку, для фазы климатического оптимума днепровско-валдайского межледниковья характерны следующие ландшафтные зоны: Крайний Север, примерно до 63° с. ш. —

хвойные леса, смешанные хвойно-широколиственные леса; значительная часть Русской равнины к северу от линии гг. Черкассы — Курск — Тамбов — Сызрань — широколиственные леса, в которых наравне с дубом (*Quercus*), вязом (*Ulmus*), липой (*Tilia*) росли граб, орешник; травянистая растительность была представлена злаками, разнотравьем, зелеными и сфагновыми мхами, папоротниками. К югу от этой линии (г. Черкассы — Сызрань) находилась зона лесостепи с широколиственными породами. С наступлением валдайского оледенения сплошных лесов на территории Русской равнины, по-видимому, не было. На территории, не занятой ледником, находились три зоны: тундра и лесотундра (местность к северу от Москвы), лесостепь (к югу от Москвы), степь (начиная с бассейна Дона и далее на юг).

Для фауны характерно смещение млекопитающих — представителей тундры, леса и степи, типичных для современной эпохи. Найдены костные остатки северных оленей, песцов, бурого медведя, бобра, лошадей, сусликов, тушканчиков. Находки эти встречаются в областях, где ныне существуют различные климатические и ландшафтные условия. Для позднеледниковья характерен уже человек современного типа — *Homo sapiens* (В. И. Громов).

Для днепровско-валдайского межледниковья (рисс-вюрма) характерны морские отложения. Так, на севере Русской равнины распространены морские межледниковые отложения трансгрессий Белого, Баренцова и Печорского морей, так называемая бореальная и онежская трансгрессии. Отложения бореальной трансгрессии лучше всего выражены по С. Двине, где на краснобурой морене с валунами лежат глинистые пески и супеси с обильной теплолюбивой фауной (моллюск *Cordium paucicostatum* Sow.); выше залегают темно-серые песчанистые глины с фауной, содержащей арктические формы моллюска *Ioldia arctica* Grau; еще выше идут желто-бурые слоистые супеси с глинистыми прослойками; далее следует размыв, поверх которого устанавливаются слоистые пески, относимые уже к новой, более молодой трансгрессии (беломорской — онежской); еще выше залегают пресноводные озерные осадки, ленточные глины, перекрываемые вюрмской мореной.

Таким образом, в некоторых районах севера европейской части почвообразующими породами наравне с моренными и межледниковыми отложениями с древесной растительностью и торфяниками появляются и морские осадки бореальной трансгрессии — глинистые пески, супеси, песчанистые глины с морской фауной.

Во всех других областях, испытавших новое оледенение, почвообразующими породами служит разнообразный флювиогляциальный, озерно-ледниковый и ледниковый материал — неоднородные пески, супеси, суглинки с гравием, галькой и валунами магматических пород финско-карельского происхождения. Озер-

но-болотные отложения представлены торфяниками, песками, глинами; межледниковые — ленточными глинами и песками, лёссовидными суглинками с прослоями супесей, песков. Морена этого оледенения сложена красно-бурыми суглинками от 1 до 6 м мощности, утолщающимися в конечноморенных участках до 10—30 м. Кристаллические валуны морены целиком скандинавского, финляндского и кольского происхождения. Под суглинками часто находят торфяники с пыльной бразени и других теплолюбивых растений, характерных для днепровско-валдайского (рисс-вюрмского) межледниковья. Сверху на морене во многих районах Калининской, Ивановской, Костромской, Вологодской областей широко распространен лёссовидный суглинок.

Географическими последствиями материкового оледенения в европейской части СССР явились: образование тундровой и ледяной зон, изменение климата лесной зоны в направлении ее холодоустойчивости, остепнение южных районов территории.

ВНЕЛЕДНИКОВАЯ ОБЛАСТЬ

Эта территория лежит к югу от границы днепровского оледенения, занимая значительную площадь. Здесь выделяются следующие области.

1. Южно-русские степи (значительная часть Украинской ССР, Северный Кавказ); почвообразующие породы — различные лёсы и лёссовидные суглинки.

2. Северо-восточное Заволжье; почвообразующими породами служат различные элювиальные, делювиальные суглинки, сыровые глины.

3. Юго-восточное Заволжье — зона полупустынь. Эта территория занята солончаками недавней Арало-Каспийской трансгрессии.

Последние этапы геологической истории этих областей в четвертичный период были неодинаковыми, что обусловило большое различие в поверхностных почвообразующих породах.

Южно-русские степи — Украина, Курская область, Краснодарский край. По В. П. Гричку, на территории, не занятой ледником, в течение днепровско-валдайского межледниковья на правом берегу Днепра к востоку от г. Черкассы намечается зона широколиственных лесов с дубом, вязом, орешником и травянистой растительностью, состоящей из злаков, осок, зеленого мха; на остальной территории — лесостепь с липой, в травяном покрове — осоковые, злаки и лебедовые. Валдайское оледенение изменило границы растительных зон, и, как уже говорилось выше, большая часть описываемой территории была занята степью с незначительным участием древесных пород (сосна, береза). В этой зоне была распространена смешанная фауна:

наряду с тундровыми формами обитали и животные, живущие в степи (байбак, тушканчик, суслик). Это говорит о том, что элементы степной фауны в современных степях появились гораздо раньше. Степи сложены суглинками, глинами, песками, лёссами и лёссовобразными породами.

Агрономическое значение лёсса как почвы исключительно велико. Только на территории УССР, Воронежской и Курской областей лёсс занимает площадь около 574 000 км² (Л. С. Прасолов) (рис. 78).

На Украине в пределах днепровского языка оледенения широко распространены лёссы. В Восточной Украине и на Северном Кавказе, наоборот, преобладают лёссовидные породы. В обеих областях встречается много погребенных почвенных горизонтов. Так, в Курской области акад. В. Н. Сукачев выделял до пяти-шести таких горизонтов.

Мощность лёсса колеблется от 5—10 до 25—35 м. Механический состав его различен: на террасах лёсс всегда грубее, чем на водоразделах, причем на более низких террасах он грубее, чем на второй надпойменной (высокой) террасе. По вертикали состав всей толщи лёсса более или менее одинаков.

Лёсс обладает высокой пористостью — до 45—50%. На Северном Кавказе в лёссе очень сильно распространены просадочные явления, на многих полях имеется большое количество так называемых подов, или блюдец, западин. Блюдца особенно распространены на водоразделах. На террасах рек, на дне ложин и оврагов они отсутствуют. Процесс просадки — сложное явление. По-видимому, он объясняется уменьшением объема породы при увлажнении, когда легкорастворимые соли выщелачиваются и суглинки оседают. При этом большое значение имеет минералогический состав пород. Так, просадочность лёсса обуславливается присутствием коллоидно-дисперсных минералов, в частности каолинита. В лёссах, где преобладает этот минерал, при увлажнении породы поры еще более увеличиваются, в них проникает вода, вымывает соли, затем лёсс уплотняется и образуются просадочные явления — степные блюдца. Иначе протекает этот процесс, когда в лёссах преобладает монтмориллонит. В этом случае просадки не образуются, так как монтмориллонит поглощает воду, набухает, сжимая поры и щели в суглинках, и вода почти не проникает в глубь породы.

Область северо-восточного Заволжья. Эта область развития почвообразующих отложений континентального происхождения. Южная граница ее — приблизительно линия, проходящая от Камышина на Новоузенск, Уральск, Оренбург; северная граница максимального оледенения — линия, проходящая через Киров, Глазов на Пермь. На этом огромном пространстве на поверхности залегают разнообразные аллювиальные, делювиальные, элювиальные, элювиально-делювиальные, флювиогляциальные

отложения и, наконец, сыртовые глины Заволжья, которые, по С. А. Яковлеву, играют такую же роль в строении четвертичных отложений, как лёссы в западной части южной половины Русской равнины.

Все эти самые разнообразные по происхождению, составу, условиям залегания породы В. Р. Вильямс ошибочно именовал «пермской мореной», полагая, что она состоит или из чистого рухляка выветривания пестрых пермских мергелей, или этот рухляк составляет преобладающую примесь к рухляку алюмосиликатных, кварцевых и карбонатных пород.

Возвышенность Общий Сырт в верховьях р. Бузулук достигает высоты 288 м, а в верховьях р. Самары — 358 м. Эта местность обычно расчленена долинами на отдельные увалы, особенность которых состоит в неравносклонности: склоны, обращенные на юг, всегда более круты, чем северные. Поверхность сыртов в области распространения известняков и песчаников имеет плоский вид; в участках, где распространены глины и мергели, рельеф волнистый и сильнорасчлененный.

Площадь распространения аллювиальных отложений вдоль долины Волги достигает ширины 75—100 км при мощности пород до 100 м. Аллювиальные отложения речных террас этой области в агрономическом отношении представляют большой интерес, так как в ряде районов почвы, развитые на них, отличаются высоким плодородием.

Делювиальные отложения залегают на балочных склонах, по склонам долин, на склонах возвышенностей в форме обширных чехлов, состоящих из тонкосортированного глинистого материала на пологих склонах и более грубозернистых и щебневатых наносов на крутых склонах. Мощность шлейфов у основания склонов 10—15 м. Е. В. Шанцер установил в делювии балок Средней Волги погребенный почвенный горизонт типа деградированного чернозема, разделяющего делювиальный суглинок на два яруса, что позволило установить возраст этих образований.

Элювиальные отложения распространены небольшими участками на Красноуфимском плато. На более высоких пунктах, между гг. Кунгуром и Оса, плато сложено щебенчато-песчаными разностями. В случае выхода на поверхность конгломератов пермского возраста элювий состоит из галек и небольших валунов.

Значительные пространства водораздельных участков в Башкирии, высоком Заволжье и на гряде Общего Сырта сложены элювиально-делювиальными отложениями, состоящими из щебня, глины, суглинков и песка.

Большое распространение в области получили так называемые сыртовые глины, покрывающие глинистым чехлом мощностью до 30 м значительную территорию Заволжья — гряды

Общий Сырт, сыртовую степь. Возраст и генезис этой интересной толщи еще до сих пор не выяснен. Самую верхнюю часть сыртовых глин мощностью около 10—13 м Ф. П. Саваренский относил к континентальным образованиям; имеются и другие мнения. В литологическом отношении в сыртовых глинах выделяются снизу вверх три слоя: 1) ярко-желтый, пестроокрашенный суглинок пойменного характера; 2) малиново-бурая, выше красно-бурая глина, тяжелая, плотная с мелкими «перцевидными» марганцево-железистыми конкрециями; 3) сходная со вторым слоем глина, но измененная почвообразовательными процессами от каштанового до грязно-серого цвета с известковистыми конкрециями и друзами гипса. Верхний слой красно-бурых глин широко распространен в пределах самарского и высокого Заволжья. В понятие «пермская морена» В. Р. Вильямс включал и этот горизонт красно-бурых глин.

Зона полупустынь — юго-восточное Заволжье. Недавняя геологическая история этой области — пример влияния морских трансгрессий на формирование рельефа и особенностей материнских почвообразующих пород. Для зоны характерны: существование в течение четвертичного периода четырех крупных замкнутых морей — Апшеронского, Бакинского, Хазарского и Хвалынского, которые приурочивались к каспийской депрессии, и полупустынный климат.

По мнению геологов, между трехкратным развитием оледенений и трехкратными крупными разливами Каспия в четвертичный период существовала причинная связь. В начале оледенений огромное количество воды превращалось на суше в материковый лед, в морях в эту фазу уровень бассейна понижался, размеры его сокращались, соленость вод возрастала. На суше вследствие понижения базиса эрозии усиливался размыв, врезались речные долины. С потеплением климата наступала следующая фаза — ледник таял, количество воды в бассейне увеличивалось, соленость его понижалась, уровень вод повышался, бассейн выходил из своих берегов и затоплял значительное пространство прилегающей суши — происходила трансгрессия. Одновременно с этим базис эрозии повышался, уменьшались размывы и эрозия, откладывались мощные аллювиальные толщи, разрастались поймы рек.

Третья фаза наступила после полного растаивания ледника, когда установилось теплое межледниковое время, подобное современному в области Прикаспийской низменности. В это время испарение превосходит количество выпадающих осадков, уровень бассейна прогрессивно снижается и сокращается в размерах; реки углубляют свои русла, увеличивается размыв, пойменные террасы выходят из-под уровня половодья и превращаются в высокие надпойменные террасы. Одновременно с этим на суше преобладают делювиальные и элювиальные процессы,

накапливаются континентальные отложения, образуются различные почвы.

Подобные процессы в антропогене (но каждый раз в новой обстановке) повторялись несколько раз и осложнялись еще горообразовательными процессами, происходившими на Кавказе.

Для Прикаспийской области характерна гладкая, как стол, низменность, лежащая ниже уровня океана. Почвы и горные породы, поверхностные и грунтовые воды сильно засолены, на территории много соленых озер, большие площади заняты солончаками. Междуречье низовьев Волги и Урала представляет своеобразное «царство соли». В недрах этого пространства не менее 2000 соляных куполов, которые в местах выхода на поверхность, растворяясь, образуют до 3,5 млн. т соли в год.

Растительный и почвенный покров отличаются нестротой. Материнскими почвообразующими породами в этой области являются: морские отложения каспийских трансгрессий, континентальные образования — аллювиальные и эоловые пески, элювиальные отложения.

Морские отложения хвалынского яруса (Q_{III}) широко распространены в северном Прикаспии. Делятся они на два горизонта — нижнехвалынский и верхнехвалынский. Первый из них развит наиболее полно, отложения представлены глинистыми осадками, имеющими характерный шоколадный оттенок. На водоразделах эти породы несколько опесчаниваются, переходят в супеси и суглинки, приобретая более светлый оттенок. В более глубоких частях этих отложений встречается пыльная растительная таежного типа. Мощность этого горизонта от 3 до 8 м.

Верхнехвалынские отложения занимают меньшую площадь и представлены преимущественно песками с фауной. Характерная особенность этих образований — их значительная переработка эоловыми процессами позднейшего времени. Для южной части Прикаспийской низменности и дельты Волги характерны продолговатые параллельные холмы правильной формы, известные в литературе как «бэровские бугры». Мощность песков до 10 м. Происхождение «бэровских бугров» не вполне ясно.

Окончание валдайского оледенения и трансгрессий Каспийского моря совпадает с окончанием палеолита — длительного периода истории развития человеческого общества.

Представления о происхождении пояса многолетнемерзлых пород и о причинах материковых оледенений. Возникновение и сохранение в земной коре в течение длительного геологического времени постоянных отрицательных температур и прослоев льда — сложный вопрос, не вполне еще решенный наукой. Известно несколько точек зрения о возникновении мерзлых пород: 1) итог холодного ледникового периода; 2) результат современного теплообмена в системе земная кора — атмосфера; 3) наследие прошлого и результат климата современного периода.

Последняя точка зрения в настоящее время принята большинством ученых. Имеются факты, с одной стороны подтверждающие, а с другой — опровергающие связь между мерзлыми породами и древними оледенениями.

В истории Земли известны эпохи, когда теплый климат сменялся похолоданием, и огромные ледяные покровы спускались с гор и с поднятых тектонических плато, покрывая мощным ледяным панцирем большие территории. Так, в конце третичного периода произошло резкое похолодание и в Европе: на тропические леса из Скандинавии и Новой Земли надвинулись льды.

Причины неоднократного изменения климата и наступления ледниковых эпох в истории Земли принадлежат к одним из наиболее сложных и еще не решенных вопросов, по которым имеются несколько точек зрения; их можно свести к нескольким основным представлениям.

1. Изменения климата и материковые оледенения связаны с положением Земли относительно Солнца (смещение полюсов, изменение угла наклона земной оси) — астрономические гипотезы.
2. Изменения климата и оледенения вызваны состоянием воздушной оболочки Земли — метеорологические гипотезы.
3. Изменения поверхности Земли обусловлены трансгрессиями, горообразовательными процессами — геологические гипотезы (рис. 80).

Поскольку Солнце является переменной звездой, то современное изменение климата в сторону потепления «солнечно обусловлено» колебанием солнечной ультрафиолетовой радиации. Известно, что в различные периоды земная поверхность занимает разное положение по отношению к Солнцу: так, каждые 200 000 лет изменяется эксцентриситет земной орбиты от 0,0033 до 0,078, через каждые 40 000 лет меняется угол наклона земной оси к плоскости эклиптики от 63,5° до 68,5°, в связи с чем изменяется положение полярных кругов и тропиков и через период времени в 12 900 лет больше тепла от Солнца получает то одно, то другое полушарие.

Непостоянно и расстояние Земли от Солнца. Перемещение полюсов вызывает непериодическое перемещение земной оси. Надо также учитывать, что Земля во время обращения по орбите проходит через более холодные участки мирового пространства, вследствие чего она охлаждается, что может привести к образованию ледниковых шапок.

Климат на Земле постоянно изменяется. Эти наблюдения сводятся к следующему:

1. Десятилетняя средняя температура зимы в Средней Европе за 25 лет наблюдений возросла на 2,5°, а годовая температура — на 0,6°, продолжительность вегетационного периода увеличилась на 2—3 недели. С 1830 г. ледяной покров Балтийского моря уменьшился с $\frac{1}{4}$ млн. до $\frac{1}{6}$ млн. км².

2. На высоких широтах произошло резкое сокращение льдов; толщина полярных льдов во время экспедиции Нансена (1893—1896 гг.) была 3,65 м, во время экспедиции Седова (1937—1940 гг.) — только 2,18 м, а ныне менее 2 м; уменьшились льды в сибирском секторе Арктики, ледники в Гренландии, на Аляске. В Исландии освободились от льда площади земли, которые распахивались 600 лет назад, но с тех пор были погребены подо льдом. Период навигации от острова Шпицберген с 1900 г. удлинился с 3 до 7 месяцев.

В настоящее время хорошо прослежено потепление на высоких широтах. Причины его климатологи видят в изменении солнечной активности, а также в изменении климата Европы и сокращении льдов в Арктике. Полагают, что эти изменения возникли в результате совпадения фаз колебания солнечной активности с периодом около 90 лет и 250-летнего колебания, связанного с изменением скорости вращения Земли. Это приводит к изменениям в отклоняющей силе вращения Земли и воздействует на направление воздушных потоков.

К гипотезам метеорологического характера следует отнести представления об изменении климата от колебаний состава атмосферы (содержание в воздухе углекислоты, водяного пара, вулканической пыли и облачности).

По представлениям Аррениуса, климат систематически изменяется от содержания в атмосфере углекислоты. Сейчас ее в атмосфере 0,03%. По его мнению, если количество углекислоты уменьшится вдвое, т. е. до 0,015%, то температура понизится на 4—5°С и вся Европа покроется мощным ледником. Другие ученые полагали, что оледенение вызвано недостатком углекислого газа вследствие поглощения его пышной растительностью каменноугольного и третичного периодов, которая законсервировала много углерода в пластах угля.

Вулканическая пыль, лесные пожары, облачность также понижают температуру воздуха. Так, при извержении вулкана Катмай на Аляске в 1912 г. коэффициент прозрачности воздуха с 0,76 понизился до 0,58, а в отдельные дни достигал только 20% от нормального, что и понизило температуру.

В 1915 г. лесные пожары в Сибири заняли площадь около 1 600 000 км², а дым от этих пожаров распространился на площади 6 млн. км², достигнув Европы. Вследствие этого солнечная радиация уменьшилась до 65%. Пожары длились 50 дней, при этом созревание пшеницы, ржи запоздало на 10—15 дней.

Температура на поверхности Земли зависит и от облачности воздуха. По Бруку, изменение облачности на 10% дает понижение или повышение температуры на поверхности Земли примерно на 10°С.

Гипотезы геологические можно подразделить на две группы: а) палеогеографические, с помощью которых стремятся устано-

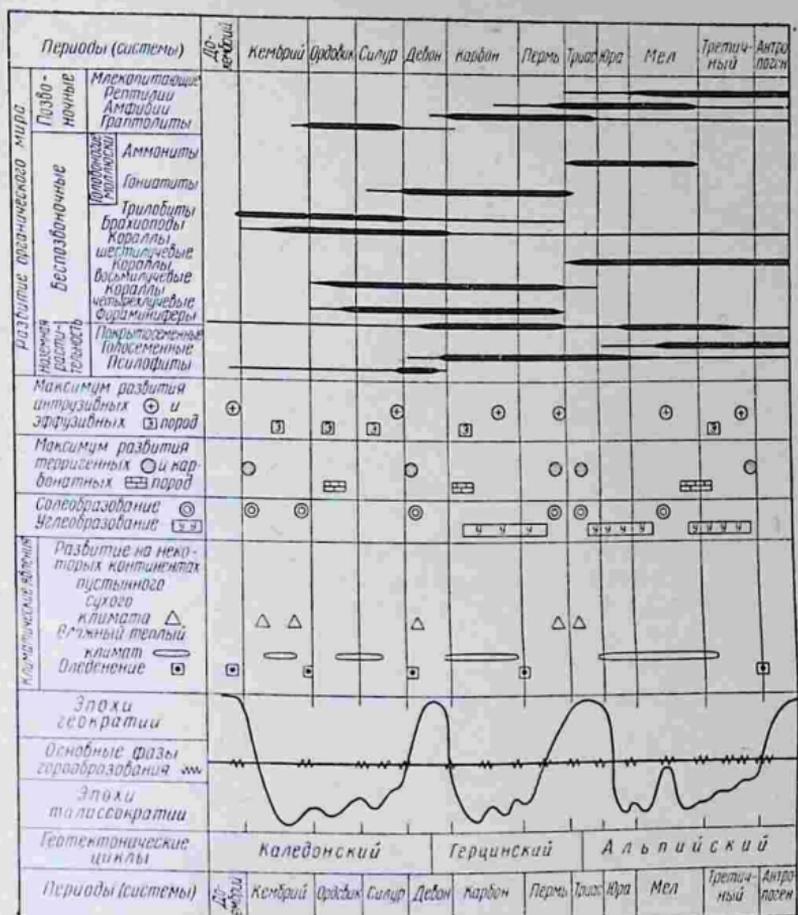


Рис. 80. Зависимость некоторых явлений и развития органического мира от движений в земной коре

вить колебания в климате в связи с распределением суши и моря на поверхности Земли;

б) тектонические, в основу которых кладутся представления о том, что горообразовательные процессы способствуют охлаждению поднимающихся поверхностей Земли (рис. 80).

Образование гор влияло на климат. Известно, что над горами слой атмосферы тоньше, чем в низинах, и поэтому воздух беднее углекислотой и водяными парами. Эти участки атмосферы представляют собой как бы «дыры в парнике», сквозь которые тепло уходит в мировое пространство. Эти условия могли быть благоприятными для накопления в горах ледников. Влажные ветры задерживались в горных местностях и увеличивали количество осадков; так как температура в горах была низка,

осадки выпадали там в виде снега и ледники увеличивались, а затем начинали сползать в низины.

В те периоды истории Земли, когда горообразовательные процессы прекращались, горы постепенно разрушались эрозией, хребты понижались. Оболочка атмосферы становилась более толстой и равномерной. Наступало потепление, ледниковые покровы исчезали, ледники сохранялись в полярных странах и высокогорных местностях. Подобная обстановка имеет место и в нынешнее, послеледниковое время.

По взглядам И. Д. Лукашевича, при трансгрессиях температура на суше поднимается на $1-2^{\circ}\text{C}$ и нагревание огромных океанических масс сказывается на суше. Климат становится морским. Для оледенения достаточно понижения температуры лета всего на $4-5^{\circ}\text{C}$, поэтому при увеличении площади суши и усилении континентальности климата температура понизится, и при обилии осадков на суше может образоваться ледниковый покров.

Известно, что в третичный период на территории современных ГДР и ФРГ росли пальмы, магнолии, в Арктике было тепло, там произрастали широколиственные леса. Это обстоятельство, по-видимому, обусловлено связью в третичное время Ледовитого океана с Атлантикой — массы теплой воды препятствовали понижению температуры. Современное потепление Арктики находит объяснение в притоке тепла с юга. Однако в Палестине климат за 3000 лет почти не изменился, что подтверждает сильное потепление только в высоких широтах (до 40° с. ш.).

Вторым, весьма важным фактором для образования ледников является большое количество осадков в виде снега. В Якутии — Оймяконе, так называемом полюсе холода Северного полушария, — средняя температура воздуха в январе -56°C , но количество осадков зимой всего 100—120 мм. Климат там континентальный, снеговой покров очень тонок, менее 0,5 м. В этом районе нет никакого оледенения.

В Новой Зеландии, расположенной в южной части Тихого океана, где средняя годовая температура около 10°C тепла, в горных хребтах, достигающих высоты всего 3000 м, образуются огромные ледники, сползающие почти до подножья гор, покрытых тропической растительностью. Климат там морской, в горах выпадает более 4000 мм осадков в год, ветры задерживают влагу. Легко представить, что, если бы среднегодовая температура в Новой Зеландии понизилась, это привело бы к сплошному оледенению.

В истории Земли известно несколько горообразовательных этапов, ряд материковых крупнейших оледенений (см. рис. 80) в протерозое (Канада, Центральный и Западный Китай, Австра-

ля, Южная Африка), в верхнем карбоне (Африка, Южная Америка, Австралия).

Основной причиной изменения климатических условий на рубеже третичного и четвертичного периодов можно считать поднятие современных материков над уровнем суши. Однако в четвертичный период была не одна, а несколько ледниковых эпох, вследствие чего только первое оледенение может быть тесно связано с горообразовательными процессами неогена и последующей трансгрессией. Ритмичность оледенений в четвертичном периоде поддается объяснению с большим трудом.

Некоторые ученые считают, что это явление обусловлено влиянием периодических изменений в интенсивности солнечной радиации на поверхности Земли, происходящих в свою очередь в результате периодических изменений в наклоне эклиптики, изменений эксцентриситета земной орбиты и перемещения точки перигелия. Подсчеты югославского математика М. Миланковича показали, что в зависимости от этих причин за последние 650 000 лет в интенсивности солнечной радиации на поверхности Земли имелись четыре ясно выраженных минимума, которые можно сопоставить с четырьмя установленными для Западной Европы оледенениями.

Таким образом, очевидно, что твердо обоснованной точки зрения на изменения климата в науке еще не выработано.

Климат Земли зависит от множества причин. Одни из них отражают космические влияния (значение этих факторов весьма велико), другие — геологические процессы: наступление моря на сушу и горообразовательные движения. Вероятно, роль астрономических факторов играет первостепенное значение.

Несмотря на глубокий антагонизм мерзлых пород и ледниковых материковых покровов, имеются факты, подтверждающие связь между ними, — это многочисленные находки неразложившихся трупов мамонтов, носорогов в мерзлых породах. Эти находки показывают, что животные пребывали в законсервированном состоянии десятки тысяч лет со времен ледникового периода. В некоторых рудниках Сибири находили минерал мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, который выпадает из морской воды при температуре $-8,2^\circ\text{C}$, ныне в этих породах температура только $-4,2^\circ\text{C}$. Вполне очевидно, что в прошлом в этом районе существовали более холодные климатические условия.

В СССР наблюдается некоторое уменьшение распространения мерзлых пород, «деградация вечной мерзлоты», или «уменьшение запасов холода». Согласно этой точке зрения, значительная часть мерзлых пород возникла не сейчас, а в прошлом. Мерзлые породы — остатки льда от холодного ледникового периода — в настоящее время поддерживаются современными климатическими условиями, а не создаются ими.

С другой стороны, распространение зоны отрицательной температуры в поверхностных слоях не совпадает с границами оледенений (см. рис. 65 и 78). В Восточной Сибири не было материкового оледенения. Так называемая пещерная мерзлота известна на далеком юге. Наконец, в СССР многочисленны случаи возникновения мерзлых пород в настоящее время, на глазах у человека.

Несомненно, что находки около 30 сохранившихся скелетов и трупов мамонта позволяют утверждать, что в этих пластах отрицательные температуры существуют многие тысячелетия и мерзлые породы являются наследием ледникового периода.

Известно также много примеров, подтверждающих, что отрицательные температуры и лед в горных породах представляют новообразования, возникшие в современную эпоху. Это подчеркивает, что причины образования мерзлых пород заключаются в особенностях теплообмена на поверхности земли между атмос-

Средне- и противоположность Якутским находкам, и сильно испорчены в том состоянии, в с. Тунке (дол черепа и кости уже при жизни) (около 2000 лет) возникли в

Азональные, и Кавказа возникают в результате перемешивания холодного и более тяжелого воздуха с более теплым воздухом карстовых пустот в зимнее время и вследствие отсутствия активного перемешивания наземной и подземной атмосферы летом. Летний застой масс холодного воздуха — условие для возникновения и существования отрицательных температур и льда во многих пещерах.

Якутским находкам, и сначала лежали в незамороженном состоянии. Во время рытья колодца на глубине 15 м в иловатом песке были найдены кости, мерзлые породы образовались здесь в результате обнаружены княжеские погребения, подтверждающие, что отрицательные темпера-

Азональные, и Кавказа возникают в результате перемешивания холодного и более тяжелого воздуха с более теплым воздухом карстовых пустот в зимнее время и вследствие отсутствия активного перемешивания наземной и подземной атмосферы летом. Летний застой масс холодного воздуха — условие для возникновения и существования отрицательных температур и льда во многих пещерах.

Зона отрицательных температур литосферы, занимающая огромную территорию СССР и имеющая значительную вертикальную мощность, представляет исключительно сложное и многообразное явление.

Происхождение мерзлых пород весьма сложно и, по-видимому, различно во многих областях Советского Союза. Несомненно, что в ряде местностей отрицательные температуры в литосфере существуют многие тысячелетия, являясь наследием сурового ледникового периода; в других же районах они сохраняются лишь там, где для этого в настоящее время имеются условия.

Глава двадцать четвертая СВЕДЕНИЯ ИЗ ГЕОМОРФОЛОГИИ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПРОФИЛИ

Понятие о геоморфологии. На стыке географии и геологии находится геоморфология — наука, изучающая рельеф земной поверхности, его формы, происхождение и законы развития. Зна-

чение геоморфологии для сельского хозяйства и, в частности, для орошения и осушения земель, борьбы с засолением почв и получения устойчивых урожаев весьма велико.

Рельеф нашей планеты отражает всю ее историю, особенности геологического строения и сложного развития. Он создается путем взаимодействия эндогенных (структурных) и экзогенных (климатических) факторов.

Происхождение рельефа. Главнейшими формами Земли являются материки, океанические впадины, горы и равнины. Эти формы рельефа подразделяются на три большие, генетически различные группы: архитектурные, структурные и скульптурные.

Первые формируются под влиянием процессов общепланетарного, космического характера, вторые — под ведущим влиянием эндогенных сил, третьи — под преобладающим воздействием экзогенных процессов.

Скульптурные формы рельефа наиболее интересны для почвоведов и агрономов. Они подразделяются на: а) рельеф, связанный с процессами эрозии, б) гляциальными и перигляциальными явлениями, в) аридной денудацией. Эти формы широко распространены в СССР на Русской платформе. При геоморфологическом районировании СССР выделяют (И. П. Герасимов): 1) равнины и плато, 2) горы и нагорья, а среди них аккумулятивные и денудационные формы.

Аккумулятивные типы рельефа подразделяются на: а) аллювиальные и озерно-аллювиальные, б) аллювиальные и озерно-аллювиальные с эоловой обработкой, в) ледниковые, г) морские и д) морские с эоловой обработкой.

Денудационные типы рельефа делятся на: а) равнины на кристаллическом основании, б) на кристаллическом основании с развитием на поверхности ледниковых форм, в) на складчатом основании, г) на горизонтально лежащих или полого падающих пластах, д) то же, но с развитием на поверхности ледниковых форм, е) с развитием лёссового покрова.

Межгорные и предгорные равнины и впадины Средней Азии — Ферганская, Чуйская, Чирчик-Ангренская впадины, зандровые равнины Мещеры и Полесья, водораздельные пространства и надпойменные террасы Аму-Дарья, Куры, Припяти, Волги, Днепра — занимают значительные пространства и представляют собой плодородные земли, нуждающиеся в ряде случаев в мелиоративных мероприятиях.

Методы изучения рельефа. Среди элементарных форм рельефа различают положительные формы, выпуклые, представляющие относительные повышения, и отрицательные формы, вогнутые, имеющие вид впадин и понижений.

Отмечают возраст рельефа — древний, образованный в отдаленном прошлом, и молодой, современный, созданный недавно.

Подробно описывают характер новейших тектонических движений, генетические формы рельефа, особенно водно-эрозионные и водно-аккумулятивные — речные долины и их террасы, древние дельты и сухие конуса выноса, овраги, балки, водораздельные (междуречные) пространства — холмы, увалы, озы, камы, друмлины, конечноморенные гряды. Фиксируют внимание на ветровых (эоловых) формах: дюны, барханы; карстово-суффозионных: просадки, блюдца, оплывины, выходы родников и т. д.; формах рельефа, связанных с деятельностью человека.

Виды геоморфологического районирования. На Русской платформе по генетическим формам и истории развития выделяются следующие равнины, горы и нагорья: 1) Русская равнина, 2) Горный Крым и Восточные Карпаты, 3) Урал.

На формирование рельефа Русской равнины огромное влияние оказало материковое оледенение. В связи с этим выделяют следующие зоны:

1. Северо-ледниковая зона — область тектонически-денудационных возвышенных равнин.

2. Ледниково-морская зона — область ледниковых холмистых и плоских равнин.

3. Позднеледниковая зона: а) Поозерье — область ледниковой аккумуляции — разгрузки последнего оледенения, б) позднеледниковая зона — область с ледниковыми формами рельефа днепровского оледенения, измененными процессами эрозии.

4. Раннеледниковая зона — область водно-ледниковых и аллювиальных равнин.

5. Внеледниковая зона — область сильно расчлененных эрозией возвышенных равнин.

6. Зона морских аккумулятивных равнин.

Специальное геоморфологическое районирование. Для сельскохозяйственной мелиорации, инженерной геологии производится специальное районирование форм рельефа.

Так, для целей орошения на территории СССР выделяют следующие крупнейшие формы: материковые платформы и предгорные и межгорные прогибы и впадины. На платформах орошаемые земли обычно располагаются на аллювиальных и морских равнинах, находящихся в степной, полупустынной и пустынной зонах.

Так, Н. В. Роговская (1959) по геоморфологическим условиям и путям питания и расходования подземных вод выделяет следующие морфологические типы орошаемых территорий Средней Азии и Восточного Закавказья:

1. Аллювиальные и озерно-морские равнины: Кура-Араксинская низменность, дельты Мургаба, Теджена, Зеравшана.

2. Подгорные (предгорные) волнистые наклонные равнины: конуса выноса рек Сох, Исфара, междуречье Чирчик — Ангрен — Келес.

3. Структурные равнины: южный Мангышлак, Устюрт.

4. Предгорья и горы: верховья р. Сох.

Во впадинах и прогибах юга СССР орошаемые массивы располагаются на конусах выноса, аллювиальных террасах, предгорных пролювиальных равнинах. Геоструктурные условия впадин различны. Так, Терско-Кумский и Азово-Кубанский краевые прогибы характеризуются глубоким погружением (3—4 км) донеогеновых отложений, бессточностью и слабой дренированностью. Грунтовые воды засолены. Мощность четвертичных отложений здесь огромная — часто сотни метров, распространены аккумулятивные формы рельефа — аллювиальные равнины с эоловой обработкой.

Ферганская, Чуйская впадины предгорий и низкогорий отличаются менее глубоким погружением донеогеновой поверхности, дренированность участков лучше. Грунтовые воды опресняются. Чирчик-Ангренская, Зеравшанская впадины сложены хорошо промытыми четвертичными отложениями и приурочены к областям молодых поднятий. Отток грунтовых вод позволяет их широко использовать для орошения.

При районировании для осушения, например, Полесской низменности в БССР, относящейся к зандрово-аллювиальной равнине, главным фактором будет служить гипсометрическое положение участка над рекой Припятью — отток поверхностных и подземных вод. В связи с этим выделяются два главных геоморфологических элемента — пойма реки и районы возвышенностей — надпойменные террасы, водораздельные пространства.

Особенность территории — ее равнинность, обилие глинистых и суглинистых почвообразующих пород, торфяников, болот, близкое залегание грунтовых вод.

Установив характер питания болот (атмосферное, паводковые воды, реки, грунтовые или напорные воды и, наконец, смешанное), территорию подразделяют по этому принципу на районы, что облегчает эффективное проведение сельскохозяйственных мероприятий (дренаж).

Геологическая карта — графическое изображение на горизонтальной плоскости выходящих на поверхность земли геологических образований в определенном масштабе и условных обозначениях. Геологическая карта отражает строение только верхних частей земной коры и поэтому является двухмерным плоскостным изображением трехмерных, объемных тел — пластов горных пород. Для чтения геологической карты необходимы определенные навыки.

Геологическим профилем (или разрезом) называется чертеж, изображающий геологическое строение местности в виде сечения ее вертикальной плоскостью, проведенной по возможности под прямым углом к простиранию горных пород. Горизонтальный масштаб берут тот же, в каком составляется геологическая

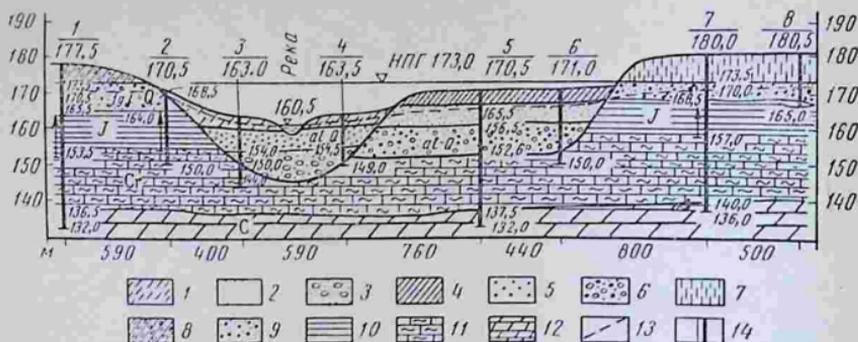


Рис. 81. Геологический разрез долины реки:

1 — сусель иловая, 2 — песок мелкозернистый, 3 — галечник, 4 — суглинок иловатый, 5 — песок среднезернистый, 6 — песок крупнозернистый с галькой, 7 — лёс, 8 — суглинок валунный, 9 — песок разозернистый, 10 — глина черная, 11 — известняк трещиноватый, 12 — мергель, 13 — уровень грунтовых вод, 14 — уровень напорных вод

карта, или более крупный. Вертикальный масштаб в зависимости от масштаба изображений берут по отношению к горизонтальному часто преувеличенным (см. рис. 81).

Масштабы карт. Масштаб — это численное выражение, показывающее, во сколько раз расстояние между двумя точками на карте уменьшено по сравнению с расстоянием на местности. Масштабы мельче 1 : 500 000 (5 км в 1 см) называют мелкими масштабами, крупнее 1 : 500 000 — крупными.

К мелкомасштабным относятся следующие карты.

1. Обзорные государственные карты, показывающие большие территории, например геологическая карта СССР (изд. 1957 г.) в масштабе 1 : 7 500 000 (75 км в 1 см), геологическая карта СССР (изд. 1956 г.) в масштабе 1 : 2 500 000 (25 км в 1 см).

2. Республиканские, областные карты, например геологическая карта Поволжья и Прикамья в масштабе 1 : 2 000 000, карты в масштабе 1 : 1 500 000, 1 : 1 000 000 и т. д.

3. Районные — масштаба крупнее 1 : 500 000.

К крупномасштабным относятся карты масштаба 1 : 200 000, 1 : 100 000, 1 : 50 000 и т. д.

Среди геологических карт наибольшим распространением пользуются масштабы: 1 : 1 000 000 и 1 : 500 000, в которых в настоящее время составляется государственная геологическая карта СССР. Масштаб карт обуславливает ее детальность и целевое назначение. Так, обзорные и республиканские карты — региональные, изображающие геологическое строение отдельных областей. Карты отдельных промышленных или сельскохозяйственных районов — детальные (масштабы 1 : 100 000 и 1 : 50 000), позволяющие конкретно разрешать различные задачи. Наконец, детальные карты часто представляют собой карты специальные,

изображающие какую-либо одну особенность геологического строения района, например глубину залегания грунтовых вод (гидрогеологическая карта) или распространение в районе фосфоритов (карта агрономических руд) и т. д.

Типы и характер карт. Условные обозначения на геологических картах — это штрихи, краски либо индексы. По своему характеру геологические карты подразделяются на две большие группы: стратиграфические (возрастные) и литологические (вещественного состава), иногда эти признаки совмещают и тогда карты называют стратиграфо-литологическими.

На стратиграфических картах условными знаками, красками и индексами (латинскими буквами) обозначается возраст тех или иных выделенных на карте отложений. Эта группа геологических карт наиболее распространена.

Условные обозначения геологических систем по предложению знаменитого русского геолога акад. А. П. Карпинского были утверждены в различных красках на Международном геологическом конгрессе еще в 1881 г. Они так же, как и начальные латинские буквы-индексы, обозначающие названия геологических систем, обязательны для геологов всех стран. Геологические карты любой страны могут быть прочитаны по краскам и индексам без знания иностранного языка при знакомстве с основами геологии. Цвета, индексы на картах приняты следующие:

| <i>Возраст</i> | <i>Цвет</i> | <i>Индекс</i> |
|---------------------------|-----------------------|---------------|
| Архейская эра (докембрий) | розовый | Ptz |
| Кембрийский период | лиловый | Sm |
| Ордовикский » | темно-зеленый | O |
| Силурийский » | зеленовато-коричневый | S |
| Девонский » | коричневый | D |
| Каменноугольный » | серый | C |
| Пермский » | кирпично-красный | P |
| Триасовый » | светло-лиловый | T |
| Юрский » | синий | I |
| Меловой » | зеленый | Cr |
| Палеогеновая эпоха | оранжевый | Pg |
| Неогеновая » | светло-желтый | N |
| Четвертичный период | бледно-серый | Q |

Магматические породы независимо от возраста, но с учетом петрографического состава обозначаются яркими цветами различных оттенков. Например, на геологической карте СССР масштаба 1:7 500 000 (1957 г.) выделены: кислые интрузии (граниты и другие породы) — различные оттенки красного тона с подразделением по возрасту (γ_3 — мезокайнозойские; γ_2 — палеозойские; γ_1 — допалеозойские); основные интрузии (габбро, габбро-диориты) — темно-зеленый тон окраски с индексом ν ; траппы — светло-зеленый тон с индексом ν_{β} ; ультраосновные интрузии (пироксениты, перидотиты и др.) — фиолетовый тон с индексом σ ; щелочные интрузии — оранжевый тон, индекс ϵ ;

четвертичные интрузивы, липариты, базальты — светло-зеленый тон, индекс β .

Для большей наглядности геологических карт древние слои пород принято обозначать более темными тонами, чем молодые, которые надлежит закрашивать более светлыми оттенками. Например, среди отложений мела выделяется нижний отдел C_1 — более древний и верхний C_2 — более молодой; первый обозначается темно-зеленым цветом, а C_2 — более светлым. Соответственно карбон нижний, средний и верхний (C_1, C_2, C_3) должны закрашиваться от темно-серого к более светлым тонам. При штриховке более древние слои надо штриховать гуще, густая штриховка кажется более «тяжелой», чем светлая.

Среди карт, отражающих какую-либо одну или несколько особенностей геологического строения того или иного района, могут быть карты, на которых изображается вещественный состав пород, слагающих тот или иной район. Такие карты называются литолого-петрографическими и создаются на стратиграфической основе. На них выделяется состав пород. Подобные карты представляют большой интерес для агрономов, так как дают характеристику состава почвообразующих пород.

Помимо геологических, существуют и другие карты, применяемые при геологических и почвенных исследованиях. Карты, на которых отображаются формы, генезис и возраст рельефа, называются геоморфологическими (см. стр. 316); химический состав и глубина залегания грунтовых вод, водоисточники — гидрогеологическими; выходы на поверхность различных полезных ископаемых (фосфориты, известняки, известковый туф и др.) — картами полезных ископаемых и т. д.

Определенных условных обозначений для карт этой группы, утвержденных международными геологическими соглашениями, еще нет. Поэтому для них применяются различные штриховые знаки. Например, пески общепринято обозначать точками, известняки — штриховкой, напоминающей кирпичики, магматические породы — крестиками и т. д.

Особенности геологических карт. Геологические карты при более внимательном рассмотрении представляют собой очень сложный и замысловатый рисунок, отражающий не только достоверные факты — выходы пород на поверхность, но и разнообразие пород и границы их распространения, не видимые на дневной поверхности, присутствие которых приходится лишь предполагать. Так как почти во всех районах земного шара под почвами залегают породы четвертичного периода, имеющие сравнительно небольшую мощность, то они обычно с карты снимаются, а показываются более древние, дочетвертичные породы. Для четвертичных отложений составляются специальные карты, показывающие распространение этих отложений. Карты четвер-

Сводная таблица генетических типов четвертичных отложений*, являющихся почвообразующими породами

| Группа и парагенетический ряд | | Генетический тип | | Индекс | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---|--------------------------|----------|--|
| Морские отложения | | — | | m | | |
| Антропогенные (техногенные) отложения | | | | a | | |
| Элювиальный ряд | | Элювий | | el | | |
| Континентальные осадочные образования | Склоновый ряд | Гравитационные отложения (коллювий) | Обвальные и осыпные накопления Оползневые накопления Солифлюкционные накопления | gr | cl | |
| | | | | dp dfs | | |
| | Делювий | | | dl | | |
| | Ряд отложений русловых водных потоков | | Аллювий Пролувий | | al pl | |
| | Ряд озерных отложений | | Озерные отложения в целом Химические осадки (соли) | | l ch | |
| Органогенные болотные отложения | | Торфяники | | h | | |
| Ледниковый ряд | | Ледниковые отложения (морены) Флювиогляциальные отложения Лимногляциальные отложения | | gl fgl lgl | | |
| Эоловый ряд | | Эоловые пески Эоловый лёсс | | ae-s ae-ls | ae | |
| Смешанные генетические типы | | Элювиально-делювиальные отложения Делювиально-солифлюкционные отложения Делювиально-пролювиальные отложения Делювиально-аллювиальные отложения | | eld dls dpl ald | | |

| Группа и парагенетический ряд | Генетический тип | Индекс |
|--------------------------------------|--|------------|
| Смешанные генетические типы | Аллювиально-пролювиальные отложения Аллювиально-озерные отложения | alp lal |
| Отложения проблематического генезиса | Лёсс | pg |

* Приведена в кратком полевом руководстве по комплексной геологической съемке четвертичных отложений (1957).

тичных отложений представляют особый интерес для агрономов, гидротехников и мелиораторов.

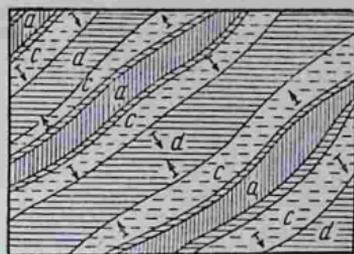
Среди геологических существуют карты дочетвертичных, или коренных, отложений и четвертичных отложений. Подавляющая часть геологических карт является картами дочетвертичных, или коренных, отложений, где общепринятыми условными обозначениями выделяют породы дочетвертичного возраста. Однако и на этих картах в участках, где мощность четвертичных отложений очень значительна и геологи еще не знают, породы какого возраста залегают под ними (например, некоторые участки Прикаспийской низменности, Западно-Сибирская низменность), показывают и четвертичные отложения.

Часто для построения геологических карт пользуются картами топографическими, на которых не всегда показаны горизонталы поверхности земли. В этом случае для ориентировки в рельефе может служить гидрографическая сеть, указывающая, что долины крупных рек — самое низкое место в рельефе. Наоборот, междуречья — водораздельные пространства — наиболее возвышенные участки в данной местности. Русская равнина сложена почти горизонтально залегающими породами морского происхождения, вследствие чего геологическая карта дочетвертичных отложений этой территории довольно проста. Большие площади территории покрыты разновозрастными отложениями. В долинах большинства рек Среднерусской возвышенности выходят более древние горные породы, над ними залегают более молодые. Обычно гидрографическая сеть согласуется с выходом пород на поверхность.

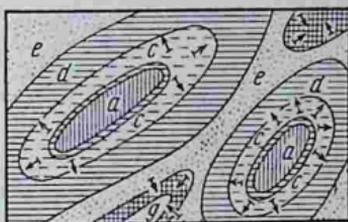
Совершенно иначе выглядит карта четвертичных отложений для этой же территории. Эта карта мало похожа на карту дочетвертичных (коренных) пород, которые на ней не отражены.

Четвертичный период ознаменовался крупным материковым оледенением, оставившим глубокий след на рельефе и составе пород Русской равнины. Различные генетические типы конти-

ментальных отложений залегают чехлом на поверхности: на севере СССР это будет преимущественно морена, в центральных частях — аллювиальные и флювиогляциальные и озерные отложения, на юге — делювиальные суглинки и различные лёссовидные породы. В большинстве случаев эти отложения являются почвообразующими (табл. 26).



А



Б

Рис. 82. Виды складок на геологической карте. Складчатость выражена стрелками. А — вытянутые линейные складки, Б — замыкающиеся короткие складки, хорошо видны две замыкающиеся короткие антиклинали — брахиантиклинали.

Буквами (а, с, d, e, g) показаны пласты в порядке уменьшения возраста. Видно, что в ядрах антиклинальных складок всюду выходят на поверхность самые древние пласты

Иной характер будет иметь геологическая карта для горных районов Кавказа, Урала, Средней Азии. Для таких участков обычно составляются только карты дочетвертичных (коренных) отложений, так как мощность рыхлых отложений здесь обычно невелика. Карта имеет весьма сложный узор, напоминающий персидский ковер: границы выхода пород на дневную поверхность (магматических, осадочных, метаморфических) весьма причудливы. Этот «узор» отражает взаимоотношение осадочных и магматических пород на глубине, указывая, что породы здесь залегают несогласно, в отдельных местах размывы, смяты в складки, рядом с молодыми породами выходят и более древние (рис. 82), речная сеть «сечет» выходы горных пород, совершенно не согласуясь с их границами. Все это свидетельствует о весьма сложной геологической истории района (трансгрессиях и регрессиях моря, больших размывах), осложненной неоднократно вулканической деятельностью, горообразовательными процессами.

Известно, что условия залегания пород зависят от взаимодействия эндогенных и экзогенных сил. Таким образом, с помощью тщательного анализа особенностей рельефа и условий залегания пород можно выяснить, какие процессы тектоники или денудации преобладали в этом районе. Минералогический состав и условия залегания горных пород, их возраст и взаимоотношения друг с другом, рельеф местности — все это, вместе взятое, дает материал для выяснения основных этапов геологической истории данной области, помогая определить, чем ите-

ресен район и поиски каких полезных ископаемых и в каком участке будут в нем наиболее перспективными.

Геологические карты — очень важный документ, необходимый для поисков и разведки полезных ископаемых, строительных работ и почвенно-агрономических исследований. Геологические карты составляются на основе геологической съемки.

Карты геоморфологических и четвертичных отложений особенно важны для агрономов, мелиораторов, строителей, изучающих рельеф, почвы, грунты и горные породы, залегающие у самой поверхности земли.

Краткие сведения о геологической съемке. Геологическая съемка — один из основных методов изучения геологического строения верхних частей земной коры. Геологическая съемка состоит из двух этапов: полевых исследований и камеральной обработки собранных материалов. В зависимости от целевого назначения и задач геологическая съемка подразделяется на маршрутную и площадную.

Маршрутная, или рекогносцировочная, съемка проводится в малоисследованных районах и ведется по каким-либо направлениям — чаще всего по рекам, иногда удаленным друг от друга на большие расстояния.

Геологическая съемка делится по масштабам:

- 1) мелкомасштабная съемка (1:1000000 и 1:500000);
- 2) среднемасштабная съемка (1:200000 и 1:100000);
- 3) крупномасштабная съемка, или детальная (1:50000 и крупнее).

При площадной, или детальной, съемке район покрывается маршрутами более или менее равномерно.

Необходимым оборудованием для проведения геолого-съемочных работ являются: горный компас, anerоид-высотометр, бинокли, фотоаппараты, молотки геологические, походные гидрхимические лаборатории, паяльная трубка, бур и т. д.

Для составления геологической карты на местности изучаются естественные обнажения, горные выработки, буровые скважины, водо-, газо- и нефтепроявления. Все это отмечается на топографической карте под соответствующим порядковым номером. Чтобы иметь представление о положении в пространстве пластов горных пород, необходимы данные о простирании и падении пластов, что определяют при помощи горного компаса.

Горный компас (модель «Геологоразведки») состоит из следующих частей (рис. 83): доски компаса, имеющей вид четырехугольного основания, круглой коробки с лимбом, отвеса — клинометра, острия, магнитной стрелки, покровного стекла с удерживающей его пружиной, тормозного приспособления для магнитной стрелки. Отсчеты делаются по северному концу магнитной стрелки, лимб разделен на 360°, причем в горном компасе в отличие от обыкновенного градусы нанесены против ча-

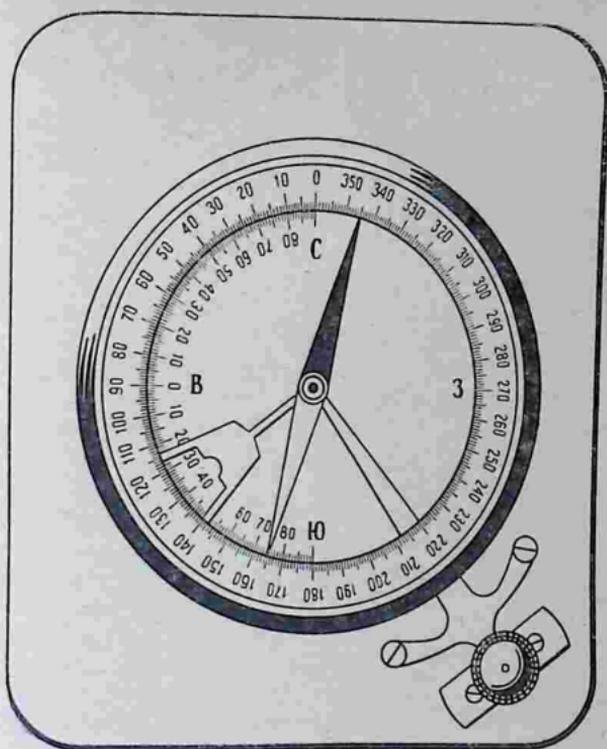


Рис. 83. Горный компас

совой стрелки. Градуировка лимба произведена через один градус, а цифры на нем нанесены через 10 градусов. На пластинке с внутренней стороны лимба буквами обозначены страны света: против нуля — С, против 90° — В, против 180° — Ю и против 270° — З. Следовательно, восток и запад расположены в горном компасе обратно тому, что в действительности. Градуировка лимба против часовой стрелки и соответственная перестановка стран света сделана для ускорения и упрощения замеров: компас помогает определить направление линии, с которой при измерениях совмещается одна из длинных сторон пластинки (доска) компаса, в данном случае с линией *СЮ* совмещается не меридиан, а любая другая линия, направление которой с помощью магнитной стрелки требуется определить.

Простирание пласта определяется ориентировкой линии простирания, под которой понимают любую горизонтальную линию, лежащую в плоскости пласта (линия *АВ*, рис. 84). Угол между линией простирания и меридианом, называемый азимутом простирания, определяет ее положение в пространстве. Падение пласта складывается из двух элементов: направления

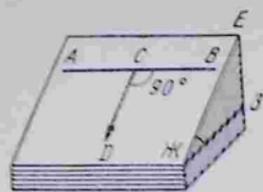


Рис. 84. Простираание (AB) и падение (CD) пласта

падения и угла падения. Направление падения пласта ориентировано перпендикулярно к простираанию пласта, в сторону наклона пласта (рис. 84, линия CD). Очевидно, это будет линия, лежащая в плоскости пласта, перпендикулярная к линии простираания и направленная в сторону наклона пласта. Когда говорят, что пласт падает на северо-восток 45° (CB 45°), то простираание определится прибавлением или вычитанием 90° от показателя падения, т. е. 135° ЮВ или 45° СВ. Угол падения пласта определяется углом между линией падения и ее проекцией на горизонтальную плоскость (рис. 84, угол EЖЗ). Углы падения при пологом залегании пластов имеют малые наклоны, до 10° , при более крутом — средние, до 30° , при очень крутом — большие, до 60° и более.

После определения простираания и падения горных пород от обнажения к обнажению прослеживают распространение горных пород определенного возраста, т. е. устанавливают геологические границы, которые также наносят на карту. В обнажениях и по образцам буровых скважин изучают горные породы, их минералогический состав, взаимоотношения, предварительно установив их возраст. Одновременно ведут наблюдения за эрозией, изучают рельеф, террасы и поймы рек, растительный покров, подземные воды, обследуют все выемки, осыпи.

Все наблюдения записывают в особую книжку (геологический дневник) с указанием местонахождения обнажений, скважин, колодцев и родников и под тем же номером, что и на карте. Обнажения обычно фотографируют, а особенно интересные зарисовывают. Отбирают образцы горных пород, полезных ископаемых и послойно собирают ископаемую фауну и флору. Все образцы нумеруют согласно записи в дневнике и снабжают этикетками.

В зависимости от детальности съемки и задач, поставленных перед ней (съемка дочетвертичных и четвертичных отложений, гидрогеологическая съемка), она ведется с применением горных и буровых работ, аэрометодов и геофизических методов.

В процессе камеральной обработки уточняют результаты полевых исследований: изучают собранные в поле образцы горных пород и полезных ископаемых, проводят специальные лабораторные исследования, определяют фауну и флору, вычерчивают графические приложения, составляют геологические профили (разрезы), стратиграфический разрез, называемый геологической колонкой, карты и пишут геологический отчет.

Обычно составляют несколько геологических профилей. Сводный стратиграфический разрез (геологическая колонка), различные геологические профили, геологические карты, текстовая часть отчета с фотографиями являются основными материалами о проделанной работе.

ЛИТЕРАТУРА

- Богданов А. А., Жуков М. М. и др. Руководство к практическим занятиям к курсу общей геологии. Госгеолтехиздат, М., 1954.
- Вологдин А. Г. Земля и жизнь. Изд-во АН СССР, 1963.
- Герасимов И. П., Марков К. К. Ледниковый период на территории СССР. Тр. Ин-та географии, вып. 33, 1939.
- Геологическое строение СССР, т. 1, Стратиграфия. Госгеолтехиздат, 1958.
- Карандеева М. В. Геоморфология европейской части СССР. Изд-во МГУ, 1957.
- Краткое полевое руководство по комплексной геологической съемке четвертичных отложений. Изд-во МГУ, 1957.
- Леонов Г. П. Историческая геология. Изд-во МГУ, 1956.
- Марков К. К. Палеогеография. Изд-во МГУ, 1960.
- Панов Д. Г. Общая геоморфология. «Высшая школа», 1966.
- Яковлев С. А. Методическое руководство по изучению и геологической съемке четвертичных отложений, тт. 1, 2; Тр. ВСЕГЕИ, Госгеолиздат, 1955.
- Яковлев С. А. Основы геологии четвертичных отложений Русской равнины. Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., т. 17. Госгеолиздат, 1956.
- Шлыгин Е. Д. Краткий курс геологии СССР. «Высшая школа», 1964.

**Краткий определитель главнейших породообразующих,
часто встречающихся минералов**

I группа. Блеск металлический, твердый (оставляет царапину на стекле). Цвет минерала от золотистого и соломенно-желтого до медно-красного.

Пирит — FeS_2 — серный колчедан. Твердость 6,5. Цвет светлый, соломенно-желтый. Черта черная, со слабым зеленоватым оттенком. Сплошные зернистые и плотные массы, включения или отдельные кристаллы — часто в виде кубов со штриховкой на гранях.

Марказит — FeS_2 — лучистый колчедан. Твердость 5—6, цвет латушно- и бронзово-желтый. Черта черная. Встречается в виде желваков, копьевидных и гребенчатых сростков, кристаллических корочек. Легко выветривается.

* *
*

II группа. Блеск неметаллический, мягкий (ноготь оставляет царапину на минерале). Растворяются в воде.

Галит — NaCl — каменная соль. Твердость 2. Бесцветный, белый, серый. Вкус сильно соленый.

Сильвин — KCl — калийная соль. Твердость 1,5—2. Цвет молочно-белый. Вкус горько-соленый.

Карналлит — $\text{MgCl}_2\text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Твердость 2—3, царапается ногтем плохо. Цвет красный или желтый. Вкус горький. Расплавляется во влажном воздухе.

Тенардит — Na_2SO_4 . Твердость 2—3. Бесцветный. Вкус солоноватый. Образует выцветы на почве в связи с выветриванием мирабилита.

Мирабилит — $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ — глауберова соль. Бесцветный, белый. Вкус горько-соленый. Образует выцветы на почве в связи с гидратацией тенардита.

Гипс — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Твердость 2. Бесцветный, белый, сероватый, желтый, розовый. Безвкусный. Зернистый, листоватый, волокнистый, землистый. Образует выцветы на почвах.

Сода — $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Твердость 1,5—2. Вскипает в HCl . Бесцветная, белая, серая. Вкус щелочной.

II группа. Физические свойства те же. В воде не растворяются или плохо растворяются.

Каолинит (каолин) — $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Жирный на ощупь. С водой дает пластичную массу (в отличие от боксита). Землистый, плотный.

Боксит — $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Тошнй на ощупь. Матовый, землистый, глиноподобный, с водой не дает пластичной массы, цвет кирпично-красный. Черта светлого цвета.

Лимонит (бурый железняк) — $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Матовый, порошкообразный, землистый, цвет охряно-желтый, черта охряно-желтая, ржаво-бурая. Образует натёки, желваки, мелкие шарики, плотные землистые массы.

Виванит (синяя железная руда) — $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ — землистый, рыхлый, встречается в торфяниках; узнается по окраске — голубой, синей, зеленой.

Глауконит — водный силикат Fe и K. Цвет темно-зеленый, встречается в рыхлых породах — песках, песчаниках. Кристаллики листоватые, с сильным перламутровым блеском.

* *
*

III группа. Средняя твердость 3—5 (ноготь не оставляет царапины на минерале, минерал не оставляет царапины на стекле).

Слюда: белая — *мусковит*, черная — *биотит*. Спайность весьма совершенная, в одном направлении. Листочки чешуйчатые, упруго-гибкие, сильный перламутровый блеск.

Кальцит — CaCO_3 — известковый шпат. Бурно вскипает с HCl. Бесцветный, белый, серый, голубой. Встречается в виде зернистых, землистых, плотных масс, иногда друз, полосчатых, радиально-лучистых кристаллов.

Ангидрит — CaSO_4 . С HCl не вскипает. Встречается в виде мраморовидных масс. Цвет голубоватый, синеватый. Блеск перламутровый.

Апатит — $\text{Ca}_5(\text{Cl}, \text{F})(\text{PO}_4)_3$. Цвет зеленый, голубовато-зеленый, бледно-зеленый. Спайность неясная. Кристаллы часто образуют шестигульные призматические формы.

Фосфорит — $\text{Ca}_5(\text{Cl}, \text{F})(\text{PO}_4)_3$ + многочисленные примеси. Аморфный, цвет темно-серый, черный. Образует желваки, конкреции. При трении одного куска фосфорита о другой издает запах, напоминающий запах жженой кости. Встречается среди песков, глин, известняков.

Авгит — цепочечный силикат сложного состава. Цвет от темно-зеленого до черного, черта зеленая. Образует короткопризматические бочонкообразные кристаллы в магматических породах.

* *
*

IV группа. Твердые (оставляет царапину на стекле, но не оставляет царапин на кварце, стальном ноже).

Опал — $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Аморфный. Цвет разнообразный. Образует студнеобразные натечные образования, желваки, сталактиты, напоминающие строение дерева (окаменелое дерево).

Роговая обманка. Цвет темно-зеленый, дает серую и черную черту. Кристаллы удлиненные, игольчатые, призматические, с сильным блеском.

Оливин — $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$. Цвет желтовато-зеленоватый, зеленовато-черный, зернистое строение, сильный блеск.

Полевые шпаты. Калиевый — *ортоклаз* ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) — окраска светлая, спайность в двух направлениях, стеклянный блеск. Кристаллы имеют плотное строение, иногда таблитчатой, зубьевидной формы.

V группа. Твердые — оставляют черту на всех вышеописанных минералах и на стальном лезвии.

Кварц — SiO_2 . Блеск стеклянный, в изломе жирный. Массивный, плотный. Спайность отсутствует.

Цвет черный (морион), дымчатый (раухтопаз). Спайность отсутствует.

Горный хрусталь — SiO_2 — хорошо ограниченные, бесцветные призматические кристаллы кварца, оканчивающиеся пирамидами со стеклянным блеском.

Халцедон (кремень) — SiO_2 — скрытокристаллическая плотная разновидность кремнезема, излом раковистый, с острыми режущими краями.

Яшма (халцедон) — ярко окрашенная скрытокристаллическая разновидность кремнезема. Окраска многоцветная, часто наблюдаются прожилки. Излом раковистый.

Агат (халцедон) — скрытокристаллическая, плотная разновидность кремнезема. Окраска различная. Строение полосчатое.

Краткий определитель некоторых главнейших почвообразующих пород

I. Строение зернистое. Оставляют царапину на стекле

Гранит — структура полнокристаллическая (крупно-, средне- и мелкокристаллическая, иногда порфировидная). Цвет светлый, розовый, светло-серый, красный. Состав: полевые шпаты (кислые), кварц и темные минералы (биотит, роговая обманка). Полевые шпаты — блеск стеклянный, поверхность гладкая с хорошо выраженной спайностью. Кварц — белый, серый, дымчатый, с жирным блеском, излом неровный. Роговая обманка — удлиненные блестящие черные кристаллы. Слюды — блестящие кристаллы, легко расщепляющиеся на тонкие пластинки, чешуйки.

Габбро — кварц отсутствует, окраска темно-зеленая, черная. Структура полнокристаллическая, массивная, тяжелый. Состав: основные плагиоклазы (лабрадор), авгит, роговая обманка, оливин. Различают: лабрадоритовые габбро — черные, блестящие кристаллы с синим отливом; авгитовые — черные бочонкообразные таблитчатые кристаллы с матовым блеском; роговообманковые — черные удлиненные кристаллы с сильным стеклянным блеском; оливиновые — зеленовато-черные зернистые кристаллы.

Кварцит состоит из кварца. Большая твердость, не царапается ножом. Строение мелкокристаллическое, массивное, плотное. Окраска светлая, поверхность зерен кристаллов ровная, спайность отсутствует.

Песчаник — цементированный песок, различными песчинки. Грубый на ощупь. Цвет различный. В зависимости от цементирующего вещества различают: карбонатные песчаники — вскипают с HCl , гипсовые — царапаются ногтем, кремнистые — очень твердые, не царапаются ножом, глинистые — если подышать на породу, издадут землистый запах, железистые — окраска охристая, ржаво-бурая, глауконитовые — окраска темно-зеленая.

Базальт — строение плотное, скрытокристаллическое, иногда тонкозернистое. Цвет темно-серый или черный. Излом неровный, шероховатый на ощупь. Тяжелый.

II. Строение порфировое (в плотной массе разбросаны более или менее крупные зерна минералов, порода царапает стекло).

Липарит — окраска светлая, строение скрытокристаллическое, иногда заметны поры. Различимы мелкие вкрапления зерен кварца неправильной формы и блестящие ровные кристаллы полевых шпатов.

Кварцевый порфир — окраска светлая, серая, розоватая. Мелкокристаллическая масса неразличима даже в лупу. Минералы различимы только в порфировых кристаллах (кварц — крупные вкрапления неправильных очертаний, полевой шпат — тусклый, правильной формы).

Порфирит — окраска серая. Кварца нет. Плотная порода со скрытыми вкраплениями зерен полевых шпатов — тусклых, серых, зеленоватых и удлиненных, темных — роговой обманки.

III. Стрение обломочное.

Брекчия — обломочно-угловатое строение, состав обломков более или менее однородный. Цементирующий состав различен (см. песчаник, стр. 330).

Конгломерат — крупноокатанные обломки сцементированы в сплошную массу. Цементирующий состав — см. песчаник (стр. 330).

Морена — (валунный суглинок) — неоднородная песчаная порода, окраска буроватая, красноватая. Валуны в виде различных по величине обломков сцементированы песчано-глинистым материалом, который растирается между пальцами. Как почвообразующая порода широко распространена в центральных районах РСФСР.

Известняк оолитовый — бурно вскипает с HCl. Состоит из мелких сцементированных шариков. Цвет белый.

Бурый железняк — (см. стр. 329).

IV. Сложение плотное. Не оставляет царапины на стекле. В воде не растворяется или растворяется плохо.

Известняк — бурно вскипает с HCl. Цвет различный.

Мрамор — бурно вскипает с HCl. Строение зернистое. Цвет различный.

Доломит — строение скрытокристаллическое, цвета светлые. Вскипает с HCl при нагревании и в порошок.

Мергель (рухляк) — глина, содержащая до 50% кальцита. Вскипает с HCl, оставляя после реакции темное пятно. Если подышать, издает запах глины. Цвет разнообразный. При выветривании распадается на мелкие угловатые обломки.

Гипс, ангидрит — см. стр. 328—329.

V. Сложение землистое. Породы легко растираются между пальцами. Эти породы широко распространены как почвообразующие.

Песок — зерна кварца, полевого шпата, слюды, роговой обманки и др. Размер от 2 до 0,05 мм.

Боксит — см. стр. 328.

Глина — порода, жирная на ощупь, с водой дает пластичную массу, разбухает. Если подышать, издает землистый запах. Минералогический состав разнообразный. выделяют глины каолиновые (см. стр. 130), монтмориллоновые (см. стр. 131).

Суглинок — глина с примесью песка и пыли. Растирается между пальцами, при этом чувствуются песчинки. Имеет запах глины. Цвет разнообразный. Лёссовидный суглинок — светло-бурый, светло-желтый. Вскипает с HCl, легко растирается между пальцами в тонкий порошок, с водой дает пластичную массу.

Лёсс — бурно вскипает с HCl, пылеватая структура, мягкий, связный, легко растирается между пальцами в пылеватую однородную массу. Мелкопористый, легко режется ножом. С водой дает малопластичную массу, не разбухает, неслонистый. Состав: кварц, полевой шпат, слюды, кальцит, гипс, и т. д.

Мел — бурно вскипает с HCl, белый, пористый, в лупу заметны обломки раковин.

VI. Сложение пористое.

Известковый туф. Бурно вскипает с HCl, поздраватый. Окраска желтовато-бурая.

Вулканический туф — неоднородная неслоистая порода, малый удельный вес.

VII. Сложение полосчатое (чередование полос, слоев различного состава).

Гнейс. Цвет пестрый, обычно светлый. Строение мелкозернистое. Среди минералов различимы полевой шпат, кварц, слюды, темные минералы.

Сланцы. Структура кристаллическая; текстура сланцеватая. По составу, цвету и текстуре различают сланцы: слюдяные, листоватые (кончиком перочинного ножа легко отделяются пластинки слюды), белые (мусковит) или черные (биотит); тальковые, белые или светло-зеленые, жирные на ощупь; роговообманковые — черные, игольчатые; графитовые — темно-серые, пишут на бумаге и т. д.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть первая

Общие краткие сведения о геологии

| | |
|---|----|
| <i>Глава первая.</i> Содержание, методы геологической науки и значение ее для народного хозяйства | 3 |
| <i>Глава вторая.</i> Общие сведения о Земле | 10 |
| <i>Глава третья.</i> Земля в мировом пространстве | 24 |

Часть вторая

Вещественный состав земной коры. Минералогия и петрография

| | |
|--|-----|
| <i>Глава четвертая.</i> Физические свойства и формы нахождения минералов в природе | 38 |
| <i>Глава пятая.</i> Образование минералов и горных пород | 53 |
| <i>Глава шестая.</i> Описание минералов | 63 |
| <i>Глава седьмая.</i> Краткие сведения о горных породах (петрография) | 114 |

Часть третья

Динамическая геология

| | |
|--|-----|
| <i>Глава восьмая.</i> Вулканизм | 137 |
| <i>Глава девятая.</i> Движения земной коры | 148 |
| <i>Глава десятая.</i> Землетрясения — сейсмические движения | 156 |
| <i>Глава одиннадцатая.</i> Причины и источники тектонических и магматических процессов | 164 |
| <i>Глава двенадцатая.</i> Выветривание | 171 |
| <i>Глава тринадцатая.</i> Геологическая деятельность ветра | 178 |
| <i>Глава четырнадцатая.</i> Деятельность поверхностных текущих вод | 188 |
| <i>Глава пятнадцатая.</i> Подземные воды и их геологическая деятельность | 210 |
| <i>Глава шестнадцатая.</i> Геологическая деятельность снега, льда, ледников | 227 |
| <i>Глава семнадцатая.</i> Процессы и явления в зоне многолетнемерзлых пород | 234 |
| <i>Глава восемнадцатая.</i> Геологическая деятельность моря | 246 |
| <i>Глава девятнадцатая.</i> Геологическая деятельность озер | 254 |
| <i>Глава двадцатая.</i> Геологическая деятельность человека | 260 |
| | 333 |

Часть четвертая

Историческая геология

| | |
|--|-----|
| <i>Глава двадцать первая.</i> Относительная и абсолютная геохронология | 265 |
| <i>Глава двадцать вторая.</i> Краткие сведения из истории Земли | 275 |
| <i>Глава двадцать третья.</i> Краткие сведения из истории Земли в четвертичный период (антропоген) | 290 |
| <i>Глава двадцать четвертая.</i> Сведения из геоморфологии, геологические карты и профили | 314 |
| Приложения | 328 |
| 1. Краткий определитель главнейших, часто встречаемых породообразующих минералов | 328 |
| 2. Краткий определитель некоторых главнейших почвообразующих пород | 330 |

Проф., докт. геол.-мин. наук
Толстой Михаил Павлович

**ГЕОЛОГИЯ С ОСНОВАМИ
МИНЕРАЛОГИИ
И ПЕТРОГРАФИИ**

Редактор *Н. А. Соколова*

Переплет художника
А. Е. Коленкова

Художественный редактор
Э. А. Марков

Технический редактор
И. В. Яшукова

Корректор *Л. А. Тибашиева*

Т-03517. Сдано в набор
16/XI-67 г. Подп. к печати
20/III-68 г. Формат 60×90^{1/16}.
Объем 21 печ. л. Уч.-изд. л.
21,46. Изд. № Е133. Зак.
№ 1302. Тираж 15 000 экз.
Цена 85 коп.

Тематический план изд-ва «Высшая школа» (вузы и техникумы)
на 1968 г. Позиция № 149

Москва, К-51, Неглинная ул.,
д. 29/14,
Издательство «Высшая школа»

Ордена Трудового Красного
Знамени Ленинградская типо-
графия № 1 «Печатный Двор»
им. А. М. Горького Главполи-
графпрома Комитета по печати
при Совете Министров СССР,
г. Ленинград, Гатчинская ул., 26.