

М. П. Толстой

ГЕОЛОГИЯ С ОСНОВАМИ МИНЕРАЛОГИИ



М. П. Толстой

55+549/078

ГЕОЛОГИЯ С ОСНОВАМИ МИНЕРАЛОГИИ

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебника для студентов сельскохозяйственных вузов по специальности «Агрохимия и почвоведение»

144/



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1975

552

T52

T $\frac{20801-384}{001(01)-75}$ 129-75

© Издательство «Высшая школа», 1975

Введение

ГЕОЛОГИЯ КАК НАУКА И ЕЕ ГЛАВНЕЙШИЕ ОТРАСЛИ

Геология¹ — это наука о Земле.

Общая геология рассматривает процессы, проявляющиеся на поверхности Земли и в земной коре, свойства Земли и ее состав и в общих чертах историю развития земной коры и мантии.

Геология широко использует данные других наук. Из географических наук геология тесно связана с океанографией, гидрологией, климатологией, гляциологией. При изучении физических свойств Земли видную роль играют физико-математические (геофизика, сейсмология, геодезия, астрономия и ее раздел — астрофизика) и химические (геохимия, биохимия) науки.

Геология — обобщающая дисциплина естественноисторического цикла. В соответствии с задачами, стоящими перед ней, она разделилась в течение XIX и XX веков на ряд взаимосвязанных между собой научных дисциплин. Главнейшие из них следующие.

Минералогия — наука, изучающая физико-химические свойства минералов — природных химических соединений и процессы, связанные с их образованием и размещением в коре.

Петрография — наука, рассматривающая минеральный состав и строение рыхлых и твердых горных пород, естественных закономерных скоплений минералов, слагающих кору, формы их залегания, происхождение, распространение.

Геохимия — наука, изучающая химический состав 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 относится почвоведение, которое рассматривает самые поверхностные слои земной коры, обладающие плодородием и называемые почвами.

Учение о полезных ископаемых — отрасль геологии, изучающая условия образования, распространения и изменения место-

¹ От Ge — Земля, logos — учение.

рождений полезных ископаемых в коре: рудных, из которых извлекаются металлы, и нерудных, добываемых для получения всех других видов минеральной продукции — минеральных удобрений (агрономические руды), строительных материалов, горючих ископаемых. Значение этой отрасли знаний для народного хозяйства огромно.

Динамическая геология рассматривает геологические процессы (вулканизм, землетрясения, деятельность моря, рек и т. д.) и методы восстановления этих процессов в историческом прошлом Земли.

Историческая геология изучает изменения коры во времени и 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.

Биологическая, по существу, дисциплина — палеонтология¹ развивалась на геологических основах и дала новое представление о продолжительности истории Земли.

Раздел исторической геологии, изучающий историю развития Земли в четвертичный период, выделился 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.

Следует назвать и другие отрасли геологии: *геоморфологию*², которая изучает происхождение, распространение и закономерности образования форм земной поверхности (рельеф); *геотектонику* — науку о движениях и деформациях коры и взаимоотношениях горных пород в процессе развития Земли и ее внешней оболочки — коры; *гидрогеологию* — науку о подземных водах, их происхождении, истории, составе и режиме, распределении в земной коре и их химической и механической деятельности в недрах; *инженерную геологию* — науку, изучающую грунты и геологические и инженерно-геологические процессы, влияющие на условия строительства и эксплуатацию сооружений (особенно важны прогнозы влияния природных условий на сооружения и влияния сооружений на изменение природных условий).

В XX в. стала интенсивно развиваться новая отрасль геологии — *геофизика*, применяющая физические методы для изучения земного шара в целом, а также земной коры, гидросферы и атмосферы. Геофизические методы исследования имеют большое практическое, научное и методологическое значение. Они используются при поисках полезных ископаемых, предсказании погоды, при изучении землетрясений и магматизма, выяснении

¹ Palaios по-гречески — древний, on (ontos) — существо, logos — учение.

² «Морфе» по-гречески — форма.

вопросов происхождения и строения Земли и Вселенной, в ракетной технике.

Становление геологии как науки относится к XVIII и первой половине XIX в. Одним из основоположников геологической науки в России был М. В. Ломоносов.

Важную роль в развитии прогрессивных идей в естествознании сыграла работа И. Канта (1755), показавшая, что Земля и вся Солнечная система имеют свою историю, свое развитие во времени. Эти же взгляды развивал английский ученый Д. Геттон (1795), придававший большое значение внутренним силам Земли (так называемый плутонизм; Плутон — бог подземного царства у древних римлян).

В противоположность этим представлениям немецкий ученый А. Г. Вернер (1750—1817) утверждал, что все составляющие земную кору породы образовались из водного раствора и что вода — главнейший фактор преобразования Земли (учение Вернера получило название непутизма; Нептун — бог моря).

В начале XIX в. на смену теории катастроф Ж. Кювье, согласно которой целые материки внезапно погружались в море и жизнь наземных животных обрывалась, стали развиваться эволюционные представления в геологии, связанные с именами Ж. Б. Ламарка, Ч. Лайеля, Ч. Дарвина.

В развитии эволюционных взглядов большую роль сыграли Э. Зюсс и русские ученые — А. П. Карпинский, В. А. Обручев, И. В. Мушкетов, А. П. Павлов, а также А. Е. Ферсман, А. Д. Архангельский, И. М. Губкин.

Значение и особенности геологии. Геология рассматривает сложнейшие вопросы естествознания — образование Земли и возникновение материков и океанов, гор и равнин, минералов, горных пород и различных полезных ископаемых — и показывает исключительную длительность процессов, преобразующих лик Земли.

Полезные ископаемые — руды, нефть и газы, уголь, подземные воды — огромное богатство человечества. Все эти природные ресурсы залегают в недрах Земли, и их изучает геология.

Геология и ее отрасли имеют огромное значение для удовлетворения растущих потребностей народного хозяйства в минеральном сырье.

В директивах XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства на 1971—1975 гг. предусмотрено расширение научных работ по изучению земной коры и закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых для лучшего использования природных ресурсов.

Постановления партии и правительства последних лет (1968—1974) по сельскому хозяйству, мелиорации, о мерах по улучшению охраны природы и рациональному использованию природных ресурсов выдвигают перед геологией ряд новых и очень ответственных задач по освоению пустынных и полупустынных территорий и областей, занятых мерзлыми породами (строительство Байкало-Амурской магистрали).

Комплексная борьба с водной и ветровой эрозией, засолением, рассолением и заболачиванием почв невозможна без знания основ геологии, геоморфологии, гидрогеологии. Знание геологии необходимо при почвенных и агрохимических исследованиях, при решении вопросов сооружения колодцев, скважин, прудов, небольших плотин, при поисках агрономических руд (фосфориты, калийные соли, известковые туфы, известняки), при ирригационном строительстве, разведке строительных материалов (пески, гравий, глины, граниты).

В июле 1975 г. сессия Верховного Совета СССР приняла Постановление о мерах по дальнейшему усилению охраны недр и улучшению использования полезных ископаемых и утвердила Основы законодательства Союза СССР и союзных республик о недрах.

Беречь полезные ископаемые, рачительно и комплексно использовать богатства недр — одно из условий дальнейшего укрепления социалистической экономики.

Часть первая

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИИ И ЗЕМЛЕ

Глава первая

РАЗМЕРЫ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ЗЕМЛИ

Земля — одна из планет Солнечной системы. Она, как и другие планеты, имеет шарообразную форму. Однако Земля не точный шар, а несколько сплюснута в направлении полюсов. Такую форму называют сфероидом. Поскольку при изучении Земли учитывается не только ее сплюснутость, но и все крупные неровности

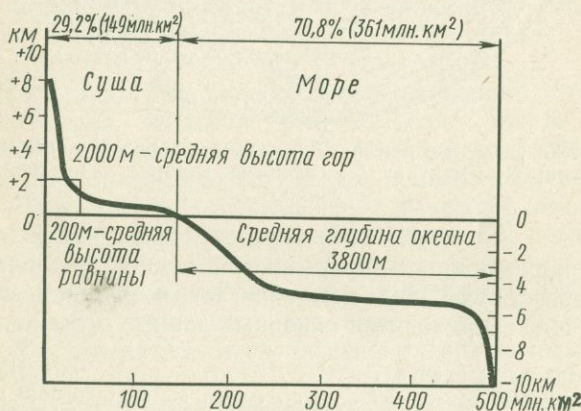


Рис. 1. Гипсометрическая кривая. По горизонтальной оси внизу отложена площадь земной поверхности в сотнях млн. км²

рельефа (глубочайшие океанические впадины, высокие горные хребты), то эту истинную неправильную геометрическую форму Земли называют *геоидом*.

Наиболее глубокие впадины океанического дна лежат на глубине более 11 000 м ниже уровня моря (Марианская впадина); наиболее высокие горные вершины поднимаются над уровнем моря до 8882 м (Джомолунгма) (рис. 1).

Геофизическими данными установлено, что Земля состоит из трех неоднородных по составу внутренних сфер неодинаковой толщины (рис. 2): 1) земная кора — до глубины 50—70 км; 2) промежуточная оболочка, или мантия Земли, — до глубины 2900 км; 3) земное ядро, подразделяемое на внутреннее и внешнее, — от 2900 до 6380 км (рис. 3).

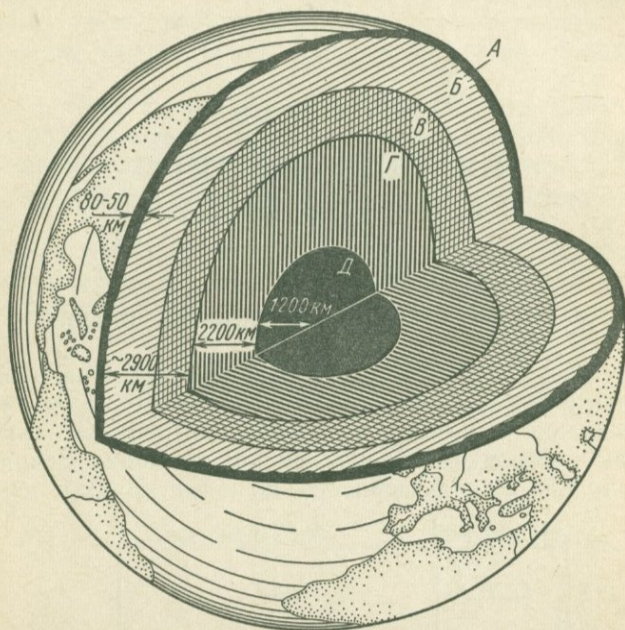


Рис. 2. Строение Земли. А — земная кора; Б — верхняя мантия; В — мантия; Г — внешнее ядро; Д — внутреннее ядро

Земная кора покрыта прерывистой водной оболочкой, называемой гидросферой. Над ней залегает воздушная оболочка — атмосфера. Ниже приводятся основные данные о Земле.

Экваториальный радиус	6378,245 км ¹
Полярный радиус	6356,9 км
Поверхность Земли	510 млн. км ²
Объем Земли	$1,08 \cdot 10^{12}$ км ³
Масса Земли	$5 \cdot 975 \cdot 10^{27}$ т
Масса гидросферы	$1,4 \cdot 10^{18}$ т
Масса биосферы	$5,0 \cdot 10^{12}$ т
Средняя плотность Земли	5,52 г/см ³
Средняя плотность поверхностных пород	2,7—2,8 г/см ³
Количество воды в морях	1370 млн. км ³
Количество льда на Земле	29 млн. км ³
Количество воды в реках, озерах	0,75 млн. км ³

¹ Цифровой материал, характеризующий Землю, геосферы, слои пород и т. д., дается по «Геологическому словарю», т. 1, 2, 1973.

Атмосфера — газообразная сфера Земли. В приземных слоях атмосферы содержится 78,08% азота, 20,95% кислорода, 0,9% аргона, 0,03% углекислого газа; остальную часть составляют неон, гелий, водяной пар и пыль и др. Верхняя граница атмосферы не определена. Атмосфера переходит в межпланетное пространство постепенно.

В атмосфере выделяют три концентрические оболочки: тропосферу — до высоты 8—15 км, стратосферу (слоистую оболочку) — от 8—15 до 100 км и ионосферу.

Атмосферные агенты — солнечные лучи, атмосферное электричество, температурные колебания, ветер, содержащийся в атмосфере водяной пар — проводят огромную геологическую работу. Она проявляется в процессах разрушения горных пород, транспортировке продуктов разрушения и их накоплении (см. гл. 10, 11, 12).

Освоение околоземного и межпланетного пространства (полеты космических кораблей) дало возможность собрать исключительно ценный материал о строении и составе атмосферы Земли, космоса и некоторых небесных тел.

Гидросфера — прерывистая водная оболочка Земли, включающая океаны, моря, озера, реки и ледяные покровы.

Основную массу гидросферы составляют соленые воды океанов и морей; на пресные воды континентов приходится лишь 0,3% всей гидросферы. Из всех вод Земли пресной воды всего 3%, да и то $\frac{2}{3}$ ее пока недоступно человеку — это ледники.

Верхняя граница гидросферы намечается ясно: это поверхность океанов и морей. Нижняя граница более сложна и примерно совпадает с дном океанов и морей. Солей в гидросфере $5 \cdot 10^{16}$ т. Средняя соленость Мирового океана принимается равной 3,5%.

Море — чрезвычайно важный геологический агент в жизни Земли. Морская среда представляет 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. гл. 15).

Биосфера. Акад. В. И. Вернадский назвал биосферу зоной жизни. В той или иной степени она представлена в атмосфере, гидросфере и земной коре.

Нижняя граница существования живых организмов определяется температурой и давлением. Жизнь на суше проникает на меньшую глубину, чем в океане, примерно на 2—3 км. В Тихом океане обнаружена разнообразная фауна даже на глубине около 11 000 м. Это позволяет считать все глубины океана обитаемыми.

В состав организмов входит более 60 элементов. Акад. А. П. Виноградов вычислил средний состав живого вещества суши. Оказалось, что организмы в основном состоят из О, Н, С, N, Ca, Mg,

К и т. д. — элементов, которые образуют твердые и газообразные соединения.

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

Велика также роль животных и растений в образовании почв, горных пород и различных полезных ископаемых.

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

Земная кора. При прохождении сейсмических (продольных и поперечных) волн в горных породах коры отчетливо выделяются два слоя, где резко изменяется скорость их распространения, — под материками на глубине 50—70 км и под океанами на глубине 3—10 км. Этот раздел, где скорость продольных упругих колебаний резко возрастает от 6,9—7,4, до 8,0—8,2 км/с, получил наименование *поверхности Мохоровичича* (или Мохо) — по фамилии югославского ученого, впервые установившего это явление. Резкое изменение скорости прохождения волн на определенных глубинах указывает на границы перехода между какими-то (ученые еще не установили какими именно) уплотненными породами, подтверждая их слоистое строение.

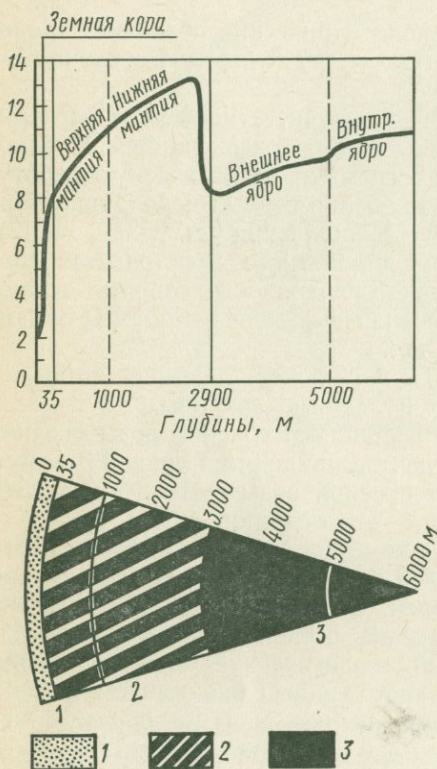


Рис. 3. Геосферы Земли, выделяемые по скоростям распространения продольных сейсмических волн:

1 — земная кора, 2 — мантия, 3 — ядро

По геофизическим данным, в земной коре выделяют три основных слоя (рис. 4):

1) *осадочный чехол*, состоящий из мягких слоистых пород со средней скоростью прохождения продольных сейсмических волн $v = 1,0—4,0$ км/с; 2) *гранитный слой* с $v = 5,5—6,9$ км/с; 3) «*базальтовый*» (?) слой с $v = 6,1—7,4$ км/с.

Осадочный слой, а иногда и гранитный, снаружи покрыт слоем почвы. Акад. В. Р. Вильямс определил почву как поверхностный слой суши земного шара, способный производить урожай растений.

Почвенный покров имеет ничтожную мощность: от 30 (зона тундры) до 160 см (зона западных черноземов СССР). Образуется он в течение нескольких лет.

Первые два слоя имеют прерывистое залегание. Осадочный слой изучен неплохо, гранитный — слабее; «базальтовый» слой еще не исследован совсем. Гранитный слой образован плотными

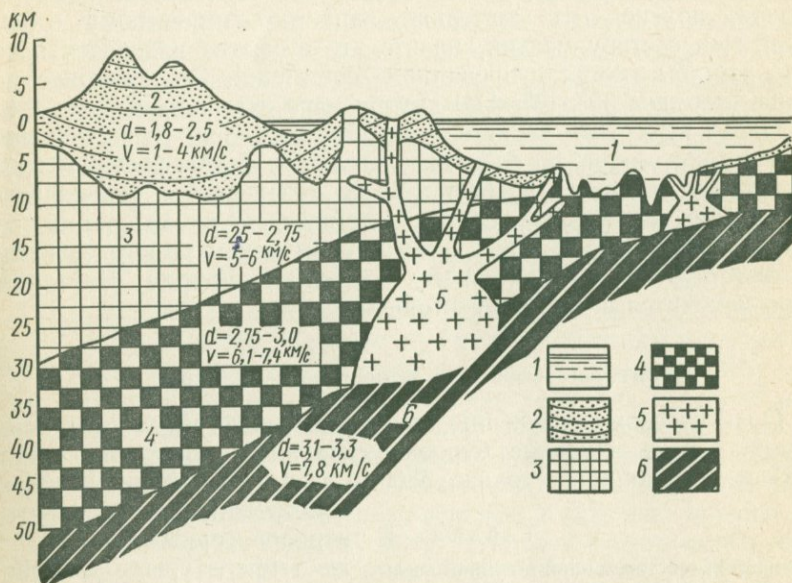


Рис. 4. Строение наружной сферы Земли — земная кора:

1 — гидросфера, 2 — осадочные породы, 3 — гранитный слой, 4 — базальтовый слой, 5 — магматические очаги, 6 — верхняя мантия (подкорковый субстрат); d — плотность, г/см³, v — скорость продольных волн, км/с

породами — гнейсами, габбро, различными сланцами; «базальтовый» — очень плотными породами магматического и метаморфического происхождения. Граница между осадочным чехлом и гранитным слоем четкая, между гранитным и «базальтовым» — нечеткая.

Выделяют два типа земной коры: океанический и материковый. Кора материкового типа состоит из гранитного слоя мощностью до 35 км, прикрытого в отдельных участках (прогибах) осадочным чехлом мощностью до 15—20 км и более. В океанической коре гранитный слой отсутствует, земная кора состоит только из одного базальтового слоя, прикрытого тонким слоем (менее 1 км) донных осадков (рис. 4).

Мантия и ядро. Под материками на глубине 50—70 км залегает верхняя мантия ($v = 8,0—8,6$ км/с), предположительно состоящая из пород, близких по составу к дунитам, перидотитам (см. гл. 6) с плотностью 3,0—3,3 г/см³.

Сплошной расплавленной оболочки внутри Земли нет. Предполагается, что в верхней части мантии в различных районах на неодинаковой глубине имеется слой максимальных температур, так называемая *астеносфера* — волновод, где происходит частичное расплавление вещества.

Химический состав ядра неясен. Одни считают (В. А. Магницкий), что внешнее ядро по составу силикатное, внутреннее — железное, другие — что материал ядра по химическому составу идентичен составу мантии, но что это вещество находится в особом, как бы «металлизированном» состоянии. Сверхвысокое давление (порядка $303 \cdot 10^6$ кПа) внутри ядра задерживает плавление, придавая веществам свойства тяжелых металлов. Вещество внешнего земного ядра по чувствительности к сотрясениям обладает свойствами жидкости и ведет себя по отношению к сейсмическим колебаниям как жидкое тело, т. е. не передает их, однако по твердости ядро близко к стали и по многим механическим свойствам соответствует кристаллическому состоянию материи. Внутреннее ядро находится в твердом состоянии.

Некоторые свойства и особенности коры

Практическому изучению доступна лишь ничтожная часть Земли. Самые глубокие буровые скважины достигают глубины 9159 м, а рудники — только 3800 м. До этих глубин возможно непосредственное изучение минералов, горных пород, а также температуры и давления.

Таблица 1

Химический состав земной и лунной коры и метеоритов (массовые %),
(по Г. В. Войткевичу, 1971)

Элементы	Земная кора	Лунная кора	Метеориты (в среднем)
Кислород . .	46,6	42,0	33,0
Кремний . .	27,7	21,0	47,0
Алюминий . .	8,13	4,8	1,1
Железо . . .	5,00	13,0	28,6
Магний . . .	2,09	4,8	13,8
Кальций . .	3,63	6,8	1,39
Натрий . . .	2,83	0,44	0,68
Калий	2,59	0,17	0,10
Титан	0,44	6,0	0,08
Никель . . .	0,006	0,02	1,68

Из 89 известных на Земле химических элементов лишь 9 составляют основную часть земной коры ($\sim 99\%$). Эти же элементы преобладают в составе лунной коры и метеоритов (табл. 1).

При общих чертах сходства земной и лунной коры имеются большие принципиальные отличия; на Луне мало алюминия и калия, но много железа, титана и кальция.

По главным химическим элементам, содержащимся в коре, — кремнию и алюминию верхнюю оболочку называют *сиаль*. Граница между гранитным слоем и сплошным базальтовым получила название *раздела Конрада*.

В зависимости от химических и физических свойств в коре выделяют ряд поясов. В верхнем поясе земной коры происходят процессы выветривания, в том числе окисления, гидратации и

почвообразования. Химический состав почв зависит от химического состава земной коры.

Ниже расположен пояс цементации, в котором температура и давление выше и вещество коры цементируется и уплотняется. Полагают, что отдельные участки этого пояса находятся в расплавленном состоянии.

Земной магнетизм. Под магнетизмом понимают совокупность свойств и явлений, обусловленных особым магнитным взаимодействием тел. Магнитная стрелка, свободно вращающаяся, одним концом поворачивается на север, другим — на юг. Это показывает, что земной шар обладает свойством двухполюсного 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. Положение их непрерывно меняется. В 1962 г. их положение было следующим: северный полюс — 75° с. ш., 101° з. д.; южный полюс — $67,5^{\circ}$ с. ш., 140° в. д.

Полагают, что земной магнетизм обусловлен наличием электрических токов в Земле. Напряженность геомагнитного поля может отклоняться от своих нормальных значений в зависимости от времени и местоположения. Эти отклонения получили название *магнитных аномалий*. Магнитные аномалии бывают связаны с неоднородным геологическим строением верхней части твердой оболочки Земли (часто эти отклонения вызываются залежами магнитного железняка), тектоническими нарушениями и другими причинами.

Термальный режим земной коры. Тепловой режим коры обусловлен двумя основными источниками тепла: энергией Солнца и внутренней энергией планеты. Выделяют энергию, возникающую при радиоактивном распаде, химических реакциях, кристаллизации минералов, тектонических процессах (ротационногенное тепло).

Солнечное тепло проникает в земную кору только до глубины 20—25 м, в океане — до 200 м. Его роль для жизни растений, животных и человека огромна. Среднесуточные колебания температуры (ночью и днем) в некоторых пустынях земного шара достигают 30 — 40° , а изменения температуры в течение года доходят до 100°C (летом на солнце до 70° , зимой до -30°). Эти колебания способствуют разрыхлению пород.

В пределах первых двух десятков метров температура пород также испытывает суточные и сезонные колебания. Глубже амплитуда колебаний уменьшается. Область распространения пород с постоянной температурой 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 коры характеризуются многолетними мерзлыми породами, в них длительно сохраняется отрицательная среднегодовая температура, горные породы содержат прослойки льда. Только на глубинах около 250—500 м в этих участках уста-

навивается положительная температура; далее повсеместно в породах с глубиной наблюдается постепенное ее повышение, в среднем на 3° на каждые 100 м.

Прирост температуры горных пород в градусах Цельсия на каждые 100 м углубления от пояса постоянных температур называется *геотермическим градиентом*. Размерность его — $^{\circ}\text{C}$ на 100 м.

Расстояние в метрах, отсчитываемое от уровня постоянных температур, на котором с углублением в недра Земли температура повышается на 1°C , называется *геотермической ступенью*.

В процессе строительства, сооружения туннелей, шахт, рудников, бурения сверхглубоких скважин накоплен обширный материал по тепловому режиму преимущественно осадочных пород в различных частях света. Установлено, что геотермическая ступень колеблется в значительных пределах и зависит от ряда местных причин: теплопроводности горных пород, различного рода гидрохимических процессов, характера залегания горных пород, подвижности подземных вод, рельефа местности. В среднем для осадочных пород земного шара геотермическая ступень принимается равной 33 м^1 .

В Европе геотермическая ступень колеблется от 28 до 36 м, в СССР — от 12 до $112,5 \text{ м}$.

Пониженные значения температур наблюдаются в европейской части СССР, где температура на глубине 1000 м в основном изменяется в пределах $18\text{--}20^{\circ}$, а геотермические градиенты — от $1,2$ до 30° на 100 м. В Москве на глубине 1630 м температура только 41°C .

Температуры, замеренные в сверхглубоких скважинах, таковы: в скважине Аралсорская (Западный Казахстан) на глубине 6000 м 153°C , в Медведковской (1971) под Краснодаром на глубине 6267 м $219,4^{\circ}\text{C}$. В США наиболее высокие температуры достигали: в скважине 1 Юниверента на глубине 7724 м 181°C , Монгомера 1 на глубине 7136 м 244°C .

Как уже говорилось, одним из источников внутренней энергии Земли является радиоактивный распад. Содержание основных радиоактивных элементов в силикатной оболочке неравномерно и в целом определяется так: $1 \cdot 10^{-6}$ г урана и $1 \cdot 10^{-2}$ 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 SiO_2) породах — 70%, в ультраосновных (бедных SiO_2) — 10%.

По Б. Мейсону (1970), концентрация урана в гранитах 4 г/т, а в дунитах — лишь 0,015.

¹ Температурные изменения в магматических породах резко отличаются от температурных изменений в осадочных породах. Геотермическая ступень колеблется от 6 до 18 м.

Принято решение вскрыть глубинные слои земной коры и проникнуть в верхние слои подкорового вещества при помощи сверхглубокого бурения до 10—15 км. Эти сложные работы представляют исключительный интерес: они ознакомят с составом пород и физико-химическими условиями глубоких горизонтов коры, выяснят возможность разумного использования ресурсов недр и огромных запасов энергии, скрытых на больших глубинах.

Глава вторая

ЗЕМЛЯ В МИРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Краткие сведения о Солнечной системе

Солнечная система, к которой принадлежит Земля, состоит из центрального тела — Солнца, вокруг которого движутся девять больших планет¹ (Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон) с их 31 спутником, свыше 1000 малых планет и около 100 периодических комет². Масса всех планет составляет $\frac{1}{750}$ часть Солнечной системы. Все планеты можно подразделить на две группы, резко различные по своим физико-химическим свойствам: планеты земного типа (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и удаленные от Солнца (Юпитер, Сатурн и др.).

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

Метеориты — это «остатки каких-то крупных тел, возможно, планет» (В. Г. Фесенков); они приходят из космической области планет малых, расположенных между орбитами Марса и Юпитера. Достигая Земли, метеориты распадаются на осколки; иногда же при падении они образуют глубокие воронки. Изучение элементов Земли и метеоритов выявило сходство их химического состава (см. табл. 1).

Метеориты делятся на 3 группы: сидериты (железные метеориты), железо-каменные метеориты и каменные — хондриты. По возрасту и составу они неодинаковы. Сидериты состоят главным образом из железа, никеля и кобальта. Каменные метеориты наряду с никелем и железом содержат также силикаты. Эти метеориты представляют большой интерес, так как содержат радиоактивные вещества.

¹ Планета — темное несамосветящееся небесное тело.

² Кометы — особого вида тела, звезды Солнечной системы, состоящие из ядра, головы и хвоста.

По весу метеориты весьма различны — от нескольких граммов до нескольких тонн. Преобладают в них элементы с большой плотностью. Некоторые метеориты по своему возрасту мало отличаются от астрономического возраста Земли (примерно около 5 млрд. лет).

Основные представления о происхождении Земли

Проблема происхождения Земли и Солнечной системы интересовала человечество еще в глубокой древности. Так, у древних греков за два-три столетия до нашей эры по этому вопросу существовали две принципиально различные точки зрения.

Согласно первой, которую высказал Птоломей, Солнечная система построена геоцентрично. В центре мироздания располагается Земля, которая неподвижна, а все остальные планеты, Солнце и другие звезды обращаются вокруг Земли. Иудейские религиозные воззрения приняли геоцентрическую гипотезу строения Вселенной. Эта же гипотеза была канонизирована и христианством. Другая гипотеза получила название гелиоцентризма. Ее сторонники центром мироздания считали Солнце. В середине XVI в. великий польский астроном Николай Коперник (1473—1543) математически обосновал гелиоцентрическую гипотезу. Однако и после этого она долго не получала признания. Последователями Коперника были Бруно, Галилей, Кеплер, Ньютон.

Огромное значение для объяснения происхождения Солнеч-

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

ной системы имело открытие Кеплером (1571—1630) закона движения планет, а Ньютоном (1643—1727) — закона всемирного тяготения.

Первая научная гипотеза о происхождении Солнечной системы и всей Вселенной¹ принадлежит философу И. Канту (1724—1804). Она высказана им в 1755 г., когда в естественных науках господст-

¹ Вселенная — окружающий нас мир, бесконечный в пространстве, во времени и по многообразию форм заполняющего его вещества и его превращений.

вовала метафизика. Энгельс указывал, что Кант был первым, кто пробил брешь в этом окаменелом мировоззрении.

Лаплас (1749—1827) независимо от Канта высказал гипотезу о происхождении Солнечной системы из первичного хаоса (рис. 5).

Огромная историческая заслуга Канта и Лапласа, выходящая за рамки космогонии, заключается в том, что в решение вопроса о происхождении Солнечной системы они впервые в естествознании ввели принцип развития, 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: исходный раскаленный материал, из которого сформировались планеты, находился в разреженном состоянии в виде газа (Лаплас) или в виде определенных «частиц» (Кант).

В XX в. появились гипотезы Джеффриса, Джинса, Койпера, Юри и др.

Большой интерес представляют гипотезы советских ученых — О. Ю. Шмидта и В. Г. Фесенкова. Эти ученые в отличие от других рассматривают развитие Солнечной системы и, в частности, Земли не только как механическое перемещение тел в пространстве.

Гипотеза акад. О. Ю. Шмидта (1881—1956). О. Ю. Шмидт предполагает образование Земли и других планет из межзвездной холодной метеоритной пыли, захваченной полем тяготения Солнца (рис. 6). Солнце старше планет и Земли. Земля возникла постепенно путем «сбора» твердых частиц — метеоритов.

По представлениям О. Ю. Шмидта, вокруг Солнца существовал протяженный рой пылевой материи, из которой в процессе

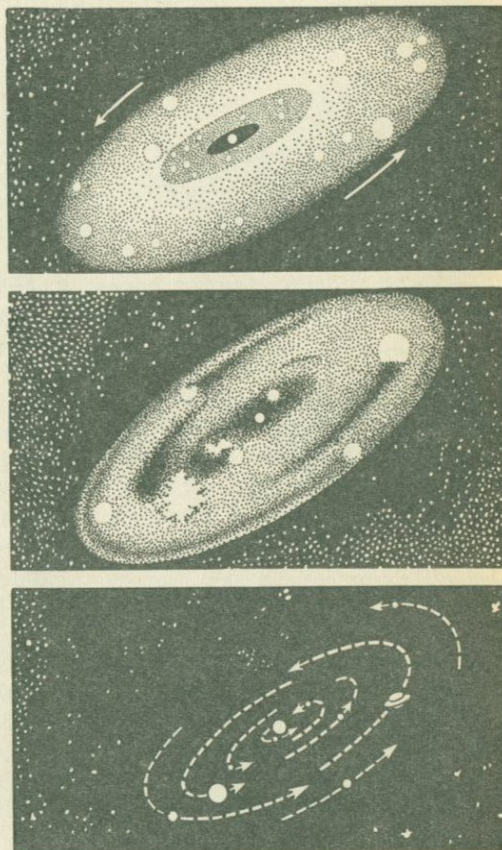


Рис. 6. Происхождение планет по гипотезе О. Ю. Шмидта

эволюции возникли планеты. При этом допускается, 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.

В гипотезе акад. О. Ю. Шмидта имеются некоторые слабо разработанные положения. Так, допущение, что Солнце захва-

тило пылевое метеоритное облако, обладающее собственным моментом количества движения, малообоснованно. Некоторые ученые считают, что первоначальное облако межзвездной материи вероятнее всего было не метеоритным, а газовым. Существуют также мнения, что и сами метеориты образовались в результате распада какой-то планеты, а не наоборот (планеты образовались из метеоритов). Кроме того, в осадочных породах древних геологических эпох не встречаются ископаемые метеориты. Гипотеза мало касается вопросов происхождения самого Солнца и других планет.

Гипотеза акад. В. Г. Фесенкова. В. Г. Фесенков

(1889—1972) склоняется к мысли о том, 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 — планет. Земля образовалась сразу во всей массе, а не собиралась из отдельных частиц.

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

Современные взгляды о происхождении и строении Солнечной системы и Земли убеждают в полной несостоятельности религиозных представлений о происхождении Земли. Земля в действительности не центр Вселенной, она сравнительно очень маленькое тело, каких во Вселенной бесчисленное множество. Многочислен-

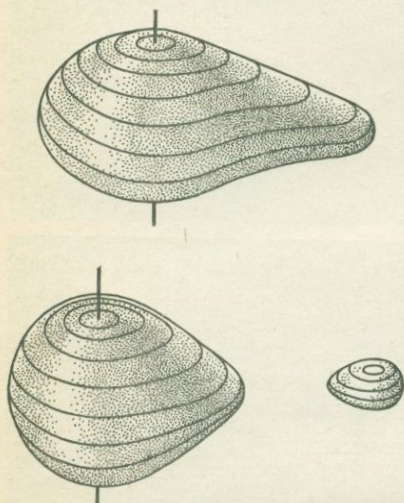


Рис. 7. Схема образования Земли по гипотезе акад. В. Г. Фесенкова

ные 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, не одновременно, а в разные периоды существования Вселенной.

Ученые полагают, что вначале Земля не была разделена на слои по химическому составу и не имела земной коры. Земная кора появилась позднее в результате выплавления и дегазации вещества мантии — его легкоплавкой и легколетучей фракции. Расщепление вещества мантии привело к образованию легкоплавкой фазы — базальтической магмы и тугоплавкой фазы — дунитов. Рост Земли происходил постепенно: более глубокие слои древнее верхних. С этих позиций материка перманентны, гидросфера, атмосфера — вторичны; они возникли в итоге привноса вещества (водяных паров, газов) в процессе выплавления и дегазации мантии. В настоящее время большинство исследователей полагает, что выделение вод и газов из верхней мантии происходило в процессе разогревания Земли на ранних стадиях ее формирования. История и эволюция гидросферы и атмосферы весьма сложны и трактуются учеными неоднозначно.

Ряд советских ученых, в том числе и О. Ю. Шмидт, убеждены в холодном начале Земли, постепенно разогревающейся вследствие распада в ней радиоактивных элементов. Многие 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. Поэтому систематическое охлаждение Земли с момента ее возникновения исключается, но некоторое подогревание ее в связи с распадом радиоактивных элементов в глубинных сферах возможно. Средняя температура Земли была сравнительно однообразна миллиарды лет, хотя и испытывала некоторые колебания, в результате которых Земля могла подвергаться оледенению.

Таким образом, при современных знаниях неправильно считать тепло Земли остаточным, унаследованным теплом, а Землю — 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 развитием Земли.

На основе новых данных космохимии, геохимии, геофизики постепенно выясняются вероятные пути образования Земли, формирования ее химического состава и основных оболочек. Однако строго научно обоснованной теории происхождения Земли не разработано, отдельные гипотезы рассматривают только часть вопросов этой сложнейшей проблемы современного естествознания.

Литература

- Горшков Г. П., Якушова А. Ф. Общая геология. М., Изд-во МГУ, 1973.
Жуков М. М., Славин В. Н., Дунаева Н. Н. Основы геологии М., «Недра», 1971.
Панников В. Д. Основы геологии. М., «Высшая школа», 1961.

Часть вторая

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ.

МИНЕРАЛОГИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

Глава третья

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ МИНЕРАЛОВ В ПРИРОДЕ

Минералогия (от лат. *minera* — руда) изучает 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 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.

По И. Костову (1971), из 2000 известных минералов сравнительно немногие имеют широкое распространение в природе. Эти минералы, а их всего около 50, входят в состав многочисленных горных пород, многие из них содержатся в почве, оказывают влияние на ее физико-химические свойства, в том числе и на плодородие. Эти минералы называют минералами почвенного скелета.

Строение и особенности кристаллов. Все минералы отличаются друг от друга по физическим свойствам и химическому составу. Твердые минералы встречаются в природе в большинстве случаев в виде кристаллов, т. е. веществ, обладающих кристаллической структурой, в которой элементарные частицы (атомы, ионы или молекулы) расположены закономерно в узлах кристаллической решетки.

Кристаллы и кристаллические вещества изучает наука *кристаллография*.

Кристаллы часто имеют форму различных многогранников — кубов, призм, пирамид, тетраэдров, октаэдров и т. д. (рис. 8).

Куб (гексаэдр) — форма, состоящая из шести квадратных граней (рис. 8).

Призма — форма, состоящая из трех или большего числа попарно параллельных граней, пересекающихся в одной точке. Так же, как и пирамиды, по форме поперечного сечения они называются ромбическими, гексагональными.

Пирамида — форма, состоящая из трех или большего числа равных граней, пересекающихся в одной точке (рис. 17).

Тетраэдр — форма, состоящая из четырех равносторонних треугольных граней (рис. 19).

Октаэдр — форма, состоящая из восьми равносторонних треугольных граней (рис. 17).

Кристаллические вещества обладают свойством *анизотропности*: их физические свойства (твердость, спайность, оптические свойства) зависят от направления: они одинаковы в направлениях параллельных и в общем случае неодинаковы в направлениях непараллельных (например, кристаллы слюды прекрасно расщепляются на тончайшие пластинки-чешуйки только в одном направлении).

Некоторые вещества характеризуются беспорядочным расположением частиц (молекул, атомов и ионов), т. е. отсутствием кристаллического строения. Такие вещества называют *аморфными* (стекло и др.). Аморфное состояние неустойчиво и с течением времени переходит в кристаллическое. Аморфный кремнезем — опал — имеет тенденцию к кристаллизации (переходит в 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

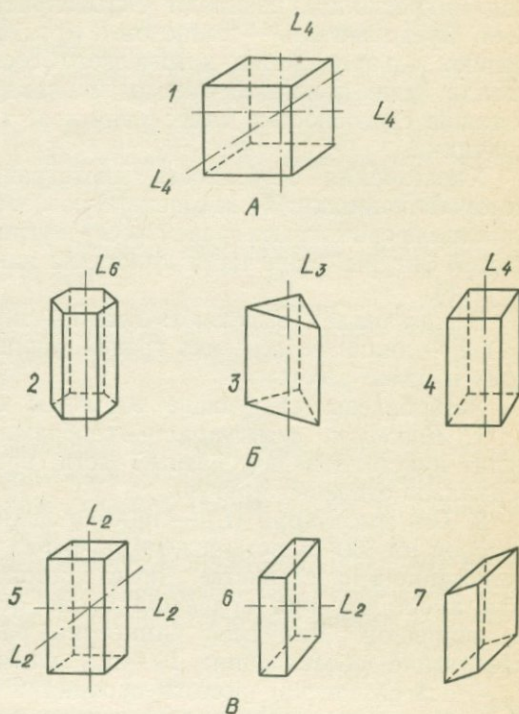


Рис. 8. Кристаллографические сингонии. А — высшая сингония (более одной оси высшего порядка); Б — средние сингонии (только одна ось высшего наименования); В — низшие сингонии (ни одной оси высшего наименования):

1 — кубическая, 2 — гексагональная, 3 — тригональная, 4 — тетрагональная, 5 — ромбическая, 6 — моноклиническая, 7 — триклиническая

дисперсионная среда (вода) занимает пространство между коллоидными частицами, например опал.

Физические свойства (твердость, теплопроводность, силы сцепления) аморфных веществ подобны свойствам жидкостей; они 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 обладают однородностью химического состава во всех частях кристалла или кристаллического индивидуума (например, зерна), а также способностью самоограняться, т. е. образовывать многогранники.

Характерная особенность многогранников — симметрия, под которой понимают: 1) закономерную повторяемость при вращении кристалла одинаковых граней, ребер и углов; 2) зеркальное равенство частей фигуры (одни части кристалла как бы зеркально отражают другие).

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

Установлены следующие элементы симметрии (см. рис. 8).

1. *Плоскость симметрии* — воображаемая плоскость, которая делит кристалл на две равные части, причем одна из них как бы зеркально отражает другую.

2. *Ось симметрии* (L) — прямая линия, при вращении вокруг которой на 360° кристалл несколько раз повторяет свое начальное положение в пространстве. Число повторений начального положения кристалла при вращении около оси 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 пересечения элементов симметрии в данной фигуре (кристалле).

В кристаллах возможны 32 комбинации элементов симметрии, и эти 32 комбинации называют кристаллографическими классами, или видами симметрии. Кристаллографические классы объединяются в сингонии («сингония» по-гречески — сходноугольность). Таких сингоний семь: триклинная, моноклинная, ромбическая, тригональная, тетрагональная (квадратная), гексагональная, кубическая.

Первые три представляют собой низшие категории, три последние — средние, а кубическая сингония — высшую. Характерные элементы симметрии для перечисленных сингоний приведены в табл. 2 и на рис. 8.

Форма минералов — один из признаков, необходимых для

Характеристика кристаллографических сингоний

Категория	Сингония	Характерные элементы симметрии
Низшая	Триклинная	Нет элементов симметрии или есть один центр симметрии (C)
	Моноклинная	Ось симметрии второго порядка и плоскость симметрии одна
	Ромбическая	Количество осей симметрии второго порядка и плоскостей симметрии достигают трех
Средняя	Тригональная	Характерна одна ось симметрии третьего порядка (L_3)
	Тетрагональная	Характерна одна ось симметрии четвертого порядка (L_4)
	Гексагональная	Характерна ось симметрии шестого порядка (L_6)
Высшая	Кубическая	Имеются четыре оси симметрии третьего порядка (наряду с L_2 или L_4)

быстрого определения некоторых из них; например, по форме можно узнать кристаллы каменной соли, пирита, флюорита, галенита (кубы и др.), кристаллы кальцита (ромбоэдри и др.), кварца (шестигранные призмы) и т. д.

Закономерно сросшиеся однородные кристаллы образуют двойники, тройники. Так, для гипса характерен так называемый ласточкин хвост, для ортоклаза — карлсбадские двойники.

Физические свойства и методы изучения минералов

Каждый минерал обладает определенным химическим составом и имеет характерное для него внутреннее строение, от которого зависят его внешняя форма и свойства. Методы изучения и определения минералов весьма обширны: визуально или макроскопически минералы определяют в полевой обстановке по цвету, блеску, твердости, форме и т. п. Нередко в полевой обстановке используют 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 и различные термические методы.

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

Цвет. Окраска минералов привлекала внимание человека еще в глубокой древности. Многие названия минералов были даны по этому признаку, например гематит (от греч. «гематикос» — кровавый), альбит (от лат. «альбус» — белый), рубин (от лат. «рубер» — красный), аурипигмент (от лат. «аурум» — золото).

Цвет минералов зависит от их структурных особенностей, присутствия в них красящих элементов (хромофор) и механических примесей.

По красящим элементам — хромофорам различают окраски: 1) *идиохроматическую*, или собственную (зеленая у малахита), и 2) *аллохроматическую*, чуждую для минерала окраску; например, горный хрусталь обычно бесцветен, но бывает окрашен в красивые фиолетовые (аметист), черные (морион) и 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 мелкодробленном 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 ее поверхности останутся мелкие порошинки минерала, окрашенные в определенный цвет. Некоторые минералы дают характерную черту; так, пирит в куске соломенно-желтый, в порошке — почти черный, гематит — черный, в порошке — вишнево-красный, магнетит — железо-черный, в порошке — черный.

Кроме основной окраски, иногда медьсодержащие минералы имеют дополнительные оттенки — так называемую побежалость. Эти оттенки обусловлены явлениями интерференции света на поверхности минерала в результате различных реакций, возникающих при процессах химического выветривания. 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, 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 *прозрачные* (горный хрусталь, исландский шпат и др.), *полупрозрачные* (опал, сфалерит, киноварь и др.), *непрозрачные* (пирит, галенит, графит и др.).

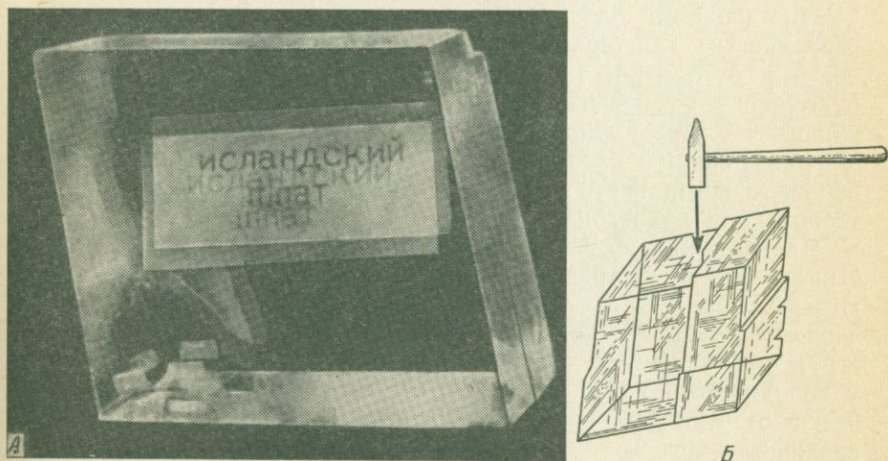


Рис. 9. Некоторые свойства кристаллов: А — двупреломление в кристалле исландского шпата; Б — спайность совершенная в трех направлениях

Многие непрозрачные минералы просвечивают в тонких обломках, например халцедон, биотит. У некоторых прозрачных минералов, например у исландского шпата (разновидность кальцита), из-за резкой анизотропности оптических свойств величина преломления изменяется в зависимости от направления световых колебаний, поэтому входящие в кристалл световые лучи раздваиваются. При рассматривании через исландский шпат буквы или штриховые рисунки удваиваются (рис. 9). Поэтому 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 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 *металловидный*, блеск, который иногда можно сравнить с блеском потускневших от времени металлов; такой блеск наблюдается у гематита, киновари, куприта.

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 служат причиной *воскового* блеска, характерного 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*, например у волокнистого гипса (селенита), асбеста. 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.

У минералов различают следующие виды спайности.

1. *Весьма совершенная.* Минерал по определенному направлению расщепляется, делится очень легко на пластинки, листочки, чешуйки; плоскости спайности зеркально-блестящие, ровные (например, слюда, гипс).

2. *Спайность совершенная* — минерал в определенном направлении раскалывается с образованием ровных блестящих плоскостей. Различают совершенную спайность в одном направлении — волокнистый гипс, в двух направлениях — ортоклаз, в трех — кальцит (см. рис. 9), каменная соль, в четырех — флюорит, в шести — сфалерит. Все минералы, относящиеся к группе шпатов, имеют совершенную спайность.

3. *Спайность несовершенная.* Обнаруживается с трудом на обломках минерала, значительная часть обломков ограничена неправильными поверхностями излома (например, апатит, берилл).

4. *Спайность отсутствует.* При ударе минерал раскалывается по случайным направлениям и дает неровные поверхности излома (например, кварц, касситерит, пирит). Необходимо отличать от плос-

костей спайности грани кристалла, которые у кварца, магнетита, пирита выражены очень четко.

В 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 слюд — по пинакоиду¹.

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* — присущий 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 острием, истиранию. Это очень важное физическое свойство, имеющее большое 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 эталонов твердости получил название *шкалы Мооса*. В нем 10 минералов разной твердости, которая условно обозначается баллами от 1 до 10.

1. Тальк — $Mg_3(SiO_4O_{10})[OH_2]$

2. Гипс — $CaSO_4 \cdot 2H_2O$

3. Кальцит — $CaCO_3$

4. Флюорит — CaF_2

5. Апатит — $Ca_5(PO_4)_3(OH, F, Cl)$

6. Ортоклаз — $K[AlSi_3O_8]$

7. Кварц — SiO_2

8. Топаз — $Al_2[SiO_4][F, OH]_2$

9. Корунд — Al_2O_3

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. Твердость минерала, выражаемая в баллах, имеет не абсолютное, а относительное значение. Твердость минералов определяется также на микротвердометре ТМТ-2; например, у талька она равна 2,4 кг/мм², кальцита — 109 кг/мм², кварца — 1120 кг/мм² и алмаза — 10 060 кг/мм².

Для определения относительной твердости можно пользоваться разными легкодоступными предметами, твердость которых известна.

¹ Пинакоид — форма, состоящая из двух параллельных граней

Так, например, твердость ногтя равна 2,5, медной монеты — 3, кусочка стекла — 5—5,5, стального перочинного ножа — 5,5—6. Практически при помощи ногтя и ножа можно определить твердость многих минералов с твердостью до 6. Так, нож будет давать черту (царапину) 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, сдуть порошок и убедиться, осталась ли царапина.

Твердость — векторное свойство: она 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 разности многих минералов обладают ложными малыми твердостями, например, гематит в кристаллах имеет твердость 6, а в виде красной охры — только 1.

Плотность. Плотность минералов колеблется в широких пределах — от 0,9 (лед) до 23 (группа осмистого иридия). Наиболее многочисленны минералы с плотностью от 2,5 до 4, поэтому она служит диагностическим признаком только минералов тяжелых элементов — свинца, вольфрама, бария.

По плотности минералы подразделяют на три группы: легкие минералы с плотностью до 2,5, средние — 2,5—4, тяжелые — более 4 (табл. 3). Плотность зависит от химического состава и структуры вещества. Например, пирит — FeS_2 кубической сингонии, имеет плотность 4,9—5,2, а марказит того же состава ромбической сингонии — 4,6—4,9. При переходе кварца в тридимит с изменением кристаллической структуры изменяется и плотность: от 2,65 до 2,26. Непрозрачные минералы с металлическим блеском обычно тяжелые, прозрачные минералы со стекляннным блеском — сравнительно легкие. Для точного определения плотности существует много лабораторных методов (пикнометрический, определение в тяжелых жидкостях). В полевой обстановке важно научиться определять плотность приблизительно, взвешивая кусок минерала на левой ладони, отличать легкие минералы, как, например, гипс, кварц, галит, ортоклаз от тяжелых — пирита, магнетита, барита и др.

Магнитность. Свойство минералов действовать на магнитную стрелку или самим притягиваться магнитом называется *магнитностью*.

Средние значения плотности главных минералов, некоторых пород и почв

Минералы	Плотность, г/см ³	Породы	Плотность, г/см ³
Кварц	2,65—2,66	Базальт	2,90—3,30
Ортоклаз	2,56—2,58	Мрамор	2,72
Биотит	2,7—3,1	Известняк-ракушечник	2,70
Роговая обманка	3,0—3,3	Песчаник	2,35—2,65
Гипс	2,3	Глина	2,58—2,92
Доломит	2,8—2,9	Валунный суглинок (морена)	2,68
Кальцит	2,71—2,72	Песок кварцевый	2,65
Каолинит	2,6	Лёсс	2,64—2,70
Монтмориллонит	2,0—2,2	Чернозем	2,37
Магнетит	5,17—5,18	Перегной	1,4—1,8
Нефть	0,70—0,98	Торф	0,5—0,8
Вода морская	1,03—1,08	Лед	0,92
Гранит	2,60—2,70		

Магнитностью обладает магнетит, природная платина, содержащая железо, и др. Для испытания на магнитность кусочек испытуемого минерала измельчают ударом молотка, после чего к нему прикасаются намагниченным перочинным ножом или магнитной подковой.

Растворимость в кислотах. Некоторые карбонаты (кальцит, малахит) растворяются при обычных условиях в соляной кислоте с выделением CO_2 . Другие растворяются в измельченном виде (доломит) или при подогревании (магнезит) и даже кипячении. Характер растворимости широко используется для диагностики карбонатных пород — известняков, мела. Похожие по внешнему виду сульфаты с HCl не реагируют.

Вкус. Растворимые в воде минералы вызывают определенные вкусовые ощущения. Так, галит — соленый, сильвин — горько-соленый, мирабилит — охлаждающий, соленый, квасцы — кислые. Нерастворимые минералы (каолинит и галлуазит) липнут к языку и влажным губам.

Запах. При трении желваков фосфоритов друг о друга появляется запах жженой кости, горелой кожи (присутствие фосфора). Некоторые минералы (сера, янтарь) при нагревании легко загораются и испускают характерные запахи. Иногда запах начинает 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 (см. список рекомендуемой литературы).

Определение проводят отдельно. Ключом к определителю минералов является блеск (металлический или неметаллический), а также твердость (можно ли ногтем или куском стекла оставить царапину на минерале). Определив эти признаки, выясняют цвет минерала в куске и порошке (черты), вкус, растворимость в холодной соляной кислоте, горит он или легко плавится при нагрева-

нии и т. д. Далее по таблицам находят минерал, который соответствует этим признакам.

При определении горных пород соблюдают определенную последовательность: 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.

Формы нахождения минералов в природе

Естественные скопления минералов в виде зерен или кристаллов называют минеральными агрегатами. Среди них различают следующие формы.

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, рис. 10).

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

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

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

Дендриты (рис. 11) — ветвистые древовидные агрегаты, получающиеся

при быстрой кристаллизации (дендриты самородной меди, серебра и др.); некоторые дендриты возникают при коагуляции коллоидов (окислы марганца, окислы железа).

Конкреции (рис. 11) — агрегаты шарообразной формы (желваки), иногда с радиально-лучистым строением внутри. Рост конкре-

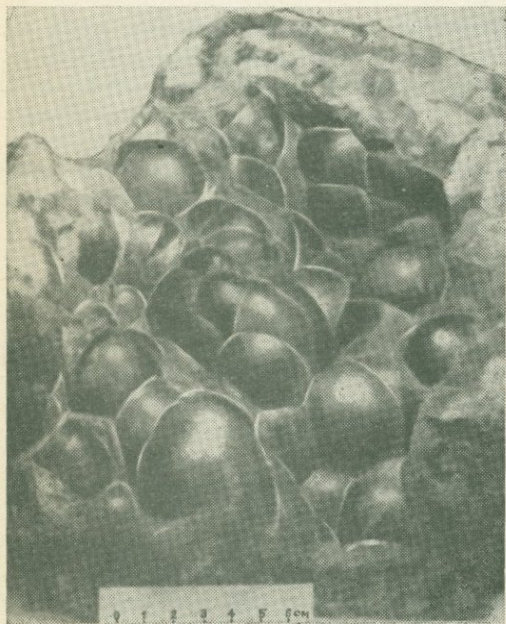
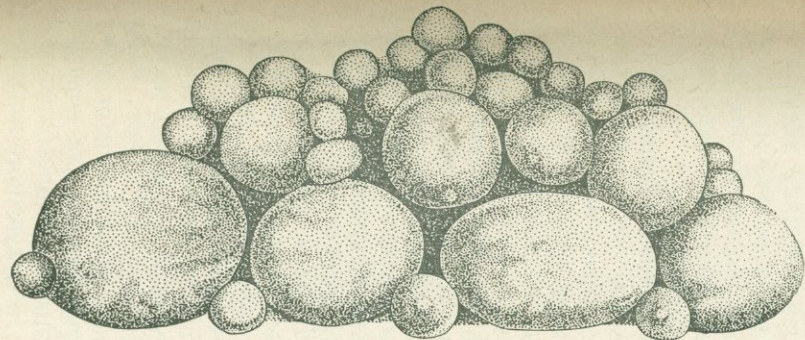
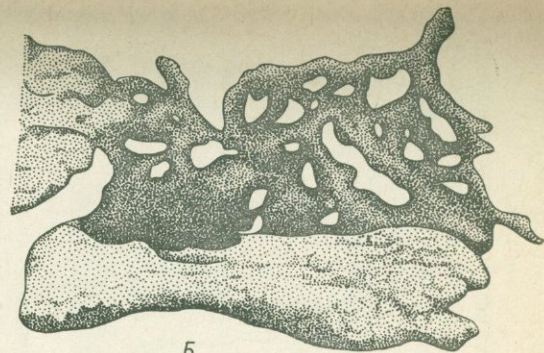


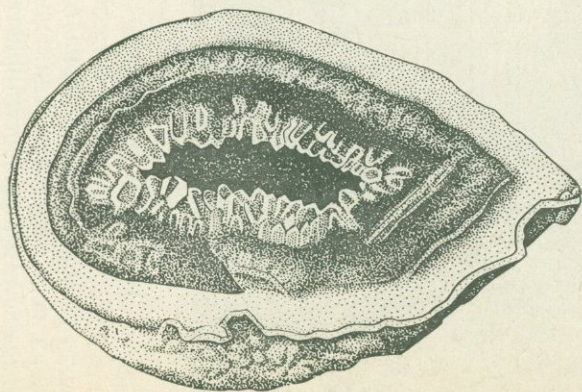
Рис. 10. Почковидные агрегаты халцедона. Закавказье



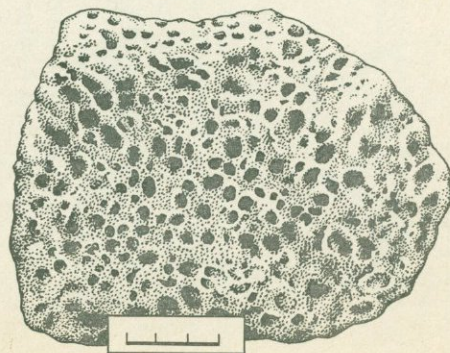
А



Б



В



Г

Рис. 11. Формы минералов: А — конкреция; Б — дендрит; В — секрция; Г — оолиты

ций осуществляется от центра к периферии. Они характерны для фосфорита и марказита (см. рис. 14).

Секреции (жеоды) (рис. 11) — полости, пустоты в горной породе, отчасти заполненные минеральным веществом. В противоположность конкрециям рост жеод происходит от периферии (стенок) к центру.

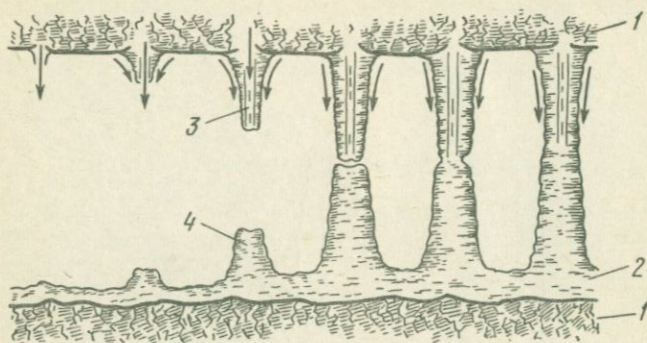


Рис. 12. Сталактиты и сталагмиты:

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

Оолиты (рис. 11) — небольших размеров шарики, имеющие концентрически-скорлуповатое строение; шарики могут быть сцементированными или находиться в рыхлом состоянии (пирролизит оолитового строения, иногда боксит).

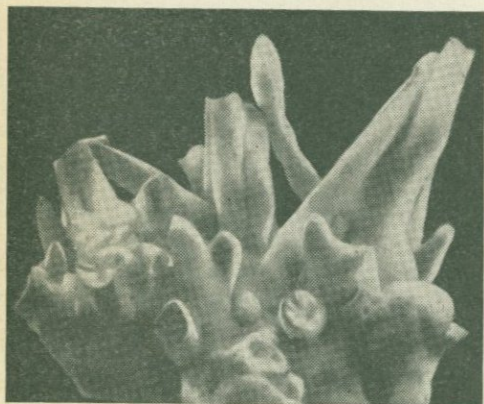


Рис. 13. Натечные формы арагонита

Натечные формы (сталактиты и сталагмиты, рис. 12) образуются в результате выделения минерала из раствора при испарении. Известны в пещерах, пустотах. Характерны для кальцита, гидроокислов железа. Натечный характер имеют также почковидные агрегаты — малахит, арагонит и др. (рис. 13).

Налеты, примазки кристаллов 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 мельчайших кристаллов — периодически появляющиеся отложения солей, чаще всего легкорастворимых водных сульфатов или галоидов на поверхности сухих почв, горных пород, руд. В дождливые периоды они исчезают, в сухую погоду появ-

ляются вновь. Широко известны в пустынях Средней Азии, в Прикаспийской низменности.

Следует подчеркнуть, что, несмотря на то что многие минералы, находящиеся в почвах, сильно измельчаются, 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.

Химические свойства

Изоморфизм. Под изоморфизмом понимают способность элементов заменять друг друга в химических соединениях родственного состава. В этом случае кристаллическая решетка данного вещества допускает замену одних компонентов (например, Mg^{2+}) другими (например, Fe^{2+}). Два вещества могут заменять друг друга в том случае, если они обладают аналогичной химической формулой и соответственные ионы обоих веществ имеют одинаковые по знаку заряды, а размер ионов и степень поляризации их близки. Так, ионный радиус $Mg^{2+} — 0,75 \cdot 10^{-10}$ м, $Fe^{2+} — 0,79 \cdot 10^{-10}$ м, $Fe^{3+} — 0,67 \cdot 10^{-10}$ м, $Al^{3+} — 0,57 \cdot 10^{-10}$ м.

Изоморфные смеси широко распространены в природе, например Mg_2SiO_4 — форстерит и Fe_2SiO_4 — фаялит. Их изоморфная смесь представляет собой минерал оливин, широко встречающийся в природе: $m Mg_2SiO_4 \cdot n Fe_2SiO_4$. Все три минерала (форстерит, фаялит и оливин) кристаллизуются в ромбической сингонии.

Минералы магнезит $MgCO_3$ и сидерит $FeCO_3$ образуют непрерывный ряд смесей: $m MgCO_3 \cdot n FeCO_3$ — брейнерит. Более сложную изоморфную смесь представляют плагиоклазы, в которых молекула альбита — $Na(AlSi_3O_8)$ в самых различных соотношениях может заменяться молекулой анортита — $Ca(Al_2Si_2O_8)$ с образованием кристаллов одного и того же триклинного класса. В этих соединениях происходит замена Na^+ на Ca^{2+} , Al^{3+} .

Изоморфные замещения играют большую роль в образовании минералов и важны для формирования почв, в частности их минерального состава и плодородия.

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

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

Различают псевдоморфозы *превращения*, *вытеснения* и *выполнения*. В первом случае минерал, слагающий псевдоморфозу, сохраняет часть элементов, входящих в состав замещенного минерала (например, псевдоморфозы лимонита по пириту).

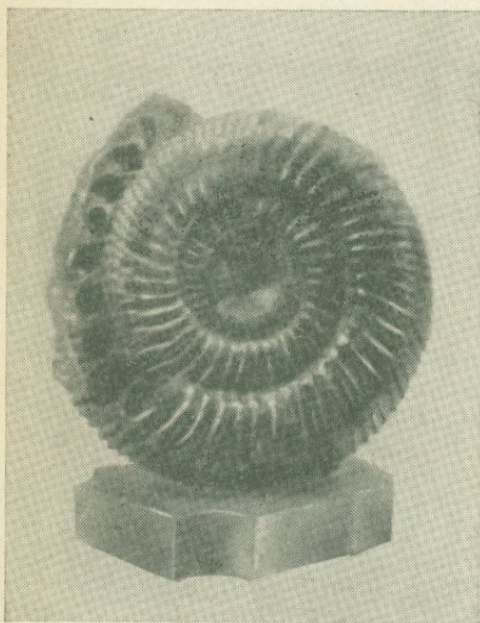


Рис. 14. Псевдоморфоза марказита по аммониту

в поверхностных условиях нередко встречается в виде хорошо образованных кристаллов — кубов и других многогранников. Эти формы ложные и представляют псевдоморфозы лимонита по пириту. Пирит (FeS_2) постепенно переходит в лимонит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), при этом состав изменяется, а внешняя форма, характерная для пирита, сохраняется. Известны также псевдоморфозы лимонита по сидериту и т. д.

К псевдоморфозам вытеснения относятся, например, псевдоморфозы опала или халцедона по древесине. В этом случае древесина вытесняется кремнеземом, причем сохраняется клеточное строение древесины. К псевдоморфозам вытеснения относятся окаменелости — псевдоморфозы

кальцита, фосфорита, марказита по остаткам растительных или животных организмов — раковинам моллюсков, панцирям ракообразных и т. д. Известны прекрасной сохранности раковины аммонитов, превращенные в марказит (рис. 14).

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 образуют ассоциации, другие никогда не встречаются вместе. Было замечено, что кварц очень редко находится вместе с оливином и никогда — с нефелином. Уже в древности знали, что золото надо искать в жилах вместе с кварцем, серебро — вместе со свинцом и т. д. Драгоценные камни — бериллы, изумруды, топазы — приурочены к пег-

матитовым жилам, богатым слюдами, кварцем, полевыми шпатами; платина и хром — к зеленовато-черным бескварцевым породам (дуниты, перидотиты), алмазы — к бескварцевым породам — кимберлитам. На это важное явление впервые обратил внимание еще в 1798 г. русский минералог В. М. Севергин, который назвал его «смежностью минералов». Позднее закономерное совместное нахождение минералов в природе, обусловленное их генетической связью друг с другом, получило название *парагенезиса*. Учение о парагенезисе облегчает геологам поиски руд и полезных ископаемых.

Глава четвертая

ОБРАЗОВАНИЕ МИНЕРАЛОВ, ГОРНЫХ ПОРОД И ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Минералы образуются в разнообразных физико-химических и термодинамических обстановках. Но каждый конкретный минерал образуется только при определенной температуре, давлении, концентрации минерального вещества, поэтому и устойчив он только в определенных условиях, близких к тем, в которых он образовался. В другой обстановке минералы постепенно разрушаются, перерождаются, образуют разновидности или даже совершенно новые минеральные образования, устойчивые в новых условиях. Так, широко распространенные полевые шпаты при выветривании образуют землистый минерал каолинит, из оливина $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$ в поверхностных условиях возникают карбонатные минералы — магнезит MgCO_3 , сидерит FeCO_3 и опаловое вещество $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Новые соединения, возникающие в горных породах при различных геологических процессах и производственной деятельности человека, влияют на плодородие почв. Сами горные породы при этом испытывают большие физические и химические изменения.

По условиям происхождения все минералы и горные породы подразделяют на три группы: магматические, осадочные и метаморфические.

Магматическое происхождение. Образование магматических пород и минералов происходит при высокой температуре и обычно большом давлении. Вследствие расплавления пород за счет радио-генного тепла в небольших обособленных очагах на различных глубинах (рис. 15) образуется *магма*¹ — тестообразный расплав сложного силикатного состава, содержащий различные газы, пары воды и горячие водные растворы.

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

Магматические очаги ограничены в своих размерах и приурочены к прерывистому слою максимальных температур; появляются

¹ По-гречески *магма* — густая мазь.

они временно и на относительно короткий срок в отдельных поясах земной коры и верхней мантии. Так, на Камчатке в Ключевской группе вулканов (Г. С. Горшков) очаги расположены на глубине 50—60 км, в вулкане Авача (рис. 16) — на глубине 2 км.

Внедряясь в горные породы, расплавленные массы могут пробиться через твердые горные породы к дневной поверхности или затвердеть на глубине. Если магма изливается на поверхность Земли, она называется *лавой*. Лава в отличие от магмы менее насыщена парами воды и газа.

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

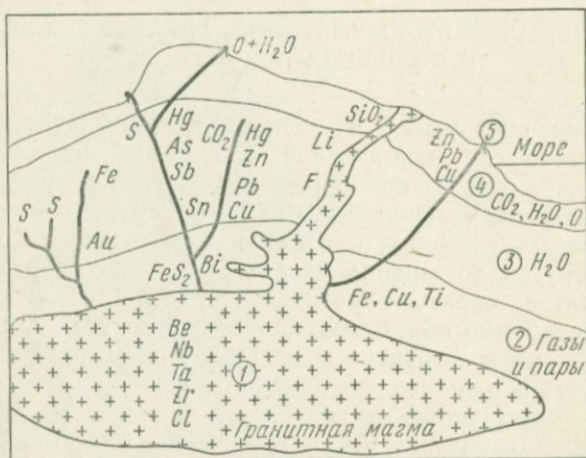


Рис. 15. Магматическое минералообразование:

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

Расщепление — дифференциация. Жидкий расплав обладает способностью при охлаждении расщепляться на части различного химического состава, т. е. дифференцироваться. Образующиеся при этом смеси расплава с определенным процентом различных веществ называются *эвтектическими*, а летучие компоненты и газы, уменьшающие вязкость магмы и понижающие температуру плавления силикатов; — *минерализаторами*.

Разделение жидкой магмы на две несмешивающиеся жидкости носит название *ликвации*. В процессе ликвации отщепляется сульфидный расплав основной магмы. Вследствие дифференциации того же родительского расплава (который считается основным, базальтовым) в разнообразных химико-физических условиях выделяются различные силикатные группировки. При магматической дифференциации химические элементы разделяются с пространственным разобщением отдельных групп элементов — в виде дифференциа-

тов. Соответственно говорят о кристаллизационной, ассимиляционной и ликвационной дифференциации.

Под *кристаллизационной дифференциацией* понимают последовательное выпадение различных соединений из 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.

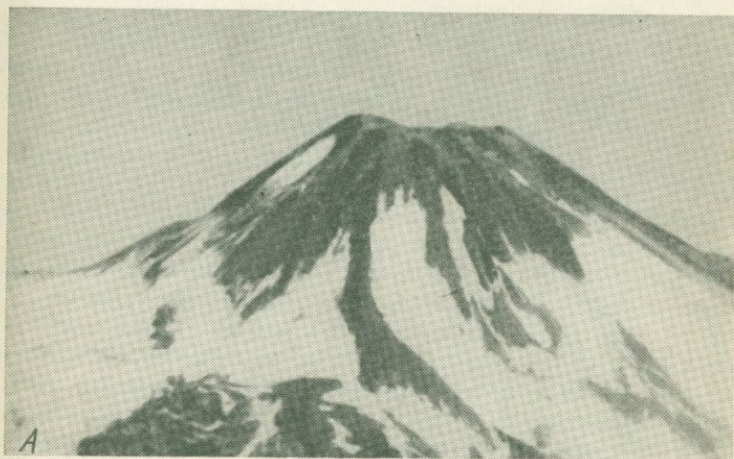
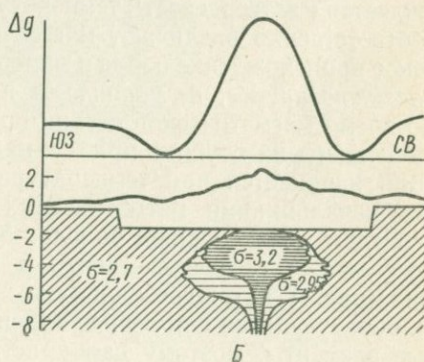


Рис. 16. А — молодой конус вулкана Авача (фото Е. А. Вакина); Б — положение магматического очага по геофизическим данным (г/см^3) (по Г. С. Штейнбергу и М. С. Зубину, 1963)



Внедрение магмы в окружающие горные породы сопровождается расплавлением (усвоением) вмещающих пород и поглощением воды. Этот процесс носит название *ассимиляции*. Он широко распространен в зоне соприкосновения (на контактах) магмы с вмещающими породами или на глубине вследствие опускания обрушившихся пород кровли в расплав магмы. Так, при ассимиляции доломитов происходит обогащение кальцием и магнием, при ассимиляции глины — алюминием и водой, при ассимиляции песчаников — кремнеземом.

Наблюдаемое в природе многообразие магматических пород, вероятно, объясняется различной *магматической дифференциацией*, т. е. первоначальным составом родительской магмы, и 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.

Вопрос о возникновении родительской магмы и ее производных остается неясным и трактуется по-разному. Некоторые ученые считают, что в глубоких зонах земной коры под влиянием газовых или жидких растворов происходит сложный процесс, сопровождающийся привнесом щелочей, глинозема и кремнезема и образованием гранитов из различных окружающих, главным образом осадочных пород. Этот процесс получил название *гранитизации*.

Стадии затвердевания магмы. В процессе затвердевания магмы выделяют ряд стадий — этапов: 1) стадию *собственно магматическую*; охлаждение огневого расплава на большой глубине только началось; температура около 1100—1200° С; 2) стадию *пневматолитовую* и *пегматитовую*; охлаждение продолжается, летучие элементы, выделяющиеся из магмы, оказывают большое влияние на расплав; 3) стадию *гидротермальную*; затвердевание пошло еще дальше, водный горячий раствор, выделяющийся из расплава, проникает в трещины пород, находящихся над магматической камерой; 4) стадию *вулканическую* (магма, растеряв летучие компоненты и газы, пробивается на поверхность Земли, быстро охлаждается и затвердевает); температура понижается до 700—800° С.

Соответственно различают магматическое (глубинное) и вулканическое происхождение 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 1200° С.

Родоначальниками магматических порообразующих минералов считают два основных окисла: MgO и CaO. Схематично этот процесс можно себе представить в виде так называемой вилки Боуэна (рис. 17). «Магнезиальную» часть вилки составляют минералы, образующиеся с помощью окиси магния. Магний и железо — слабые элементы, поэтому самокристиллизующийся магний начинает выделять из расплава сначала отдельные тетраэдры кремния (SiO₄), а затем, с понижением температуры, более крупные сцепления — цепочки тетраэдров (пироксены), ленты (роговая обманка). В конце процесса происходит выделение черных слюд — биотита, состоящего уже не из цепочек и лент, а из пакетов 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, заполняющего образующиеся пустоты в непрерывной сетке кремнеалюминиевых кристаллов. Возникают основные плагиоклазы —

анортит, альбит; наконец, появляются ортоклазы. Калий мигрирует, покинутые пустоты становятся устойчивыми, 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 и др.).

С пегматитовым процессом связано формирование крупных жил; таким путем образуются многие полевые шпаты, кварц, слюды, пегматиты (своеобразные «письменные» граниты).

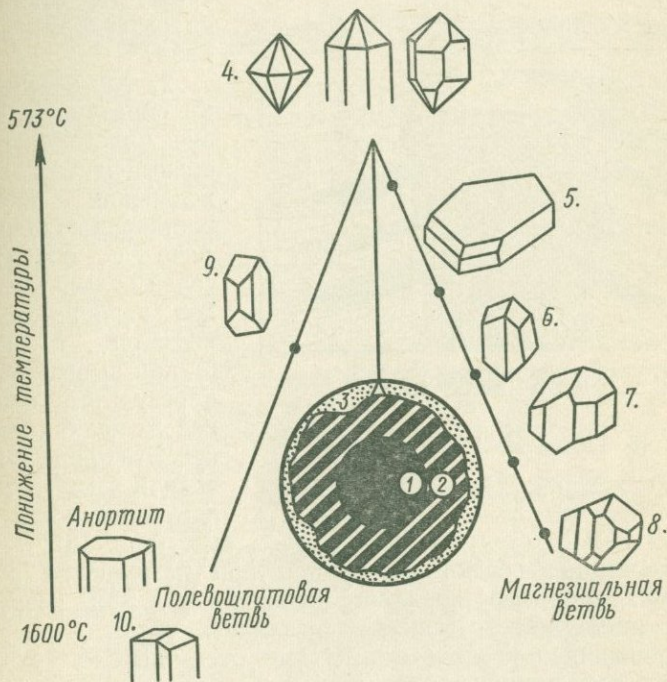


Рис. 17. Реакционный ряд Боуэна:

1 — ядро, 2 — мантия, 3 — земная кора, 4 — кварц, 5 — мусковит, биотит, 6 — роговая обманка (амфиболы), 7 — авгит (магниево-кальциевые пироксены), 8 — оливин, 9 — ортоклаз, 10 — анортит

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

Осадочное (экзогенное) происхождение пород и минералов. Осадочный процесс породообразования называют *осадочным литогенезом*. В самой общей схеме этот сложный процесс протекает примерно так: выветривание → перенос → отложение (образование осадка) → диагенез (образование осадочной горной породы).

Образовавшиеся таким путем минералы, горные породы и полезные ископаемые называют *осадочными*.

Осадконакопление (седиментация) происходит в поверхностных частях земной коры (как в морях, так и на суше) и на самой поверхности при невысоких температурах и давлении, близком к атмосферному, под влиянием физико-химических агентов атмосферы, гидросферы, земной коры и жизнедеятельности организмов.

Осадки могут быть *обломочного, химического и биогенного* происхождения.

1. Обломочные породы образуются в результате механического выветривания существовавших ранее горных пород; процесс происходит как на суше — поверхности материков, так и в водной среде, где откладывается разнообразный материал.

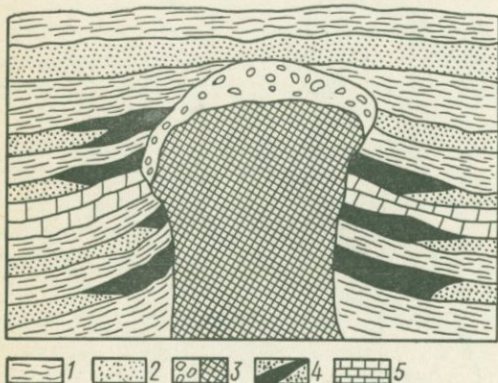


Рис. 18. Разрез через соляной шток:

1 — сланец, 2 — песок, 3 — гипсово-ангидритовая шляпа, 4 — залежи нефти и газа, 5 — известняк

2. Химические осадки образуются вследствие кристаллизации из водных растворов: а) при испарении грунтовых растворов из почв и подпочв с образованием солей сульфатов, галоидов, карбонатов в виде выцветов и налетов, б) при выпадении солей в результате испарения вод из мелких озер, лагун. Эти процессы происходили в далеком прошлом, происходят и сейчас (рис. 18).

3. Биогенные осадки образуются при разрушении остатков животных, например кораллов (известняки), при разрушении остатков растительного вещества (различные угли).

Накопившийся различными путями осадочный материал подвергается под влиянием различных факторов диагенезу (греч. *diagenes* — перерождение), в результате которого осадок превращается в горную осадочную породу.

Жидкий осадок, прикрытый сверху, постепенно обезвоживаясь, перерождается, преобразуется в ил и при дальнейшем уплотнении переходит в горную породу. В результате удаления и растворения неустойчивых соединений в новой среде возникают более устойчивые соединения, вследствие механической дифференциации химических процессов происходит частичная перекристаллизация веществ и его цементация с образованием коллоидных соединений, конкреций и различных новообразований.

Метаморфическое происхождение пород и минералов. *Метаморфизм* (греч. *metamorpho* — преобразуюсь, превращаюсь) называют сложный физико-химический процесс глубокого изменения, перерождения и перекристаллизации уже готовых минералов и горных

пород с сохранением их твердого состояния без заметного расплавления. Процессы метаморфизма происходят на глубине, где существуют высокие (от 100—200 и до 800° С) температуры и большое давление (до $152 \cdot 10^3$ кПа). Здесь осуществляется внедрение магматических расплавов, газов и водяных паров.

Различают метаморфизм без поступления вещества 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 валовой состав минералов изменяется.

Выделяют региональный, гидротермальный и контактовый виды метаморфизма.

Региональный метаморфизм протекает на больших глубинах и захватывает огромные территории. Давление при этом достигает $101 \cdot 10^3$ кПа, температура колеблется от 200 до 800° С. В результате перекристаллизации при одностороннем давлении минералы получают пластинчатый облик. Здесь образуются слюды, иногда роговые обманки, оливин, некоторые плагиоклазы. В зависимости от условий — температуры, давления, химических процессов — в коре выделяется ряд зон: верхняя — эпизона, средняя — мезозона, нижняя — катазона.

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

Контактовый метаморфизм проявляется на контакте двух пород и обычно бывает магматическим и осадочным. Магматический расплав с температурой около 1000° С реагирует с химически активными породами, особенно карбонатами. Вследствие взаимодействия интрузии с известняками образуются своеобразные новые породы — скарны. Тальк, серпентин возникают на контактах гранитных магм с доломитами. Некоторые крупные месторождения графита, залегающие вблизи мраморов и известняков в сиенитах, образовались в связи с восстановлением окиси углерода, выделившейся при поглощении магмой известняков.

Глава пятая

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОПИСАНИЕ МИНЕРАЛОВ

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

До последнего времени наибольшее распространение имела классификация минералов, в основу которой был положен хими-

ческий состав анионной части соединения. При составлении этой классификации ученые исходили из предпосылки, что металлоидная часть соединений минералов, обуславливающая ряд внешних признаков (кристаллическую форму, оптические свойства и т. д.), позволяет объединить минералы в определенные классы. Однако изучение особенностей кристаллической структуры минералов установило четкую связь между строением — структурой и химическим составом и физическими свойствами (цвет, твердость, спайность), показало, что морфология (внешний облик) минералов помогает установлению их генезиса. Перестройка минералогической систематики и классификации минералов на кристаллохимической (структурной) основе открывает большие перспективы для распознавания и понимания некоторых процессов минералообразования.

В нашей книге, где рассматривается ограниченное количество минералов (около 70), все минералы систематизируются по химическому составу, что в известной степени предопределяет их особенности и некоторые свойства. Выделяются следующие девять классов: 1) силикаты, 2) карбонаты, 3) нитраты, 4) сульфаты, 5) фосфаты, 6) окислы и гидроокислы, 7) галоиды, 8) сульфиды и 9) самородные элементы. Эти классы подразделяются на подклассы и группы.

Породообразующие минералы. Из числа описываемых ниже минералов только немногие широко распространены и входят в состав различных горных пород. Эти главнейшие минералы земной коры называют *породообразующими*. К ним относятся силикаты — полевые шпаты, кварц, слюды, роговые обманки, оливин, авгит, каолинит, карбонаты — кальцит, доломит. Эти важные для почв минералы охарактеризованы в предлагаемой книге более подробно и на них следует обратить внимание.

Агрономические руды. Это понятие введено в науку в 1914 г. Я. В. Самойловым. Под ними понимают минералы и горные породы, которые применяют в сельском хозяйстве для улучшения плодородия почв и повышения урожайности различных культур. Обычно это фосфатные, калийные, известняковые и некоторые другие соединения. Согласно принятой в учебнике генетической классификации минералов, так называемые агрономические руды подробно рассмотрены внутри соответствующих классов. Так, кальцит, доломит — среди карбонатов (стр. 56), апатит, фосфорит — среди фосфатов (стр. 60), гипс, ангидрит — среди сульфатов (стр. 63), калийные соли — среди галоидов (стр. 66) и т. д.

Класс силикатов

Классификация силикатов. Силикаты очень широко распространены: более 33%, или около 800 из всех известных в природе минералов, относится к этому классу. Почти 80% веса земной коры до глубины 16 км приходится на силикаты.

Долгое время силикаты рассматривались как соли различных гипотетических кремневых и алюмокремневых кислот. С помощью

рентгеновских лучей в них установлены не молекулярные, а атомные кристаллические решетки.

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).

В основе современной кристаллохимической классификации силикатов лежат способы сочленения кремнекислородных тетраэдров.

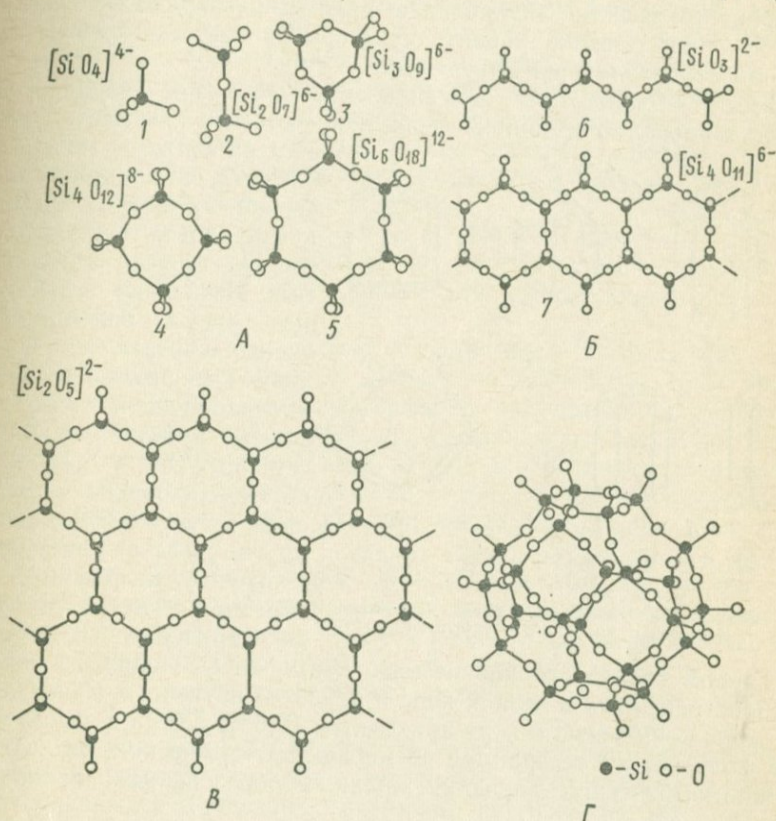


Рис. 19. Схема распространения кремния и кислорода в силикатах. А — радикалы островных структур; Б — линейные радикалы в силикатных структурах; В — плоскостные листовые радикалы (трехмерная структура):

1 — единственный изолированный тетраэдр, 2 — двойной тетраэдр, 3 — кольцо из трех тетраэдров, 4 — кольцо из четырех тетраэдров, 5 — кольцо из шести тетраэдров, 6 — одинарная цепочка, 7 — двойная цепочка (лента или пояс)

Во всех силикатах каждый атом кремния соединен с четырьмя атомами кислорода, расположенными в вершинах тетраэдра, в центре которого находится атом кремния. Тетраэдры могут соединяться между собой только через кислородные вершины (рис. 19). Если тетраэдры в структуре располагаются изолированно, соединяясь между собой через положительно заряженные атомы металлов

(Mg^{2+} , Fe^{2+}), получается первый, самый простой тип структуры силикатов: структура с изолированными, или островными, группами $[SiO_4]^{4-}$ (форстерит, оливин). Наряду с подобным конечным радикалом силикатов выделяются радикалы бесконечные — линейные, плоскостные или пространственные сочленения кремнекислородных тетраэдров: цепочки, ленты, слои, или листы, каркасы.

Кварц образуется в последние стадии кристаллизации магмы, которая при избытке SiO_2 обладает рядом характерных физических свойств, помогающих уяснить некоторые общие диагностические особенности различных минералов.

Вместе с силикатами описан кварц. Положение кварца среди других минералов несколько необычное: по своей химической при-

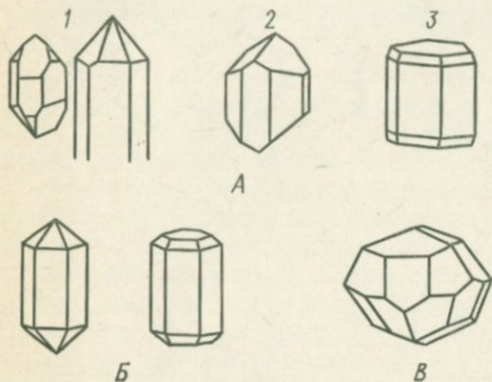


Рис. 20. Формы распространенных кристаллов:

А — силикаты: 1 — кварц, 2 — авгит, 3 — нефелин; Б — фосфаты: апатит; В — окислы: гематит

Группа свободного кремнезема. Кварц SiO_2 — один из самых распространенных в земной коре и наиболее изученных минералов. На долю кремнезема в коре приходится 12,6%. Кварц в значительных количествах содержится во многих магматических, осадочных и метаморфических породах, жильных образованиях, глинах и песках, почвах.

Кварц тригональной сингонии. Твердость 7. Плотность 2,5—2,8. Спайность отсутствует, в кристаллах четко выражены грани призмы (рис. 20). Излом раковистый. Блеск стеклянный на гранях, жирный — в изломе кристалла. Цвет может быть самый различный: молочно-белый, серый, черный. В кислотах, за исключением плавиковой и фосфорной, нерастворим. Пропускает ультрафиолетовые лучи; обладает пьезоэлектрическими свойствами (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; 2) аметист — фиолетовые разности; 3) раухтопаз — дымчатые, прозрачные разности, окрашенные в буровато-серые тона; 4) морион — кристаллы черного цвета.

Диагностические признаки — 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 магматическое¹. Образуется и путем выпадения кремнекислоты из циркулирующих в трещинах горных пород горячих растворов.

При экзогенных процессах образованию осадочного кварца способствует дегидратация и раскристаллизация гелей кремнезема, часто с образованием опала и халцедона (см. гл. 4). При метаморфических процессах возникает вследствие обезвоживания опалсодержащих осадочных пород с образованием яшм, роговиков.

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

Применение кварца весьма разнообразно. Прозрачные разновидности горного хрусталя, аметиста используют в качестве поделочных камней. Бесцветные употребляют для изготовления оптических приборов.

Халцедон SiO_2 — скрытокристаллическая плотная разновидность кварца. Твердость 6. Плотность 2,59—2,63. Цвет серый, голубовато- и буро-желтый, спайность отсутствует, полупрозрачный, просвечивающий, излом плоско-раковистый, восковой блеск; агрегаты сложены радиальными волокнами, часто разделенными на слои перпендикулярно к длине агрегата. Возможно, что эта слоистость образовалась при неравномерном высыхании геля кремнезема.

Халцедон желтовато-серого и черного цвета с раковистым изломом и в расколе с занозистым острым изломом называется *кремнем*. Кремнь обычно содержит примеси глинистых и железистых соединений. Полосатые, слоистые разновидности халцедона с яркой окраской и concentрическими полосами получили название *агата*.

От кварца халцедон отличается скрытокристаллической структурой и микроволокнистым строением. Просвечивает в краях. Разновидности халцедона, различно окрашенные соединениями хрома, железа, марганца, носят соответственные названия: синевато-серые — сапфирин, желтые, красные, оранжевые — сердолик, зеленые — плазма.

Халцедон экзогенного происхождения (при выветривании силикатов) образуется при дегидратации и раскристаллизации гелей кремнезема. Широко распространен в коре выветривания осадочных пород (известняках, песчаниках, в белом мелу) в виде кремневых желваков неправильной формы, содержащих остатки организмов. Изредка образует псевдоморфозы по животным и растительным остаткам; известен в натечных формах, в виде корок.

¹ В лабораторных условиях искусственно получены модификации кварца с плотностью 4,35.

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%). Твердость 5,5—6,5. Бесцветный, молочного-белый, желтый, бурый, красный, черты не дает, спайность отсутствует. Блеск восковой, стеклянный. Образует студнеобразные натечные формы, ноздреватые накипи, желваки, сталактиты.

Разновидности опала: благородный опал — с радужной игрой цветов, деревянистый опал (окаменелое дерево) — псевдоморфоза опала по дереву.

Диагностические признаки — аморфное стекловатое строение, раковистый излом, полупрозрачность. Образует студнеобразные массы.

Происхождение различное: образуется при выветривании различных силикатов и алюмосиликатов (в почвах опаловое вещество возникает благодаря действию гуминовых кислот на минеральный состав почв) и биогенным путем. Большое количество опалового вещества накапливается на дне морей. На суше многие организмы, особенно мхи, лишайники, концентрируют опал в своих телах, который после отмирания организмов переходит в халцедон и далее в кварц. Гидротермальный опал — *гейзерит* — образуется из вод горячих источников (гейзеров).

Благородный опал — драгоценный камень.

Островные силикаты (ортосиликаты). В структуре этого типа кремнекислородные тетраэдры представляют островки одиночных тетраэдров, двояных тетраэдров или группы 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+} . Эту решетку имеют минералы оливин и гранаты.

Оливин $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ — назван по оливково-зеленому цвету, представляет изоморфную смесь двух минералов — форстерита Mg_2SiO_4 и фаялита Fe_2SiO_4 . Сингония ромбическая. Твердость 6,5—7, плотность 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.

Диагностируется по оливково- и черно-зеленому цвету, стеклянному блеску и зернистым агрегатам.

Происхождение магматическое. Минерал тугоплавкий, кристаллизуется из магмы одним из первых при температуре около 1200—1500°С. Важный породообразующий минерал основных и ультраосновных пород. При процессах выветривания разлагается с образованием карбонатов и опалового вещества; при окислении закисного железа зерна буреют.

Применяют изредка как магниезиальное удобрение. Разновидность оливина — хризолит — драгоценный камень.

Породы, содержащие оливин, генетически связаны с месторождениями 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 $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$. Сдвоенные цепочки с радикалом $[\text{SiO}_{11}]^{6-}$ характеризуют особый подкласс силикатов, называемых ленточными. Обе группы широко распространены в коре, являются породообразующими и входят в состав многих почв. По весу в коре эти минералы занимают второе место после полевых шпатов (15%).

К цепочечным силикатам относят минералы группы пироксена, которые делятся на моноклинные и ромбические.

Моноклинные пироксены. Из моноклинных пироксенов рассмотрим *авгит* $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})(\text{SiAl})_2\text{O}_6$. Кристаллы авгита имеют блестящие грани (название происходит от греч. «авге» — блеск). Сингония моноклинная. Твердость 5—6,5, плотность 3,2—3,6. Цвет черный, зеленовато- и буровато-черный; черта серая или серовато-зеленая. Блеск стеклянный. Спайность по призме — средняя, под углом 90° . Авгит образует бочонкообразные призматические кристаллы (рис. 20, А), вросшие в магматические породы. В кислотах не растворяется. Различают обыкновенный авгит — темно-зеленый, зеленовато-черный и базальтический авгит, содержащий Ti и Mn.

Диагностические признаки — черный цвет, короткопризматические бочонкообразные кристаллы (рис. 20, 2), вросшие в магматические породы. В кислотах не растворяется.

Происхождение магматическое. Авгит — важный породообразующий минерал основных и ультраосновных пород. В зоне выветривания неустойчив. В результате химического разложения образуются тальк, каолинит.

Ленточные силикаты (амфиболы). Из амфиболов охарактеризуем *роговую обманку* $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}_3)(\text{SiAl}_4)\text{O}_{11} \cdot [\text{OH}]_2$. Химический состав непостоянный. Сингония моноклинная. Твердость 5,5—6, плотность 3,1—3,3. Цвет зеленый, бурый разных оттенков, от темных до черного. Черта бурая, черная с зеленоватым оттенком. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности — шелковистый. Спайность совершенная в двух направлениях по призме, под углом 124° . Непрозрачна. Кристаллы удлиненные, призматические, игольчатые, иногда дают шестиугольные сечения. Излом занозистый. В кислотах не растворяется.

Диагностические признаки — игольчатое призматическое строение, темно-зеленый или черный цвет.

Происхождение магматическое и метаморфическое. В зоне выветривания неустойчива, разлагается, превращаясь в карбонаты, опал.

Листовые (слоевые) силикаты. Кристаллическая структура листовых силикатов представляет собой дальнейшее усложнение лент; их тетраэдры, сцепленные атомами кислорода, образуют плоские слои — листы. Характерный радикал — $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$, усложняемый обычно гидроксилом OH. Кроме Si и O, в состав листовых силикатов входят K, Na и Ca — элементы, связывающие слои друг с другом, а также Al или Fe.

Молекулы воды в виде связующих элементов располагаются между пакетами, составленными кремнекислородными слоями — компонентами, непосредственно с ними соединенными. Неоднородная слоистость пакетов и различное содержание 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 листочков и, наконец, рыхлость, землистость строения.

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

Группа талька. Рассмотрим минерал *тальк* $Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2$ Сингония моноклиная. Твердость 1, жирен на ощупь, плотность 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° С.

Диагностические признаки — очень низкая твердость, светлая окраска, листовые, чешуйчатые разности с жирным блеском.

Образуется в результате гидротермального изменения богатых магнием ультраосновных пород.

Широко используется в сельском хозяйстве, находит применение в производстве ядовитых порошков, препаратов (инсектофунгицидов), используемых для борьбы с вредителями. К листовым силикатам относятся очень важные для почвенного скелета минералы: группа слюд (мусковит, биотит), гидрослюд (глауконит) и, наконец, глинистые вторичные минералы — каолинит, монтмориллонит.

Группа слюд (алюмосиликаты). Слюды в коре составляют около 3%. В эту группу входит несколько важных породообразующих минералов сложного состава: мусковит — калиевая слюда, биотит — магниезально-железистая черная слюда и флогопит — магниезальная слюда. Особенность слюд — весьма совершенная спайность в одном направлении, способность расщепляться на очень тонкие, гибкие и упругие пластинки.

*Мусковит*¹ $KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH, F]_2$. Сингония моноклиная. Твердость 2,5—3,0, плотность 2,76—3,0. Бесцветный, со светло-зеленоватым, желтоватым, сероватым или розоватым оттенками, прозрачен. Блеск перламутровый. Спайность весьма совершенная в одном направлении. Облик кристаллов таблитчатый или пластинчатый, боковые грани сильно исштрихованы в горизонтальных направлениях. Используется как изолятор для электрических токов. Кислотами не разлагается. Кристаллизационная вода начи-

¹ Название происходит от старинного итальянского названия г. Москвы — Муска. В XVI—XVII вв. большие листы слюды под названием «московского стекла» вывозились через Москву на Запад.

нает выделяться только при температуре выше 850°C . Диагностические признаки — светлая окраска, перламутровый или серебристый блеск, весьма совершенная спайность и легкая расщепляемость на тонкие прозрачные упругие листочки.

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

Мусковит относительно устойчив при выветривании. Мельчайшие серебристые блески скапливаются в глинах, песках, содержатся во многих почвах. Мусковит — отличный диэлектрик, применяется в качестве изоляционного материала в радиотехнике, электротехнике — в динамомашинках, турбогенераторах и других высоковольтных установках. Прозрачность и огнестойкость слюды позволяют использовать ее вместо стекла для окон плавильных печей, глазков в горнах.

Биотит $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}, \text{F}]_2$; состав непостоянный. Черная магнезиально-железистая слюда, очень широко распространенный минерал. Содержание кристаллизационной воды от 0,89 до 4,64%. Сингония моноклиновая. Твердость 2—3, плотность 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 с осаждением белого скелета кремнезема.

Диагностические признаки — черный цвет, перламутровый блеск, весьма совершенная спайность в одном направлении, тонкие листочки обладают упругостью.

Происхождение магматическое и метаморфическое, встречается вместе с мусковитом.

Группа гидрослюды. Из гидрослюд рассмотрим *глауконит* — водный алюмосиликат железа, калия и магния. Химический состав непостоянный: $\text{K}(\text{Fe}, \text{Al}, \text{Mg}_3)(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] \cdot n \text{H}_2\text{O}$.

«Глаукос» (греч.) — синева-зеленый. Сингония моноклиновая. Твердость 2—3, хрупок, плотность 2,2—2,8. Цвет темно-зеленый до зеленовато-черного, блеск матовый, у плотных разновидностей стеклянный, жирный, рыхлый, 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°C теряет гидратационную воду, до 500°C — гидроксильные группы.

Диагностические признаки — темно-зеленый цвет, низкая твердость, залегание в рыхлых породах. Образуется главным образом на дне морей.

Глауконит — агрономическая руда — калийное удобрение, используемое после соответствующей термической обработки.

Группа серпентина-каолинита. Из этой группы рассмотрим эти два минерала.

Серпентин $\text{Mg}_6(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$, или $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ («серпентина» по латыни — змеевидный). Твердость 2,5—3,5, плотность 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 раковистый, в волокнистых разновидностях наблюдается занозистый излом и пластинчатое строение.

Диагностические признаки — темно-зеленый цвет с желтыми пятнами, невысокая твердость, жирный блеск, зеркала скольжения.

Серпентин — вторичный минерал. Используется как магниезальное удобрение. Плотные разновидности серпентина употребляются в качестве облицовочного камня.

Каолинит и монтмориллонит входят в состав почвообразующих пород, обуславливая ряд физико-химических особенностей подпочв (просадочность лёсса, набухание и т. д.).

В структурном отношении они состоят из тетраэдрических и октаэдрических сеток, неограниченно развитых в плоскости. В основу современной структурной классификации глинистых минералов положено поведение кристаллической решетки минералов при увлажнении.

Каолинит сложен двухслойными плоскими пакетами-листами, состоящими из плоского слоя кремнекислородных тетраэдров и слоя, образованного алюминием, гидроокислами и кислородом. Подвижность кристаллической решетки у каолинита «жесткая»: молекулы воды не проникают внутрь пакетов, и минералы не набухают.

У монтмориллонита, наоборот, подвижность решетки большая, (решетка «раздвижная»), молекулы воды свободно проникают внутрь пакетов и раздвигают их, вызывая увеличение объема минерала в несколько раз (до десяти).

В отличие от других минералов класса силикатов монтмориллонит и каолинит обладают высокой дисперсностью и гидрофильностью, способностью к сорбции и ионному обмену.

Каолинит $\text{Al}_4(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$. Название происходит от китайского слова «Гао-линг» — высокая гора в Китае, сложенная белой глиной. Сингония у кристаллов моноклинная. Твердость от 1 до 2,5, плотность 2,6—2,63. Образует глиноподобные рыхлые 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. Каолинит жирный на ощупь, отдельные чешуйки гибки, но не упруги. Сильно гигроскопичен. В сухом состоянии липнет к языку. Огнеупорен, кислотоупорен. При увлажнении обуславливает сжатие лёссов, что приводит к просадкам. Важный в строительном отношении минерал.

Диагностические признаки — жирный на ощупь, пачкает руки, небольшая твердость, пластичность. Встречается в породах в виде

гелеподобных полуматовых масс с плоско-раковистым изломом. Хрупкий, легко полируется ногтем.

Каолин — самая лучшая по качеству огнеупорная глина, основное сырье для производства фарфоровой и фаянсовой посуды, применяется в парфюмерной промышленности.

Группа монтмориллонита. Монтмориллонит имеет сложный состав, который может быть выражен примерно следующей формулой: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Содержание H_2O изменяется в пределах 12—24%. Название дано по месту нахождения в Монтмориллоне (Франция). Очень мягкий, жирный; твердость до 2. Плотность непостоянная. Цвет белый с сероватым, иногда синеватым оттенком, излом раковистый. Образует тончайшие листочки в виде удлинённых призмочек и волоконца, залегает сплошными землистыми массами, между отдельными слоями могут быть адсорбированы молекулы воды, которые легко удаляются и вновь поглощаются с соответствующим уплотнением и сильным разбуханием трехслойных пакетов. Вследствие различного содержания воды свойства монтмориллонита очень меняются. Распространен в глинистых осадочных породах.

Глинистые породы и почвы, содержащие монтмориллонит, сильно набухают от влаги и становятся жирными.

Происхождение экзогенное, образуется в процессе химического выветривания основных изверженных пород. В почвах (гумусных, черноземах) монтмориллонит является относительно устойчивым минералом.

Глины, содержащие монтмориллонит, благодаря высокой погложительной способности применяются как адсорбенты для очистки нефтепродуктов, в качестве коллоидного связующего вещества.

Каркасные алюмосиликаты. Каркасную 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 анионной части. При замещении четырехвалентного кремния трехвалентным алюминием в структуре создается комплексная алюмокремневая 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 подгруппы: 1) кали-натриевые полевые шпаты, в состав которых входит $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ и $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$; к ним относятся ортоклаз, микроклин, санидин, амазонит; 2) натриево-кальциевые полевые шпаты, или плагиоклазы, представляющие непрерывный изоморфный ряд $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8] - \text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$; к ним относятся альбит, олигоклаз, андезин, лабрадор, битовнит, анортит; 3) фельдшпатоиды, или фельдшпатыды, в которой несколько особо стоят минералы, называемые заместителями полевых шпатов. По химическому составу они сходны с полевыми шпатами, но более бедны кремнекислотой.

Минералы группы полевых шпатов — одни из самых распространенных среди горных пород и почв. В коре их по весу около 55%. В породах они распределяются так: в магматических — около 60%, в метаморфических — 30%, в осадочных — 10%.

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

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

Подгруппа полевых шпатов (кали-натриевые полевые шпаты).

Ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$ (от греч. «ортоклаз» — прямораскалывающийся). Для соединения $K[AlSi_3O_8]$ существуют две моноклинные модификации: санидин, устойчивый при температуре выше 900° С, и санидин, устойчивый ниже этой температуры, а также триклинная модификация — микроклин, несколько отличающийся от ортоклаза по углу спайности. Твердость ортоклаза 6, плотность 2,56. Обычно светлые оттенки, голубовато-серые, розовые, мясо-красные. Черта белая. Блеск стеклянный, иногда прозрачный и полупрозрачный. Спайность совершенная по двум направлениям под прямым углом (90°), форма кристаллов призматическая, таблитчатая, при раскалывании образует прямоугольные сколы. Часто сросшиеся и нарощие кристаллы, образующие так называемые карлсбадские двойники. Температура плавления ортоклаза 1450° С.

Водяно-прозрачная разновидность ортоклаза — *адуляр*.

Диагностические признаки — большая твердость, призматическая форма кристаллов, прямой угол между плоскостями спайности, стеклянный блеск (рис. 21). 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; внешне неотличим от ортоклаза. Широко распространен в глубинных кислых и щелочных породах — гранитах, сиенитах, пегматитах. Закономерные сращения микроклина с кварцем образуют «письменный гранит», или «еврейский камень». Голубовато-зеленую разновидность микроклина называют *амазонитом*.

Микроклин применяется как строительный, декоративный и поделочный материал.

В поясе выветривания под влиянием действия кислорода воздуха, воды, уголекислоты и гумусовых кислот полевые шпаты подвергаются процессам каолинизации (см. гл. 10), превращаются в хлориты и цеолиты. В условиях влажного тропического климата

процессы химического выветривания приводят к образованию бокситов и других продуктов латеритного процесса.

Подгруппа плагиоклазов (натриево-кальциевые полевые шпаты, или плагиоклазы). Натриево-кальциевые полевые шпаты представляют собой изоморфные смеси натриевой молекулы—

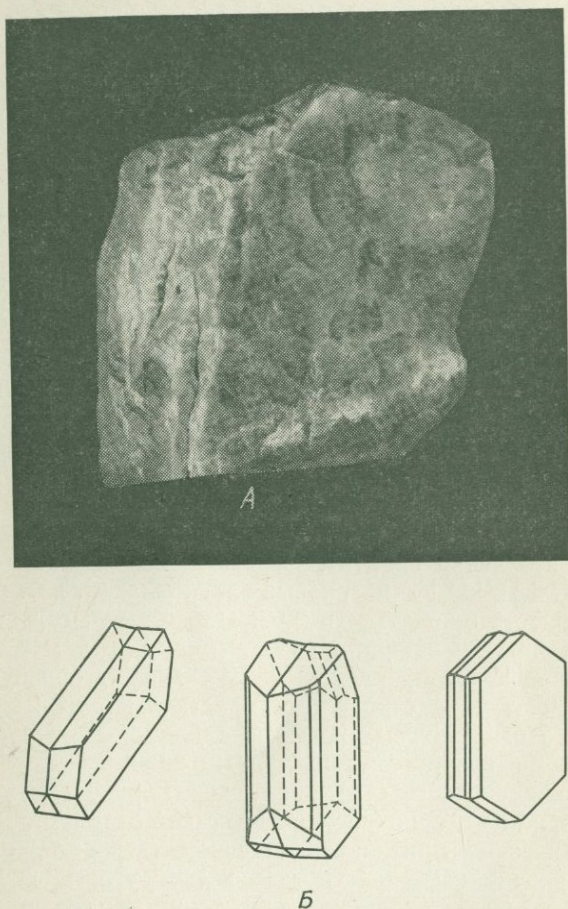


Рис. 21. Полевые шпаты. А — кристалл микроклина из занорышевой полости; Б — кристаллы плагиоклаза — альбит

альбит $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ и кальциевой — анортит $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$. Обычно плагиоклазы содержат также некоторое количество $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$.

Плагиоклазы (по Е. С. Федорову) принято обозначать номерами, соответствующими весовому содержанию 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 (Аб) —

$\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ — плагиоклазом № 0. Промежуточные плагиоклазы имеют специальные минералогические названия:

Альбит (Аб)	№ 0—10	от Ab_{100} An_0 до Ab_{90} An_{10}
Олигоклаз	№ 10—30	» Ab_{90} An_{10} » Ab_{70} An_{30}
Андезин	№ 30—50	» Ab_{70} An_{30} » Ab_{50} An_{50}
Лабрадор	№ 50—70	» Ab_{50} An_{50} » Ab_{30} An_{70}
Битовнит	№ 70—90	» Ab_{30} An_{70} » Ab_{10} An_{90}
Анортит (Ан)	№ 90—100	» Ab_{10} An_{90} » Ab_0 An_{100}

Плагиоклазы от 0 до 30 номера, богатые кремнеземом (альбит, олигоклаз), называются кислыми (SiO_2 68,81%), от 30 до 60 — средними, от 60 до 100 — основными (SiO_2 43,28%).

Плотность 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 плагиоклазы кристаллизуются в триклинной сингонии и имеют таблитчато-призматический облик кристаллов.

Диагностические признаки — косой угол между плоскостями спайности на $3,5\text{--}4^\circ$ менее прямого, большая твердость (5,5—6), светлая окраска, стеклянный блеск.

Плагиоклазы — наиболее распространенные минералы магматических горных пород и широко встречаются в почвах. Для кислых пород (гранитов) характерен кислый плагиоклаз — олигоклаз, для средних (диоритов) — андезин и лабрадор, для основных (габбро) — битовнит и анортит.

Альбит $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ — натриевый плагиоклаз (от лат. «альбус» — белый). Твердость 6, плотность 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. 21, Б), часты двойники, а в пегматитовых жилах среди пустот — друзы. Различают следующие разновидности: лунный камень — кислый плагиоклаз с нежно-синеватым отливом; авантюрин, или солнечный камень, — кристалл с искристо-золотистым отливом.

Диагностические признаки — большая твердость, стеклянный блеск, совершенная спайность под косым углом, позволяющая отличать некоторые агрегаты альбита от ортоклаза.

Лабрадор $\text{Ab}_{50}\text{An}_{50}$. Название по полуострову в Северной Америке. Известково-натриевый плагиоклаз. Твердость 6, плотность 2,65. Цвет темный. Блеск стеклянный, перламутровый, часто обнаруживает на плоскостях спайности красивый переличатый отсвет в синих и зеленых тонах, связанный, по-видимому, 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.

Диагностические признаки — игра цветов на плоскостях спайности, темный цвет.

Лабрадор — красивый облицовочный камень.

Анортит $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$. «Анортос» по-гречески — косой. Кристаллизуется в триклинной сингонии. Твердость 6, плотность 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.

Подгруппа фельдшпатов. Фельдшпаты — заместители полевых шпатов. *Нефелин* NaAlSiO_4 . Название происходит от греческого слова «нефели» — облако. При разложении в крепких кислотах дает облаковидный кремнезем. Сингония гексагональная. Твердость 5—6, хрупок, плотность 2,6. Цвет серовато-белый, серый с желтоватым, буроватым, красноватым оттенками. Блеск на изломе жирный, на гранях — стеклянный. Спайность несовершенная, излом плоско-раковистый. Залегают крупнозернистыми короткопризматическими бочонкообразными кристаллами, вкрапленными в породы (см. рис. 20). В кислотах разлагается. Разложенный нефелин с сильным масляным блеском называют *эололитом*, или *масляным камнем*.

Диагностические признаки — большая твердость, отсутствие спайности, значительная жирность, иногда маслянистый блеск. Происхождение магматическое. Никогда не встречается вместе с кварцем. В зоне выветривания неустойчив. В некоторых почвах нефелин разлагается с образованием студнеобразных гелей Al и Si (коллоидов). Коллоиды улучшают структуру почв, оживляют микробиологическую деятельность.

Нефелин — агрономическая руда — калийное удобрение; нефелинирование улучшает структуру почв; нефелин — важная руда на алюминий. Сырье для промышленности.

Нефелиновые сиениты залегают вместе с апатитом на Кольском полуострове, где осуществляется их комплексная разработка.

Лейцит KAlSi_2O_8 . Название происходит от греческого слова «лейкос» — светлый. Обладает диморфизмом, т. е. изменяет форму кристаллов при нагревании (до температуры выше 605°C — кубическая модификация, ниже этой температуры — тетрагональная). Твердость 5—6, хрупок, плотность 2,45—2,50. Бесцветный, белый с сероватым и желтоватым оттенком. Блеск в изломе стеклянный, иногда слабожирный. Спайность отсутствует, излом раковистый. Разлагается в HCl .

Диагностический признак — белые, округлой формы кристаллы на темном фоне основной магматической породы.

Лейцит — высокотемпературный минерал, образующийся при затвердевании лав, богатых щелочами и бедных SiO_2 . Встречается в вулканических пеплах и туфах. В зоне выветривания претерпевает химические изменения, сопровождающиеся переходом калия в раствор. Почвы, содержащие лейцит, отличаются большим плодородием.

Класс карбонатов

Минералы этого класса (около 80), являющиеся солями угольной кислоты, широко распространены в природе. Они составляют 1,7% веса коры.

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

Карбонаты — осадочного и гидротермального происхождения. В морях они образуются за счет отмерших растений и беспозвоночных животных.

Карбонаты используются в качестве агрономических руд в сельском хозяйстве (для известкования кислых почв), а также входят в состав железных (сидерит), марганцевых (родохрозит) и медных (малахит, азурит) руд. Они подразделяются на безводные и водные карбонаты.

Диагностические признаки карбонатов — твердость средняя (от 3 до 5), блеск неметаллический, окраска большей частью светлая. Минералы хорошо растворяются в HCl, некоторые с ней вскипают с выделением пузырьков CO₂. В воде, богатой свободной углекислотой, также хорошо растворяются по схеме: $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Из оптических свойств характерно весьма высокое двупреломление.

Кальцит CaCO₃ (известковый шпат). Сингония тригональная. Твердость 3, плотность 2,6—2,8. Блеск неметаллический, стеклянный. Минерал бесцветный или молочно-белый с оттенками серого, желтого, красного и розового цвета. Спайность совершенная в трех направлениях по ромбоэдру (рис. 22). Часто образует призматические таблитчатые кристаллы. Некоторые кристаллические разновидности (исландский шпат) обладают двойным лучепреломлением, т. е. удваивают изображения.

Диагностические признаки: бурно выделяет CO₂ от капли HCl, легко царапается стеклом; кристаллы таблитчатой и призматической формы с хорошей спайностью.

Происхождение разнообразное. В морях образуется из остатков отмерших морских растений и беспозвоночных животных. Кальцит — основной минерал известковых илов. На суше бикарбонатные соединения переносят грунтовые и поверхностные воды; при изменении растворимости происходит выпадение кристаллического или коллоидного карбоната кальция. При испарении воды во многих пещерах образуются натечные известковые формы в виде сталактитов и сталагмитов.

Практическое применение кальцита весьма разнообразно. Прозрачные разновидности кальцита — исландский шпат — используются для оптических поляризационных приборов (см. рис. 9). Исландский шпат в СССР известен по р. Нижней Тунгуске, в Средней Азии, Крыму.

Арагонит CaCO_3 . Полиморфная разновидность кальцита. Название происходит от провинции Арагония в Испании. Сингония ромбическая. Твердость 3,4—5, плотность 2,9—3,0. Цвет белый, желтовато-белый, серый. Блеск стеклянный, в изломе жирный. Спайность отсутствует.

Диагностические признаки — с HCl вскипает, спайность отсутствует, характерен призматический, шестоватый, игольчатый облик кристаллов. Часто встречается в виде натечных шаровидных форм, образует оригинальные ветвящиеся стебли каменных цветов.

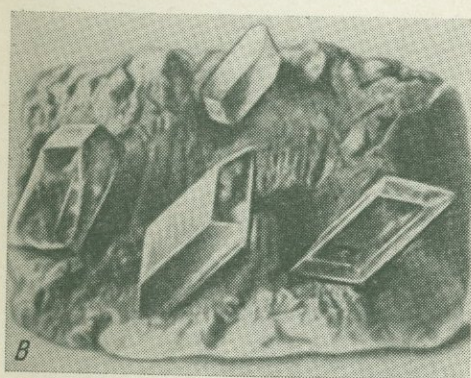
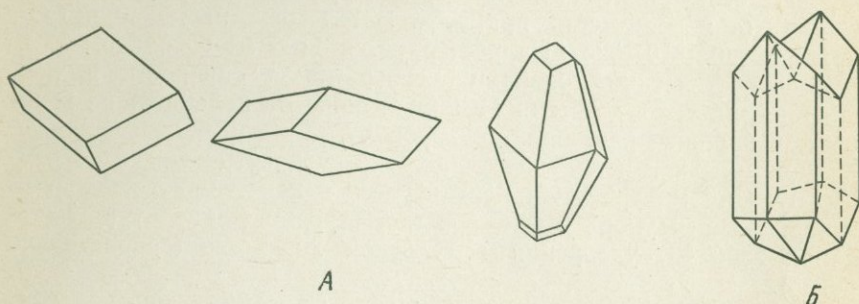


Рис. 22. Формы распространенных кристаллов: А — карбонаты: кальцит; Б — сульфаты: гипс — двойниковый кристалл «ласточкин хвост»; В — кристаллы листового гипса в глинах

Арагонит — низкотемпературный минерал, образуется гидротермальным путем в конце процесса.

Магнезит MgCO_3 . Название от Магнесии — области в Греции. Твердость 4—4,5, хрупок, плотность 2,9—3,1. Сингония тригональная. Цвет белый с желтоватым или сероватым оттенками, блеск стеклянный. Спайность совершенная по ромбоэдру. Магнезит бывает мелкокристаллический, плотный до землистого.

Диагностические признаки — с HCl реагирует только при нагревании; хорошая спайность.

Происхождение гидротермальное; MgCO_3 выщелачивается и отлагается горячими щелочными растворами из доломитизированных толщ осадочного происхождения. Скрытокристаллический «аморф-

ный» магнезит образуется экзогенным путем при выветривании силикатов магния.

Встречается реже, чем кальцит и доломит. Температура плавления чистой окиси магния 2800°C , поэтому магнезит хороший огнеупор.

Доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. Сингония тригональная. Кристаллы имеют ромбоэдрический облик с чешуеобразной поверхностью, грани искривлены седлообразными изгибами. Твердость 3,5—4, плотность 1,8—2,9. Блеск неметаллический, стеклянный. Цвет серовато-белый, иногда с желтоватым и буроватым оттенками в зависимости от механических примесей. В 1 л воды, насыщенной CO_2 , при давлении 101,325 кПа растворяется 1100 м³ доломита.

Диагностические признаки — совершенная спайность в трех направлениях, от действия HCl (в отличие от кальцита) не вскипает, в порошке растворяется хорошо.

Доломит, как и кальцит, — широко распространенный породообразующий минерал. Он используется в качестве строительного материала, огнеупора и флюса в металлургии (температура плавления 2300°C), удобрения в сельском хозяйстве (сравнительно редко).

Сидерит FeCO_3 — железный шпат. Сингония тригональная. Твердость 3,5—4, плотность 3,9. Блеск неметаллический, матовый. Агрегаты кристаллические — зернистые, встречается в шаровидных конкрециях со скрытокристаллическим или радиально-лучистым строением. Цвет в свежем состоянии желтовато-белый, сероватый. При выветривании неустойчив — бурет и легко переходит в другие минералы.

Диагностические признаки — спайность совершенная; реагирует только с подогретой HCl , от капли которой образец бурет (вследствие образования FeCO_3); плотность больше, чем у других карбонатов.

Сидерит — карбонат закиси железа — образуется только в восстановительных условиях. В поясе выветривания сидерита образуются «железные шляпы», в которых железо окисляется (возникает гетит, залегающий в виде землистых рыхлых масс).

Сидерит — хорошая руда на железо.

Малахит $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ (медная зелень). Химический состав: CuO — 71,9%, CO_2 — 18,9%, H_2O — 8,2%. Сингония моноклинная. Твердость 3,5—4, плотность 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.

Диагностические признаки — зеленый цвет, натечные и почковидные формы агрегатов, бурное вскипание с HCl .

Малахит — вторичный минерал в зоне окисления первичных (сульфидных) руд — халькопирита и других сульфидов; образуется

при взаимодействии растворимых солей меди с известковыми растворами.

Малахит — прекрасный декоративный и поделочный камень, руда на медь, служит для приготовления зеленой краски.

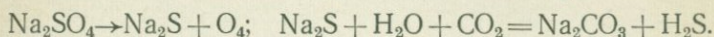
Азурит $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ (медная лазурь, медная синь). Сингония моноклинная. Физические свойства те же, что и у малахита; неустойчив, переходит в малахит.

Диагностические признаки — лазорево-синий или темно-синий цвет, вскипание с HCl .

Азурит — руда на медь; идет на приготовление синей краски.

Сода $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (натрон, натрит). Сингония моноклинная. Твердость 1—1,5, плотность 1,4—1,47. Цвет белый, серый, желтоватый, блеск стеклянный. Наблюдается в зернистых агрегатах, на воздухе теряет воду и белеет.

Диагностический признак — легко растворима в воде и в HCl . Образуется в некоторых соляных озерах: выпадает из насыщенных растворов во время выпаривания при обычном давлении и температуре от 2 до 32°C . Возможно, имеет место обменная реакция между Na_2SO_4 , растворимым в воде озер, и приносимым с суши $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ или же восстановление 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 при испарении грунтовых вод образует на поверхности почв многочисленные снежно-белые выцветы (содовое засоление почв). Натриевые соединения токсичны для растений.

Сода используется в химической, металлургической и стекольной промышленности. Важное химическое сырье.

Содовые озера распространены в азиатской части СССР — Петуховское и Михайловское в Кулундинской степи, Доронинское озеро в Читинской области и др.

Класс нитратов

Нитраты — соли азотной кислоты — в природе встречаются мало, так как они очень легко растворяются в воде. Эти минералы носят название селитр. Наибольшее распространение и значение имеют натриевая (чилийская) селитра — NaNO_3 и калиевая (индийская) селитра — KNO_3 .

Источником азота служит воздух. Реакции окисления азота носят биогенный характер и связаны с бактериальными процессами в почвах.

Описываемые минералы образуют солеобразные массы, встречаются в почвах в форме белых, желтых и красно-бурых выцветов и корочек. Блеск кристалликов стеклянный, твердость 1,5—2. Легко растворимы в воде, вкус солоноватый.

Селитры применяются в качестве минеральных удобрений, натрий и калий являются источниками питания растений.

Класс фосфатов

Фосфаты — соли ортофосфорной кислоты (H_3PO_4) — довольно широко распространены в природе, хотя их количество в земной коре не превышает по весу 0,7%. Они не являются породообразующими, однако представляют огромное значение для сельского хозяйства как ценные агрономические руды.

Ориентировочно запасы фосфатного сырья в мире определяются в 50 млрд. т, на долю СССР приходится около 10 млрд. т. Но запасы в стране распределены неравномерно: на районы северо-запада СССР приходится 35%, центра РСФСР и Казахстана — по 30%.

Фосфаты подразделяют на безводные и водные. Отличительные особенности безводных: средняя твердость 4,5—5, плотность 3,2; водных — твердость от 1 до 2,3, плотность 3—4. Общее свойство — неметаллический блеск. По происхождению фосфаты могут быть магматическими (апатит) и осадочными, вторичного происхождения (фосфорит).

Безводные фосфаты. Из безводных фосфатов рассмотрим апатит и фосфорит.

Апатит $Ca_5(PO_4)_3(OH, F, Cl)$. «Апато» по-гречески — обманываю. Сингония гексагональная.

Различают две разности: *фторапатит*, встречающийся часто 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 и Cl — 6,8%. В последнее время выделяют гидроксилapatит. Апатит — единственный минерал, содержащий фосфор в промышленных количествах.

Твердость апатита 5, плотность 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 разности этого минерала: хибинский апатит мелкозернистого строения, сахаровидный, имеющий большое промышленное значение, и забайкальский апатит, образующий прекрасные таблитчатые призматические кристаллы (см. рис. 20) со стеклянным блеском.

Диагностические признаки — шестигранный, шестоватый призматический облик, несовершенная спайность.

Происхождение магматическое, залегает в нефелиновых сиенитах вместе с нефелином. Стоек при процессах механического выветривания, встречается в россыпях и некоторых почвах. Апатит в воде не растворяется. Для перевода соединений фосфора из нерастворимых соединений в растворимые апатит обрабатывают серной кислотой и подвергают термической обработке. В результате получают различные суперфосфаты и термофосфаты. Фосфорную кислоту получают из апатитовых концентратов. Она необходима для получения некоторых удобрений и различных фосфорных соединений.

Только богатые пластовые фосфориты применяются без предварительного обогащения. В большинстве случаев фосфориты содер-

жат в своем составе до 40—70% песка, глины и других пород, поэтому они большей частью подвергаются обогащению, в результате которого получают концентраты с содержанием пятиоксида фосфора до 18—25%.

Огромные залежи промышленных апатитов открыты на Кольском п-ве в Хибинах А. Е. Ферсманом и А. Н. Лабунцовым в 1926 г. Хибинские дают около 76% всех фосфорных руд СССР. Залежи апатита известны также на р. Слюдянке (вблизи оз. Байкал).

Фосфорит. Состав непостоянный, содержит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, Cl и различные примеси (SiO_2 , CaCO_3 , Fe , Al) органических веществ, песка, глины, представляя таким образом не однородную минеральную массу, а скопления 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; плотность 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. 23), желваков, плит, всевозможных псевдоморфоз по различным органическим остаткам: стволам деревьев, раковинам аммонитов, костям позвоночных. Желваки могут быть рыхлые и сцементированы фосфатом кальция в плотные агрегаты, иногда фосфориты залегают в виде пластов.

Диагностические признаки — аморфное строение; при трении свежих образцов друг о друга появляется запах, напоминающий запах конского волоса и жженой кости (фосфорорганические соединения), причем запах тем сильнее, чем больше в куске породы фосфорного ангидрида P_2O_5 . Агрегаты в виде желваков, конкреций, псевдоморфоз.

Образуется химическим и биогенным (бактериальным) путем, редко имеет континентальное происхождение.

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

В СССР установлено около 200 месторождений фосфоритов двух типов: геосинклинальный — пластовый с залеганием в кремнисто-карбонатных породах химического происхождения (Каратау) и платформенный — желваковый, связанный с терригенными, глинисто-глауконитово-песчаными породами с содержанием P_2O_5 от 12—18 до 24—29% (см. рис. 23).

В отличие от хибинских апатитов и каратауских фосфоритов значительный процент содержащегося в желваковых фосфоритах фосфора, медленно растворяющегося в органических кислотах почв, позволяет применять их в качестве удобрения в виде перемолотой фосфоритной муки (без предварительного обогащения).

Крупнейшее в СССР месторождение фосфоритов — Каратауское. Запасы порядка 1,5 млрд. т, возраст нижнекембрийский, сырая руда содержит P_2O_5 25—30%. Вятско-Камское, Егорьевское, Полпинское и другие месторождения.

Водные фосфаты. Рассмотрим только вивианит $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ — фосфат закиси железа. Сингония моноклинная. Твердость 1,5—2, плотность 2,58—2,68. В кислотах легко растворяется. В свежем состоянии бесцветен, на воздухе чрезвычайно быстро окисляется,

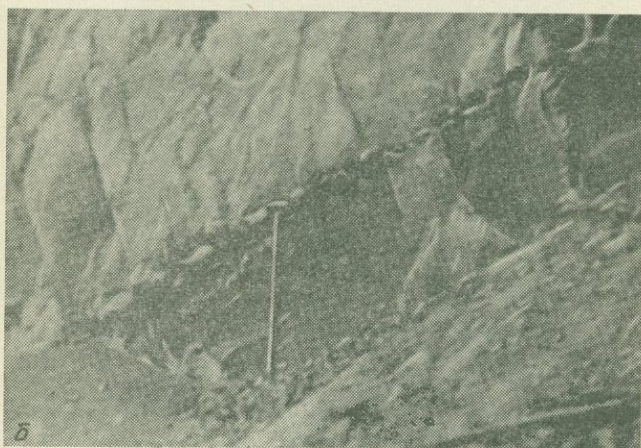
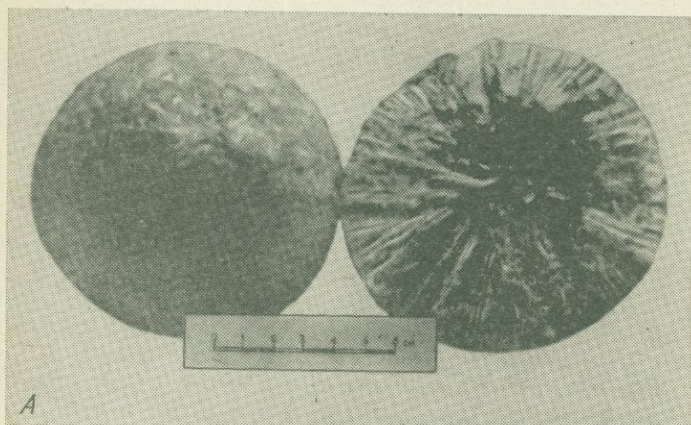


Рис. 23. Фосфориты. А — конкреции фосфоритов; Б — слой желваковых фосфоритов в песках

меняя свою окраску на синюю, зеленую, а при дальнейшем окислении — на темную и бурую.

Диагностические признаки — землистое, рыхлое сложение, синяя окраска окисленных разностей.

Вивианит — характерное минеральное новообразование, возникающее в поверхностных условиях в восстановительной среде. Минерал крайне нестойкий, в болотных почвах и торфяниках

залегаёт в виде землистой разности вместе с сидеритом, болотной известью, где быстро окисляется. Широко распространен в почвах с марказитом и сидеритом.

Фосфорит — агрономическая руда на фосфор; идет на изготовление синей краски, используется как железная руда (керченит).

Известно Керченское месторождение: кристаллические лучистые агрегаты вивианита (керченита) залегают среди бурых железняков; Подмосковное — землистый вивианит широко распространен среди болотных руд железа.

Классе сульфатов

В коре сульфатов немного — всего 0,1%. Минералы солей серной кислоты распространены среди многих осадочных пород, однако содержание их не превышает 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.

Отличительные особенности сульфатов: неметаллический блеск, стеклянный, перламутровый, 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. Некоторые из сульфатов — гипс, ангидрит представляют агрономические руды и используются для гипсования солонцовых почв.

Ангидрит CaSO_4 (безводный гипс). Химический состав: CaO — 41,2%, SO_3 — 58,8%. Сингония ромбическая. Твердость 3—3,5, плотность 2,8—3. Цвет белый или сероватый, голубой, красноватый. Блеск стеклянный, иногда с перламутровым отливом. Минерал обладает совершенной спайностью в одном направлении; кристаллы его имеют призматический и толстостолбчатый облик. 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. В отличие от гипса не царапается ногтем, от карбонатов отличается тем, что не вскипает с HCl .

Происхождение осадочное; встречается вместе с галитом и гипсом как химический осадок древних замкнутых морей. Выпадает в осадок при температуре более 65° С, а в растворах, насыщенных NaCl , при температуре более 30° С. Образует толщи пород до 500 м мощности за счет дегидратации гипса на больших глубинах.

Используется в производстве гипсовых вяжущих цементов, для изготовления серной кислоты, в качестве поделочного камня, является агрономической рудой (гипсование солонцов).

Гипсоносные толщи пермского возраста имеются в Западном Приуралье, Бахмутском районе Донбасса.

Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (легкий шпат). Часты примеси глин, глинистого вещества, песка, кальцита, доломита. Сингония моноклин-

ная. Твердость 2,0 (царапается ногтем), хрупок, плотность 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, кристаллы легко расщепляются на тонкие пластинки. Залегая среди осадочных пород, гипс часто образует прекрасные таблитчатые кристаллы (см. рис. 22, Б), 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 в почве — корки, порошкообразные налеты.

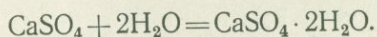
Гипс хорошо растворяется в воде, его растворимость достигает максимума при температуре 37—38° С, а затем падает. Наименее растворим гипс при температурах свыше 107° С вследствие образования полугидрата — $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$. При температуре 120—140° С гипс полностью переходит в полугидрат, так называемый штукатурный гипс — алебастр. Алебастр с водой дает полужидкое тесто, твердеет, расширяясь, выделяет тепло. В HCl растворим мало. В воде, подкисленной H_2SO_4 , растворяется гораздо лучше, чем в чистой.

Диагностические признаки гипса — низкая твердость — царапается ногтем, легко крошится зубами; для кристаллической разновидности 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. Гипс — типичный минерал осадочных пород. Вблизи поверхности в зоне выветривания образуется 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, поэтому он залегает в нижних частях отложений, переслаиваясь с каменной солью, глинами и ангидритом.

В пустынях и полупустынях гипс часто встречается в виде прожилков, желваков, различных корок.

Значительные массы гипса возникают и при гидратации ангидрита на глубинах от 100 до 150 м и по реакции



При увеличении объема происходят нарушения в породах.

Гипс имеет большое хозяйственное значение. Используется в строительстве для изготовления цемента (обожженный гипс —

штукатурка), для декоративных, скульптурных и лепных работ (алебастр, селенит), в медицине. В сельском хозяйстве гипс применяется в качестве удобрения: а) для химической мелиорации солонцовых почв — в целях замещения иона Na^+ в поглощенном комплексе почв Ca^{2+} , б) как источник питания Ca и S кормовых растений — клевера, люцерны.

В СССР широко распространен в мощных галогенных толщах пермского возраста в Приуралье.

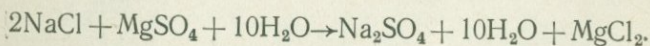
Тенардит Na_2SO_4 . Сингония ромбическая. Твердость 2—3, хрупок, плотность 2,68—2,69. Цвет белый, бесцветный, со слабым красноватым оттенком, блеск стеклянный. Легко растворяется в воде, вкус солоноватый. С течением времени превращается в порошок.

Мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (глауберова соль). Сингония моноклинная. Твердость 1,5—2, хрупок, плотность 1,48. Бесцветный, с желтоватым и зеленоватым оттенками. Блеск стеклянный. С содержанием воды связаны многие свойства: в сухом воздухе теряет всю воду, превращаясь в порошковатое вещество — тенардит. На вкус слабоохлаждающий, горько-соленый. Встречается в сплошных зернистых агрегатах, а также в виде корок и налетов; в почвах — в виде выцветов солей.

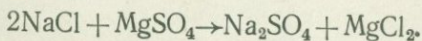
Диагностические признаки — солоноватый, горьковатый вкус, при действии HCl в отличие от соды не выделяет CO_2 .

Происхождение экзогенное; представляет химический осадок некоторых замкнутых морских водоемов и самосадочных озер. Тенардит выпадает из водных растворов, насыщенных NaCl (летом — при температуре выше $32,5^\circ\text{C}$, в зимнее время — при температуре $5\text{--}6^\circ\text{C}$ из рапы¹; 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



Управляя водным режимом соленых озер, человек может регулировать процесс осаждения этих минералов.

Мирабилит и тенардит — важное химическое сырье; используется для изготовления соды, стекла, в медицине.

В современную геологическую эпоху тенардит осаждается летом, мирабилит — зимой в больших масштабах в заливе Кара-Богаз-Гол, а также в соленых озерах.

Барит BaSO_4 (тяжелый шпат). «Барос» по-гречески — тяжесть. Сингония ромбическая. Твердость 3—3,5, хрупок; плотность

¹ Рапа — концентрированный соляной раствор в соляных озерах и искусственных бассейнах.

4,3—4,7. Цвет белый, бесцветный, желтоватый, синеватый, бурый. Черта белая. Блеск стеклянный, спайность совершенная. Агрегаты таблитчатые, столбчатые, реже скрытокристаллические, землистые. Растворим только в крепкой серной кислоте.

Диагностические признаки — большая плотность для минералов со стеклянным блеском, нерастворимость даже в подогретой HCl.

Образуется в условиях повышенного давления и при относительно низких температурах. При выветривании устойчив; известен среди россыпей.

Используется в качестве утяжелителя глинистого раствора при бурении скважин, применяется для борьбы с газовыми выбросами, для укрепления стенок скважин.

Класс галоидов

Минералы этого класса (около 100 видов, по весу около 0,5%) представляют собой соли галоидоводородных кислот — HF, HCl и редко HBr, HI. По свойствам и генезису они разделяются на 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, такие как магний, дают лишь двойные соли, богатые кристаллизационной водой.

Отличаются небольшой твердостью (2—2,5), неметаллическим блеском, легкой растворимостью в воде, соленым и горько-соленым вкусом. С соляной кислотой не реагируют.

Галоиды могут быть безводные и водные. К ним относятся такие важные в жизни человека и растений минералы, как *галит* NaCl, *сильвин* KCl, *карналлит* $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$.

Галоиды залегают вместе с калийными солями в соляных месторождениях и используются для производства калийных удобрений.

В СССР имеются три крупнейших соленосных бассейна калийных руд: в Западной Белоруссии, в Приуралье, Западной Украине. В Белоруссии бассейн открыт в 1949 г. в отложениях девона, перспективные запасы составляют 9 млрд. т, промышленные — более 3,6 млрд. т. Калийные пласты представлены сильвинитом, карналлитом и залегают на глубине 350—500 м. На базе этого месторождения работает Солигорский химический комбинат. В Приуралье разработка ведется из пермских отложений. Площадь Соликамского бассейна более 1800 км², сильвинитовый горизонт мощностью 150—200 м залегает на глубине 150—300 м.

В Прикарпатье соль залегает в верхнетретичных отложениях.

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. Твердость 2, плотность 2,1—2,2, хрупкий. Блеск неметаллический, стеклянный, на выветрелых поверхностях жирный. Спайность весьма совершенная по кубу.

При длительном одностороннем давлении обнаруживает свойство пластичности, принимает форму куполов (см. рис. 18), легко растворяется в воде. Вкус соленый. Цвет у чистых разновидностей белый, прозрачный, если есть примесь глинистых частиц — серый, органического вещества — бурый и черный, гидроокислов железа — желтый, безводной окиси железа — красный, паров металлического натрия — синий. Агрегаты мелкозернистые у самосадочной соли, выпадающей на дне соленосных озер, у соли, образующейся при испарении воды на поверхности почв, солончаков, — рыхлые; плотные крупнокристаллические агрегаты характерны для ископаемой каменной соли, залегающей пластами.

Диагностические признаки — соленый вкус, низкая твердость, весьма совершенная спайность, хорошая растворимость в воде.

Происхождение галита осадочное; это химический осадок современных и древних усыхающих морей, лагун, озер. Различают каменную соль, самосадочную и ископаемую.

Месторождения — Соликамское (Пермская область), Илецкая защита (под Оренбургом), Славянско-Бахтумское.

Галит используется в пищевой и химической промышленности (для получения соляной кислоты, хлора, соды и т. п.).

Сильвин KCl . Сингония кубическая. Твердость 1,5—2, плотность 1,97—1,99. Цвет различный: чистые разновидности 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.

Диагностические признаки — небольшая твердость, легкая растворимость в воде, желтый, синий цвет, горько-соленый вкус.

Сильвин — химический осадок усыхающих водных бассейнов, главная агрономическая калийная руда («камень плодородия»).

Карналлит $MgCl_2KCl \cdot 6H_2O$. Сингония ромбическая. Твердость 2—3, плотность 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 (характерная особенность карналлита). Вкус жгучий, горько-соленый. Разности без примесей бесцветные. Обычно розовые и красные тона, обусловленные включениями тонкораспыленной окиси железа.

Диагностические признаки — красный цвет, хорошие кристаллы редки, небольшая твердость, легкая растворимость в воде, горько-соленый вкус.

Происхождение то же, что и у галита и сильвинита. Используется в сельском хозяйстве — калийное удобрение, служит сырьем для получения металлического магния.

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

Флюорит CaF_2 (плавиковый шпат). Сингония кубическая. Твердость 4, плотность 3,18. Спайность совершенная, по октаэдру. Окрашен в различные цвета: желтый, зеленый, голубой, фиолетовый, розовый; при нагревании окраска исчезает. Некоторые разности по внешнему виду напоминают мармелад. Блеск стеклянный. Агрегаты зернистые. Прекрасно ограненные октаэдры часто образуют друзы. В воде нерастворим, разлагается в крепкой серной кислоте.

Диагностические признаки — твердость, стеклянный блеск, кубическая форма кристаллов.

Происхождение гидротермальное. Землистая разновидность флюорита, встречаемая в осадочных отложениях, носит название *ратовкита*.

Применяется в металлургии в качестве флюса — плавня, ускорителя при плавке руд и электроплавке; цветные разности используются как поделочный камень.

Класс сульфидов

Природные сернистые соединения можно рассматривать как производные сернистого водорода H_2S или, реже, многосернистых водородов. По количеству минералов (около 200 видов) сульфиды составляют около 10% всех минералов, занимая второе место после силикатов, однако по процентному содержанию в коре их мало (всего около 0,25% 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.

Диагностические признаки — большая плотность (от 3,5 до 10,6) вследствие присутствия тяжелых элементов, низкая и средняя твердость (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.

Сульфиды железа. Из сульфидов железа рассмотрим пирит и марказит.

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. Твердость 6—6,5 — самый твердый из сульфидов, царапает лезвие ножа; плотность 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 оттенков. Черта буровато- или зеленовато-черная. При ударе по пириту куском железа летят искры. В HCl не растворяется.

Диагностические признаки — большая плотность, высокая твердость (чертит стекло), латунно-желтый цвет, черта зеленовато-черная, кристаллы в форме кубов с сильным металлическим блеском и штриховкой на гранях.

Происхождение разнообразное. Обычен в осадочных породах, многочисленные конкреции серного колчедана, корки часто встречаются в песчанисто-глинистых отложениях, месторождениях угля, фосфоритов. 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.

Пирит — основной вид сырья для получения серной кислоты.

Марказит FeS_2 (лучистый колчедан). Полиморфная разновидность бисульфида железа. Сингония ромбическая. Твердость 5—6, плотность 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 оттенком, светлее, чем у пирита, черта темная, зеленовато-серая. Слабо проводит электричество.

Диагностические признаки — псевдоморфозы по органическим остаткам, шаровидные конкреции, желваки. В свежем состоянии — зеленоватый оттенок, не свойственный пириту. Большая плотность, царапает сталь, стекло.

Происхождение экзогенное; выпадает из грунтовых кислых вод. Встречается в виде конкреций, псевдоморфоз по органическим остаткам, неправильной формы зерен среди глин. В зоне выветривания легко разлагается. В конечной стадии при окислении марказита возникают гидроокислы железа.

Месторождения известны в болотных почвах, где марказит залегает вместе с сидеритом и вивинитом.

Сульфиды меди. Из сульфидов меди рассмотрим *халькопирит* CuFeS_2 (медный колчедан). Сингония ромбическая. Твердость 3,5—4, легко царапается ножом, плотность 4,1—4,3. Спайность несовершенная, блеск сильно металлический, цвет латунно-желтый, золотистый, с пестрой побежалостью. Черта черная, с зеленоватым оттенком. Встречается в сплошных массах, в виде скоплений кристаллов с тругольными очертаниями.

Диагностические признаки — небольшая твердость — царапается ножом, сильный металлический блеск, черная черта.

Происхождение гидротермальное — минерал рудных кварцевых жил, ассоциирует с пиритом, сфалеритом, галенитом. В зоне выветривания легко окисляется, образуя сульфаты меди и железа. Главная руда на медь. Медный купорос применяют в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями, поражающими плодовые деревья, виноградники.

Сульфиды цинка и свинца. В этой группе минералов рассмотрим сфалерит и галенит.

Сфалерит ZnS (цинковая обманка). Название происходит от греческого слова «сфалерос» — обманчивый, потому что по внешнему виду минерал не похож на другие сульфиды металлов. Сингония кубическая. Твердость 3—4, плотность 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 оттенком. Разности, богатые железом, дают коричневую черту. Блеск алмазный, полуметаллический. Электричества не проводит.

Диагностические признаки — сильный алмазный и полуметаллический блеск, весьма совершенная спайность, цвет черты на фарфоровой пластинке бурый, коричневый.

Происхождение гидротермальное, образуется в рудных жилах.

Сфалерит — главная руда на цинк.

Галенит PbS (свинцовый блеск). Латинское слово «галена» — свинцовая руда. Сингония кубическая. Твердость 2—3, хрупок, плотность 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 виде друз. Цвет свинцово-серый, черта серовато-черная.

Диагностические признаки — большая плотность, сильный металлический блеск, черная черта, кубическая форма кристаллов.

Происхождение гидротермальное. В зоне выветривания легко окисляется. Галенит — важнейшая руда на свинец и серебро.

Сульфиды мышьяка и ртути. Из этой группы рассмотрим четыре минерала.

Аурипигмент As_2S_3 . Название происходит от латинских слов «аурум» — золото и «пигментум» — краска (предполагалось, что минерал содержит золото). Сингония моноклиная. Твердость 1—2, плотность 3,4—3,5. Спайность весьма совершенная в одном направлении; в тонких листочках гибок, но не обладает упругостью. Цвет лимонно-желтый, черта желтая, яркая.

Диагностические признаки — яркий канареечно-желтый цвет, низкая твердость, весьма совершенная спайность, сильный алмазный и полуметаллический блеск.

Происхождение гидротермальное. Все соединения мышьяка ядовиты, поэтому служат сырьем для получения ядохимикатов, используемых в борьбе с грызунами.

Реальгар AsS. Сингония моноклинная. Твердость 1,5—2, плотность 3,4—3,6. Спайность совершенная, залегает вместе с аурипигментом в виде сплошных зернистых агрегатов, корок, налетов или сплошных землистых масс. Кристаллы призматические, со штриховатостью вертикальных граней. Цвет оранжево-красный, черта светло-оранжевая, блеск в изломе смоляной или жирный.

Диагностические признаки — оранжево-красный цвет, низкая твердость, нахождение вместе с аурипигментом.

Происхождение гидротермальное.

Антимонит Sb_2S_3 (сурьмяный блеск). Сингония ромбическая. Твердость 2—2,5, хрупок, плотность 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.

Диагностические признаки — небольшая твердость — чертится ногтем, совершенная спайность в одном направлении.

Киноварь HgS. В переводе с арабского означает «драконова кровь». Сингония тригональная. Твердость 2—2,5, хрупка, плотность 8,0—8,2. Цвет красный со свинцово-серой побежалостью, черта красная. Блеск алмазный, полуметаллический. Спайность совершенная. Залегает в виде вкрапленных, неправильных по форме зерен, порошкообразных примазок, налетов. Хорошие агрегаты редки.

Диагностические признаки — ярко-красный цвет, такой же цвет черты, большая плотность и низкая твердость.

Происхождение исключительно гидротермальное.

Киноварь — единственная руда для получения ртути, используемой в качестве взрывчатого вещества для детонаторов, в физических приборах, для получения ценной природной краски.

Класс окислов и гидроокислов

Общее количество свободных окислов в земной коре 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 и марганца. Особо следует отметить воду, без которой невозможна органическая жизнь на Земле.

Минералы, входящие в класс окислов и гидроокислов, по химическому составу подразделяют на безводные окислы (простые и сложные) и гидроокислы, или окислы, содержащие гидроксил.

Отличительные особенности этих минералов: обычно высокая твердость — 6—9 (низкая — для минералов с решеткой слоистого

типа), плотность 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 (боксит и др.) образуются в коре выветривания горных пород и наблюдаются в виде скрытокристаллических и коллоидных масс.

Окислы железа. В этой группе рассмотрим два минерала.

Гематит Fe_2O_3 (красный железняк). По-гречески «гематикос» — кровавый, отсюда и русское название — кровавик. Сингония тригональная. Твердость 5,5—6, хрупок, спайность отсутствует, плотность 5,0—5,3. Встречается в виде сплошных плотных скорлуповатых зернистых и чешуйчатых масс, окрашенных в красный цвет, иногда образует прекрасные кристаллы в форме ромбоэдра (см. рис. 20, В). Черта вишнево-красная. Блеск полуметаллический. Наблюдается синеватая побежалость.

Различают несколько разновидностей гематита: *собственно гематит* — в виде отчетливых, часто пластинчатых кристаллов, структура скрытокристаллическая; *железный блеск* — тонкопластинчатые кристаллы с металлическим блеском и явно кристаллической структурой.

Диагностические признаки — вишнево-красная черта, высокая твердость, пластинчатые и чешуйчатые агрегаты, отсутствие магнитности.

Образуется в окислительной среде в самых различных генетических типах месторождений. Крупнейшие месторождения железа — метаморфические.

Гематит — важнейшая железная руда, содержащая железо от 50 до 65%; служит исходным сырьем для производства чугуна, стали, железа.

Известные месторождения: Кривой Рог, Курская магнитная аномалия, Яковлевское месторождение (Белгородская область).

Магнетит Fe_3O_4 (магнитный железняк). Разновидности: *титаномагнетит* с содержанием Ti, *хромомагнетит* с содержанием Cr_2O_3 . Сингония кубическая. Твердость 5,5—6, хрупок, спайность отсутствует, плотность 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 железо-черный с синеватой побежалостью на кристаллах, черта черная, блеск полуметаллический, непрозрачен. В кислотах растворяется с трудом.

Диагностические признаки — сильно магнитен, притягивает железо. Черта черная, значительная твердость.

Образуется в восстановительной среде. В зоне окисления сравнительно устойчивый минерал, при разрушении горных пород переходит в россыпи (аллювиальные пески).

Магнетит — важнейшее сырье для выплавки чугуна и стали (железо около 60%).

Месторождения магнетита известны на Урале, в Кривом Роге, Курской магнитной аномалии, вблизи Кустаная (Качарское, Сарбайское).

Гидроокислы железа. Из этой группы минералов охарактеризуем только гидрогетит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (бурый железняк). Состав непостоянный, часто содержит различные примеси, вода в гидрогетите кристаллизационная, легко удаляется при нагревании. До недавнего времени минерал называли лимонит. Название происходит от греческого слова «лимон» — луг (имеются в виду луговые и болотные руды гидроокислов железа). Плотные разности — кристаллические, землистые — аморфные. Твердость переменная, от 1 до 5,5, большей частью 4—5,5, плотность 2,7—4,3. Цвет бурый, охряно-желтый, черта желто-бурая до красной. Землистые разности имеют матовый блеск, плотные — металлоподобный и шелковистый. Гидрогетит — обычно 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 шариков, лепешек (бобовые, озерные, луговые руды); 3) *бурый железняк* — землистые, рыхлые и плотные разности охристо-желтого и черного цветов.

Диагностические признаки — независимо от цвета в агрегате дает на фарфоровой пластинке ржаво-бурую и буровато-желтую черту; образует натечные формы радиально-лучистого строения, сталактиты, друзы, пористые рыхлые массы.

Происхождение экзогенное. Желтая охра встречается в торфяниках.

Руда на железо. Известное месторождение — Керченское (крупнооолитовые бурые железняки с содержанием Fe 34—42%; руды обогащены фосфором).

Гидроокислы алюминия. Из этой группы рассмотрим *боксит*. Это агрегат гидроокислов Al. (Боксит — горная порода непостоянного состава.) Условный химический состав: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ с примесями Fe, Si, Ti. Название дано по деревне Бо в Провансе (Франция).

Боксит аморфный, землистый. Твердость различная, у наиболее плотных разностей достигает 6, плотность — 2,9—3,56. Цвет большей частью красный или серо-зеленый, реже коричневый, белый, черный. Блеск матовый. Часто образует каменные плотные массы, встречается в виде ноздреватых, бобовых, оолитовых (состоящих из мелких шариков концентрически скорлуповатого строения — см. рис. 11, Г) и других разновидностей.

Диагностические признаки — землистые, глиноподобные и каменные скопления кирпично-красного цвета; с водой в отличие от глины не образует пластичной массы.

Происхождение экзогенное. Различают остаточные и осадочные бокситы.

Известные месторождения — Северо-Уральское, Красная Шапочка, Тихвинское. Руда на алюминий.

Простые окислы. В этой группе охарактеризовано пять минералов.

Пирролюзит MnO_2 . «Пирос» по-гречески — огонь, «люзиос» — уничтожающий (употребляется для уничтожения зеленого оттенка в стекле). Сингония ромбическая. Твердость у кристаллических агрегатов 5—6, у рыхлых, пористых — 2 (чертится ногтем); плотность 4,7—5,0. Блеск полуметаллический, непрозрачен. Цвет черный с синеватой побежалостью, цвет черты черный; часто наблюдается оолитовая стружка.

Диагностические признаки — черные цвет и черта, полуметаллический блеск, небольшая твердость.

Происхождение осадочное.

В СССР залежи марганца находятся в Чиатури (Грузия), в Никополе (Украина).

Марганец — важнейшая руда для получения ферромарганца — сплава железа с марганцем. Соединения марганца применяют в качестве микроудобрений в сельском хозяйстве.

Касситерит SnO_2 (оловянный камень). Сингония тетрагональная. Твердость 6—7, плотность 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. Диагностические признаки — высокая плотность, большая твердость, характерный слегка жирный или смоляной блеск в изломе. Цвет бурый.

Происхождение пегматитовое и пневматолитовое.

Это руда на олово.

Корунд Al_2O_3 . Сингония тригональная. Твердость 9, плотность 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. Очень устойчив к выветриванию.

Диагностические признаки — высокая твердость, бочонковидная форма кристаллов со штриховкой на гранях, синевато-серая окраска.

Происхождение магматическое.

Благодаря своей твердости корунд применяется как абразивный материал.

Рубин и *сапфир* — драгоценные камни, некоторые разновидности которых ценятся выше бриллиантов. Рубин получают искусственно — плавлением Al_2O_3 при температуре выше $2040^\circ C$.

Класс самородных элементов

К этому классу относятся химические элементы, находящиеся в природе в свободном состоянии.

Металлы — золото, серебро, платина — встречаются в сильно рассеянном состоянии. Они обладают большой плотностью, метал-

лическим 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. Сингония ромбическая. Твердость 1—2, хрупка, плотность 2,0, цвет светло-желтый, легкоплавкая, при температуре 112,8° С плавится, горит с выделением сернистого газа. На поверхности образует землистые порошкообразные массы, плотные корочки, желваки, налеты, друзы, включения, псевдоморфозы по органическим остаткам.

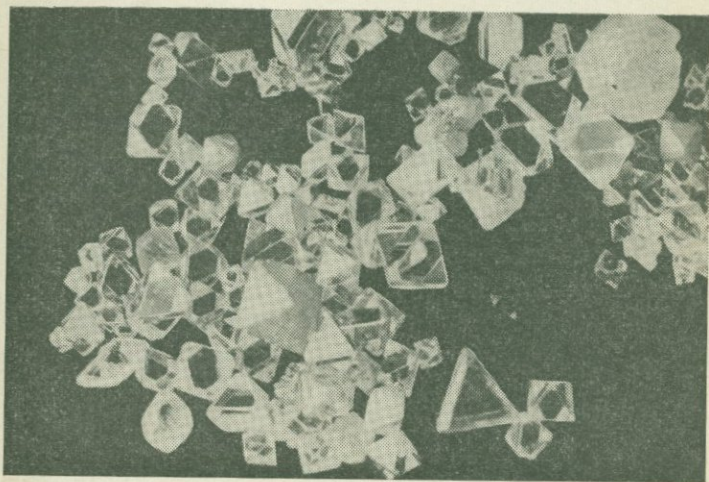


Рис. 24. Якутские алмазы из кимберлитовой трубки. Красота и искрящийся блеск отличают эти кристаллы

Диагностические признаки — желтый цвет, жирный блеск, небольшая твердость, хрупкость, легкоплавкость.

Применяется в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями, отчасти как микроудобрение.

Графит C. Сингония гексагональная. Твердость 1—2, плотность 2,2, цвет железо-черный, черта черная, блеск мягкий, металлический, жирный. Спайность совершенная в одном направлении.

Диагностические признаки — черный цвет, низкая твердость, оставляет след на бумаге, пачкает руки, на ощупь жирный.

Происхождение магматическое и метаморфическое.

Алмаз C. Сингония кубическая. Твердость 10, плотность 3,5. Большое различие между графитом и алмазом обусловлено различными модификациями самородного углерода: неодинаковой укладкой атомов углерода в кристаллической решетке.

Диагностические признаки — исключительная твердость и сильный алмазный блеск.

Происхождение магматическое; образуется при высоких температурах и давлении. В настоящее время алмазы изготавливаются искусственно.

В СССР месторождения алмазов известны в Сибири (рис. 24).

Глава шестая

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГОРНЫХ ПОРОДАХ (ПЕТРОГРАФИЯ)

Горными породами называются закономерные скопления минералов, образующие геологические более или менее самостоятельные тела. Эти естественные скопления минеральных агрегатов изучает *петрография*. Она исследует минеральный состав пород, их строение, сложение, условия залегания, распространение, происхождение и образование полезных ископаемых.

Классификация горных пород. По условиям образования все горные породы подразделяют на три группы: магматические, осадочные и метаморфические.

Магматическими называют породы, образовавшиеся при застывании сложного силикатного расплава (магмы) в недрах Земли или на ее поверхности.

Осадочными считают породы, возникшие в условиях поверхностной температуры и давления из продуктов разрушения любых пород, выпавших в осадок на поверхности Земли или на дне моря без участия или при посредстве организмов.

Метаморфические — это магматические и осадочные породы, видоизмененные (перекристаллизовавшиеся) под влиянием высокой температуры, большого давления и физико-химических условий.

Примерно до глубины 16 км соотношение между этими породами ориентировочно такое: 60% — магматические породы, 32% — метаморфические и только 8% — осадочные. Отложения поверхности Земли на 75% сложены рыхлыми слоистыми породами осадочного происхождения. Среди них наиболее распространены глины и глинистые сланцы — 83%, на долю песчаников и известняков приходится 17%. Эти породы для агрономов представляют наибольший интерес, так как в большинстве случаев являются материнскими породами для почв.

Породы изучаются с различных точек зрения: как вместилища полезных ископаемых — руд, угля, нефти, солей и подземных вод; в инженерной геологии — как основания, среда и материал для строительства различных сооружений (в этом случае породы называют грунтами), в почвоведении — как почвообразующие породы.

Строение и сложение, физико-химические свойства и условия залегания пород предопределяют ряд их важных агрономических и инженерных особенностей: поведение при засолении и заболачивании почв, устойчивость при процессах эрозии, выветривании, прочность при гидротехническом строительстве и т. д.

Классификация. В настоящем курсе генетическая классификация магматических горных пород дается согласно современным представлениям о том, что прародительницей всех магматических пород является вещество верхней мантии Земли (табл. 4). Последовательность описания пород соответствует последовательности их предполагаемого выплавления и кристаллизации из расплава.

Все породы подразделяются по химическому составу (преимущественно по содержанию SiO_2) и условиям образования. По условиям образования различают: глубинные (интрузивные) и жильные породы, излившиеся (эффузивные) и вулканокластические (рис. 25).

Глубинные (интрузивные) породы образуются вследствие затвердевания магматического расплава на глубине. Порядок кристаллизации зависит от соотношения компонентов, температуры образования минералов, давления и физико-химических условий. Интрузивные породы подразделяют на две группы: *абиссальные*, образовавшиеся на больших глубинах (граниты, сиениты), и *гипабиссальные* (полуглубинные) — гранит-порфиры.

Жильные породы формируются при затвердевании магмы в трещинах ранее образовавшихся горных пород. В результате возникают полнокристаллические породы, например пегматиты (см. рис. 26).

Излившиеся (эффузивные) породы образуются в результате затвердевания лавы на поверхности Земли. Затвердевание лавы и выделение газообразных веществ происходит сравнительно быстро в условиях низкого давления и небольшой температуры. Часть расплава застывает в виде аморфной массы, и обычно возникают неполнокристаллические породы (порфировые, стекловатые структуры). Представители этих пород — липариты, базальты, вулканические стекла.

По степени измененности эффузивные породы подразделяют на *палеотипные* и *кайноотипные*. Палеотипные породы — порфириты, диабазы — сильно изменены процессами выветривания; кайноотипные — липариты, базальты имеют неизменный, как бы «свежий» вид недавно излившейся лавы.

Вулканокластические породы¹ образуются при извержении вулканов: материал извержений накапливается на поверхности Земли

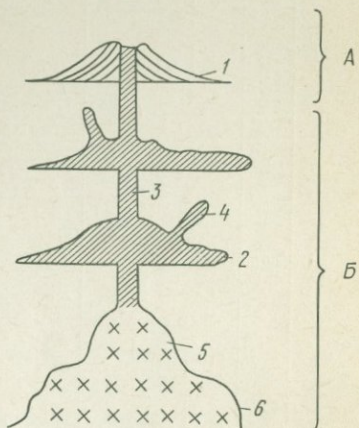


Рис. 25. Формы залегания глубинных и излившихся пород. А — излившиеся породы (базальты, липариты); Б — глубинные породы (граниты, габбро):

1 — вулканический конус (лавы, туфы, стекла), 2 — лакколит, 3 — жилы, 4 — дайки, 5 — шток, 6 — батолит

¹ Некоторые авторы относят эти породы к осадочным.

Схематическая классификация магматических горных пород

Состав горных пород		Физические свойства		Условия образования					Вулканокластические
содержание SiO ₂	минеральный (главные минералы)	преобладающая окраска	плотность, г/см ³	Глубинные		жильные	Излившиеся		
				абиссальные	гипабиссальные глубинные		палеотипные	кайно-типные	
Сильно недосыщенные, ультраосновные — около 40%	Пироксены, оливин (роговая обманка)	Черные или темно-зеленые	3,1—3,3	Пироксенит Перидотит Дунит	Пикрит		Пикрит		Кимберлит
Недосыщенные, основные — 40—52%	Кварца нет. Лабрадор, пироксены, роговая обманка. оливин (иногда)	Черные	2,9—3,0	Габбро			Диабаз, диабазовые порфириды	Базальт	
Насыщенные, средние — 52—65%	Иногда кварц, роговая обманка	Пестрые и темно-серые	2,7—2,8	Диорит	Порфирит		Порфирит	Андезит	
Пересыщенные, кислые — 65—75%	Ортоклаз, кварц, роговая обманка, иногда альбит	Светлые, розовые, пестрые	2,6—2,7	Гранит	Гранит-порфир	Пегматит	Кварцевый порфир	Липарит, стекла, пемза	Вулканический пепел, вулканические туфы, брекчии

или в морских бассейнах вокруг вулканических конусов. Если лава остывает очень быстро, с выделением газов, то образуются вулканические стекла, пористые туфы, брекчии, пемзы различного состава и строения. Структура пород обычно обломочная, зернисто-угловатая, пепловая; текстура пористая, пенистая, туфовая, пузырчатая.

Особенности пород. Внешним показателем насыщения SiO_2 пород служит их окраска, обусловленная присутствием определенных темноцветных минералов (оливина, пироксена, роговой обманки, биотита) и плотностью.

Ультраосновные породы содержат только темноцветные минералы, окраска их отражает преобладающий минеральный состав: темно-зеленая — роговая обманка, черная — авгит, желтовато-зеленая — оливин. Плотность 3,1—3,3.

В *основных породах* содержание темноцветных минералов достигает 50% и больше, окраска их темная, обычно черная, они более легкие, плотность около 3,0.

В *средних породах* содержание темноцветных минералов уменьшается до 35%, окраска их пестрая, с преобладанием темной. Плотность 2,7—2,8.

В *кислых породах* содержание темноцветных минералов достигает 5—20%, окраска их пестрая, розовая, с преобладанием светлойсерой. *Ультракислые породы* почти не содержат темных минералов, окраска их светлая, они более легкие (плотность 2,6—2,7).

Различают породы полиминеральные (многоминеральные), например гранит, состоящий из трех-четырех основных минералов (полевых шпатов, кварца, слюды и роговой обманки), и мономинеральные (одноминеральные), например лабрадорит (только из лабрадора), дунит (из оливина). Большинство пород состоит из нескольких главных минералов.

Условия залегания. Формы залегания глубинных и излившихся пород различные. Глубинные породы образуют массивные тела: батолиты, штоки, лакколиты (см. рис. 25). *Батолитами* называют крупные формы (сотни квадратных километров), образующиеся при внедрении магмы. Основание батолита находится на большой глубине. Ответвления батолитов небольших размеров (10—100 км²) и неправильной формы получили название *штоков*. *Лакколитами* называют магматические тела караванеобразной, грибообразной формы.

Жилы образуются при заполнении трещин в породах. Жилы, секущие пласты вертикально или близко к вертикальному положению, называют *дайками* (длина даек сотни километров, ширина 3—12 км), мелкие ответвления жил образуют *апофизы* (см. рис. 25).

Излившиеся породы образуют на поверхности потоки, покровы, купола (см. рис. 25).

Потоками называют заполненные затвердевшей лавой, вытянутые в длину пониженные формы рельефа; *покровы* образуются при больших излияниях жидких базальтовых лав. Они занимают огромные площади, измеряемые десятками тысяч квадратных километров (Средне-Сибирское нагорье в Восточной Сибири).

Купола возникают при излияниях вязких гранитных магм, не растекающихся в стороны.

Структура и текстура пород. Под *структурой* породы понимают строение породы, обусловленное формой и величиной слагающих ее минералов (степенью кристаллизации) и способом их сростания. Структура отражает условия их образования.

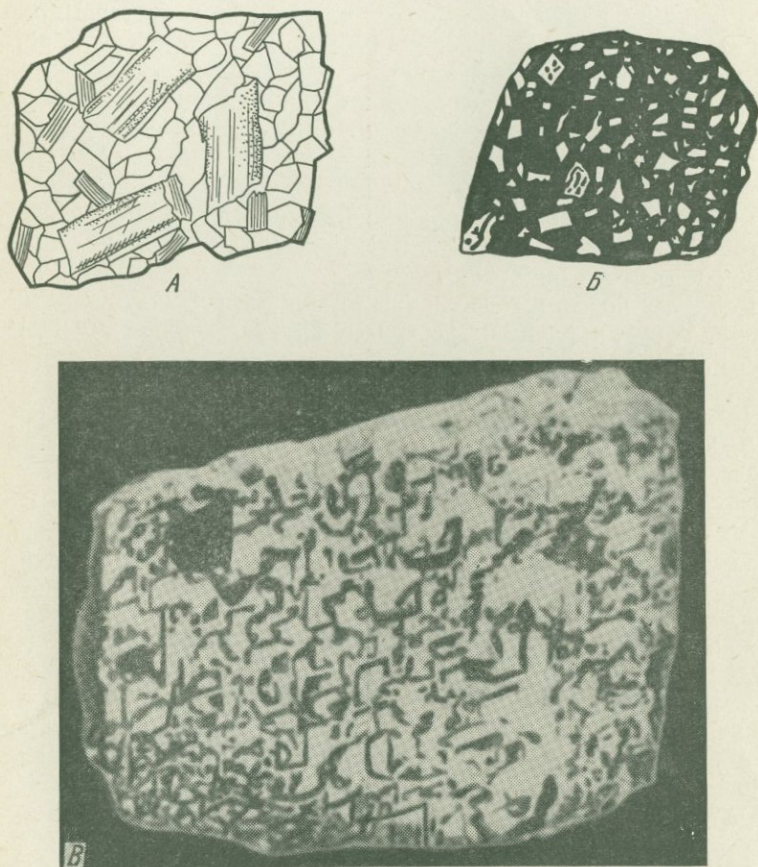


Рис. 26. Структура глубинных пород: А — порфировидная; Б — порфировая; В — пегматитовая

Различают следующие структуры (рис. 26): 1) *зернистые* (полнокристаллические) — типичные для глубинных пород, 2) *стекловатые* — породы с аморфной, некристаллической массой (например, вулканическое стекло), 3) *порфировые* — в стекловатой или скрытокристаллической полиминеральной массе разбросаны отдельные крупные кристаллы какого-либо минерала — так называемые порфировые включения.

Полнокристаллическая структура бывает *равномерно-зернистой* и *порфировидной* (рис. 26). Равномерно-зернистой 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).

Порфировидной называют такую полнокристаллическую структуру, при которой кристаллы, составляющие породу, представлены двумя резко отличными размерами: основная масса кристаллов имеет незначительные величины, среди них располагаются хорошо образованные крупные кристаллы. Подобные структуры возникают в случае, если кристаллизация совершается в два этапа: на первом этапе на большой глубине образуются более крупные кристаллы, на втором этапе на меньшей глубине кристаллизуется уже остальная магматическая масса.

Полнокристаллическая структура характерна обычно для глубинных пород, причем абиссальные чаще всего имеют равномерно зернистую структуру, гипабиссальные — порфировидную.

Излившиеся породы отличаются порфировой, стекловатой и афанитовой структурой.

Текстура — сложение породы. Под ней понимают характер расположения составных частей породы в пространстве и плотность породы. Различают *однородные* и *неоднородные* текстуры. Среди первых выделяют *массивные* (сплошные) текстуры, сложенные однородными минералами, расположенными без какой-либо ориентировки. Среди вторых — *сланцеватые* (порода рассланцована на тонкие пластинки), *миндалевидные* (полости овальной формы заполнены веществом иного состава или характера, чем остальная порода), *флюидальные* (текучие), присущие породам, кристаллы которых вытянуты в направлении течения вещества, и, наконец, *шлаковые* текстуры, возникающие при выделении газов из остывающей лавы (характерно наличие в породе различных пустот — пор, ноздреватости). Последняя текстура типична для многих излившихся пород.

Наибольшей прочностью отличаются мелкокристаллические и равномерно зернистые структуры и массивные (сплошные) текстуры, менее прочны порфировые и особенно стекловатые структуры.

Трещиноватость и отдельность. При неравномерном охлаждении массивов магматических пород в них появляются системы трещин, называемые трещинами отдельности. Трещины отдельности влияют на гидрогеологические свойства пород (проницаемость), а также на способы их разработки.

Различают несколько видов отдельностей: 1) *пластовая*, или *плитняковая* (порода разбита на отдельные пласты или плиты, иногда овальной формы, например матрацевидная отдельность гранита); 2) *столбчатая* (массив разбит сетью вертикальных трещин на столбообразные отдельности различных форм — столбчатая отдельность базальтов и андезитов); 3) *шаровая*, возникающая при подводных излияниях лав; характерна для диабазов.

Магматические породы. Сильно недосыщенные SiO_2 — ультраосновные породы. Особенность этих пород — черный или темно-зеленый цвет, большая плотность, в составе отсутствуют кварц, полевые шпаты. Структура полнокристаллическая, текстура массивная. Формы залегания — лакколиты, штоки, дайки. На поверхности легко разлагаются.

Пироксенит — структура кристаллическая, сложен оливином и авгитом, имеются включения рудных минералов.

Перидотит — структура кристаллическая. Состоит из оливина, авгита, иногда магнетита.

Дунит — в составе преобладает оливин.

Кимберлит имеет брекчиевидное строение, состоит в основном из серпентина, оливина и биотита, а также магнетита, апатита,

граната и карбоната. Обычно бывает сильно изменен и с поверхности превращен в «желтую землю», которая ниже переходит в «синюю землю». Залегает в «трубках взрыва», поперечник которых колеблется от 25 до 800 м. К кимберлитам приурочены коренные месторождения алмазов (рис. 27).

С ультраосновными породами связаны месторождения алмазов, платины, хрома, меди.

Недосыщенные SiO_2 — основные породы. Из глубинных пород к ним относятся габбро и лабрадориты.

Габбро — цвет темный, от серого до черного. В составе преобладают основные плагиоклазы (чаще лабрадор), авгит, роговая обманка, иногда оливин. Кварц отсутствует.

Рис. 27. Геологический разрез через кимберлитовую трубку «Победа» (по А. Д. Харьковцу):

1 — туфы основного состава, 2 — базальт, 3 — песчаник, 4 — углисто-глинистые сланцы, 5 — кимберлит, 6 — известняк

Структура полнокристаллическая, текстура массивная, плотная, порода плохо поддается обработке. Различают следующие виды габбро: **лабрадоритовые** — с черными блестящими кристаллами с синим отливом, **авгитовые** — черные бочонкообразные таблитчатые кристаллы с матовым блеском; **роговообманковые** — черные удлинённые кристаллы с сильным стекляннным блеском. Габбро используется как строительный материал.

Лабрадориты — разновидность габбро, состоящая почти целиком из плагиоклаза — лабрадора. Цвет темно-зеленовато-синий с красными переливами. Структура крупнозернистая, текстура массивная. Лабрадорит — декоративный камень. Мавзолей В. И. Ленина частично облицован лабрадоритом. Добывается на Украине, в Киевской и Житомирской областях.

Из излившихся пород к основным относятся базальт и диорит.

Базальт — аналог¹ габбро, цвет темный, почти черный; тяжёлый. Структура скрытокристаллическая, иногда порфировая, вкрапленники состоят из оливина, авгита, основная масса — из плагиоклазов, обычно стекловатая. Текстура плотная, иногда пористая, базальты отличаются большой прочностью и стойкостью к выветриванию. Они широко распространены и залегают в форме потоков и покровов. Для базальтов характерна столбчатая отдельность в виде шестигранных столбов. Используются как строительный материал.

Диабаз — по составу аналогичен габбро. Окраска от темно-зеленой до черной. Структура скрытокристаллическая, текстура плотная. Порода представляет собой результат древнего излияния основных лав. В диабазе все минералы в той или иной степени изменены, много вторичных образований (хлорит, серпентин).

Насыщенные SiO_2 — средние породы. В эту группу входят: диорит, кварцевый диорит, порфирит, андезит, а из средних щелочных пород (богатых щелочными полевыми шпатами) — сиенит, трахит.

✓ **Диорит** — глубинная порода. Окраска от светло- до темно-серой. Состав: средний плагиоклаз, роговая обманка, иногда авгит, слюда, редко кварц. Структура полнокристаллическая, зернистая, текстура массивная. Залегают лакколитами, жилами.

Андезит — излившаяся порода. Цвет серый, буроватый. Структура порфировая, часто заметны поры. Тонкие зерна и вкрапленники представлены олигоклазом, реже роговой обманкой, авгитом, биотитом. Андезиты образуют широко распространенные лавовые потоки и покровы в Восточной Сибири, на Кавказе, а за пределами СССР — в Северной и Южной Америке, а также в Юго-Восточной Азии.

Порфирит — также излившаяся порода. Цвет серый, зеленый. Структура порфировая. Характерна плитняковая отдельность. От андезитов порфирит отличается отсутствием стекла, содержанием вторичных минералов и тем, что подвергся гидротермальному переорождению.

Сиенит — средняя (щелочная) порода, богатая калиевыми полевыми шпатами. Окраска серая, розовая, красная. Состав: ортоклаз, роговая обманка, реже авгит и биотит, кварц отсутствует. Структура полнокристаллическая, равномерно зернистая. Текстура массивная, однородная.

Трахит — кайнотипный (молодой) излившийся аналог сиенита. Окраска светло-серая, красноватая. Структура скрытокристаллическая, порфировая, текстура мелкопористая. Порода шероховатая на ощупь.

Нефелиновые сиениты (щелочные породы) — породы с повышенным содержанием щелочных шпатов (калиевых и натриевых) и нефелина. Окраска светлая. Залегают в форме массивов и лакко-

¹ Аналог — порода, сходная по химическому составу, но образовавшаяся в иной обстановке.

литов. Практическое значение этих пород велико, так как с ними связаны месторождения апатитов (Кольский п-ов).

Пересыщенные SiO_2 — кислые породы. Эта группа пород самая многочисленная: ее представителями являются гранит, пегматит, кварцевый порфир, липарит, а также вулканокластические разновидности: стекла, туфы, пемзы и т. д. (см. табл. 4).

Таблица 5

Минеральный состав (осредненный) магматических и осадочных пород
(по М. С. Швецову)

Наименование минералов	«Средняя» магматическая порода, %	«Средняя» осадочная порода, %	Условия образования минералов
Авгит	12,90	—	Образуются в глубинных зонах земной коры и поэтому неустойчивые в условиях земной поверхности
Биотит	8,86	—	
Оливин	2,65	—	
Роговая обманка . . .	1,60	—	
Плагноклазы (анортит и альбит)	35,40	4,55	Преобладает глубинное происхождение
Ортоклаз	14,85	11,02	
Кварц	20,40	34,80	Образуются как из магматических расплавов, так и осадочным путем. Устойчивы в поверхностных условиях
Светлые слюды — мусковит, гидрослюды . . .	—	15,11	
Глинистые минералы	—	14,51	Образуются преимущественно осадочным путем
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	1,65	
Итого	100,11	100,00	

Гранит — глубинная порода. Светлая, от светло-серого до мясо-красного цвета, основная окраска обусловлена цветом полевого шпата, содержание которого в породе достигает 40—60%. Кроме шпата, в состав гранита входят 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 порфировидная, текстура массивная, однородная. Гранит —

отличный строительный камень. Образует массивные тела: батолиты, штоки, дайки. При химическом выветривании образует глинистые породы.

Пегматит — жильная порода светлого цвета. Структура пегматитовая — крупные кристаллы кварца и ортоклаза прорастают один в другой (см. рис. 26, В). Ниже описаны излившиеся породы.

Кварцевый порфир. Окраска светлая — серая, красноватая. Структура порфировая, основная масса породы мелкозернистая. Текстура плотная. Минералы кварц, полевой шпат различимы только в порфировых кристаллах. После излияния лавы порода подверглась изменениям.

Липарит. Окраска светлая, структура порфировая, текстура пористая, порфировые вкрапления — полевой шпат, кварц, слюда — хорошо различимы.

Обсидиан — вулканическое стекло. Окраска от светлой до черной, стекловатая структура, плотная текстура. Блеск стеклянный. Излом раковистый.

Пемза — продукт подводных извержений. Легкая, пористая порода светлого цвета.

Вулканокластические (вулканогенные) породы. Минеральный состав этих пород разнообразен. По условиям образования они являются магматическими породами, а по условиям залегания (пласты различной мощности) напоминают осадочные. К ним относятся *туфы* и *туффиты* — неслоистые неоднородные породы, состоящие из продуктов вулканических извержений с примесью осадочного материала (от 10 до 50%), органических остатков, глинистых и карбонатных веществ. Окраска светлая, структура обломочная, угловатая, текстура пористая.

Некоторые ученые в эту подгруппу включают пикрит и кимберлит, которые были рассмотрены нами среди ультраосновных пород.

Осадочные породы

К основным особенностям осадочных пород относятся: 1) залегание пластами, слоистость (см. рис. 28), 2) содержание остатков растительных и животных организмов (рис. 29); 3) часто рыхлость, сыпучесть, а в связи с этим большая подвижность несцементированных пород, 4) зависимость состава и свойств пород от климатических условий. Формы залегания осадочных пород весьма разнообразны. Они состоят из обломков минералов и горных пород самого различного происхождения, включая вулканический пепел и космический материал, минеральные новообразования, возникшие в коре выветривания и на морском дне, и остатки организмов и органических соединений.

В осадочных породах выделяют: а) первичные минералы, сохранившиеся после разрушения и выветривания исходной породы, б) сингенетичные минералы (образовавшиеся при формировании самой осадочной породы) и в) обломки различных пород — магматических, осадочных и метаморфических (табл. 5).

Породы бывают рыхлыми, связными и сильно уплотненными, сцементированными.

Минералы осадочных пород могут находиться в кристаллическом, аморфном и коллоидном состоянии. Наравне с первичными минералами исходных пород (полевые шпаты, кварц, слюда, роговая обманка и др.) в осадочных породах большую роль играют минеральные новообразования (глинистые минералы — гидрослюда, каолинит) и ряд других минералов осадочного происхождения: карбонаты — кальцит, доломит, сульфаты — гипс, ангидрит, отсутствующие в магматических породах. По составу различают полиминеральные (например, многие пески) и мономинеральные (известняки, мел) осадочные породы.



Рис. 28. Слоистость осадочных пород

Процессы выветривания пород, перенос и отложение материала происходят в различных условиях и в воде, и на суше. По генезису осадочные породы могут быть морскими и континентальными.

Состав и окраска осадочных пород зависят от климата — древнего и современного. Так, в условиях ледниковых и материковых пустынь часто откладывается обломочный материал (пески и др.), в замкнутых водных бассейнах жаркого климата накапливаются соли, в условиях теплого моря образуются преимущественно коралловые известняки, фосфориты и т. д. Красноватая окраска обычна для субтропиков и тропиков. Породы, образовавшиеся в условиях холодного и сырого климата, окрашены в светло-серые, темно-серые и черные тона. Такие породы характерны для отложений болот и озер.

Часто осадочные породы содержат ископаемые остатки различных животных организмов и растений (следы червей, части скелетов, раковин, листьев) (см. рис. 29, Б) в виде окаменелостей или

отпечатков. С их помощью устанавливают относительный геологический возраст отложений (рис. 71 — 73).¹ Изучение ископаемых окаменелостей позволило разделить историю развития нашей планеты на геологические периоды и эры (гл. 18).

Классификация осадочных пород довольно сложна. Установлено, что одни и те же породы (например, известняки) образуются различными путями. Поэтому при классификации обычно учитывают происхождение пород (обломочное, хемогенное и биогенное), мине-

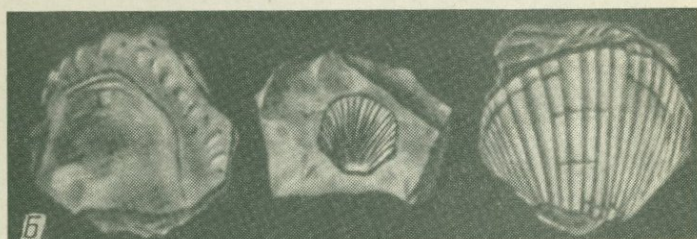
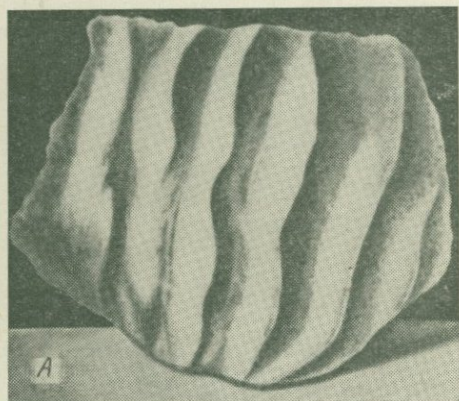


Рис. 29. Следы в осадочных породах. А — волноприбойные знаки в песчанике; Б — отпечатки и раковины плеченогих в известняках

ральный состав, размеры и формы обломков, рыхлость, связность и сцементированность частиц.

Выделяют породы: 1) обломочные; 2) глинистые — коллоидно-дисперсные; 3) хемогенные, биогенные породы, а также биохимические.

Среди биогенных пород выделяют породы органические по составу, обладающие способностью гореть с выделением тепла: торф, угли, нефть, горючие сланцы. Эти породы называют *каустобиолитами*, они имеют огромное значение для народного хозяйства.

Некоторые породы, являющиеся рудами на железо (бурый железняк), алюминий (бокситы), образуются биохимическим путем.

Обломочные породы

В основу подразделения обломочных пород положена их структура, т. е. величина и форма обломков, степень их окатанности и наличие или отсутствие цемента.

Т а б л и ц а 6

Классификация обломочных пород

Структура пород	Размеры зерен, обломков, мм	Название пород			
		рыхлые и связные		сцементированные	
		угловатые обломки	округлые обломки	угловатые обломки	округлые обломки
Крупнообломочная, <i>псефиты</i>	100 100—10 10—2	Глыбы, камни Щебень Дресва	Валунник Галечник Гравий	Брекчия крупная Брекчия мелкая	Конгломерат валунный Конгломерат Гравелит
Среднеобломочная, <i>псаммиты</i>	2—0,05	Пески разные		Песчаник	
Мелкообломочная, <i>алевриты</i>	0,05—0,005	Алеврит (лёсс)		Алевролит	
Мелкозернистая, <i>пелиты</i>	< 0,005	Глины разные		Аргиллит	
Смешанная	Разные	Супесь	Суглинок		

По форме обломков породы подразделяют на *угловатые* и *округлые*; *рыхлые* и *связные*, *сцементированные*. Связные породы различают по составу цемента и составу обломков (рис. 30). По составу цемента выделяют породы: *кремнистые* — очень твердые; цемент состоит из SiO_2 или $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; *карбонатные* — вскипают с HCl , цемент — из CaCO_3 ; *железистые* — охристые, ржаво-бурые, цемент — из $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Грубообломочные породы (псефиты). Состоят из рыхлых или сцементированных обломков горных пород и минералов размером более 2 мм в поперечнике. Сцементированные скопления угловатых обломков называют *брекчией*, а окатанных — *конгломератом* (рис. 31). Породы имеют четко выраженное обломочное строение.

✓ **Песчаные породы (псаммиты).** Состоят из обломков минералов или горных пород размером от 2 до 0,05 мм, подразделяются на рыхлые породы — *пески* и сцементированные — *песчаники*.

Пески классифицируют по размерам зерен, минеральному составу и по происхождению. По размерам зерен различают *гру-*

бозернистые (2—1 мм), крупнозернистые (1—0,5 мм), среднезернистые (0,5—0,25 мм), мелкозернистые (0,25—0,05 мм), однородные — размер зерен более или менее постоянен, разнотзернистые — размер зерен разный.

По минеральному составу пески подразделяют на кварцевые, слюдяные, глауконитовые, железистые, состоящие из зерен этих минералов. Выделяют также подгруппу полимиктовых песков,



Рис. 30. Типы цементаций по М. С. Швецову (упрощенно):

1 — цемент базальный, 2 — цемент пор, 3 — цемент соприкосновения (контактный)
4 — цемент зернистый (кристаллический), 5 — цемент обрастания (корковый)

содержащих, кроме зерен кварца, включения других минералов, а иногда и обломков горных пород.

Окраска песков разнообразная: глауконитовые окрашены в зеленые цвета, железистые — в желтые, глинистые — в серые.

По происхождению пески бывают морскими и континентальными, последние по способу их образования подразделяются на аллювиальные, пролювиальные, ледниковые, делювиальные, эоловые и т. д.

Пески часто являются почвообразующими породами, служат основанием и средой для строительства, содержат подземные воды.

Сцементированные породы — песчаники. Их различают по составу обломков и составу связующего вещества — цементу. Цвет неодинаков. В зависимости от цементирующего вещества выделяют песчаники карбонатные (вскипают с HCl), кремнистые (очень твердые), глинистые (если подышать на породу, она издает землистый запах), железистые — окраска охристая, ржаво-бурая и т. д.

В зависимости от содержания глинистых частиц (фракций размером менее 0,005 мм) выделяют группу песчано-глинистых пород — супесь, суглинок, по происхождению — моренный суглинок; они описаны среди глин (стр. 91).

Пылеватые породы — алевроиты. Порода состоит из мельчайших пылеватых пластинок диаметром 0,05—0,005 мм



Рис. 31. А — брекчия; Б — конгломерат

(кварца, полевого шпата, слюды, кальцита). Характерный представитель этих пород — широко распространенная порода лёсс.

Лёсс — неслоистая порода светло-палевого цвета, пылевато-глинистой структуры, строение землистое, обычно бурно вскипает с HCl, легко режется ножом и хорошо растирается пальцами в пылеватую однородную массу. Текстура лёсса мелкопористая. В воде комков лёсса быстро расплывается. Минеральный состав лёсса сложный. Он состоит из кварца, полевого шпата, слюды, кальцита, гипса.

Лёссовидные суглинки по внешнему виду сходны с лёссом, но более плотные, глинистые по составу (стр. 91).

Происхождение лёсса и лёссовидных суглинков континентальное: эоловое, аллювиальное, пролювиальное, водно-ледниковое, делювиальное или элювиальное. Лёсс и лёссовидные суглинки — очень важные почвообразующие породы, при увлажнении часто дают просадки.

Алевролитами называют сцементированные пылеватые породы с плотной текстурой. Строение плитчатое, иногда слоистое.

Глинистые породы — пелиты ¹

Глинистые 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 химические новообразования. Главные составные части глин — SiO_2 (40—70%), Al_2O_3 (10—35%), K_2O , Na_2O , MgO , Fe_2O_3 и H_2O .

В мелкодисперсной фракции глин ($< 0,002$ мм) присутствуют глинистые минералы (каолинит, монтмориллонит, гидрослюда и др.). В грубой фракции ($> 0,002$ мм) встречаются кварц, реже слюды. Цвет глин разнообразен — белый, бурый, зеленый, зависит от минерального состава глинистой массы и от тех или иных красящих примесей. Например, окислы железа, органическое вещество окрашивают глины в черные и темно-серые цвета.

Сильно уплотненные глины носят название *аргиллитов*. В этой стадии уплотнения глины теряют свойство пластичности и становятся твердыми.

Различают глины *осадочные* (переотложенные, вторичные) и *остаточные* (первичные). Первые более распространены и образуются преимущественно 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 химического выветривания.

По минеральному составу различают глины *жирные*, содер-

¹ Pélос по-гречески глина — общее название тонкозернистых осадочных пород.

жащие большое количество каолинита, монтмориллонита, и *тощие*, имеющие значительную примесь кварца, халцедона, опала.

В сухом состоянии глины характеризуются землистым строением. Во влажном они жирны на ощупь, водоупорны. При впитывании воды глины становятся вязкими и пластичными, увеличиваются в объеме (набухают), при высыхании сохраняют приданную им форму, а после обжига приобретают твердость камня.

Величина набухания зависит от степени дисперсности глин, от состава глинистых минералов и поглощенных ими катионов. Больше всего набухают монтмориллонитовые глины, в состав которых входит катион натрия. При высыхании уменьшается объем глин, они дают усадку, нередко разбиваются системой трещин.

Залегают глины пластами, линзами среди песков, известняков, мергелей.

Глины и некоторые суглинки играют огромную роль в гидротехническом и гидромелиоративном строительстве. Как основание и среда для фундаментов эти породы очень коварны. Глины служат водоупором, разделяющим водоносные горизонты.

Аргиллиты — сцементированные глинистые породы с плотной текстурой.

Ниже охарактеризованы песчано-глинистые породы, широко распространенные на территории материков, являющиеся не только почвообразующими, но и средой, основанием разнообразных гидротехнических сооружений.

Суглинок — неслоистая землистая порода серого или красноватого цвета. Различают суглинки легкие, средние и тяжелые, покровные и лёссовидные.

Суглинок покровный — относительно однородная землистая порода, покрывающая поверхности водоразделов слоями небольшой мощности — 3—5 м. Обычно не содержит обломков более 1 мм. Окраска желто-бурая. Происхождение разнообразное, чаще водное.

Суглинок лёссовидный — текстура часто слоистая, иногда характерно отсутствие карбонатности, пористости. Механический состав разнородный: содержит и пылеватые, и глинистые, а иногда и гравелистые частицы в зависимости от происхождения.

Суглинок ледниковый (морена) — неоднородная неслоистая землистая порода обломочного строения. Растирается между пальцами. Цвет красновато-бурый, серый. Содержит прослойки песка, глины, супеси, включения валунов различных пород в виде обломков разной величины. Широко распространена в областях, испытавших материковое оледенение. Происхождение ледниковое.

Супесь — землистая порода серо-желтого цвета. Состав разнообразный и в зависимости от содержания фракций песка и глины может приобретать различные свойства. Различают супесь легкую и тяжелую. Происхождение разнообразное.

Хемотренными называют поролы, образовавшиеся в результате выпадения солей из водных растворов или в результате химических реакций, происходящих в земной коре и на ее поверхности (гипс, ангидрит, каменная и калийная соль, известковый туф ² и др.).

Биотренными называют осадочные поролы, образовавшиеся целиком или частично в результате жизнедеятельности животных и растений (мел, известняк-ракушечник, диатомиты, торф, уголь, сапропель). Весьма часто хемотренный и биотренный процессы в природе протекают одновременно и тогда образуются биохимические поролы (многие железистые, алюминийевые и марганцовые поролы, некоторые фосфориты и др.).

Хемотренные поролы. Сюда относятся поролы следующих групп:

- 1) *галолды* — каменная и калийная соли, 2) *сульфаты* — гипс, ангидрит, 3) *карбонаты* — известковый туф, травертин (кристаллические известняки), 4) *силикаты* — кремнистый туф (гейзерит), 5) *фосфаты* — фосфорит.

Различные соли (гипс, ангидрит, фосфорит) были описаны в главе пятой как минералы (стр. 61—64).

Когда скопления природных химических агрегатов залегают пластами или какими-либо другими телами, имеют горизонтальное распространение и по составу неоднородны, их называют *горными породами*; если образуют небольшие хорошо ограненные кристаллы — *минералами*. Примером может служить листовая гипс. Но если гипс залегают пластами, линзами большой мощности и протяженности и содержит различные примеси, его называют горной породой.

Многие из перечисленных выше пород — гипс, ангидрит, калийная соль, фосфориты, известковые туфы, известняки — являются ценными агрономическими рудами и имеют большое значение для сельского хозяйства.

Карбонатные поролы. *Известняк* — хемотренный, тонко- и мелкозернистый, массивный, часто оолитовый. Окраска светлая, бурно вскипает с HCl. Образует различные натечные образования — сталактиты, сталагмиты, корки, часто кремневые.

Известковый туф — окраска светло-бурая, строение очень пористое, пузырчатое, часто содержит раковины наземных организмов, ветки растений. Бурно реагирует с HCl. Образуется на низких пойменных террасах рек в местах выхода родников, богатых CaCO₃.

Доломит — порода скрытокристаллического строения, часто плотной текстуры. Состоит из минералов доломита CaMg(CO₃)₂, кальцита (до 5%) и глинистого материала. Вскипает с HCl при нагревании или в порошок. Цвет белый, серый, желтый.

¹ Некоторые ученые эту группу пород называют породами смешанного происхождения.

² В последнее время полагают, что в образовании известкового туфа принимают участие и бактерии.

Образование доломитов различное и сложное. Большие толщи доломита возникают в водных бассейнах как продукт изменения кальцита под действием магниезальных растворов — доломитизация известняка. Доломит переслаивается с известняками, залегает в виде включений, гнезд в толщах осадочных пород.

✓ *Мергель* — известково-глинистая порода с содержанием глинистого материала около 10—70%. Цвет разнообразный. Вскипает с HCl, оставляя после реакции темное пятно. Если подышать на него, пахнет глиной.

Кремнистые породы. Кремнистый туф (гейзерит) — окраска светлая, пористый, образует натечные формы. Выпадает из горячих вод в местах выхода родников, вблизи скважин.

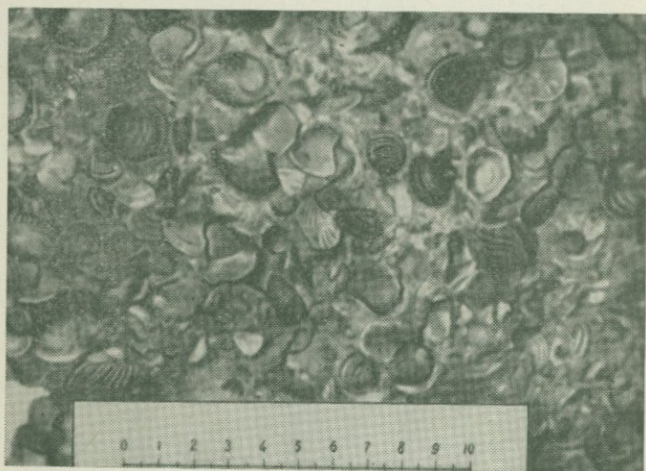


Рис. 32. Известняк-ракушечник

Фосфатные породы — главный представитель фосфорит. Строение то плотное, то землистое, цвет серый, черный (стр. 60). Образуется в результате жизнедеятельности организмов¹.

Фосфатные соли выпадают в осадок вследствие ухода из морских вод углекислоты и нарушения равновесия; растворимость фосфатов и карбонатов в новой среде становится меньше. Из вод вначале происходит выпадение CaCO_3 , а далее P_2O_5 . Обедненные P_2O_5 воды течениями поднимаются в верхние слои, населенные растительными и животными организмами. Последние вторично поглощают фосфор, и он выпадает уже в виде фосфорита, часто образуя характерные слои желваков.

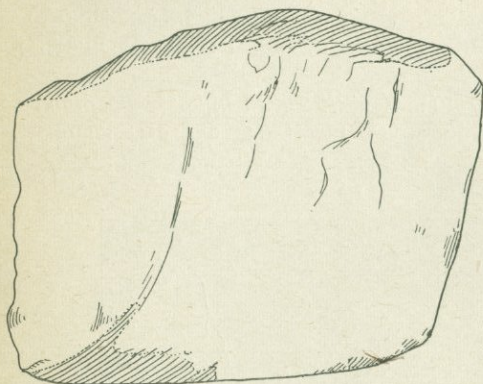
¹ Интересной разновидностью подобных образований могут служить экскременты птиц — гуано. В Перу они достигают мощности 45 м и служат отличным удобрением.

Биогенные породы. Эти породы образуются из скоплений остатков различных животных и растительных организмов. По своему составу они подразделяются на карбонатные, кремнистые и углеродистые (каустобиолиты).

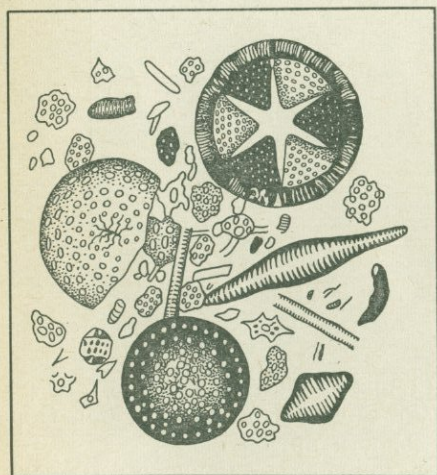
Карбонатные породы наиболее многочисленны среди осадочных пород. Почти все они применяются в качестве агрономических руд.

К карбонатным породам относятся *биогенные известняки*. Они обладают пористостью и кавернозностью. Окраска их самая разнообразная. В составе преобладает кальцит, часты примеси. Бурно вскипают с HCl . Раковины и скелеты организмов могут сохраняться полностью или претерпевать дробление, перекристаллизацию. Если известняк состоит из целых и битых раковин, он называется *ракушечником* (рис. 32). Эти известняки широко распространены на юге СССР. Среди них в зависимости от преобладания тех или иных организмов различают: *фузулиновые известняки*, сложенные раковинами фузулин, напоминающими по форме и размеру зерна ржи; *нуммулитовые*, образованные раковинами в виде диска чечевицы или монеты; *криноидные*, *мианковые* и т. д.

К биогенным породам относится также *мел* — белая, мягкая, землистая порода, сложенная из мелких частиц порошкообраз-



А



Б

Рис. 33. Кремнистые породы. А — диатомит;
Б — диатомит под микроскопом

ного кальцита, раковин фораминифер и одноклеточных морских водорослей (кокколитов). Мел имеет пористое строение и бурно вскипает с HCl .

Кремнистые породы состоят из мельчайших раковин, невидимых без микроскопа (рис. 33), и минералов опала, каолинита и др.

Диатомит — слабосцементированная порода, состоящая из остатков диатомовых водорослей, или диатомей. Легкий, пористый, мягкий на ощупь, липнет к языку. Цвет белый, светло-желтый.

Трепел — в отличие от диатомита состоит не из органических остатков, а из мелких опаловых или кремниевых зерен. Пористый, рыхлый, иногда плотный, компактный. Окраска светлая.

Опока — состав глинисто-кремнистый. С HCl не вскипает. Строение плотное, раковистый излом, легкая, цвет светлый, серый, желтый. Содержит опал, каолинит.

*Яшма*¹ — строение плотное, раковистый режущий излом, очень твердая, крепкая. Цвета разнообразные — красные, желтоватые, могут распределяться полосами, пятнами. Содержит кварц, халцедон, иногда остатки радиолярий.

Углеродистые породы — каустобиолиты. В эту группу входят весьма важные по практическому применению породы в твердом (торф, сапропель, ископаемые угли), жидком (нефть) и газообразном (газы) состоянии. Характерная черта этих пород — их горючесть.

Торф состоит из неполностью перегнивших и обуглившихся растительных остатков; сырой торф часто представляет собой полужидкую кашеобразную массу, содержащую около 80—90% воды. Цвет бурый, черный. Залегает в виде слоев, линз в торфяных болотах. Обладает большой пористостью и влагоемкостью.

Породы биохимического происхождения. Сюда входят весьма важные породы, содержащие железо и алюминий.

К железистым породам относится *бурый железняк* (стр. 73). Он образует плотные (кристаллические) и землистые (аморфные) разности бурого, охристо-желтого и красного цветов. Породы формируются из коллоидных растворов при смене физико-химических условий. Например, при соприкосновении континентальных речных вод с солоноватыми морскими или благодаря действию гумусовых кислот и жизнедеятельности бактерий. Это наиболее распространенные соединения, представляющие собой механическую смесь гидроокислов железа с глинистым и часто песчаным материалом.

Алюминиевые породы — аллиты (стр. 73). *Бокситы* — породы, состоящие из агрегатов гидроокислов Al и примесей Fe, Si, Ti. Встречаются в виде землистых, глиноподобных и каменистых скоплений кирпично-красного цвета. Происхождение бокситов морское, водно-осадочное и озерно-химическое.

Метаморфические породы

Метаморфическими называют породы, образующиеся на глубине в результате перекристаллизации магматических и осадочных пород под действием высоких температур и больших давлений, а также под влиянием внедрения магмы.

¹ Некоторые ученые рассматривают яшму среди метаморфических пород.

Минеральный состав этих пород разнообразен: в них входят минералы из групп силикатов, алюмосиликатов, карбонатов, отсутствуют галоиды и сульфаты. Характерные минералы — тальк, серпентин, хлорит. Условия залегания сходны с условиями залегания исходных пород.

Классификации метаморфических пород построены на различных принципах: по степени метаморфизма, по текстурным признакам и т. д. По характеру метаморфизма выделяют породы *глубинного (регионального) метаморфизма*, образовавшиеся в результате горообразования в зоне прогибов, опусканий блоков земной коры (гнейсы, кварциты, различные сланцы), и породы *контактные*, возникшие в результате внедрений расплава магмы в осадочные породы (мрамор, скарны). По текстурным признакам — полосчатые, сланцевые, зернистые и т. д. (табл. 7).

Таблица 7

Схема классификации метаморфических пород

Текстура	Исходные породы	Метаморфические породы	Минеральный состав
Полосчатая	Осадочные, гранит, сиенит	Парагнейс Ортогнейс	Полевые шпаты, кварц, слюда, роговая обманка
Сланцевая	Глинистые	Сланец	Тальк, слюда, хлорит, роговая обманка, кварц
Массивная (зернистая)	Известняк, доломит	Мрамор	Кальцит, реже доломит
	Песчаники кварцевые	Кварцит	Кварц и примеси

Породы с полосчатой и сланцеватой текстурой. Из них охарактеризуем гнейс и сланцы.

Гнейс. Текстура полосчатая, структура зернистая. Цвет светлый, пестрый. В составе хорошо различимы широкие белые полосы, сложенные кварцем, полевым шпатом, линейное положение чешуек слюды и роговой обманки.

Сланцы. Сланцевая текстура, кристаллическое строение. По преобладающему минералу различают слюдистые сланцы — листоватые, тальковые — белые или светло-зеленые, жирные на ощупь, роговообманковые — черные, игольчатые, графитовые — темно-серые мягкие, оставляют полосу на бумаге.

Зернистые (массивные) породы. Рассмотрим только мрамор и кварцит.

Мрамор. Строение крупно-, средне- и мелкокристаллическое, иногда сахаровидное; плотная, иногда мозаичная текстура. Цвет самый разнообразный — белый, серый, розовый, красный. Бурно вскипает с HCl. Мрамор — ценный облицовочный и строительный

материал. Добывается на Украине, Кавказе, Урале, в Карельской АССР.

Кварцит — мелкокристаллическое, слитнокристаллическое или массивное строение. В изломе блестящий. Твердость высокая (не царапается ножом). 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. М., «Высшая школа», 1966, с. 152.
- Здорик Т. Б., Матиас В. В., Тимофеев И. Н., Федьдман Л. Г. Минералы и горные породы СССР. М., «Мысль», 1970, с. 340.
- Комизерко Н. И. Петрография. М., «Колос», 1968, с. 127.
- Павлинов В. Н., Кизельватер Д. С., Мельникова К. М., Михайлов А. Е., Никитина М. И., Рыжова А. А., Сапожников Д. Г., Тихонов Н. Д. Пособие к лабораторным занятиям по курсу общей геологии. М., «Недра», 1974, с. 182.
- Лебедева Н. Б. Пособие к практическим занятиям по общей геологии. М., Изд-во МГУ, 1972, с. 87.
- Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород. М., «Высшая школа», 1974, с. 400.

Часть третья

ДИНАМИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Глава седьмая

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И ПРЕОБРАЗУЮЩЕЙ РОЛИ ЧЕЛОВЕКА

Геодинамические процессы. 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, энергией Солнца, а также деятельностью человека.

Геологические процессы подразделяются на две большие группы: *эндогенные*, порождаемые внутренними силами Земли, и *экзогенные*, обусловливаемые внешней энергией.

К эндогенным (внутренним) процессам относятся: магматизм, метаморфизм, вулканизм, движения земной коры (землетрясения и горообразование); к экзогенным (внешним) — выветривание, деятельность атмосферных и поверхностных вод (дождевые и талые воды), подземных вод, моря, ветра, ледников, животных и растительных организмов и, наконец, деятельность человека (техногенез). Необходимо отметить взаимозависимость и единство этих сил. В результате эндогенных геологических процессов формируются различные крупные неровности рельефа, возникают разломы, по которым происходит перемещение отдельных частей земной коры.

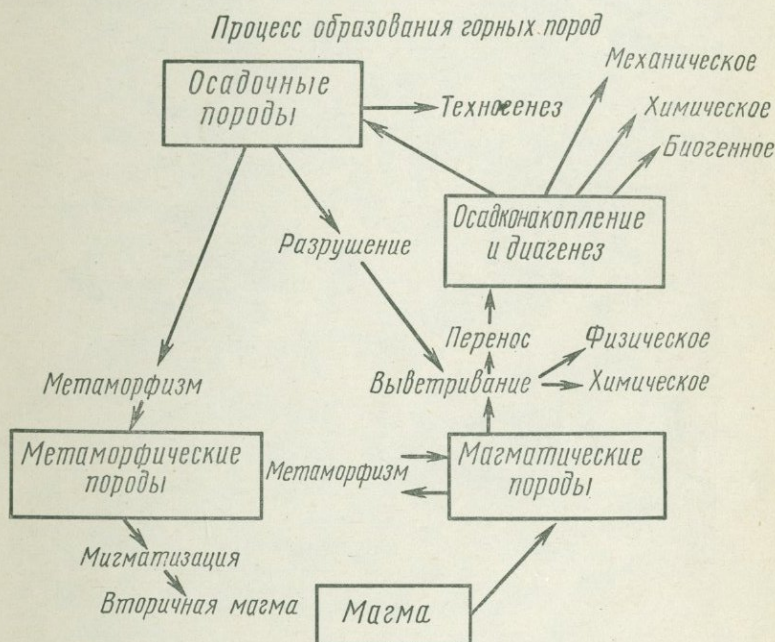
Экзогенные процессы создают детали рельефа. Они направлены к размыву, разрушению и сглаживанию различных неровностей, созданных эндогенными процессами.

Под влиянием внутренних (эндогенных) и внешних (экзогенных) геологических сил кора и рельеф земной поверхности непрерывно изменяются. Взаимодействие этих сил происходит на протяжении всей истории земной коры и представляет одну из диалектических черт ее развития.

Взаимосвязь и единство геологических процессов (для современной геологической эпохи) в схеме можно представить так:



Процесс образования горных пород происходит примерно следующим образом:



Деятельность человека. Многие ученые (В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, А. В. Сидоренко и др.) рассматривают человека как космическую силу, воздействующую на многие природные явления.

Наблюдения последних лет показывают, что одно из положений классической геологии — о чрезвычайной медленности геологических процессов — оказывается справедливым только для некоторых из них (например, морское осадконакопление), целый же ряд процессов — водная и ветровая эрозия, абразия, выщелачивание пород — совершается относительно быстро. Скорость этих процес-

сов еще выше, если она обусловлена производственной деятельностью человека (различные виды строительства, добыча полезных ископаемых, сельскохозяйственные работы) (рис. 34).

В связи с тем, что преобразующая деятельность человека захватывает ныне значительную часть земной коры, выдвигается по-



Рис. 34. Добыча железной руды открытым способом на Лебединском карьере Курской магнитной аномалии. Вдали — уступы карьера. Такие огромные выемки-котлованы эрозия создает за миллионы лет, человек — за несколько лет.

нятие о техносфере и техногенезе. Под *техносферой* понимается наружная часть оболочки Земли, связанная с технической деятельностью человека. С каждым годом она становится шире.

Техногенезом называют процессы, приводящие к возникновению новых образований на дневной поверхности (некоторые горные породы, формы рельефа).

В XX в. некоторые процессы, связанные с деятельностью человека, — водопотребление, сброс промышленных стоков, химизация сельского хозяйства, — по своим масштабам вполне сопоставимы и соизмеримы с геологическими процессами. Ниже приводятся данные о соизмеримости некоторых геологических процессов и деятельности человека.

Геологические процессы. Химическая денудация:

ионный сток рек СССР	334 млн. т/год
перенос солей атмосферными осадками	258 млн. т/год
Речной сток всех рек СССР	4700 км ³ /год
Взвешенный сток рек мира (наносы)	1,5 млн. т/год

Деятельность человека (СССР):

Водопотребление — забор воды из рек	около 300 км ³ /год
Вывос почв при распашке	6—7 млн. т/год

Промышленные стоки различной степени очистки	5,0—6,5 км ³ /год
Производство минеральных удобрений (1972 г.) . . .	66,0 тыс. т/год
Производство ядохимикатов (1968 г.)	0,25 тыс. т/год

Именно поэтому необходима рациональная эксплуатация и разработка природных ресурсов. Преобразование природы должно проводиться продуманно, поскольку многие ее богатства не безграничны. Человек должен не только брать у природы, но и способствовать восстановлению ее богатств.

ПРОЦЕССЫ ВНУТРЕННЕЙ ДИНАМИКИ (ЭНДОГЕННЫЕ)

Глава восьмая

ВУЛКАНИЗМ

Излияние по трещинам расплавленных масс — лав, газов и растворов — получило название *эффузивного магматизма*, или *вулканизма* (Вулкан у древних римлян — бог огня). Однако не всегда магматическим массам удастся пробиться через горные породы и излиться на поверхность Земли. Чаше магма остывает на некоторой глубине в коре, образуя своеобразные формы — интрузивные тела. Это *магматизм глубинный*, или *интрузивный*.

Вулканы — геологические образования, возникающие при подъеме из недр Земли и извержении на ее поверхность магмы.

Вулканы подразделяются на *действующие* и *недействующие* (потухшие). Действующих вулканов около 600, из них 60 подводных, недействующих около 1500—2000. Вулкан обычно представляет собой конусообразную гору различной высоты: от 7035 м — Аконкагуа (Южная Америка) до 100 м — потухший вулкан Мушкетова (Забайкалье).

В XX в. некоторые процессы, связанные с деятельностью человека, — водопотребление, сброс промышленных стоков, химизация сельского хозяйства, — по своим масштабам вполне сопоставимы и соизмеримы с геологическими процессами. Ниже приводятся данные о соизмеримости некоторых геологических процессов и деятельности человека.

Геологические процессы. Химическая денудация:

ионный сток рек СССР	334 млн. т/год
перенос солей атмосферными осадками	258 млн. т/год
Речной сток всех рек СССР	4700 км ³ /год
Взвешенный сток рек мира (наносы)	1,5 млн. т/год

Деятельность человека (СССР):

Водопотребление — забор воды из рек	около 300 км ³ /год
Вынос почв при распашке	6—7 млн. т/год

Промышленные стоки различной степени очистки	5,0—6,5 км ³ /год
Производство минеральных удобрений (1972 г.)	66,0 тыс. т/год
Производство ядохимикатов (1968 г.)	0,25 тыс. т/год

Именно поэтому необходима рациональная эксплуатация и разработка природных ресурсов. Преобразование природы должно проводиться продуманно, поскольку многие ее богатства не безграничны. Человек должен не только брать у природы, но и способствовать восстановлению ее богатств.

ПРОЦЕССЫ ВНУТРЕННЕЙ ДИНАМИКИ (ЭНДОГЕННЫЕ)

Глава восьмая

ВУЛКАНИЗМ

Излияние по трещинам расплавленных масс — лав, газов и растворов — получило название *эффузивного магматизма*, или *вулканизма* (Вулкан у древних римлян — бог огня). Однако не всегда магматическим массам удастся пробиться через горные породы и излиться на поверхность Земли. Чаще магма остывает на некоторой глубине в коре, образуя своеобразные формы — интрузивные тела. Это *магматизм глубинный*, или *интрузивный*.

Вулканы — геологические образования, возникающие при подъеме из недр Земли и извержении на ее поверхность магмы.

Вулканы подразделяются на *действующие* и *недействующие* (потухшие). Действующих вулканов около 600, из них 60 подводных, недействующих около 1500—2000. Вулкан обычно представляет собой конусообразную гору различной высоты: от 7035 м — Аконкагуа (Южная Америка) до 100 м — потухший вулкан Мушкетова (Забайкалье).

Современные вулканы расположены на материках и дне океанов неравномерно, обычно узкими полосами, приуроченными к геосинклиналям (рис. 35). Таких крупных полос три: тихоокеанское огненное кольцо — обрамляет Тихий океан, евразийский широтный пояс — итальянские вулканы, потухшие — кавказские, атлантическая меридиональная полоса. Кроме этого, выделяют еще вулканы, приуроченные к гигантским разломам древних материков и дну океана.

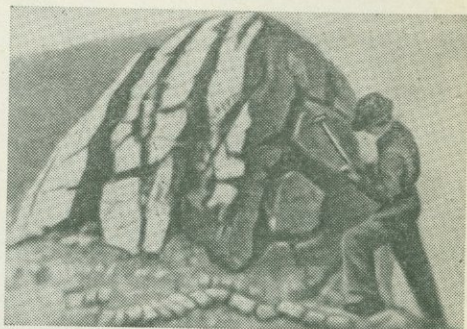


Рис. 36. «Бомба» типа хлебной корки

Продукты вулканических извержений. Продукты извержений вулканов подразделяются на газообразные, твердые и расплавленные — жидкие. Извержение вулкана может длиться от нескольких часов до нескольких месяцев, часто продолжается годами. Начальная фаза характеризуется иногда землетрясениями и выбросами газов. Основной считается вторая фаза, когда изливается

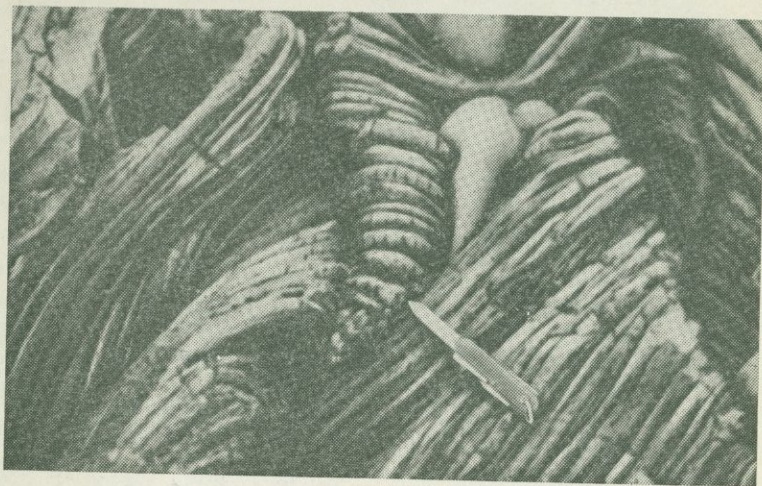


Рис. 37. Потоки базальтовой лавы (по Г. Тазиеву)

лава. Третья фаза — поствулканическая — характеризуется длительным выделением газов. Фазы выдержаны в своей последовательности, но не всегда все проявляются.

Выделения газов в поствулканическую стадию в зависимости от состава, температуры и давления называют *фумаролами* (от лат.

фитого — дымить) — температура 400—500° С, газы хлористоводородные; *сульфатарами* — температура понизилась до 200—100° С, выделяются водяные пары и сероводород и, наконец, *мофеттами* — при температуре около 100° и ниже, газы углекислые.

Вслед за газами, а часто и вместе с ними из вулканов выбрасываются твердые агрегаты в виде *вулканического пепла*, *песка*, камней — так называемых *лапиллей* (предметы округлой формы величиной от горошины до ореха), *щебня* и *вулканических бомб* (рис. 36). Эти скопления образуют так называемые *вулканокластические породы* (стр. 83).

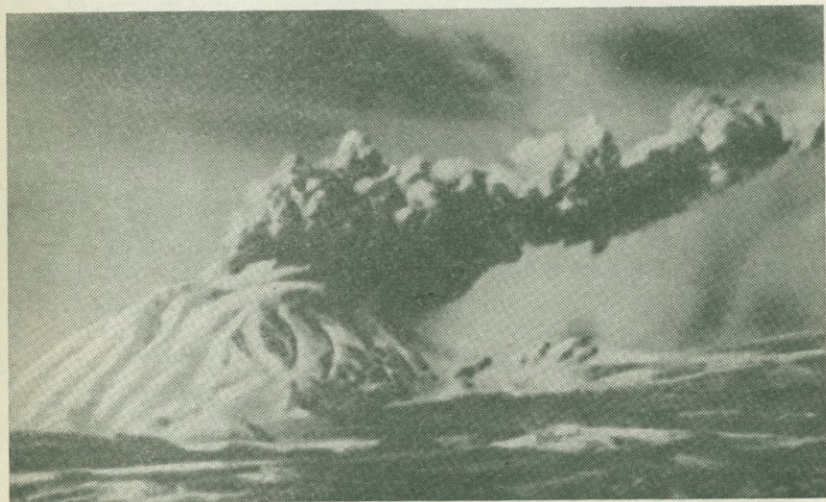


Рис. 38. Вулкан Исалько — маяк в Центральной Америке (по Г. Тазиеву)

Жидкие выделения — лавы — условно, по содержанию SiO_2 , подразделяют на две большие группы: *кислые лавы* с содержанием $\text{SiO}_2 > 65\%$, *основные* — с содержанием SiO_2 около 50% и средние. Лавы образуют массивные геологические тела, сложенные липаритами, кварцевым порфиром, огромные лавовые потоки — поля (рис. 37), сложенные базальтами. За геологическую историю Земли накопилось огромное количество вулканогенных пород — более 13,5 млрд. т.

По характеру извержений выделяют несколько типов вулканов: 1) *Гавайский щитовидный тип* — лава очень жидкая, без газов; 2) *Стромболианский* — лава жидкая, с газами (рис. 38); 3) *Вулканский* — лава вязкая, сильные взрывы; 4) *Пелейский* — вязкая лава закупоривает канал; 5) *Кракатауский*, или взрывной.

Источники, извергающие горячий пар и воду в поствулканическую стадию, называют *гейзерами* (рис. 39), или пароводяными вулканами.

Использование тепла земных недр и продуктов извержения в народном хозяйстве. Природный пар и горячая вода используются

во многих странах для промышленности и в сельском хозяйстве. В СССР, несмотря на огромные ресурсы горячих вод на Кавказе, в Средней Азии, на Камчатке и Курильских островах, они применяются еще недостаточно. Для отопления зданий, бань, обогрева теплиц подземное тепло используется в Ташкенте, Нальчике и Махачкале.

В 1966 г. на Камчатке пущена первая геотермическая Паужетская станция.

Велики перспективы использования тепла подземных вод в сельском хозяйстве. Парниково-тепличному хозяйству для обогрева

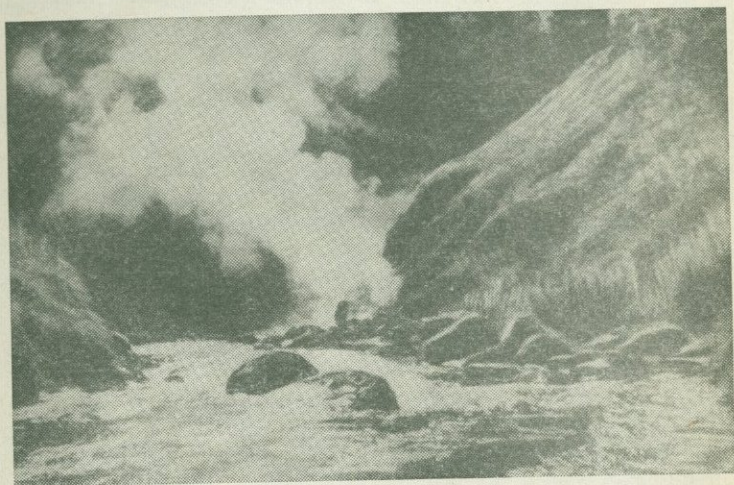


Рис. 39. Извержение гейзера Большого в долине реки Гейзерной на Камчатке

почвы необходимы сравнительно низкие параметры тепла (так, для теплолюбивых огурцов температура должна быть $25-27^{\circ}\text{C}$).

Кроме дешевого природного пара и горячей воды, широко используются в строительстве излившиеся горные породы — базальт, липарит, андезит, вулканический туф. Почвы, формирующиеся 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 значение для понимания сложных процессов, происходящих в более глубоких сферах Земли.

Глава девятая

ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

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. 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: оползнями, обвалами, подземными и текучими водами, действием ледника.

Выделяют два типа тектонических движений: 1) *складчатые* и *разрывные*, называемые *орогеническими*, и 2) *колебательные*, или *эпейрогенические*. Все тектонические движения взаимно связаны: складчатые и разрывные движения могут переходить друг в друга, в результате их действия в коре происходят землетрясения.

Условия залегания пород. В процессе формирования земной коры экзогенные и эндогенные геологические процессы вызывают образование осадочных слоев и интрузий магматических горных пород. Первоначальное залегание пород периодически нарушается движениями коры. Поэтому выделяют пласты горизонтального (ненарушенного) залегания и нарушенного. В зависимости от характера тектонические нарушения подразделяют на складчатые и разрывные.

Основным видом складчатого нарушения является складка — изгиб слоя пластичных пород.

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 выпуклостью вверх (рис. 40), их называют *антиклинальными*. Вогнутые именуют *синклинальными*. Короткие антиклинали овальной или эллиптической формы называют *брахиантиклиналями*.

У каждой складки различают: *замок* — место перегиба слоев горных пород в складке, где сходятся ее крылья (рис. 41); *ось* — линия пересечения осевой поверхности складки с поверхностью Земли; *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: *плоские*, или симметричные, — осевая поверхность вертикальна, крылья падают под одинаковым углом; *круглые* (наклонные), или асимметричные, — осевая

поверхность наклонная и крылья падают под разными углами; *лежащие* — осевая поверхность горизонтальная (см. рис. 40).

Различные формы залегания пород образуют структуры в коре. При поисках газа, нефти геологи ищут антиклинальное залегание пород, а при поисках воды стремятся оконтурить синклинальные структуры — впадины, где содержатся бассейны артезианских вод (например, Московский).

Складчатые орогенетические движения. Складчатые движения происходят относительно быстро и вызывают резкое изменение залегания горных пород, образование гор (орогенез — горообразование). Складчатые движения приводят к смятию, изгибу горных пород. Два фактора способствуют этому сложному процессу: медленность смятия пластов пород и их пластичность, т. е. способность сохранять форму после того, как силы, вызвавшие эту деформацию, перестают действовать. Таким образом, пластические деформации — процессы необратимые.

Песчаные, глинистые и карбонатные осадки, осевшие на морское дно и преобразовавшиеся в горные породы, залегают обычно горизонтальными пластами, за исключением тех случаев, когда осадочные породы легли на неровности морского дна. Такая форма залегания называется *нормальной*, или *ненарушенной*. Однако чаще, особенно в горных областях, слои

пород залегают волнисто, собраны, смяты в складки самых различных форм (см. рис. 40). Слои пород бывают надвинуты друг на друга, разорваны, опущены или приподняты одни по отношению к другим. Такие формы залегания горных пород называются *нарушенными* (см. рис. 40). Вызваны они сложными складчатыми движениями, приводящими к деформации пород.

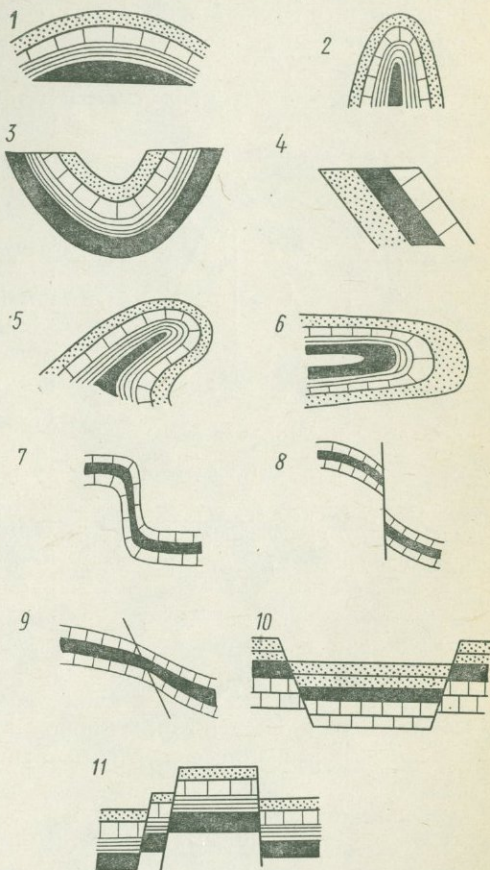


Рис. 40. Типы различных дислокаций.

Складки без разрыва сплошности пород: 1 — плоская, антиклинальная, 2 — круглая, 3 — синклинальная, 4 — моноклиная, 5 — опрокинутая, 6 — лежащая, 7 — флексура. Складки с разрывом сплошности пород: 8, 9 — сбросы, 10 — грабен, 11 — горст

Все деформации, вызывающие смятие пород, схематически можно подразделить на две большие группы в зависимости от сил, вызывающих их: вертикально направленные сверху или снизу, приводящие к растягиванию слоев; боковые, тангенциальные, обуславливающие сжатие. Следствием вертикально направленных сил обычно является растяжение слоев, возникновение флексур, трещин; в результате сжатия пластов происходит внедрение магмы, образуются различные сложные складки.

Породы в большинстве случаев деформируются на глубине, где благодаря высокой температуре и большому давлению они более пластичны, податливы. Различают два типа деформаций: пликативные и разрывные.

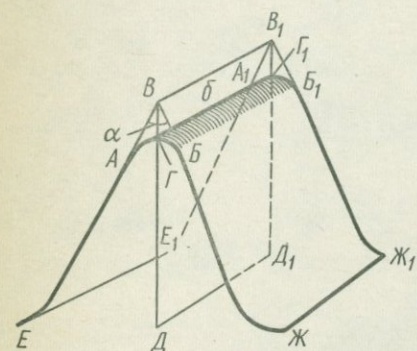


Рис. 41. Элементы складки: AA_1 , BB_1 — замок; $ГГ_1$ — шарнир; AA_1E_1E , $BB_1Ж_1Ж$ — крылья; $BB_1Д_1Д$ — осевая поверхность — угол

Пликативные деформации наблюдаются обычно в галогенных, глинистых породах, обладающих податливостью, когда силы, вызывающие смятие слоев, недостаточны для разрыва сплошности пластов. Характерный пример пликативной дислокации — *флексура* (см. рис. 40, 7) — складка, у которой один участок пород перемещен относительно другого в вертикальном направлении без разрыва, но с растяжением слоев, связывающих опустившийся участок с под-

нятым крылом. Дальнейшее растяжение промежуточного крыла складки приводит к разрыву сплошности слоев.

Разрывные орогенетические движения. Тектонические нарушения с разрывом сплошности горных пород получили название *разрывных*. Разрывные нарушения делят на разрывы без смещения пород и разрывы со смещением.

Смещение горных пород обычно по вертикали с опусканием одного пласта по отношению к другому называется *сбросом*. Величина смещения слоев относительно друг друга различна, она выражается в метрах и километрах и называется *амплитудой нарушения*. У сброса различают поднятое и опущенное крылья. В коре известны многочисленные участки, раздробленные вертикальными и наклонными трещинами, по которым перемещались отдельные глыбы (блоки) относительно друг друга. *Сбросовые трещины* иногда служат путями, по которым из глубины поднимаются газы, нефть, подземные воды.

При параллельных сбросах глыбы могут смещаться ступенями, тогда сбросы называют *ступенчатыми* (например, скала Гибралтар). Значительно опустившиеся участки горных пород между приподнятыми массивами называют *грабенами* (см. рис. 40, 10). Выступ горных пород, расположенный между двумя опустившимися участками

и ограниченный двумя сбросами, получил название *горста* (см. рис. 40, 11). Пример горста — впадина оз. Байкал глубиной 1620 м.

В настоящее время с помощью геофизических методов прослеживаются глобальные глубинные разломы, срединные океанические хребты.

Колебательные (эпейрогенические) движения. Колебательные движения — одна из наиболее распространенных форм тектонических движений. Распространяясь волнами по породам Земли, они вызывают поднятия или опускания иных участков земной коры. На территории Европы классическая область вековых поднятий — Скандинавия, где установлено пять древних береговых террас¹. О том, что в настоящее время вся эта область поднимается, свидетельствуют морские осадки с современными морскими раковинами, покрывающими террасы. Установлено, что район Стокгольма поднимается со скоростью около 24 см в столетие.

В Нидерландах море наступает на сушу. По новейшим данным, территория Нидерланд опускается со скоростью 2,5 мм в год (рис. 42), район Венеции — около 3 мм в год.

Известны участки с попеременными поднятиями и опусканиями. Примером этого служит Неаполитанский залив. 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.

Значение тектонических движений для формирования рельефа и месторождений полезных ископаемых. Вековые колебательные движения имеют существенное значение для хозяйственной деятельности человека. Поднятия вызывают усиление эрозии, перестройку гидрографической сети, появление новых форм рельефа. Подъем суши следует учитывать при строительстве гидротехнических и ирригационных сооружений; он ухудшает условия рыбной ловли, создает препятствие для судоходства, вызывает обмеление гаваней и т. д. Опускание способствует отложению осадочных толщ, заболачиванию местности.

В геологической истории Земли вековые колебательные движения имели огромное значение для образования мощных осадочных отложений и формирования месторождений ряда полезных ископаемых и, в частности, нефти, угля, солей.

Сейсмические движения — землетрясения и моретрясения. Сотрясения земной коры, происходящие от действия преимущественно внутренних сил, называются *землетрясениями*.

Подавляющее большинство землетрясений связано с разрядкой внутренних напряжений, возникающих в недрах коры. Меньшая часть возникает перед вулканическими извержениями и незначительная часть слабых землетрясений обусловлена обвалами горных пород на поверхности Земли².

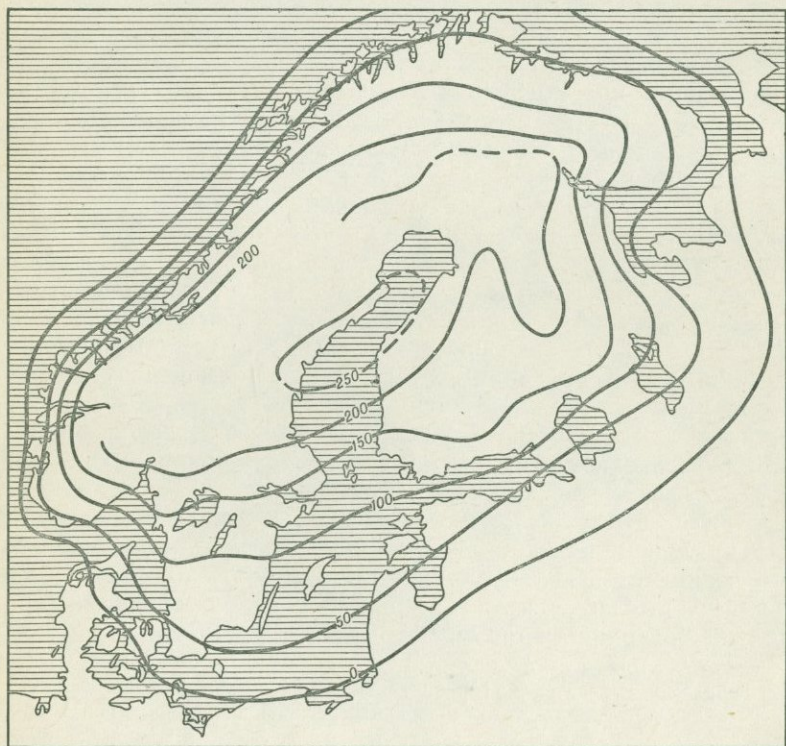
¹ Терраса — относительно горизонтальная поверхность, имеющая вид уступа и представляющая собой остаток прежней береговой волноприбойной площадки моря.

² Некоторые ученые выделяют еще антропогенные землетрясения, вызываемые деятельностью человека (например, атомными взрывами).



А

Рис. 42. Вековые колебательные движения. А — опускания суши — речные долины рек Эльбы, Рейна, Лауры, Гаронны затоплены морем; Б — поднятие Скандинавии и Финляндии. Изолинии и цифры показывают подъем в метрах за последние 25 000 лет. Многие причалы в Ботническом заливе оказались на суше



Б

Вулканические землетрясения отмечены в районах действующих вулканов, главным образом в районе Тихоокеанского огненного кольца (см. рис. 35). Сотрясение коры либо предшествует извержению вулкана, либо происходит во время самого извержения. Однако область распространения толчков в целом невелика.

Колебания и сотрясения коры наблюдаются не только на суше, но и на дне морей и океанов, вызывая огромные сейсмические волны — *цунами* (по-японски «цу» — порт, «нами» — волна). Катастрофической силы цунами имели место в Лиссабоне — 1755 г., Мессине — 1908 г., Чили — 1960 г. Скорость распространения этих

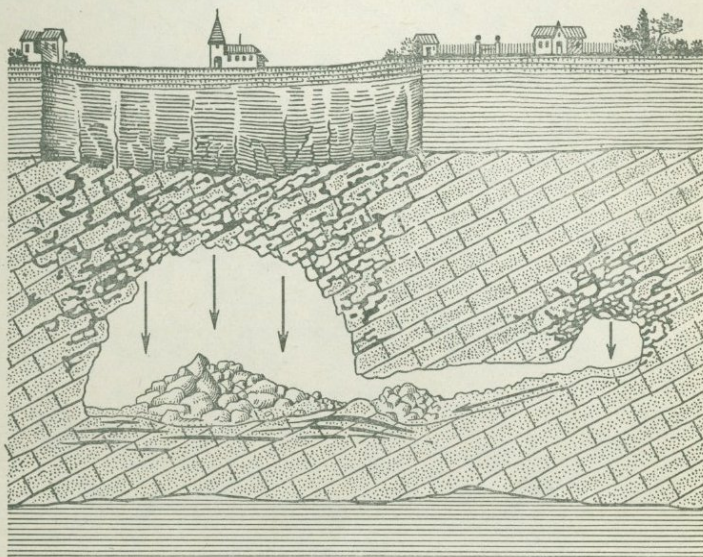


Рис. 43. Обвальное землетрясение

волн достигает 500—850 км/ч, высота при приближении к берегу доходит до 20 м.

Денудационные (обвальные) землетрясения обусловлены обвалами горных пород, залегающих над пустотами, образовавшимися в земной коре. Чаще всего встречаются в районах, сложенных породами, способными легко растворяться подземными водами с образованием пустот (каменная соль, гипс, известняк — рис. 43). Несмотря на то что пустоты часто достигают больших размеров, обвальные землетрясения относятся к числу слабых, не причиняющих людям бедствий.

Области, где землетрясения часты, называются *сейсмическими*, а где они редки — *асейсмичными* (рис. 44).

Землетрясения на нашей планете происходят постоянно. Их регистрируют специальные приборы — сейсмографы. Ежегодно они отмечают несколько десятков тысяч толчков (до 9 землетрясений

в час). В СССР в год улавливается около 5000 толчков. За 50 лет на территории СССР произошло 6000 значительных землетрясений. Большинство землетрясений (92%) наблюдается в области молодых складчатых гор, где продолжаются процессы горообразования, например в Гималаях, на Кавказе, Карпатах. На древних платформах — Русской и Западно-Сибирской равнинах — колебания коры крайне редки. Не установлено землетрясений и в Антарктиде.

Гипоцентр и эпицентр. Участок на глубине, где накапливается сейсмическая энергия и совершается разрыв горных пород, вызывающий сотрясение, называется *очагом*, *фокусом землетрясения* или

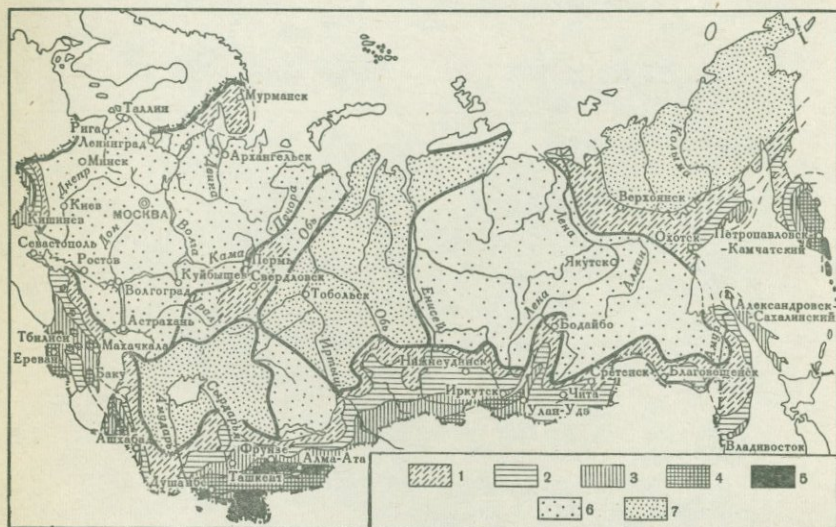


Рис. 44. Сейсмическая карта.

1 — 1—5 баллов, 2 — 6 баллов, 3 — 7 баллов, 4 — 8 баллов, 5 — 9 баллов и более, 6 — древние платформы с допалеозойским фундаментом: Русская и Сибирская, 7 — платформы-плиты с палеозойским фундаментом: Западно-Сибирская и Туранская

гипоцентром. Обычно гипоцентр находится на глубине не более 50 км. Проекция гипоцентра на поверхность Земли (она может иметь различную форму — точка, линия, площадь) называется *эпицентром*.

Очаги землетрясения в зависимости от глубины возникновения подразделяют на нормальные, с глубиной от 0 до 60 км, промежуточные, с глубиной от 60 до 300 км и глубокие — более 300 км.

Сейсмические волны, возникающие в момент землетрясения, — 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, имеющие большое народнохозяйственное значение.

Регистрация и измерение землетрясений. Для изучения и регистрации землетрясений во всех странах организована сейсмическая служба, в ведении которой имеется около 400 станций, оснащенных современной, весьма точной аппаратурой. В СССР действует более 100 постоянных сейсмических станций, из них одна находится в Москве.

Прибор, регистрирующий землетрясения, называется *сейсмографом* (рис. 45). Чаще всего это горизонтальный или вертикальный инертный маятник, прикрепленный к раме. Когда землетрясения нет, то вся система неподвижна. При толчках грунта фундамент здания,

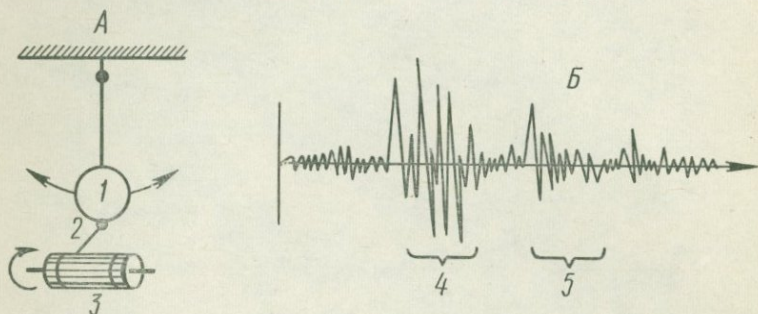


Рис. 45. Принцип действия сейсмографа (А) и сейсмограмма (Б):

1 — маятник, 2 — записывающее перо, 3 — вращающийся барабан с фото-бумагой, 4 — продольная волна на сейсмограмме, 5 — поперечная волна

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*. Сейсмограмма дает возможность установить время, силу и место землетрясения (см. рис. 45).

Энергия землетрясений. В основу измерения силы землетрясения положено количество энергии, выделяющееся в его очаге. Установлено, что в недрах Земли каждую секунду выделяется в среднем до 10^{17} эргов энергии. Когда выделяющаяся энергия превышает прочность горных пород, происходят разломы каменных масс; упругие колебания, идущие от очага разрыва, доходят до поверхности Земли, вызывая ее сотрясения. При катастрофических землетрясениях в очаге выделяется до 10^{24} — 10^{25} эргов, что соответствует примерно одному триллиону лошадиных сил (рис. 46, 47). Соотношение катастрофического землетрясения и слабого составляет 10^{17} : 1. Энергия, выделяемая при сильных землетрясениях, в тысячи раз больше энергии атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму в 1945 г.

Энергия в самом очаге определяет интенсивность землетрясения и оценивается так называемой *магнитудой*. Самые сильные землетрясения имеют магнитуду 9,5.

Сила толчков. Сила землетрясения на поверхности измеряется баллами. В СССР принята 12-балльная шкала. Сила толчков определяется так: 1 балл — землетрясение микросейсмическое, 5 баллов — чувствительное, 10 — уничтожающее, 12 — катастрофическое.

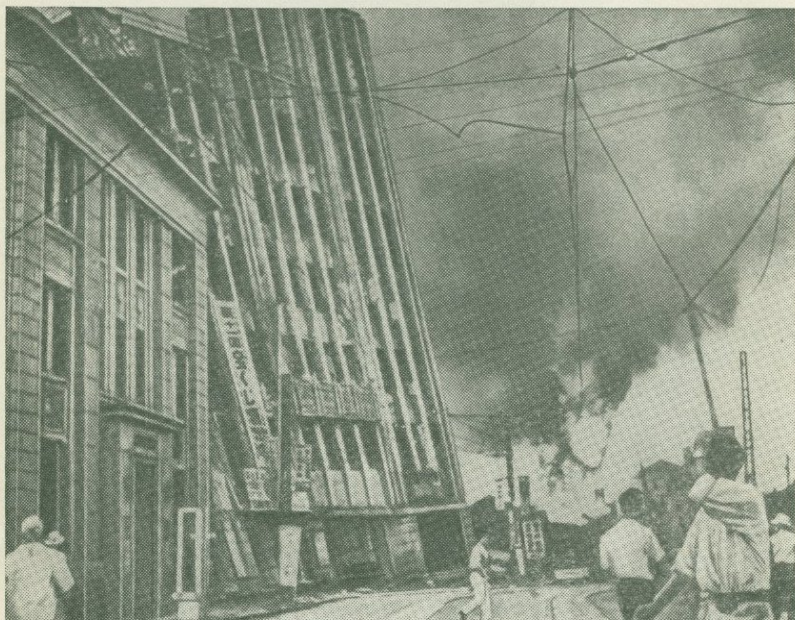


Рис. 46. Через минуту этот дом рухнет!

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, с; I — скорость распространения упругих волн, мм/с.

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 сыпучих породах скорость распространения упругих колебаний слабее и медленнее, чем в плотных, но они подвергаются большим разрушениям. Особенно велики разрушения в тех районах, где

рыхлые породы лежат на скальных — магматических либо на бОлотистых основаниях.

Прогнозирование землетрясений. Землетрясения — закономерные явления, происходящие в определенных участках коры. Важно знать,

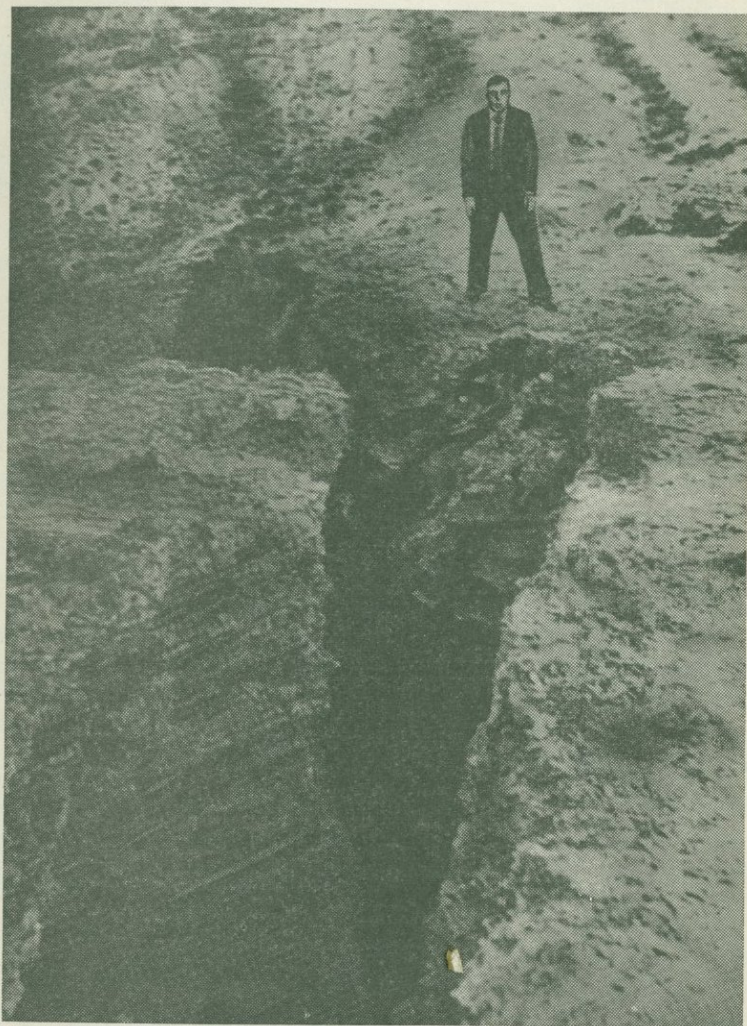


Рис. 47. Гигантская расщелина после землетрясения в районе Махачкалы, 1970 г.

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 (рис. 46), но указать точно его время нельзя. Косвенными предвестниками возможного землетрясения служат слабые толчки, запах газа в районах, где до этого воздух был чист, беспокойство домашних животных, птиц и аквариумных рыб.

Антисейсмические мероприятия. Землетрясения причиняют большой урон народному хозяйству и поэтому ослабление их последствий — задача государственного значения. Чтобы знать, в каких районах и с какой силой могут быть землетрясения, составляют карты сейсмического районирования, а для территорий отдельных городов — микросейсмического районирования. На основании этих карт (см. рис. 44) разрабатываются специальные приемы и методы антисейсмического строительства, где материал и конструкции зданий регламентируются особыми правилами и инструкциями, обязательно применяющимися во всех сейсмических районах СССР.

ПРОЦЕССЫ ВНЕШНЕЙ ДИНАМИКИ. ДЕНУДАЦИЯ, ПЕРЕНОС, АККУМУЛЯЦИЯ

Глава десятая ВЫВЕТРИВАНИЕ

Главными агентами внешней динамики являются: 1) солнечная радиация, поглощаемая и накапливаемая на Земле, колебания температуры, нагревание и охлаждение пород, 2) вода с растворенными в ней веществами, проникающая в кору из атмосферы при ее круговороте на Земле, 3) кислород и углекислота, образующиеся при биохимических и минералогических процессах, 4) растительные и животные организмы. Особую роль в этих процессах играет человек.

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 называется *выветриванием*. Работа этих, на первый взгляд, малозаметных агентов в течение многих сотен миллионов лет изменяет лик Земли, преимущественно сглаживая формы рельефа, созданные внутренними геологическими агентами, и создавая скопления рыхлых горных пород.

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 породы имеют большое практическое значение: они служат основанием для различных сооружений, часто содержат полезные ископаемые или являются подпочвой, на которой формируются почвы.

Выветривание prepares породы к образованию почвы и составляет важную часть процесса ее формирования. Этот процесс определяет скважность, водопроницаемость, поглотительную способность пород. Только под совместным и одновременным воздействием выветривания и почвообразования горная порода превращается в почву. Сам процесс выветривания не способствует аккумуляции 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 в процессе *почвообразования* создается особое свойство — плодородие, превращающее *бесплодную* горную породу в почву.

Различают два вида выветривания — *физическое* и *химическое*. Некоторые исследователи выделяют еще и биогенное выветривание. Все виды тесно связаны друг с другом. Биогенное выветривание осуществляется химическими и физическими агентами. На процессы выветривания исключительно большое влияние оказывает климат местности.

Физическое выветривание. При физическом выветривании породы дробятся без изменения их химического состава. Процессы физического выветривания протекают под влиянием различных, главным образом температурных агентов. По глубине этот процесс ограничивается поясом постоянной среднегодовой температуры.

Различают *температурное выветривание* и *механическое*. В температурном выветривании главный фактор — колебание температуры, в механическом — замерзание воды, кристаллизация минералов. Суточные и сезонные колебания температуры, неравномерный нагрев горных пород, охлаждение ночью разрушают горные породы. Эти процессы наиболее интенсивно протекают в пустынях и полупустынях, где суточные колебания температуры более 70° (днем на солнце до 70°C , ночью — ниже 0°C). При нагревании породы расширяются, при охлаждении — сжимаются. Коэффициенты объемного расширения минералов, составляющих породы, неодинаковы. Кроме того, темные минералы нагреваются больше, чем светлые. Вследствие различного расширения и сокращения объема минералов породы трескаются, дробятся. Так образуются щебневые покровы, «каменные моря», гольцовый рельеф.

Воды, передвигаясь по трещинам, при понижении температуры замерзают, расширяются, увеличиваясь в объеме до 9%, давят на стенки трещин, увеличивают их и, наконец, разрушают горные породы, превращая их в зависимости от структуры в обломки различной величины. Разрыхлению поверхностных отложений способствуют землерои, корни растений. Человек, извлекая из недр руды и металлы, занимаясь сельским хозяйством, применяя удобрения, ядохимикаты, строя каналы, водохранилища, преобразуя природу, также разрушает огромное количество горных пород.

Химическое выветривание. В нем участвуют химически активные элементы — O_2 , H_2O , CO_2 и органические кислоты.

Кислород — весьма важный агент разложения горных пород и минералов. В атмосферном воздухе содержится около 21% сво-

бодного кислорода. В воде относительное содержание кислорода колеблется от 33 до 35%. Проникновение кислорода в глубь Земли достигает сотен метров.

В верхнюю часть земной коры свободно проникает O_2 и в ней интенсивно протекают процессы окисления. Ниже окислительные процессы постепенно затухают, переходят в восстановительные. Граница, выше которой преобладают окислительные условия, ниже — восстановительные, называется *окислительно-восстановительной*. Обычно в горных породах она совпадает с уровнем подземных вод.

Максимальной мощности пояс окисления достигает в областях с сильно расчлененным рельефом (горные местности) при глубоком залегании подземных вод, в теплом и жарком климате. В районах с многолетнемерзлыми горными породами и среди болот пояс окисления почти отсутствует.

Вода — очень энергичный растворитель горных пород и минералов. Передвигаясь в зоне выветривания, она вызывает различные химические реакции, приводящие к разрушению, разложению и изменению пород. Разложение водой минералов усиливается с повышением температуры и давления, а также с увеличением концентрации воды и насыщением ее углекислотой.

Углекислота — важный агент химического разрушения горных пород. Ее источником в воздухе и воде является жизнедеятельность организмов, а также разложение карбонатов и вулканические процессы. Углекислота, входящая в состав природных вод, не вся активна. Часть ее входит в состав малорастворимых карбонатов $CaCO_3$, $MgCO_3$, другая ее часть также связана, но уже с растворимыми бикарбонатами $[Ca(HCO_3)_2]$ и только третья часть является свободной, или *агрессивной*. Эта углекислота имеет огромное значение в растворении и разложении минералов.

Химическое выветривание сильно изменяет породу, обогащает ее новыми свойствами — связностью, пористостью, капиллярностью. Особенно интенсивно оно проявляется на поверхности и сопровождается образованием новых минералов, устойчивых в коре выветривания, выносом подвижных соединений. Из этих процессов наиболее характерны окисление сульфидов, разложение силикатов, окислов, органических соединений, гидратация, лимонитизация (образование гидроокислов железа), каолинизация, латеритизация (рассматриваются в курсе почвоведения).

Окисление — реакция, широко распространенная в зоне выветривания. Окислению подвергаются многочисленные минералы — сульфиды, окислы, силикаты, органические соединения. В процессе окисления изменяется первоначальная окраска горных пород, появляются желтые, бурые и красные тона. Сильноокисленные породы обычно приобретают землистое, пористое строение (например, бурый железняк), способствующее их разрушению.

Минералы горных пород обладают различной устойчивостью к процессам химического выветривания. Наиболее стоек к выветриванию кварц, который не меняет своего состава даже при тонком

измельчений, вследствие чего широко распространен в обломочных породах и входит в состав многих почв.

Скорость разложения силикатов определяется их химическим составом, физическими свойствами (твердость, спайность), что в свою очередь обуславливается строением кристаллической решетки. Способ упаковки атомов играет в этом процессе ведущую роль.

Полевые шпаты разлагаются по схеме: полевые шпаты → гидрослюда → каолинит → латерит.

Сульфиды окисляются следующим образом: сульфиды → сульфаты → карбонаты → окисные соединения.

При окислении пирита FeS_2 , кроме сульфатов и железа, образуется свободная серная кислота, участвующая в образовании ряда новых минералов.

Органическое вещество очень неустойчиво к выветриванию.

Биогенное выветривание. Этот процесс рассматривается как часть физического и химического выветривания. Только в результате деятельности организмов горная порода обогащается главнейшими элементами питания растений — азотом, фосфором, калием, приобретая новое свойство — *плодородие*.

Многие растения, как своеобразные насосы, перекачивают химические элементы из нижних горизонтов почвы в верхние. Так, растения солончаков ежегодно вовлекают в биологический круговорот до 200—500 кг солей на 1 га, поддерживая таким образом засоленность почвы.

На процессы разрушения алюмосиликатов и образования свободных гидратов глинозема (латеритов и бокситов) оказывают влияние микроорганизмы.

В результате сложных процессов выветривания в отложениях возникают многочисленные минеральные новообразования, дающие разнообразные налеты и выцветы, примазки, корочки, прожилки, трубочки (гипс, углекислая известь), конкреции, стяжения («ласточкины хвосты» гипса, «журавчики», «дутики», «белоглазка» углекислой извести и т. д.).

Элювиальные отложения — продукты выветривания горных пород, оставшиеся на месте своего образования, называют *элювием*. Они отличаются рыхлостью, отсутствием слоистости и сортировки, для них характерен постепенный переход к коренным породам. В минеральном отношении они часто состоят из наиболее устойчивых минералов — кварца, мусковита, ортоклаза, альбита. Элювиальные отложения весьма разнообразны. Характер их зависит от особенностей состава, сложения и структуры исходных пород, рельефа и климата.

По составу и характеру элювия можно судить о составе материнских пород. Так, при разрушении крупнозернистых пород магматического происхождения образуются крупные обломки остроугольной формы. Грубообломочные породы элювия, оставаясь на месте своего залегания, дают элювиальные россыпи. При разрушении мелкозернистых пород магматического происхождения подпочвы и почвы

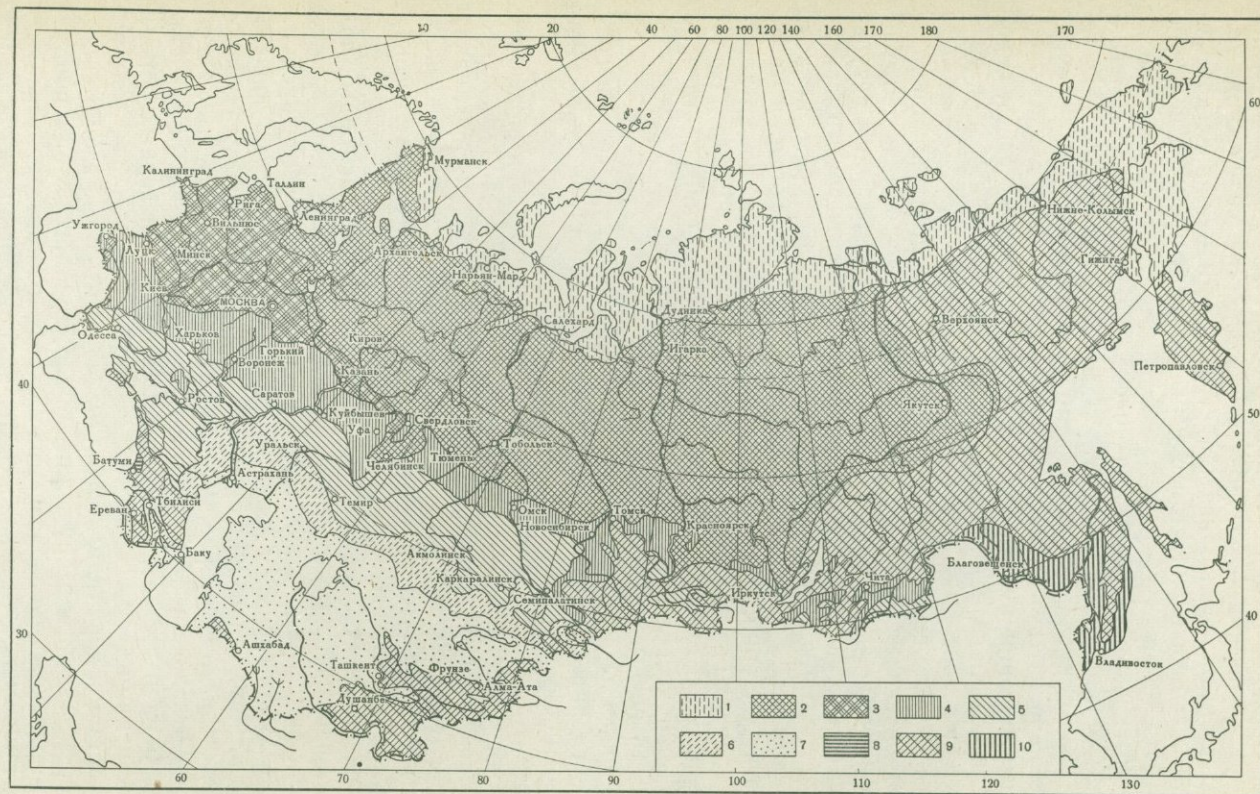


Рис. 48. Ландшафтные зоны СССР (по Л. С. Бергу):

1 — тундра, 2 — тайга, 3 — смешанный лес, 4 — лесостепь, 5 — степь, 6 — полупустыня, 7 — пустыня, 8 — субтропики, 9 — горные ландшафты, 10 — широколиственные и смешанные леса Дальнего Востока

обогащаются микроэлементами, важными для питания растений и животных, — медью, молибденом, бором.

Кора выветривания и полезные ископаемые. Наружные горизонты земной коры, где наблюдаются процессы выветривания, называют *корой выветривания*. Различают пояс современного выветривания, т. е. поверхностную часть коры, и пояс глубинного, или векового, — древнего выветривания. В поясе современного выветривания осуществляется почвообразовательный процесс.

К поясу векового, древнего выветривания, мощность которого местами достигает 300—400 м, часто приурочены 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.

Зональность процессов выветривания, понятие о ландшафте. Скорость дробления и измельчения горных пород, образование элювия, формирование почвенных горизонтов зависят не только от характера и состава материнских пород, но и от географической обстановки. Процессы выветривания, так же как растительный покров, почвы, поверхностные и грунтовые воды, подчиняются зональности, впервые установленной В. В. Докучаевым.

Географический комплекс, характеризующийся суммой типичных признаков, в котором различные элементы природной обстановки — климат, почва, растительный и животный мир, рельеф, человек и его деятельность — соединяются в одно целое, взаимодействуя друг с другом, называют *ландшафтом*. Соответственно выделяют ландшафт тундр, тайги, степей, пустынь, ледниковый и, наконец, антропогенный (рис. 48) (гл. 20).

Глава одиннадцатая

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВЕТРА

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* (Эол по древнегреческой мифологии — бог ветра) или *ветровой*. Выражается она в разрушении горных пород (выдувании, развевании и шлифовании), транспортировке (переносе) и отложении (накоплении, аккумуляции) обломочного материала.

Ветер создает разнообразные скульптурные и аккумулятивные формы рельефа (рис. 49), изменяет влажность воздуха, влияет на урожай сельскохозяйственных культур. Наиболее сильно его деятельность проявляется в полупустынных и пустынных областях. Пустыни составляют около $\frac{1}{5}$ поверхности материков, на территории СССР они занимают около 8% площади (рис. 48).

Разрушительная деятельность ветра складывается из корразии и дефляции горных пород.

Корразией называют обтачивание, шлифование песком, переносимым ветром, скал и горных пород. *Дефляция* — сдувание, выдувание и развевание ветром мелких частичек горных пород. Оба эти процесса часто объединяют под понятием *ветровой эрозии*, они тесно связаны друг с другом и наиболее интенсивны в пустынях.

Дефляция в виде пыльных бурь ежегодно наблюдается во многих степных районах (рис. 50). При этом переносится значительное



Рис. 49. Гранитные скалы Баян-Аульских гор. Казахстан

количество мелкоземного материала из одних районов в другие, иногда целиком выдувается почвенный слой. На юго-востоке европейской части СССР большой вред сельскому хозяйству наносят горячие сухие восточные ветры — суховеи.

Ветер часто транспортирует материал на огромные расстояния. Так, 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 ветром во время извержения ныне потухших кавказских вулканов.

Ветры меньшей силы, действуя длительное время, также оказывают существенное воздействие на горные породы.

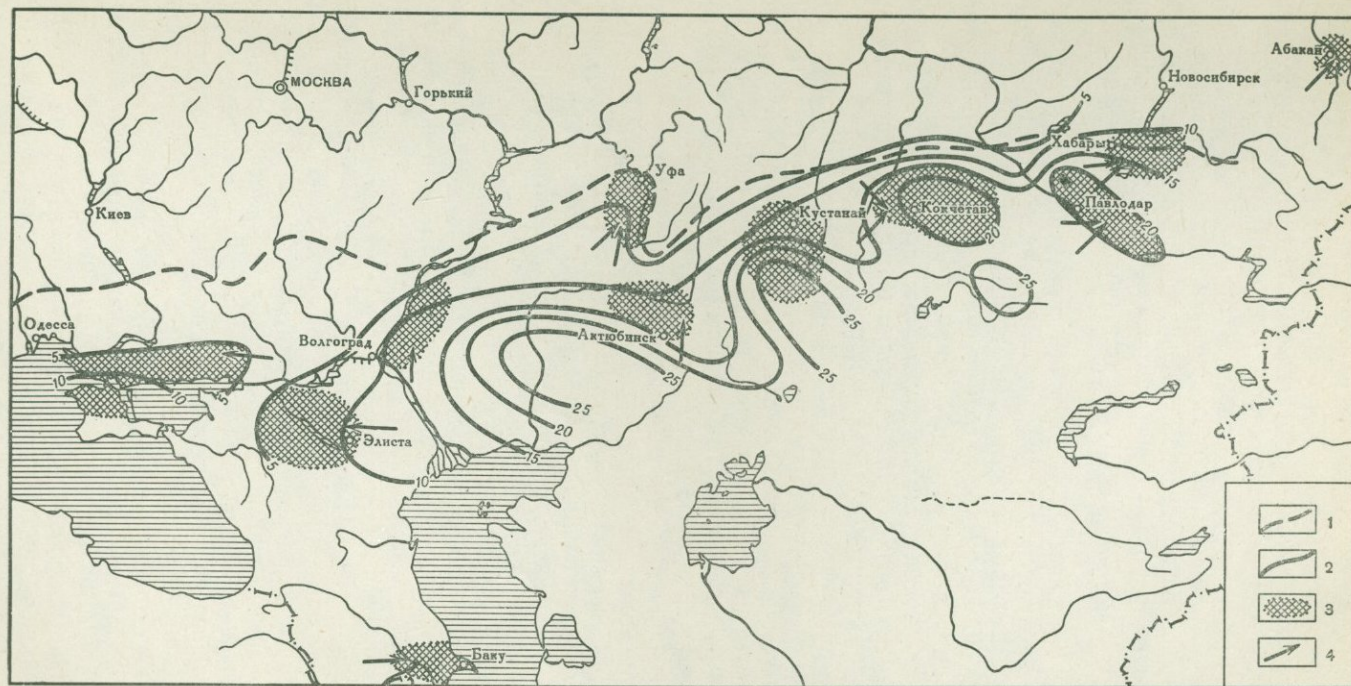


Рис. 50. Схема распространения пыльных бурь в СССР:

1 — северная граница наибольшего распространения пыльных бурь, 2 — число дней с пыльной бурей за год, 3 — районы сильного развития дефляции, 4 — направление ветра, при котором обычно возникают пыльные бури

Многочисленные мелкие осколки горных пород бороздят, сверлят и истирают обнаженные поверхности скал. В результате разрушительной деятельности ветра образуются различные эоловые формы рельефа: эоловые столбы, столы, многогранники, ниши выдувания, ячеистые поверхности, котловины и остаточные эоловые равнины.

Эоловые столбы возникают в горизонтально залегающих породах в результате выдувания ветром слабосцементированных или сильно-трещиноватых пород. Столбы часто имеют причудливые формы в виде грибов, седел, игл, голов (см. рис. 49), шаров, различных животных.

Эоловые многогранники — обломки горных пород с несколькими гранями; образуются в результате шлифовки песком при переносе его ветром, дующим в различных направлениях. Многие глыбы имеют хорошо выраженные грани, пересекающиеся под острыми углами и придающие им форму пирамид.

Ниши выдувания, желоба и карнизы, ячеистые и сотовые поверхности, останцы возникают вследствие неодинакового сопротивления ветру различных минералов и прослоек пород.

Корразирующее действие песка сказывается на различных сооружениях. Колокольни многих церквей, башен, построенных в умеренных широтах, имеют следы разрушающей работы ветра.

Следует отметить роль ветра в переносе (миграции) солей, который наравне с другими причинами приводит иногда к засолению почв и грунтовых вод.

Соляные бури и соляные дожди на степных полях часто губят всходы культурных растений, засоляют колодцы с питьевой водой. В пустынях Средней Азии ветер, развевая соляную корку, переносит в воздухе соли натрия, хлора, серы. Ветер с моря приносит морскую пыль, содержащую различные соли. 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. С осадками эти соли попадают на Землю.

На поверхность Земли атмосферные осадки приносят в год около 100 000 т ртути, что в 20 раз превышает ее ежегодную добычу. Таким же образом в почву поступает мышьяк, бор и др.

Среднее количество иода, вносимое атмосферными осадками в почву континентальных областей, составляет около 10 г на 1 га в год. Количество растворимых солей, выпадающих на 1 га в год с атмосферными осадками, в приморских местностях может достигать весьма значительных величин.

Минеральные частицы пород, выдуваемые и сдуваемые ветром со скал в одном месте, откладываются в другом. 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.

Субаэральные образования, формирующиеся в результате переноса минеральных частиц ветром во взвешенном состоянии и выпадения их из воздуха, перевевания или перекачивания (воло-

чения) рыхлых пород под действием других денудационных агентов (эоловые пески), называются *эоловыми*. К субэральным отложениям относят пески дюн, барханов, барханных гряд, а некоторые исследователи — и лёсс.

Согласно учению В. А. Обручева, *лёсс* — продукт медленного прерывистого накопления атмосферной пыли на сухой травяной степи в условиях сухого климата. Под защитой растительности лёсс накапливается большими толщами мощностью в несколько десятков метров. Скорость отложения 1—2 мм в год. Таким образом, толща в 1 м накапливается примерно за 1000 лет.

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 различных сооружений и имеют очень большое агрономическое и гидро-мелиоративное значение (см. гл. 6).

Эоловые пески образуются преимущественно при перевевании аллювиальных, флювиогляциальных, морских, озерных песков и только сравнительно незначительная их часть возникает при непосредственном развевании коренных пород. Характерная особенность эоловых песков — подвижность, рыхлость, округленность песчинок, хорошая сортировка и совершенная шлифовка зерен, значительная мощность и т. д. При освоении песчаных массивов проводятся мероприятия по укреплению песков. Цель закрепления песков — прекратить их дефляцию (развевание) и движение и создать условия, необходимые для сельскохозяйственного освоения. Способы укрепления песков весьма разнообразны и зависят от природных условий и устойчивости песков.

В СССР для укрепления песков и песчаных грунтов применяют различные физические и химические мелиорации — силикатизацию, битуминизацию, замораживание и закрепление растительностью. Последний способ получил наименование *фитомелиорации*. Он широко распространен у агролесомелиораторов. Эти мероприятия рассматриваются в курсах почвоведения и лесоводства.

Человек издавна использовал энергию ветра в своих целях. В СССР энергию ветра употребляют в многолопастных ветродвигателях ТВ-5 мощностью до 2,5 л. с. В засушливых районах энергию сильных ветров в период засухи можно использовать для орошения.

Глава двенадцатая

ФЛЮВИАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ — ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕКУЧИХ ВОД

Виды эрозии¹. Атмосферные осадки, выпадая на поверхность Земли, частично испаряются, возвращаясь обратно в атмосферу, частично просачиваются через водопроницаемые породы, скапливают-

¹ Эрозия — от лат. *erosio* — разъедание.

ся на водоупорных слоях и образуют грунтовые воды, частично стекают в виде временных безрусловых потоков или постоянных русловых (реки).

Деятельность временных, безрусловых вод приводит к плоскостному смыву, постоянных русловых потоков (рек) — к размыву пород в глубину и в стороны. Геологическая работа поверхностных вод заключается в разрушении горных пород, транспортировке материала и его отложении (аккумуляции).

Процесс размыва горных пород водой, заключающийся в отрыве текучими водами разрушенных частиц от массива горных пород, называется *эрозией*. Различают смыв и размыв. Смыв происходит в плоскостном направлении и относительно медленно, размыв (врезание) направлен в глубину и протекает относительно быстро.

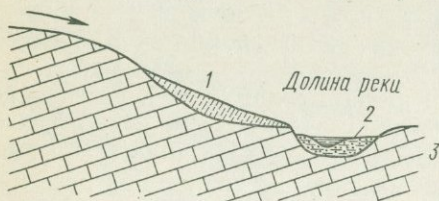


Рис. 51. Образование дельювия:

1 — дельювий, 2 — аллювий, 3 — коренные породы

Размыв, или *глубинная эрозия*, приводит к образованию промоин, оврагов. Мало заметная деятельность атмосферных вод длительное время оказывает большое влияние на рельеф, сглаживает его формы и создает особые типы континентальных материковых отложений.

Плоскостной смыв. Процесс смыва с водоразделов дождевыми и снеговыми водами продуктов выветривания и скопления их на склонах и у подошвы возвышенностей получил название *дельювиального*, а генетический тип образующихся при этом отложений (по предложению акад. А. П. Павлова) — *дельювия* (от лат. deluo — смываю) (рис. 51).

Для дельювиальных отложений характерно: 1) отсутствие ясно выраженной слоистости и сортировки материала, изредка отложения обнаруживают неправильную местную слоистость, ориентированную параллельно склону, и неполную сортировку; 2) разнородное петрографическое состава: дельювий может представлять рыхлую брекчию различного состава, разнородный песок, суглинков, лёсс; 3) небольшая мощность (до 2—3 м), залегание преимущественно на склонах долин в виде чехла, шлейфа, без оформленного русла; некоторые разности дельювия приурочены к понижениям, западинам водораздельных пространств; 4) содержание обломков органических остатков: ископаемых древних — морских, собственных коренным породам, перенесенных водами и находящихся во вторичном залегании, и ископаемых современных, соответствующих времени образования дельювия.

Иногда за дельювий принимают мелкий осыпной материал, переместившийся под действием силы тяжести и накопившийся у подножья склонов в горах. Такой обломочный материал называют *коллювием* (colluvio — скопление). Коллювий отличается от дельювия способом сортировки.

Плоскостной смыв сильно изменяет рельеф склонов, уменьшает их крутизну, покрывая ровные пологие откосы рыхлыми отложениями.

Механический состав делювиальных отложений весьма различен. Верхняя часть делювиального склона иногда сложена щебнем или рыхлой брекчией, или обломками пород, слагающих более высокие части возвышенности. Среди них часто попадает щебенка, иногда образующая линзообразно выклинивающиеся пропластки. Средняя и нижняя части склона бывают покрыты типичными для делювия однородными толщами более мелкозернистых пород. Среди неслоистых отложений делювиального покрова обычны лёссовидные суглинки.

Окраска делювиальных отложений обычно зависит от цвета исходных коренных пород. Так, в области развития пермских мергелей и песчаников делювий имеет красно-бурую окраску; в местах распространения лёсса — палево-бурую и т. д.

Дождевые и снеговые воды в течение геологических веков сортируют обломочный материал, подготовленный выветриванием, перемещают его по склонам и создают толщи делювиальных отложений. Делювиальные отложения накапливались и в течение всего четвертичного периода, особенно в областях, не испытывавших оледенения. Наиболее интенсивно делювиальный процесс протекал в районах, где поверхность не защищена растительным покровом. Область наиболее широкого распространения делювия приурочена к степной полосе и протягивается до Черного и Каспийского морей. Делювиальные образования служат почвообразующей породой. Они изолируют почву от коренных пород, развитых в данной местности. Делювиальные процессы распределяют раздробленные и перемешанные составные части коренных пород, слагающих вершины возвышенностей, на площади, нередко во много раз превосходящие площадь непосредственного выхода этих пород на дневную поверхность.

Изучение делювиальных процессов, происходящих на склонах, важно не только для познания генезиса почв. Оценка какого-либо склона для сельского хозяйства или инженерного строительства зависит от состава рыхлого покрова или коренных пород, занимающих вышележащие части склона. Так, на склоны с почвой, бедной известью или солями калия, могут приноситься известковые или глауконитовые частицы с полосы, расположенной выше. В результате плодородие почв будет улучшаться.

Состав и структура делювиальных отложений зависят 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, соединяясь друг с другом, формируют более мощные водные потоки, которые, стекая со склонов, образуют отдельные небольшие углубления, называемые *рытвинами*, т. е. совершают некоторую работу по размыву пород в стороны и в глубину. Посте-

пенно мелкие углубления переходят в отрицательные формы рельефа — *овраги*. При развитии глубинной и боковой эрозии из оврага может сформироваться *речная долина*; при затухании процессов размыва в глубину рост оврага приостанавливается, склоны его задерновываются, дно становится плоским, и овраг превращается в *балку*. Считают, что не все балки являются конечной стадией развития оврага; некоторые из них представляют собой части древней гидрографической сети.

В соответствии с законами силы тяжести вода течет сверху вниз, а размыв начинается снизу от какого-то определенного уровня и продвигается вверх. Поток вырабатывает себе путь (овраг, долину) от устьев к верховьям, т. е. регрессивно, поэтому этот процесс носит название *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 Волги — уровень воды в Каспийском море, р. Москвы — уровень в месте впадения ее в Оку около Коломны). Местным базисом эрозии какого-либо оврага служит горизонтальная поверхность в его устье. Вполне очевидно, что базис эрозии — уровень, изменяющийся во времени под влиянием причин геологического характера и в результате деятельности человека. К геологическим причинам относятся медленные колебательные движения земной коры, в итоге которых при восходящих движениях отдельные участки суши поднимаются (эрозия усиливается), а при нисходящих — опускаются (размыв ослабевает).

В результате широкого гидротехнического строительства в нашей стране многие реки перегорожены плотинами, построены шлюзы, вследствие чего уровень воды в реках на отдельных участках поднялся. Это привело к ослаблению эрозии. Так, после строительства канала им. Москвы уровень р. Москвы в столице оказался приподнятым до 120 м против 116,78 м абс. выс.

Овраги. Овраги — характерная форма эрозионного рельефа. На их образование влияет комплекс причин геологического, климатического и орографического характера. Оврагом называется глубокая (10—15 м и более) вымоина, рывина с крутыми, часто отвесными стенками. Протяженность оврагов — 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.

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 различают несколько стадий (рис. 52). Поверхность дна растущего оврага стремится сравняться с уровнем

воды 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 растет и расширяется в разные стороны. Если овраг в своем развитии вскрывает водоносный горизонт, по его дну устремляется водоток, на склонах образуются родники, иногда оползни. Из оврага может сформироваться речная долина.

Литологический состав горных пород — наличие на склонах песков, рыхлых лёссовидных суглинков, лёсса — также способствует быстрому росту оврагов. В этих условиях они образуют много мелких ответвлений.

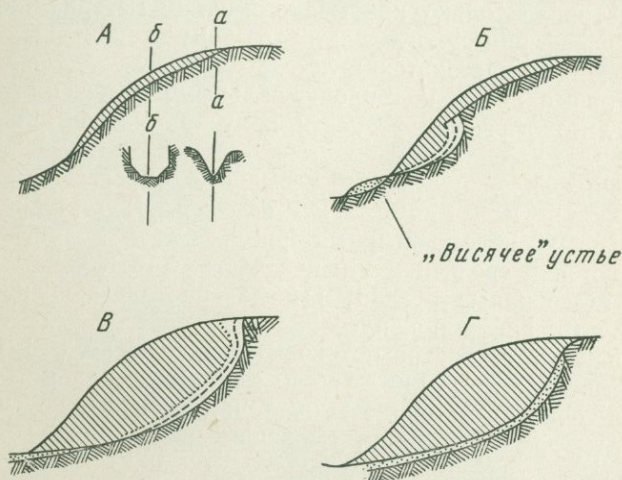


Рис. 52. Стадии развития профиля оврагов. А — промоины, рытвины; Б — врезание оврага вершиной; В — выработка профиля равновесия; Г — затухание

Мероприятия по борьбе с оврагами можно подразделить на две группы: профилактические, направленные на предотвращение образования новых оврагов, и мероприятия, направленные на борьбу с ростом уже существующих оврагов. Они рассматриваются в курсах почвоведения и лесоводства.

Грязе-каменные потоки. Кратковременные и бурные потоки воды и твердого материала, несущиеся по глубоким руслам со склонов гор, получили название *силей*, или *селей*. Основные условия развития силевых (селевых) потоков следующие: 1) наличие в верховьях долины, в пределах ее водосбора, рыхлых обломочных продуктов выветривания и отсутствие растительности; 2) крутое падение горной долины, в среднем 0,06; иногда уклон дна потока бывает и меньше — 0,02; 3) ливни, а в некоторых случаях быстрое таяние снегов и льда, дающие внезапные большие потоки воды.

Селевые, или, иначе, грязе-каменные, потоки причиняют большие убытки народному хозяйству. Мероприятия по борьбе с грязе-

каменными потоками направлены на уменьшение скорости потока, на устранение препятствий, создающих подпор в русле. Для этих целей перестраивают мосты, создают камнеудерживающие площадки путем расширения русла, стремятся сохранить лес и травяной покров в верховьях реки.

Пролувиальные отложения сухих конусов выноса. Акад. А. П. Павлов¹ выделил особый генетический тип отложений — *пролувий*², который он определил как «отложения, накапливающиеся путем распространения по равнинам минерального материала, вносимого временно изливающимися по равнине потоками». Область развития пролувия — это по преимуществу прилегающие к горам местности с сухим климатом. Пролувиальные отложения А. П. Павлов рассматривал только как мелкоземистый материал, отлагающийся по периферии сухого дельтового конуса временных потоков и образующий среднеазиатский лёсс.

В настоящее время под пролувиальными отложениями понимают все литологические разности конусов выноса, а не только мелкозем.

Отложения плоских конусов выносов определенной формы называют *сухой* или *субаэриальной дельтой*. В вершине конуса отлагается грубообломочный материал, более мелкие частицы накапливаются в средней и нижней частях его и самые мелкоземистые — лёссовидные осадки, выпадающие из временных луж и озер, — по периферии конусов.

Деятельность русловых потоков (рек). Только 800 тыс. км² поверхности суши лежит ниже уровня моря; на остальных 148,2 млн. км² любая точка на материке выше точки на поверхности океана. Поэтому атмосферные осадки, выпавшие на материк, подчиняясь силе тяжести, возвращаются в Мировой океан. Благодаря винтообразному движению воды в потоке, реки выполняют огромную механическую работу по перемещению материала и сильно изменяют рельеф страны. Материал переносится тремя способами: 1) во взвешенном состоянии в виде мути, 2) перекатыванием обломков различной величины по дну, 3) в растворенном состоянии.

Ниже описана преимущественно механическая работа рек, хотя и химическая работа водных потоков имеет большое значение для переноса солей в гидросфере.

В механической работе реки выделяют: 1) разрушение, размыв, или эрозию, 2) обтачивание и шлифование, 3) транспортировку материала; 4) отложение, накопление материала — аккумуляцию.

Живая сила водных потоков (рек) определяется по следующей формуле:

$$\Sigma = \frac{mv^2}{2},$$

¹ Павлов А. П. Статьи по геоморфологии и прикладной геологии. М., 1951.

² Пролувий — от лат. *proluo* — сношу течением.

где Σ — живая сила реки; m — масса воды; v — средняя скорость воды. Если $\Sigma >$ несомого материала, река эродирует, если $\Sigma =$ несомому материалу, в реке устанавливается равновесие, если $\Sigma <$ несомого материала, происходит аккумуляция.

Размыв резко возрастает с увеличением скорости течения воды, которая в свою очередь увеличивается при больших уклонах местности. Поэтому эрозионная деятельность горных рек, текущих с большой скоростью, значительно превосходит размыв реками, медленно несущими свои воды в широких долинах. Размыв будет значительнее и там, где более рыхлые и мягкие породы.

Особенности речной эрозии. Речная эрозия — сложный процесс, представляющий собой результат взаимодействия различных сил. Схематично его можно представить следующим образом. В верховьях реки протекают преимущественно процессы разрушения — размыв, в средней части — перенос, в низовьях — накопление материала. Все эти процессы хотя и противоречивы, но едины и в некоторых случаях осуществляются одновременно, накладываясь друг на друга.

В процессе развития реки на равнинах глубинная эрозия преобладает в верховьях, где русло потока углубляется и долина имеет V-образную форму. В среднем течении имеет место интенсивная боковая эрозия. Здесь долина расширяется, разрушенный материал выносится в низовье, где эрозионная деятельность ослабевает, и в этой части реки накапливается приносимый с верховьев материал.

В горных реках почти на протяжении всей долины интенсивно действует глубинная эрозия и преобладает вынос разрушенного материала.

Вследствие различного состава горных пород в начальный период образования долины продольный профиль реки часто имеет много неровностей. Однако с течением времени неровность сглаживается, река вырабатывает так называемый *профиль равновесия*, или *предельный профиль*, при котором устанавливается равновесие между

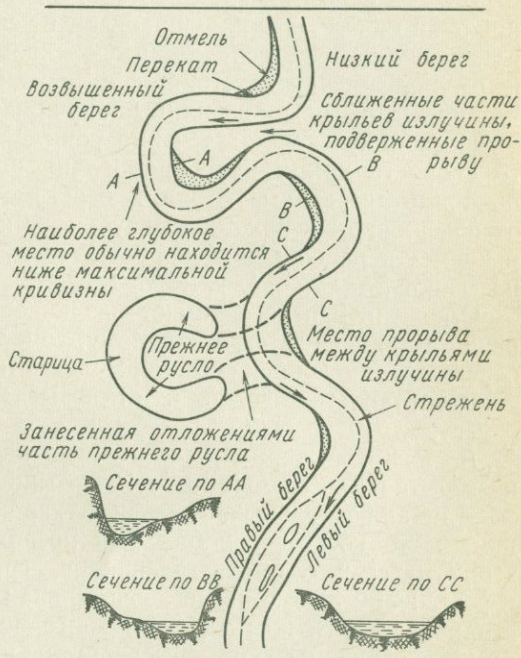


Рис. 53. Расположение на реке меандров, стариц, плёсов (по В. Д. Галактионову)

эрозией и аккумуляцией. Выработка профиля равновесия зависит от многих причин: от состава горных пород, слагающих долину, рельефа бассейна реки, уклонов, климатических условий. По характеру продольного профиля реки можно подразделить на равнинные с профилем равновесия, выработанным на значительном протяжении, и горные — с невыработанным профилем равновесия. По мере выработки профиля равновесия интенсивность энергии врезания уменьшается, несколько ослабевает и боковая эрозия, однако расширение долины продолжается.

Даже в самом начале процесса 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. 53).

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, увеличивается от поверхности к некоторой глубине. Линию, соединяющую вдоль реки места наибольших скоростей в каждом поперечном сечении, называют *стрержнем*¹, или *фарватером*.

Стержень в реке занимает различное положение: при изгибах реки он приближается то к одному, то к другому берегу. Выпуклые берега равнинных рек обычно размываются, разрушаемый материал транспортируется водой и откладывается на вогнутом, низком берегу.

Аллювий. Материал, отлагаемый на суше текучими водами, называется *аллювием* (alluvio по-латыни — намываю).

Для аллювиальных отложений характерны: 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 простиранию, 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 десятки километров.

Исключение представляет мощность аллювия в устьях больших рек, например Волги — 200—300 м, Ганга — до 400 м.

На геологических картах мелкого масштаба эти отложения выглядят относительно узкими полосами (см. главу 21).

По литологическому составу различают три типа аллювиальных отложений (рис. 54): а) русла реки, б) стариц и в) поймы.

Русловые отложения обычно песчаные, с косой слоистостью, в минеральном отношении характеризуются постоянством состава. Например, у Волги на расстоянии 2000 км в легкой фракции песков преобладают кварц (70—80%), полевые шпаты (10—20%). Этот тип отложений образуется в водной среде.

¹ Стержень — искаженное русское слово «стержень», или, иначе говоря, динамическая ось потока.

Отложения стариц. Они представлены мелкозернистыми песками, супесями, илами, глинами с разнообразной слоистостью и обычно содержат много органических веществ, водорослей и гидрофильной болотной растительности. Иногда в них образуются торфяники.

Пойменные отложения. Наиболее интересны отложения поймы, которые в течение года накапливаются то под водой (в паводок), то на суше (после спада воды). 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. В высокой пойме осадкообразование сопровождается физико-химическими процессами, и отложения приобретают зернистое строение. Эта пойма

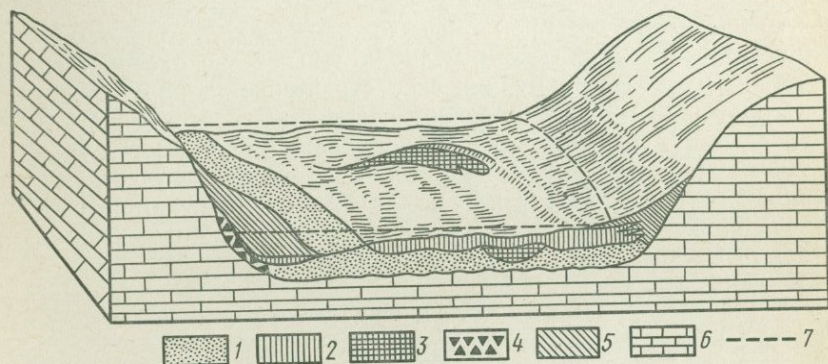


Рис. 54. Схема строения аллювия равнинной реки:

1 — русловый аллювий, 2 — пойменный аллювий, 3 — старичный аллювий, 4 — осыпи, 5 — делювий, 6 — коренные породы, 7 — уровень паводковых вод

заливается редко и у равнинных рек в СССР обычно покрыта лугами, представляя в сельскохозяйственном отношении весьма плодородные угодья.

При боковой эрозии в пределах поймы образуются излучины, и поэтому вниз по реке пойменные массивы смещаются. Основная масса отложений на пойме равнинных рек сосредоточена у русла. Обычно русло ограничено от остальной части поймы прирусловыми валами высотой до нескольких метров.

Горные реки перекачивают большие обломки пород по дну, поэтому пойменные отложения у них представлены крупными валунами, галечником, крупнозернистыми песками. Равнинные реки (Нил, Амударья и др.) переносят огромное количество взвешенных наносов и откладывают мелкий материал.

В европейской части СССР площади, занятые песками разного происхождения, распределяются следующим образом (в процентах): древнеаллювиальные — 51, ледниковые — 24, эоловые — 11,3, морские — 6,5, элювиальные — 3,6, озерные — 1,8. Таким образом, роль проточных вод — рек — в образовании песков и песчаных почв очень велика.

Значение рек для сельского хозяйства. Реки 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, Ефрата, Амударьи, имеющих исключительно плодородные почвы, орошаемое земледелие появилось более 5000 лет назад.

Грунтовые воды аллювиальных отложений — источник питьевого водоснабжения многих городов. На террасах рек, сложенных аллювием, строились крупные города — Москва, Киев, Горький и др.; велась добыча россыпных месторождений золота, алмазов, платины. Режим рек, их водность, водная эрозия, отложение наносов издавна интересовали гидрологов, гидротехников, географов, геологов, почвоведов.

Хотя освоение пойм рек — неотложная задача, устройство инженерных оросительных систем, мелиоративные сельскохозяйственные работы, крупное гидротехническое строительство нарушают первоначальный облик рек, их режим, водность. Строительство плотин, гидростанций, создание крупных водохранилищ изменяет уровень местного базиса эрозии, вследствие чего на отдельных участках реки усиливается боковая эрозия, на других накапливаются рыхлые отложения.

Глава тринадцатая

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ И ИХ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Гидрогеология — наука, изучающая подземные воды, их историю, происхождение и формирование, состав, режим, геологическую и геохимическую деятельность.

Из общего объема воды на Земле 1370,3 млн. км³ на долю вод суши приходится только около 90 млн.; из них на подземные воды — 60, ледники — 29, озера — 0,75, почвенную влагу — 0,075 и на реки — только 0,012 млн. км³.

По способности пропускать воду все горные породы подразделяют на породы непроницаемые, практически не пропускающие (различные глины, плотные граниты, кварциты) — их называют *водоупорными*, породы слабопроницаемые — суглинки, супеси, глинистые пески, породы водопроницаемые (пески, галечники, трещиноватые известняки), способные пропускать и содержать в порах, трещинах и других пустотах подземные воды. Эти породы называют *водоносными*.

Осадочный чехол земной коры состоит из чередующихся пластов этих пород, прорываемых магматическими интрузиями; поры, трещины, пустоты занимают лишь незначительный объем по отношению к общему объему всех горных пород. Никаких подземных рек, озер, а тем более морей и океанов в коре нет — подземные воды содержатся только в различных пустотах и распространены локально.

Классификации подземных вод. Все подземные воды, содержащиеся в горных породах, могут быть систематизированы в зависимости от условий залегания, характера водовмещающих пород, гидравлических и гидродинамических особенностей, химического состава, происхождения.

По происхождению воды подразделяются на инфильтрационные — древние и современные, древние морские — погребенные и седиментационные; конденсационные, магматические (эндогенные) и смешанные.

Инфильтрационные — воды, образовавшиеся от проникновения атмосферных вод и осадков в местах выхода горных пород на дневную поверхность; различают древние воды, проникшие в землю в прошлые геологические эпохи, и современные воды.

Древние воды морского происхождения — это иловые воды и воды древних морей, лагун и других водоемов, сохранившиеся в породах после их окаменения.

Седиментационные воды — воды, сингенетичные возрасту вмещающих пород; *погребенные воды* моложе возраста вмещающих пород, они проникли в более молодые по возрасту породы из древних морей в более поздние эпохи.

К *конденсационным* водам относятся подземные воды, образовавшиеся в результате конденсации водяных паров. Воды магматического (эндогенного) происхождения образовались из паров воды, содержащихся в магме (так называемые *ювенильные воды*). К подземным водам *смешанного* происхождения относят воды, имеющие несколько источников питания, например инфильтрацию и конденсацию.

Для сельского хозяйства наибольшее значение имеют воды инфильтрационные.

По условиям залегания подземные воды делят на *почвенные, верховодку, грунтовые и артезианские*; по характеру водовмещающих пород — на *поровые, трещинные, жилые, карстовые, пластовые, трещинно-пластовые, порово-пластовые*; по гидравлическим и гидродинамическим признакам — воды *ненапорные* со свободной водной поверхностью — *грунтовые и напорные — артезианские*. Выделяют также бассейны со стоячей, неподвижной водой и подземные потоки с быстро передвигающимися трещинными и поровыми водами.

По составу — количеству растворенных солей — воды подразделяют 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.

Для сельского хозяйства наиболее важны воды с минерализацией до 10 г/л.

Минеральными водами называют природные воды, содержащие какие-либо активные химические элементы — серу, железо, мышьяк, бром, иод, а также газы — сероводород, углекислоту и др., оказывающие бальнеологическое воздействие на организм человека. Минеральная вода по концентрации может быть и пресной и соленой.

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 воды *карбонатные*, содержащие соли угольной кислоты, *сульфатные* — соли серной кислоты и *хлоридные* — соли соляной кислоты.

Первые относятся к пресным водам, в них входят воды большинства рек, озер, подземные воды верхней части пояса насыщения. Сульфатные воды — солоноватые, горькие и соленые; к ним относятся некоторые соленые озера, грунтовые воды засушливых районов. Хлоридные воды — воды Мирового океана. К ним 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. Большинство пресных и солоноватых вод *холодные*, соленые и рассольные воды часто бывают *теплыми* (с температурой 20—50° С) и *горячими* (выше 50° С). *Термальным* родником и *термальными* водами считаются ключи с постоянной температурой выше среднегодовой окружающей местности, а холодные — ниже среднегодовой. Например, в области с многолетнемерзлыми породами термальными родниками будут ключи с температурой выше + 1° С.

Режим подземных вод. Под режимом понимают изменение во времени главных характеристик подземных вод: глубины залегания уровня водной поверхности, изменение их дебита, скорости движения, химического состава, температуры, физических свойств. Изменения происходят под влиянием климата, почвенных, геологических факторов и деятельности человека (искусственный режим — эксплуатация, загрязнение вод и т. д.).

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 СССР и других ведомств.

Классификация подземных вод по условиям залегания. Самая верхняя часть коры (преимущественно осадочные породы), залегающая выше постоянного уровня подземных вод, называется *зоной* (поясом) *аэрации*. В порах пород содержится воздух. *Пояс* (зона) *насыщения* характеризуется тем, что все поры, пустоты пород заняты гравитационной водой. Мощность зоны аэрации изменяется от 0 (болотные массивы) до 50—100 м (пустыни, горные районы).

В поясе аэрации выделяются почвенные воды и верховодка, в поясе насыщения — грунтовые и артезианские воды. На рис. 55 показаны различные условия залегания неглубоких подземных вод.

Почвенные воды содержатся целиком в почвенной толще и очень тесно связаны с атмосферой, поверхностными водами, растительными и животными организмами. Формы нахождения этих времен-

ных вод в порах почвы многообразны: гигроскопическая влага, пленочная (рыхлосвязанная) и капиллярная вода и др.

Геологическая деятельность почвенных вод незначительна, однако агрономическая роль этих вод огромна, так как почвенная

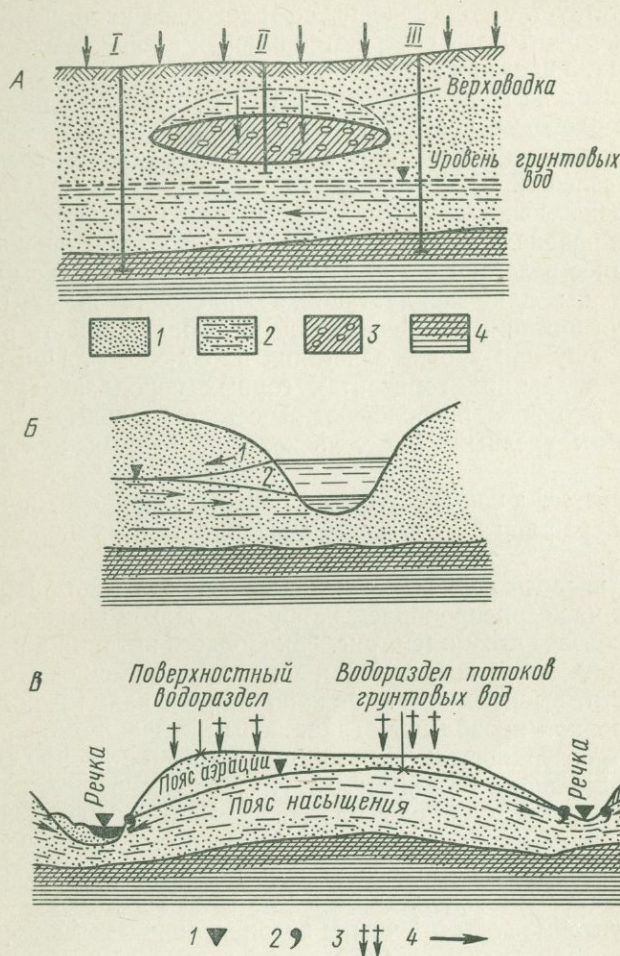


Рис. 55. Особенности залегания неглубокозалегающих подземных вод.

А — линза морены с верховодкой: 1 — песок, 2 — песок водоносный, 3 — моренный суглинок с валунами, 4 — глина (I, II, III — скважины); Б — взаимодействие поверхностных и грунтовых вод: 1 — поверхностные воды питают грунтовые, 2 — грунтовые воды питают поверхностные; В — разрез междуречного пространства: 1 — уровень грунтовых вод, 2 — источники, 3 — инфильтрация атмосферных осадков, 4 — направление потока грунтовых вод

влага — один из элементов плодородия почв. Этот вид вод специально изучает почвоведение.

Под *верховодкой* понимают небольшие скопления вод временного, сезонного характера, залегающие на невыдержанных слабопрони-

цаемых и водонепроницаемых слоях вблизи самой поверхности земли (см. рис. 55) и находящиеся в гидравлической связи с почвенными водами. В почвоведении эти воды называют *почвенно-грунтовыми*. Области питания и распространения этих вод совпадают, напор отсутствует. Летом колодцы с верховодкой часто пересыхают, зимой промерзают. Воды содержатся в порах песчаных слоев в виде прерывистых, а иногда и более мощных линз. Эта группа вод широко распространена на водораздельных пространствах в степях; в этих областях верховодка часто является единственной подземной водой, пригодной для питья, так как нижележащие водоносные горизонты соленые.

Верховодка может служить источником колодезного водоснабжения в тех районах СССР, где грунтовые и артезианские воды либо засолены, либо залегают очень глубоко и в экономическом отношении невыгодны для эксплуатации. Верховодка имеет большое значение для питания древесных культур. Большая часть растений использует воду при уровне залегания не более 4 м. При избытке верховодки в верхних горизонтах горных пород заболачивается местность, в почве преобладают восстановительные процессы, приводящие к вредным для сельскохозяйственных культур явлениям.

Грунтовые воды широко распространены в природе, и их роль как агентов растворения и выщелачивания горных пород весьма значительна.

Грунтовые воды — обычно ненапорные, залегают в рыхлых отложениях на водонепроницаемых породах вблизи дневной поверхности выше базиса эрозии (см. рис. 55). Области питания и распространения у них могут совпадать, и тогда грунтовые воды открыты с поверхности, выше их залегают капиллярная кайма и пояс аэрации, водоупорной кровли нет. Такие воды называются открытыми, со свободной поверхностью. Их режим подвержен особенно сильным сезонным колебаниям. Воды не имеют гидравлической связи с влагой почвенной толщи. Существует прямая связь между выпадающими атмосферными осадками и уровнем грунтовых вод, дебитом, их химическими и физическими свойствами. Пласт не полностью насыщен гравитационной водой.

Если грунтовые воды прикрыты водонепроницаемыми породами, то область питания находится уже за пределами области распространения. Это закрытые грунтовые воды. Если пласт горной породы полностью заполнен водой, воды характеризуются небольшим, часто местным напором. Области питания и распространения не совпадают. Эти воды особенно широко распространены среди ледниковых отложений, где в межморенных флювиогляциальных образованиях устанавливается несколько горизонтов, располагающихся по отношению друг к другу этажно. Режим этих вод менее подвержен сезонным колебаниям.

Грунтовые воды могут содержаться в порах песка, могут быть слоевыми, линзовыми, пластовыми, трещинными, трещинно-пластовыми, карстовыми, жильными.

Грунтовые воды аллювиальных отложений, залегающие вблизи рек, взаимодействуют с реками: в паводок движение вод происходит от реки — река питает грунтовые воды (см. рис. 55, Б, 1); летом (межень) вода движется к реке — грунтовые воды питают реку (см. рис. 55, Б, 2).

Водная поверхность грунтовых вод обычно согласуется с рельефом (см. рис. 55, В). При пересечении водной поверхности с поверхностью земли образуются родники. Сток вод направлен от водоразделов к долинам рек.

Грунтовые воды могут быть вскрыты неглубокими колодцами. Это позволяет быстро и без больших затрат получить питьевую воду.

Артезианские воды получили название от провинции Артуа под Парижем, где еще в 1126 г. были пробурены первые фонтанирующие скважины. 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 сообщающихся сосудов, 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 (рис. 56).

Артезианские воды залегают обычно в крупных впадинах, называемых *артезианскими бассейнами*, между водоупорными и слабопроницаемыми породами, часто на большой глубине; для них характерна постоянная температура, возрастающая с глубиной; режим вод мало подвержен колебаниям и обусловлен давлением воды, находящейся в пластах; области питания вод не совпадают с областью циркуляции и областью разгрузки (стока). Напорные воды могут возникать и при асимметричном залегании водоносных пластов, образующих артезианский склон, а также 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.

В СССР известен ряд артезианских бассейнов. Среди них Московский, Западно-Сибирский, Иркутский и многие другие.

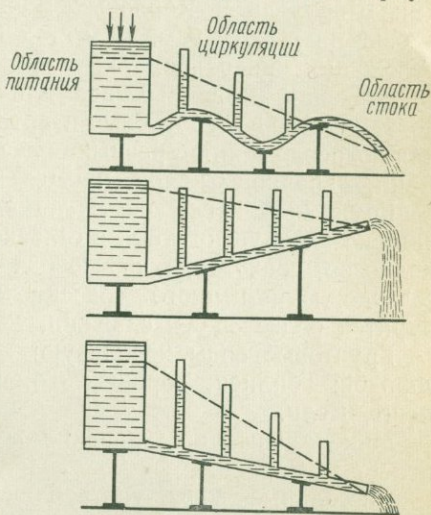


Рис. 56. Модель типов артезианских бассейнов (закон сообщающихся сосудов)

Родники. Родниками называют естественные выходы подземных вод на дневную поверхность, они обычно приурочены к пониженным участкам рельефа — склонам речных долин, оврагам.

Родники по дебиту могут быть *постоянно действующими*, слабоизменчивыми, *периодическими* и *сезонными* (временными). По гидродинамическим особенностям родники делят 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 бывают *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. В местах некоторых родников образуются отложения минералов.

Значение подземных вод для народного хозяйства. Пресные подземные воды (грунтовые и артезианские) широко используются для водоснабжения в разных областях СССР, в том числе в Средней Азии, Западной Сибири, на Дальнем Востоке.

Грунтовые неглубоко залегающие подземные воды особенно широко эксплуатируются в сельском хозяйстве для водоснабжения колхозов, совхозов, животноводческих ферм. Ежегодно для нужд сельскохозяйственного водоснабжения различными ведомствами бурится более 35 000 скважин.

Грунтовые воды используют водопроводы некоторых крупных городов: Тбилиси, Воронеж, Томск, за границей — Мехико, Будапешт, Дели.

Минеральные артезианские воды применяются для лечебных целей.

Рассольные воды употребляются в химической промышленности для извлечения различных элементов — брома, иода, получения солей и т. д.

Геологическая деятельность подземных вод. В земной коре подземные воды, особенно артезианские, совершают очень большую работу. В противоположность водам поверхностным подземные воды сильно проявляют себя в гидрохимическом отношении как растворители различных горных пород. Одновременно с процессами разрушения огромных толщ пород, образованием пустот, пещер имеет место и формирование новых минеральных агрегатов, в результате испарения подземных растворов происходит засоление почв. В областях с избыточным увлажнением и слабым оттоком грунтовых вод наблюдаются процессы заболачивания, образуются торфяники (см. стр. 146). В одном месте в один геологический период преобладают процессы растворения, в другом — минеральные новообразования.

Разрушительная деятельность подземных вод. Выщелачивание подземными и поверхностными водами легкорастворимых пород (карбонаты, гипс, соли) на глубине с образованием пустот, пещер, а на поверхности — углублений, воронок

и обширных замкнутых котловин называют *карстом* (от названия известнякового плато в Югославии — Карст).

Для развития карста необходимы следующие условия: а) значительная мощность карстующихся легкорастворимых известняков, доломитов, без прослоев глин, б) колебательные движения, вызывающие изменение базиса эрозии и перераспределение подземного и поверхностного стока; в) низкий уровень подземных вод, чтобы подземные воды с высокой растворяющей способностью имели достаточно пространства для вертикального движения.

По глубине уровня подземных вод различают карст глубокий и мелкий. Подземные воды, расположенные в карстовых пустотах,

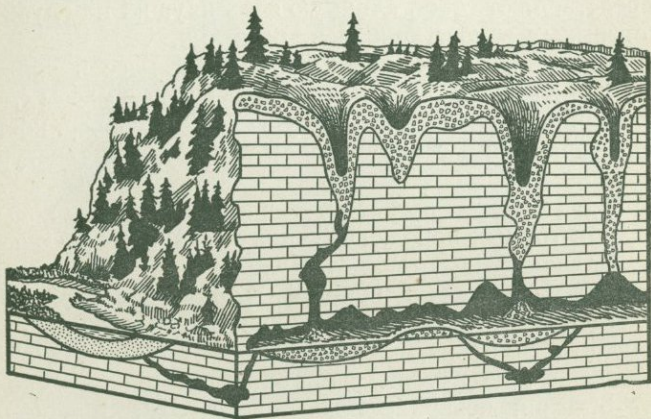


Рис. 57. Схема Кунгурской пещеры. На поверхности — глубокие карстовые воронки — колодцы

полостях и каналах, называются *карстовыми*, а выходы карстовых вод на земную поверхность — *карстовыми источниками*, мощные выходы — *воклюзами*.

Карст образует своеобразные формы рельефа: карстовые воронки, колодцы, пещеры, карры, долины, поля, подземные карстовые реки (рис. 57).

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 обрушиваются, и на поверхности Земли образуется воронка. Реки уходят в трещины и воронки, появляясь на поверхность на некотором расстоянии.

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, где они причиняют большой вред сельскому хозяйству.

Пещерами называют подземные полости, иногда значительных размеров, образующиеся в легкорастворимых породах. Самые большие и долговечные пещеры — в доломитах и известняках, например Мамонтова пещера в США в штате Кентукки; в каменной соли и гипсе вследствие неустойчивой кровли они часто обваливаются. В СССР много пещер в Крыму, на Кавказе и в Приуралье. Широко известна ледяная пещера в г. Кунгуре Пермской области (см. рис. 57). На дне ее протекает река, имеется 36 озер. Даже вблизи от входа температура в пещере отрицательная и со стен свисают огромные ледяные сосульки.

Во Франции, в Веркоре, в известняковом плато Сорнэн пещеры Берже представляют собой длинную цепь идущих на глубину более 1000 м огромных залов, колодцев, расселин.

Оползнями называют смещения земляных масс и движение 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*.

Деятельность подземных вод, выражающаяся в подмывании, подкапывании горных пород, получила название *суффозии* (от лат. *suffosio* — подкапывание). Под этим сложным процессом понимают механический вынос частиц пород фильтрующейся водой.

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 выделяют оползни поверхностные — не глубже 1 м (оплывины, сплывы), мелкие — до 5 м, глубокие — до 20 м и очень глубокие — глубже 20 м.

Оползни и так называемый оползневый рельеф в европейской части СССР широко распространены на морских побережьях (Крым, Кавказ — окрестности Сочи), по берегам рек Волги, Днепра, Москвы (рис. 58). Главные причины, обуславливающие неустойчивость пород на склонах, — это сила тяжести, чередование глин, песков, песчаников; залегание пластов, падение слоев в сторону берега; деятельность подземных вод, выходящих в виде родников; деятельность атмосферных осадков, выпадающих на самом склоне (образование селей); землетрясения, тектоническая трещиноватость пород, тектонические движения, опускание суши в береговой зоне; хозяйственная деятельность человека.

В сельском хозяйстве наибольший вред наносят поверхностные и мелкие оползни (до 5 м), вызывающие нарушения и смещения на поверхности Земли. Оползающими массами могут быть почвы по делювию, почвы по элювию, делювий по элювию, элювий по коренным породам, делювий по коренным, т. е. суглинки и супеси по глинам и тяжелым суглинкам, пески по глинам, пески по глинам и супесям. В результате подобных смещений гибнут культурные насаждения (виноградники), рвутся корни деревьев, кустарников, образуется «пьяный» лес, смещаются дороги, канавы и т. д.

Воды, поступающие в породы, слагающие склоны и вызывающие оползни, могут быть естественными (родники) и хозяйственно-техническими (промышленные стоки), связанными с деятельностью человека.

Разнообразие природных условий исключает возможность стандартизации схем противооползневых мероприятий; в каждом конкретном случае следует учитывать своеобразие оползневого участка.

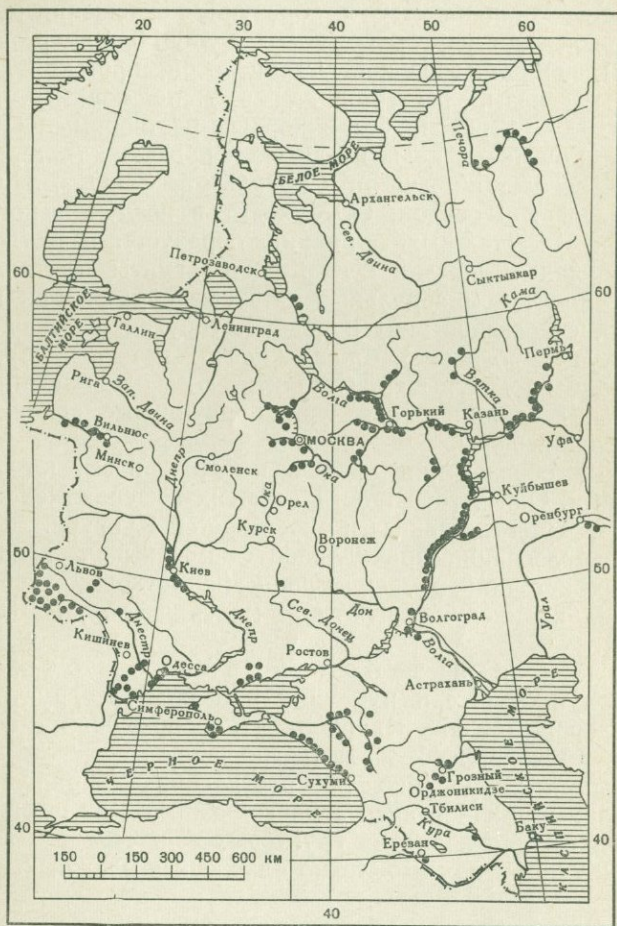


Рис. 58. Карта распространения оползней

Если сползает почвенный и элювиальный слой небольшой мощности (оплывины), часто применяют подземный или поверхностный дренаж: поверхностные воды, стекающие в оползневой части склона, сверху перехватываются и отводятся нагорными канавами. Положительные результаты дает также посадка деревьев, кустарников. На оползневых склонах запрещается рытье выемок, излишние нагрузки на рыхлые породы.

Оползни специально изучают соответствующие станции Министерства геологии СССР, расположенные в районах, наиболее подверженных оползням (Сочи, Горький, Одесса, Киев, Южный берег Крыма).

Созидательная деятельность подземных вод. Подземные воды, передвигаясь в толщах пород, при выходе на поверхность выносят частицы мелкозема и растворенные вещества. В этом месте возникают уступы, 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 хорошо растворимый бикарбонат $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Грунтовые воды на дневной поверхности теряют 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 уходит в воздух и поглощается растениями. В местах выхода родника образуется известковый туф, а на потолках и на дне пещер — сталагмиты и сталактиты.

Сталактиты — минеральные натечные образования на потолках пещер, свисающие вниз наподобие сосулек (от греч. «сталактос» — текущий по капле). *Сталагмиты* — натечные образования, возникающие на дне пещер. Сталактиты и поднимающиеся снизу сталагмиты, соединяясь, образуют 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.

Много образований причудливой формы выпадает из горячих углекислых источников — *травертин* (известковый туф), из вод, содержащих кремневую кислоту, — минерал *гейзерит* (Камчатка, Исландия).

Засоление и заболачивание почв. В сухих степях, полупустынях и пустынях при подъеме грунтовых вод, вследствие орошения и их испарения, часто образуются гипс и другие минералы, приводящие к *засолению* почв.

Заболачивание — широко распространенный природный процесс, связанный с изменением водного режима почв из-за застоя почвенных или поднятия грунтовых вод.

Происходит в зонах избыточно влажных и влажных.

Глава четырнадцатая

ОЗЕРА И БОЛОТА

И ИХ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Типы озер. Озерами называют углубления суши, заполненные водой, обычно нетекучей и не являющейся частью Мирового океана. Глубины озер колеблются в широких пределах: Байкал — 1620 м, Каспийское море — 945 м, Иссык-Куль — 702 м, Ильмень — 10 м и т. д.

Озерные впадины могут быть различного (эндогенного и экзогенного) происхождения и делятся на котловинные и запрудные (плотинные). Котловины могут образовываться вследствие сбросов, провалов коры, а также в результате ледниковой и речной эрозии, растворения горных пород. Озера Байкал, Иссык-Куль, Мертвое море приурочены к впадинам, образовавшимся вследствие разломов в коре.

К запрудным озерам относятся обвальные (оз. Рица на Кавказе, Сарезское на Памире), вулканического происхождения (озера Камчатки, Армении). Много озер образовалось вследствие деятельности ледника (озера Северо-Запада СССР), в результате растворения пород — озера карстовые, провальные и т. д.

Распределение озер на поверхности — результат многих природных причин, среди которых важную роль играют климат, рельеф местности и геологическое строение. Образованию озер способствуют влажный климат, малое испарение, пересеченный рельеф, обилие впадин, высокий уровень грунтовых вод. По характеру стока озера могут быть: 1) *бессточными* — замкнутые водоемы на суше; 2) с *переменным режимом* — озера то имеющие сток, то на время лишаящиеся его в зависимости от количества выпадающих атмосферных осадков, 3) *проточными* (речные), находящимися на пути течения рек и имеющими постоянный сток, 4) *слепыми*, имеющими подземный сток (карстовые озера).

По условиям питания различают озера *атмосферного* и *подземного питания*, а по химическому составу — *пресные*, *солончатые* и *соленые*. Пресные характеризуются минерализацией менее 0,1%, солончатые — от 0,1 до 3,5% (распространены в Казахстане, Западной Сибири), соленые — более 3,5%.

В режиме некоторых озер наблюдается изменение химического состава воды в зависимости от количества осадков: при уменьшении их пресные озера начинают осолоняться и переходить в содовые, далее — в сернокислые и, наконец, — в соленые (хлоридные). При увлажнении наблюдается обратный процесс.

Соленые озера расположены на земном шаре зонально. В СССР они распространены в степях, полупустынях и пустынях от нижнего Дуная на западе до Тихого океана на Дальнем Востоке. Эти озера дают ценное сырье для химической промышленности. Вода их используется и для лечебных целей.

Соленые озера по химическому составу воды могут быть карбонатными, углекислыми (садка соды, троны¹); сульфатными, сернокислыми (садка мирабилита); солеными, хлоридными (садка галита, карналлит). Выпавшие из рапы минералы по генезису разделяются на новосадку, старосадку и корневую соль.

Деятельность озер и озерные отложения. Из-за небольших объемов воды в озерах волнения и бури здесь сравнительно редкие явления, поэтому и разрушающая деятельность озер по сравнению с морем менее значительна.

¹ Трона — минерал. состава $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{HNaNO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; образуется при испарении в содовых озерах.

Осадки в озерах накапливаются весьма интенсивно. Это особый тип континентальных образований — *озерный*. Для них характерны пресноводная фауна, ограниченное распространение, ясная, нередко тонкая слоистость, небольшая мощность — обычно десятки метров, преобладание среди пород глин.

Осадки пресных озер преимущественно механического и органического происхождения, соленых — химического.

Для ледниковых озер характерно чередование песчаных и глинистых прослоев. Это так называемые *ленточные глины* (стр. 156).

Болота и их характеристика. Болота — зональное явление, они приурочены к областям с избыточным увлажнением, малым испарением и незначительным стоком. Болотами называют избыточно увлажненные участки суши часто со слоем торфа.

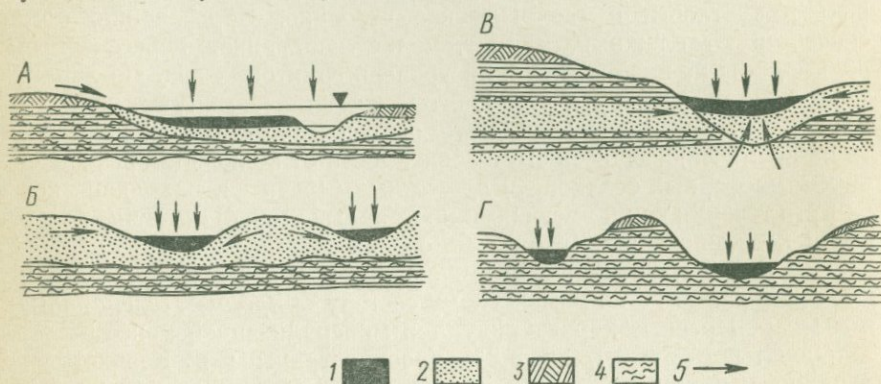


Рис. 59. Схема питания болот (по А. А. Макковееву). А — намывное; Б — грунтово-смешанное; В — смешанное; Г — атмосферное:

1 — торф, 2 — песок, 3 — супесь, 4 — валунные суглинки, 5 — источник питания болот

В СССР болота занимают около 9,5% территории, или 210 млн. га; в европейской части СССР — 12%, в азиатской — 9%. Особенно много болот в зоне тайги (торфяные болота) и в зоне смешанных лесов. В зоне степей болота редки (Барабинская низменность).

По условиям залегания болотных массивов и по рельефу выделяют болота водораздельных междуречных пространств (верховые) и речных долин (низинные).

Среди первых различают болота водораздельного залегания, водораздельно-склонового и котловинного. Ко вторым относят пойменные, притеррасные болота и болота староречий. Низинные болота особенно широко распространены в нечерноземной зоне РСФСР. Поймы многих рек характеризуются высоким уровнем грунтовых вод и обилием болот (Мещерская, Припятская и Ветлужская низменности).

По условиям питания выделяют четыре типа болот (рис. 59): а) *намывного*, паводкового питания — на пойменных террасах, б) *глубинного* питания — расположены в ложбинах в местах выклинивания напорных вод; в) *грунтового* — находятся в понижениях

песчаных водораздельных пространств; г) *атмосферного* — лежат в замкнутых понижениях, сложенных водоупорными породами.

На многих болотах разрабатывают торфяники.

Осушенные торфяники — ценные сельскохозяйственные угодья. Они богаты азотом и фосфором и служат хорошим органическим удобрением.

Отложения болот. В прибрежных частях пресноводных озер накапливаются галечник, песок, дальше от берега — глина, озерный мергель. По мере зарастания озера на его дне образуется слой органических осадков — *сапропель*, а у берегов — *торфяники*, которые в последнюю стадию зарастания озера распространяются и на середину. Озеро превращается в болото. Сапропель уплотняется, переходит в ископаемое состояние, образуя *сапропелит*.

Совокупность вторичных процессов, происходящих с растительным веществом в торфяном болоте, называется *углефикацией*. Она начинается вслед за торфообразованием после покрытия торфяника толщей осадков под влиянием физико-химических превращений, приводящих к постепенному обогащению материнского вещества угля углеродом. Из остатков тканей высших растений образовались *гумусовые угли*, а из остатков животных и растительных организмов, отложившихся на дне застойных водоемов, — *сапропелевые угли*.

Среди залежей ископаемого угля в зависимости от их образования различают несколько категорий. *Лимническими*, или *озерными*, называют залежи угля, сформировавшиеся в озерах и болотах среди континентальных пространств. *Паралическими* называют залежи угля, накопившиеся в болотных участках, вытянутых вдоль морского берега.

По другим классификациям выделяют *автохтонные* — *первичные месторождения угля* (от лат. «аутос» — сам, «хтон» — земля), образовавшиеся на месте произрастания растительности, послужившей материалом для углеобразования, и *аллохтонные* — *вторичные месторождения* (лат. «аллос» — другой), образовавшиеся из растительного материала, принесенного и отложенного текучими водами.

В зависимости от процентного содержания углерода ископаемые угли классифицируются в следующем порядке: лигнин, бурый уголь, каменные угли, сапропелевые (кеннель, богхед), гумусовые, антрацит.

Глава пятнадцатая

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МОРЯ

Роль моря в жизни Земли исключительно велика. Море выполняет большую работу, которая подразделяется на следующие виды: 1) разрушительная деятельность, или морская *абразия* (от лат. *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.

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 местобитания и образа жизни подразделяются на: 1) бентогенные — *бентос* — донные животные, живущие на дне; среди них различают прикрепленные, неподвижные (кораллы) и подвижные, передвигающиеся по дну (мшанки); 2) блуждающие — *планктон* — переносимые волнами и течениями и не способные к активному передвижению; в эту группу входят водоросли, радиолярии, корненожки, мелкие ракообразные, простейшие одноклеточные и колониальные водоросли; среди них выделяют *зоопланктон* и *фитопланктон*; 3) плавающие — *нектон* — водные животные, способные к активному передвижению в водной среде (рыбы, киты, медузы).

Многие живые организмы моря являются пороодообразующими: плеченогие, моллюски (пелециподы, брюхоногие, головоногие), кораллы, фораминиферы.

Разрушительная работа моря. Море редко находится в спокойном состоянии. Движения морской воды, вызываемые ветром, разрушают морские берега.

Скорость разрушения пород берегов зависит от состава пород, минерализации морской воды (содержащиеся в воде соли ускоряют растворение горных пород) и силы морского прилива. Животные и растительные организмы, обитающие в зоне прилива, разрыхляя, раздробляя породы, облегчают абразию берегов.

Скорость размыва берегов зависит также от наклона пластов (рис. 60), конфигурации берега, направления ветров и т. д. Магматические горные породы оказывают большее противодействие прибою, чем осадочные, и разрушаются медленнее — до нескольких миллиметров в год. Берега, сложенные осадочными породами, обладают средней устойчивостью. Под влиянием абразии они отступают со скоростью нескольких сантиметров в год. Рыхлые породы — до 15—20 м в год.

Большое значение имеют условия залегания пород, их наклон. При прочих равных условиях берега разрушаются быстрее, если осадочные горные породы наклонены в сторону материка, медленнее — при падении в сторону моря (рис. 60). При горизонтальном залегании слоев скорость разрушения средняя.

Разрушению берегов способствуют приливы и отливы. Отливная и приливная волны в зоне берегового склона разрушают и размывают скалы, придавая им своеобразную форму, а также перекачивают с места на место обломки горных пород. В результате обломки пород измельчаются, приобретают округлые формы.

При чередовании в геологическом разрезе берега твердых и мягких пород образуются выступы, ниши, глубокие бухты. Выступы сложены более твердыми породами, бухты — мягкими, менее стойкими. При залегании в зоне прилива мягких пород они постепенно

разрушаются — образуется прибойное горло, по которому обрушиваются вышележащие горные породы. Таким образом море наступает на сушу.

Трансгрессии и регрессии. Деятельность моря тесно связана с тектоническим режимом земной коры. При опусканиях суши море трансгрессирует, т. е. наступает на сушу и более интенсивно

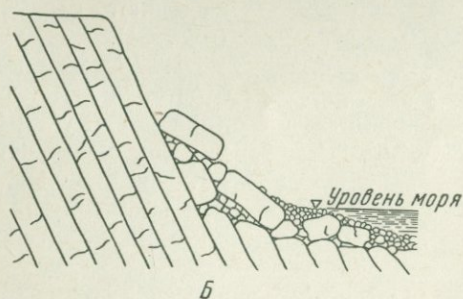
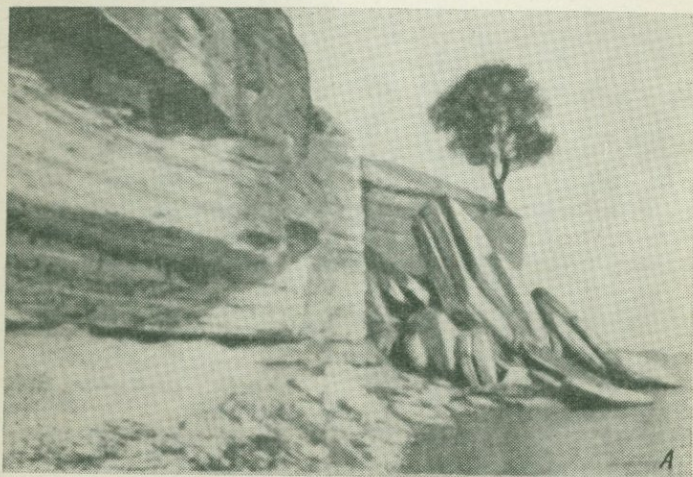


Рис. 60. Разрушение берега морем — абразия. А — пласты пород залегают горизонтально; Б — пласты падают в сторону моря — прибой как бы «спиливает» напластования

разрушает берега; при подъеме континента море регрессирует (отступает), размыв замедляется. Трансгрессии и регрессии сильно видоизменяют лик Земли.

Обширная выровненная работой морского прибоя поверхность, образующаяся при длительном опускании суши, сопровождающемся наступлением моря на материк, называется *абразионной платформой*. При поднятии берегов платформа превращается в *морскую террасу*, отделенную от уровня моря уступом.

Особенно интенсивно разрушаются берега при медленном опускании суши, когда море спиливает берега наподобие пилы. Так, в Шотландии за 5 лет море размыло берег на 16 м в ширину. Ширина пролива Ламанш вследствие размывания берегов расширяется в год на 2 м. Сильно разрушается о. Гельголанд: в 1072 г. его площадь составляла 900 км², на острове имелись плодородные почвы, ныне его площадь всего около 1,5 км². За 1000 лет остров умень-

шился в сотни раз, скорость наступления моря в этом районе равна 3 м в год.

В Египте, на побережье Средиземного моря, сложенном рыхлыми породами, море также наступает: ежегодно исчезает полоса суши до 20 м шириной.

Созидательная роль моря.

Процессы диагенеза, образование осадочных толщ пород, различных полезных ископаемых имеют исключительно большое значение. Эти процессы описаны в главе 4.

Строение морского дна и формирование отложений Мирового океана. На дне Мирового океана выделяют следующие области: (рис. 61).

1. *Шельф* (мель, уступ) — береговой склон от границы отлива до глубины 200 м. Этот участок называют также материковой отмелью, континентальной платформой.

Рис. 61. Морфологические элементы дна океана. *AB* — материковая отмель или шельф; *BC* — континентальный склон; *CD* — океаническое ложе; *DE* — глубоководные впадины

2. *Батимальная область* — материковый склон от 200 м до глубины 2500 м.

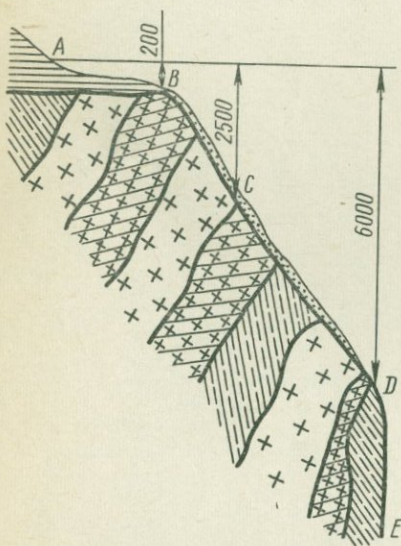
3. *Абиссальная область* — океаническое ложе от 2500 до 6000 м.

4. *Глубоководные впадины* — свыше 6000 м.

Для выделенных областей моря характерны особые *фации*. Под *фацией* понимают обстановку осадконакопления — серию пластов осадочных пород однотипного литологического состава, содержащих одинаковую фауну и флору и образовавшихся в сходных физико-географических условиях.

Основной признак фации — однородность отложений. 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 все моря и континенты делятся на фации.

Формация — крупнейшая составная часть земной поверхности. Учение о формациях создано трудами Д. В. Наливкина, Н. С. Шат-



ского и других ученых. Однако само понятие формации трактуется различно. Выделяют формации морские, континентальные, лагунные, ледниковые и т. д. Формации состоят из множества фаций.

Морские осадки подразделяются на три группы: береговые, мелководные и глубоководные. К первым относятся осадки, откладывающиеся в зоне прилива и отлива. В зоне мелководья образуются многочисленные химические осадки — карбонатные, железистые и марганцевые оолиты. Глубоководные отложения представлены различными илами; отложения этого типа на современных материках встречаются сравнительно редко.

Таблица 8

Площади и средние глубины морфологических элементов
дна океана

Морфологические элементы	Глубина, м	Площадь, млн. км ²	Процентное отношение к общей поверхности
Материковая отмель — шельф	0—200	27,08	7,5
Материковый склон . .	200—2500	52,35	14,5
Ложе океана	2500—6000	278,04	77,0
Глубоководные впадины	> 6000	3,63	1,0
Общая площадь океана		361,1	

Значение океана для человека. В последние годы достигнуты большие успехи в изучении тайн океанов. Благодаря работам советских и иностранных ученых составлены новые карты рельефа дна океанов Тихого, Атлантического, Индийского. Выяснено, что на дне океанов существуют высокие подводные хребты, глубокие впадины — желоба, гигантские глобальные разломы (рифты), опоясывающие материки. Получены новые материалы о животном и растительном мире, населяющем глубокие области океана. Уточнен состав глубоководных отложений, обнаружены ценные марганцевые и железистые руды.

В шельфах разрабатываются месторождения нефти и газа (Северное море), в районе Аляски найдены большие залежи золотосодержащих песков. Энергия океана (приливы) используется для работы электростанций. Соленая вода — богатство океана.

Многие районы земного шара испытывают острый недостаток в пресной воде — этот недостаток может быть восполнен за счет морской воды. Уже сейчас ежесуточно из соленой морской воды получают более 100 тыс. м³ пресной воды. Очень велики ресурсы океана для питания человека.

Глава шестнадцатая

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЛЕДНИКОВ

Ледниковые явления изучает раздел геологии — *гляциология* (glaciers по-латыни — лед). Лед и ледники влияют на формирование рельефа и на климат. В ледниках сосредоточены огромные запасы воды. Подсчитано, что если растопить льды Гренландии, уровень Мирового океана поднимется на 2 м, а льды Антарктиды — на 56 м.

Виды льда. Различают следующие виды льда: подземный — многолетняя мерзлота (см. гл. 17), речной, озерный, морской 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 и часто слоистостью.

Подземный, речной, озерный и морской лед имеет столбчатую структуру, образуется в результате замерзания воды и обладает слоистостью.

Ледником называют естественное скопление кристаллического льда, имеющего значительные размеры. Обладая пластическими свойствами, ледник наподобие реки движется под действием силы тяжести.

Образование ледников можно представить примерно так: когда в горах выше снеговой линии выпадает много осадков в виде снега, он не успевает таять и накапливается. Под влиянием давления вышележащих слоев, поверхностного таяния и вторичного замерзания воды, просочившейся в глубину, снег преобразуется в *фирн*. Фирн, постепенно уплотняясь, переходит в кристаллический лед — *глетчерный*.

Ледники образуются в горах в тех местах материков, где выпадает много атмосферных осадков в виде снега. Температура внутри ледника около 0° С. Если ледник, постепенно удлиняясь, сползает вниз ниже снеговой линии, говорят о наступлении ледника. Отступление ледника наблюдается при потеплении, когда в горах интенсивно тает снег и лед.

Продвижение ледников зависит от количества осадков в области питания, мощности льда, сечения ледника, топографических условий ледниковой области — уклона ложа. Движение возможно при мощности более 15—20 м, когда вес превышает силу трения. Скорость движения ледников колеблется от 0,1 до 7 м/сут для горных ледников и от 15 до 22 м/сут — для материковых. 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. Продвижение ледяного потока можно сравнить с течением реки, только скорость его течения во много раз меньше. Движение ледника больше в центральной части, меньше у дна и боков, где оно замедляется вследствие трения.

Растекание льда объясняется пластическими свойствами. Под влиянием нагрузки и уклона ложа структура льда изменяется:

сначала кристаллические решетки вещества разрушаются, а в последующем сближаются и сцепляются. Образующаяся при таянии льда вода действует как отличная смазка, вследствие чего лед перемещается. Пластичность льда иногда сравнивают с воском, варом, а его растекание сопоставляют с дислокациями горных пород, которые сминаются в складки без разрыва сплошности слоев.

Типы ледников. Различают ледники: горные, горно-покровные, или промежуточные, и покровные ледники.

В основу классификации ледников положены следующие признаки: морфология, высотное положение, генезис, стадия развития.



Рис. 62. Ледник Федченко на Памире

1. *Горные ледники.* К ним относятся ледники альпийского и туркестанского типа. Среди альпийских наиболее характерны долинные, с хорошо выраженной областью питания и областью стока; в СССР они распространены в основном на Кавказе.

Знаменитый ледник Федченко (рис. 62) относится к древовидному подтипу.

2. *Горнопокровные ледники* — формируются в условиях избыточного питания и слабо расчлененного рельефа. Сюда включают подтипы скандинавский, шпигбергский, плоских вершин.

3. *Покровные ледники* — характерны для стадии максимального развития ледников в горах и на равнинах.

Тип оледенения какой-либо страны определяется стадией развития ледников в данной области и рельефом подстилающего ложа — наличием площадок, на которых мог бы накапливаться снег. При

развивающемся оледенении возникают горные ледники, которые, разрастаясь, переходят в промежуточные и далее — в покровные.

В значительной степени формы ледника зависят от рельефа; так, в сходных климатических условиях при сильно расчлененном рельефе, обилии ущелий в горах возникают долинные ледники, которые образуют корытообразные долины, так называемые *троги* (рис. 63). Это альпийский подтип ледников, распространенный в Альпах и на Кавказе. На слаборасчлененных возвышенностях, где развиты широкие плоскогорья с незначительными уклонами, возникают фирновые поля и образуются висячие ледники¹.

Покровный (материковый) тип, при котором страна скована ледяным панцирем, возможен и в областях сильно расчлененного высокогорного рельефа при обилии осадков в твердом виде и очень низких среднегодовых температурах. Примером могут служить ледники Гренландии и Антарктиды. Эти ледники в настоящее время медленно продвигаются к морю и образуют там плавающие ледяные горы — айсберги.

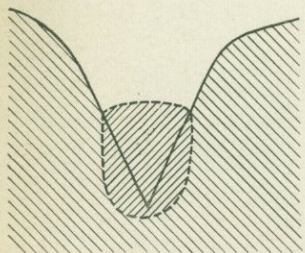


Рис. 63. Схема преобразования эрозионной долины в трог

Современные горные ледники хорошо изучены в Альпах, на Кавказе. На Кавказе вследствие неодинаковых климатических условий высота снеговой линии колеблется в широких пределах: в центральной части — 3500 м, на северо-западе — 2700 м и юго-востоке — 3800—3900 м. Установлено около 1400 ледников.

Наблюдения за режимом современных ледников позволяют установить связь между климатом и таянием льдов, дают материал для понимания некоторых процессов прошлого Земли (материковое оледенение и условия его возникновения).

Ледниковые (гляциальные) отложения. Среди этих отложений различают две группы пород: геологические образования, относящиеся по времени к ледниковому периоду, среди которых выделяются морены, озы, друмлины, камы, зандры и т. д., и отложения, связанные с деятельностью современных ледников.

Моренные отложения. Несортированные грубообломочные материалы, переносимые ледником и состоящие из глины, суглинка, супеси, песка, гравия, гальки, валунов, называются *моренными отложениями* (рис. 64). В зависимости от места, которое занимает переносимый материал по отношению к леднику, различают несколько видов морен. По способу накопления и транспортировки пород горными ледниками выделяют *поверхностную морену* — грубообломочный материал, падающий на поверхность льда со склонов долин, гор и переносимый ледником; *боковую морену* — обломочный материал, захватывающийся

¹ Висячие ледники, наибольшие по размерам, образуются на плоскогорьях, долинные — текут наподобие рек в глубоких долинах.

льдом с боков долины краем ледника; *внутреннюю морену* — обломочный материал, накапливающийся внутри ледника. Выделяют также донные и конечные морены.

Донная морена состоит из материала, который захватывается ледником при движении по ложу и с боков, она может пополняться также за счет поверхностного материала, провалившегося на дно по трещинам. Смятие донной морены может вызвать образование срединной морены.

Конечными моренами называют скопления в виде валов обломочного материала, образующегося у края ледникового языка при равновесии между прибылью льда, притекающего из области питания, и убылью его в области таяния на краю ледника. Чем

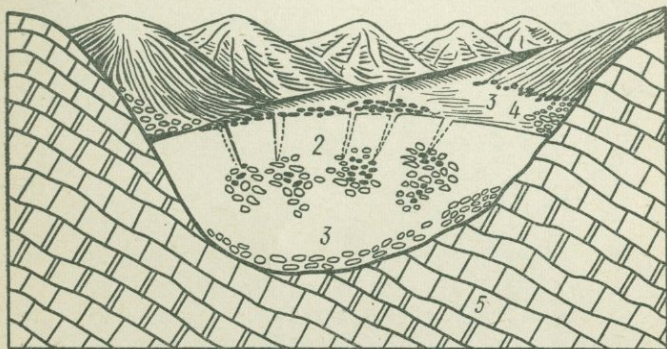


Рис. 64. Типы морен:

1 — поверхностная морена, 2 — внутренняя морена, 3 — донная морена, 4 — боковая морена, 5 — коренные породы

выше вал, тем дольше сохранялось это равновесие. Ледники своими конечными моренами регистрируют изменение климата. Уход ледникового языка (таяние льда) от конечной морены вверх по долине указывает на потепление. Отсутствие у ледникового языка конечной морены означает наступление ледника — похолодание климата. Отложенные морены представляют собой нагромождения моренных валов — продольных, краевых.

Моренные отложения широко распространены в европейской части СССР. Залегая на поверхности, эти образования часто служат материнской породой для многих почв нечерноземной полосы РСФСР.

Флювиогляциальные отложения. Наносы, откладываемые ледниковыми потоками, получили название *флювиогляциальных* (fluvius — поток, gladius — лед). Соответственно происхождению и положению по отношению к леднику флювиогляциальные отложения подразделяются на две группы: 1) *приледниковые*, залегающие позади конечноморенных гряд (рис. 65), — осадки озов, камов, друмлинов, ленточные глины; 2) *внеледниковые*, распространенные впереди конечных морен, — зандровые пески, флювиогляциальные суглинки.

Приледниковые отложения (озы, камы, друмлины) сложены песчано-гравийно-галечным моренным материалом.

Слоистые образования приледниковых озер, состоящие из чередующихся слоев песка и глины, получили наименование *ленточных глин* (рис. 66). Летом, когда принос ледниковыми водами

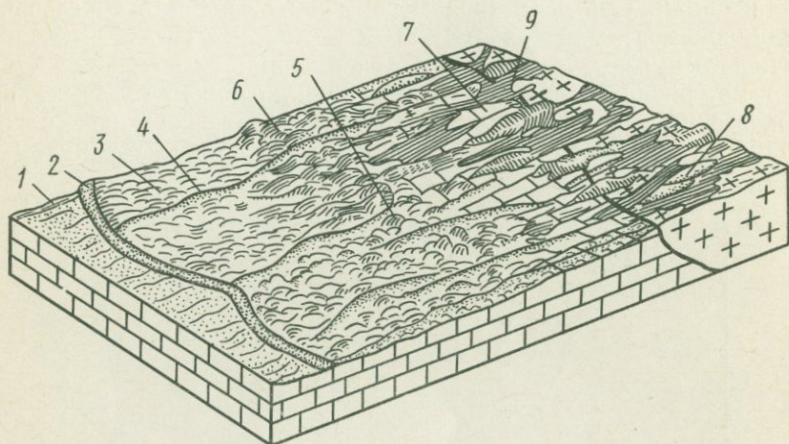


Рис. 65. Схема соотношения приледниковых и внеледниковых отложений:

1 — зандры, 2 — конечноморенные гряды, 3 — моренная равнина, 4 — озы, 5 — камы, 6 — друмлины, 7 — эродированные коренные породы, 8 — «бараньи лбы» и «курчавые скалы», 9 — озера

обломочного материала больше, в озерах отлагается более песчаный светлый слой, а зимой оттаивается муть, образующая тонкий глинистый темный слой. Так образуются годовичные слои,

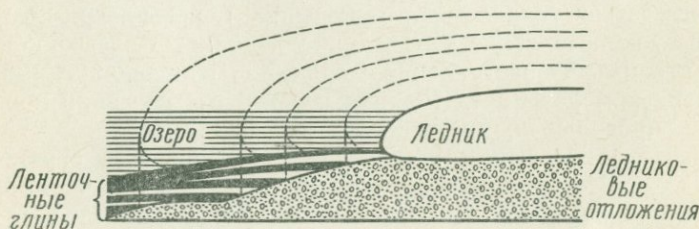


Рис. 66. Образование ленточных глин

которые называют лентами. По годовичным слоям определяют период времени, прошедший после ухода (таяния) ледника. Ленточные глины распространены в Ленинградской области, Финляндии, Дании.

Внеледниковые отложения, образованные потоками вод, вытекавшими из-под ледников, и расположенные перед внешним краем

(впереди) конечных морен, называют *зандрами* (рис. 65). Зандровые поля и равнины сложены слоистыми осадками — разнозернистыми песками, гравием, галечником, являющимися продуктами перемыывания морены. В генетическом отношении зандровые поля представляют собой пологие, плоские, большого радиуса конусы выноса ледниковых потоков.

При материковом оледенении четвертичного периода зандровые поля формировались у края ледникового покрова; к равнинам такого типа могут быть отнесены Мещера, Полесье и др.

К *внеледниковым отложениям* относят лёссы и лёссовидные суглинки Украины. Некоторые геологи считают их ветровой (а иногда и водной) разновидностью ледниковых осадков.

Глава семнадцатая

МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫЕ ПОРОДЫ, ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

Отрасль геологии, занимающаяся изучением мерзлых зон земной коры, называют *мерзлотоведением*, или *геокриологией* (от лат. «криос» — холод, лед). Этот раздел геологии имеет большое значение для народного и, в частности, сельского хозяйства.

Зона отрицательных многолетних температур занимает около 14% всей суши. В СССР она охватывает огромную площадь — более 10 млн. км², или 49% его территории (рис. 67).

Под *многолетнемерзлыми горными породами* понимается толща горных пород земной коры, залегающая на некоторой глубине от дневной поверхности и сохраняющая долгое время отрицательную температуру (-3 , -5°C) и прослойки льда иногда значительной мощности.

Для существования в земной коре пояса многолетних отрицательных температур требуется сочетание двух обстоятельств — непрерывности процесса и большой длительности его. 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 сменялись положительными. В этом случае при факторе длительности отсутствует непрерывность. Другое дело в Якутии. Здесь постоянно на некоторой глубине от поверхности горные породы имеют отрицательную температуру, содержат лед. Нахождение в породах неразложившихся трупов мамонтов указывает на то, что мерзлые породы существуют здесь непрерывно и весьма длительный срок, измеряемый, вероятно, десятками тысяч лет. Поэтому говорят о *сезонномерзлых* и *многолетнемерзлых горных породах*.

Пояс многолетних отрицательных температур занимает высокие широты (Гренландия, Канада, север Сибири) и рассматривается как зональное природное явление.

В этой зоне с севера на юг выделяются три провинции: 1) арктическая — сплошное распространение мерзлых пород; 2) субарктическая — мерзлые породы с участками таликов; 3) провинция



Рис. 67. Схематическая 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 несплошного распространения с толщиной до 100 м, 4 — зона с преобладающей толщиной от 100 до 500 м, 5 — зона с преобладающей толщиной от 200 до 300 м, 6 — зона с преобладающей толщиной от 300 до 400 м, 7 — зона с преобладающей толщиной от 400 до 500 м, 8 — зона с преобладающей толщиной свыше 500 м

островной мерзлоты — мерзлые породы залегают в виде островов, отдельных прослоев (рис. 68).

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 *сезонно-талого слоя*. Он имеет огромное агрономическое значение, так как с этим поверхностным слоем, оттаивающим летом и промерзающим зимой, связан рост растений.

Исследованиями последних лет установлено, что рыхлосвязанная вода даже в породах замороженных никогда не замерзает и может переносить различные микроэлементы.

Глубина летнего протаивания и зимнего промерзания пород зависит от их состава, влажности, температуропроводности, средней годовой температуры и амплитуды среднемесячных температур.

Амплитуда температур 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 (всего на 0,40—0,60 м).

На Крайнем Севере (побережье Ледовитого океана) мощность сезонно-талого слоя минимальна — от 0,2 до 1,5 м, к югу от 55° с. ш. — от 0,8 до 4 м. В основании этого слоя в некоторых местах залегает так называемый переходный, промежуточный слой, характеризующийся неустойчивой, но обычно положительной температурой, мощность 0,8—2,5 м. Далее идет мерзлый слой, достигающий в отдельных районах мощности свыше 500 м.

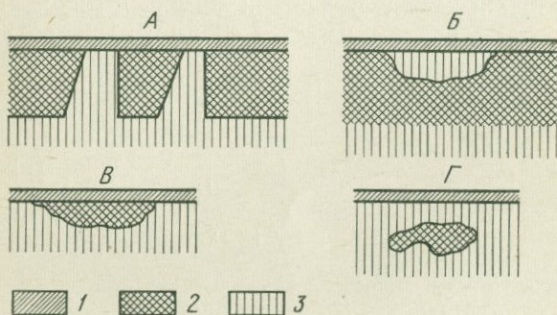


Рис. 68. Виды географического распространения многолетней мерзлоты. А — многолетняя мерзлота с островами таликов; Б — псевдоостров талика; В — остров многолетней мерзлоты; Г — гнездовая, или линзовая, многолетняя мерзлота;

1 — слой зимнего промерзания или летнего протаивания (сезонно-талый), 2 — слой многолетней мерзлоты, 3 — постоянно-талый слой (с положительной температурой)

Верхняя граница мерзлых пород обусловлена климатическими условиями, рельефом местности, снежным и растительным покровом, составом пород, гидрологией. При прочих равных условиях она ближе к поверхности земли на Крайнем Севере, глубже — на юге. Так, в тундре 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.

Нижняя граница мерзлых пород имеет очень волнистый и причудливый характер. На севере основание мерзлых пород погружается на большую глубину, к югу оно постепенно приближается к поверхности. Разность между верхней поверхностью и основанием (подошвой) мерзлых пород составляет мощность, или толщину, пласта мерзлых пород.

По своему составу мерзлые породы могут быть рыхлыми (пески, супеси, суглинки, глины) и скальными (известняки, граниты, гнейсы), по происхождению — осадочными, изверженными и метаморфическими. Средняя температура мерзлых пород $-4,5$ — $-5,0^{\circ}\text{C}$, минимальная -12°C . Наиболее богаты прослоями льда глинистые породы. По характеру залегания различают льды, непрерывно идущие в глубь мерзлой породы, слоистые, жильные, гнездовые, или линзовые, и, наконец, островные.

Ниже залегают породы с положительными температурами (подмерзлотный слой), в которых температура возрастает с глубиной, согласно геотермическому градиенту.

Гидрологические условия. Гидрологический режим рассматриваемых районов весьма своеобразен. Вода и постоянно отрицательная температура в горных породах — глубокие антагонисты.

Реки в этих районах имеют свои отличительные особенности. Ряд незначительных рек в Сибири зимой целиком промерзает, и их многоводность резко снижается. Лед уменьшает живое сечение

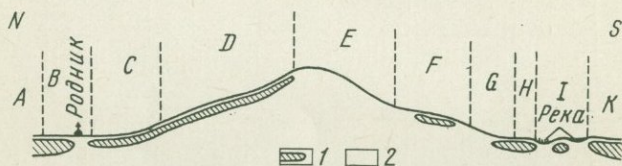


Рис. 69. Схема взаимосвязи мерзлой зоны рельефа и растительности. АСНК — болотно-луговая растительность; В — «колок»; С — небольшой лесок из лиственницы; D — лес лиственничный; E — обращенные на юг полуобнаженные склоны с редкими деревьями; F — степь; G — луг; I — заросли ивы:

1 — мерзлая зона, 2 — талики

потока воды, вследствие чего воды часто устремляются на поверхность льда, где, разливаясь, вскоре замерзают, образуя огромные речные наледи — тарыны. 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. Кроме того, при оттаивании льдов образуется большое количество воды, что является не только главным слагаемым в балансе рек, но вызывает и заболачивание.

Обычно выделяют три категории подземных вод: надмерзлотные, содержащиеся в сезонно-талом слое, воды мерзлых пород и подмерзлотные, залегающие под мерзлыми породами.

Влияние мерзлых пород на деятельность человека. Влияние низких температур на свойства пород и особенно почв исключительно многообразно. С этой точки зрения важную роль приобретает характер льдонасыщенности почв, который может быть трех основных видов: 1) мерзлые породы содержат мелкокристаллический лед, равномерно рассеянный по порам пород; 2) кроме мелких кристалликов льда, имеются также целые прослойки различной мощности, залегающие чаще всего параллельно дневной поверхности, 3) мерзлые породы содержат достаточно мощные слои, линзы, а иногда и целые пласты льда.

Для земледелия, строительства более благоприятна первая группа, так как в этом случае возможность деформации поверхности почти исключается. Наоборот, если в почвенной толще есть некоторое количество ледяных прослоев, деформации пород при оттаивании неизбежны, и такие площади к освоению уже непригодны.

Воздействовать на мощность сезонно-талого слоя следует весьма осторожно, так как все эти мероприятия (уничтожение естественного растительного покрова, рубка лесов и кустарников, распашка земель) могут привести к двум процессам: с одной стороны — к прогреву почвы в летнее время, с другой — к усилению их зимнего охлаждения (рис. 69). Известны случаи, когда строительство некоторых неотапливаемых построек вызывало изменение теплового режима грунтов.

Одной из задач земледелия является повышение температур в почве, усиление в ней окислительных процессов и микробиологической деятельности. Средством для этого служат своевременная и глубокая вспашка, применение минеральных удобрений, навоза, а также снегозадержание. Снег — отличный теплоизолятор, предохраняющий почву от промерзания. Советская агрономическая наука добилась больших успехов на Крайнем Севере, в тундре (Игарка, Салехард), где выращивают различные овощи и картофель.

Причины образования мерзлых пород. Вопрос этот весьма сложен, многообразен и в деталях недостаточно ясен. Полагают, что такими причинами являются особенности теплообмена на поверхности Земли между атмосферой и земной корой.

Факторами, благоприятствующими этим условиям, принято считать низкую среднегодовую температуру от -10 до -12°C (в Якутии, в районе Верхоянска — Оймякона, находится так называемый полюс холода Северного полушария, температура $-67,8^{\circ}\text{C}$), большие высотные отметки территорий над уровнем моря, холодную малоснежную сухую длинную зиму и короткую весну и осень, высокое давление, сухость воздуха, инверсию температур (зимой в горах температура воздуха нередко выше, чем на дне долин).

Литература

- Жуков М. М., Славин В. И., Дунаева Н. Н. Основы геологии. М., «Недра», 1971, с. 542.
- Толстой М. П. Геология с основами минералогии и петрографии. М., «Высшая школа», 1968, с. 333.

Часть четвертая

ОСНОВЫ ИСТОРИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОМОРФОЛОГИИ

Глава восемнадцатая

ГЕОХРОНОЛОГИЯ И КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЗЕМЛИ

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. Историческая геология изучает относительный геологический возраст пород и расчленяет их по возрасту, реконструирует физико-географическую обстановку в различные периоды жизни Земли, прослеживает историю возникновения и развития тектонических структур и их пространственное соотношение, воссоздает историю вулканизма и метаморфизма.

Одна из главных целей исторической геологии — выяснение последовательности образования различных горных пород, определение относительного геологического возраста пород, а также расчленение их по возрасту. Материалом для решения этой проблемы служат геологические документы: а) горные породы и условия взаимоотношений между ними; б) ископаемые остатки различных животных и растительных организмов в виде окаменелостей, остатков костей, отпечатков и следов на горных породах; в) геологические процессы, происходящие на поверхности и в земной коре.

Понятие о методе актуализма. Для изучения процессов прошлого Земли большое значение имеет метод актуализма. Его возникновение связано с трудами Ч. Лайеля. Лайель считал, что ключ к объяснению прошлого лежит в изучении настоящего, и для объяснения различных «переворотов» в истории Земли нет надобности прибегать к сверхъестественным силам.

Лик Земли постоянно изменяется, поэтому геологические процессы прошлого нельзя полностью отождествлять с процессами современными. Некоторые процессы вообще не повторяются в исто-

рии Земли. Так, состав атмосферы и гидросферы в древнейшие геологические эпохи был иным, чем сейчас; количество углекислого газа в атмосфере в отдельные периоды было, вероятно, значительно большим, а кислорода — много меньшим, процессы выветривания,

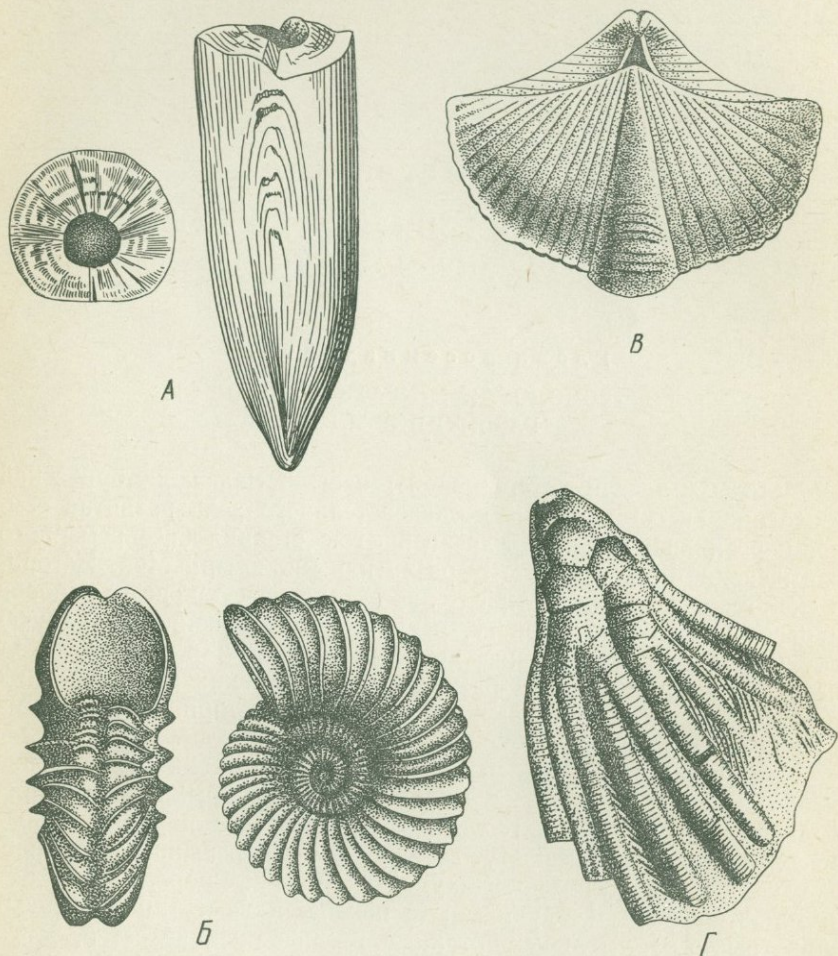


Рис. 70. Руководящие формы ископаемых: юрские отложения Подмосковья и Поволжья. А — белемнит *Belemnites lateralis*; Б — аммонит *Hoplites interruptus*; В — брахиопода *Spirifer rugulatus*; Г — морской коралл из каменноугольных отложений

породообразования происходили в иной обстановке, океан отличался меньшей соленостью и т. д.

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

Метод актуализма — лишь часть *сравнительно-исторического метода*, и его применяют в тех случаях, когда современная эпоха

может дать необходимый материал для сравнения. При оценке историко-геологического процесса необходимо учитывать масштабы геологического времени. Современная геология исчисляет срок существования нашей планеты в 4,5 млрд. лет, а срок жизни на ней — более 2 млрд. лет.

Исследуя современные геологические процессы, геологи выясняют пути развития земной коры, прослеживают изменение палеогеографических условий, вызвавших эволюцию органического мира.

Особенность геологической истории — невоспроизводимость многих геологических событий, неполнота геологической летописи: некоторые ее страницы — толщи горных пород — не сохранились.

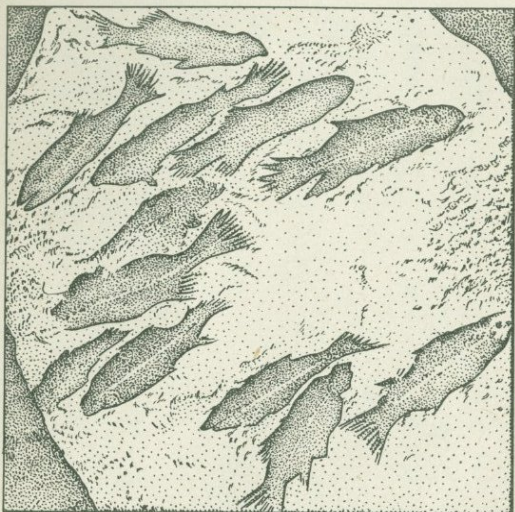


Рис. 71. Отпечатки рыб — кладбище рыб, ориентированное течениями

Геологи изучают руководящие ископаемые и по ним пытаются воссоздать историю развития органической жизни на Земле, ее эволюцию и тем самым косвенно восстановить физико-географическую обстановку далекого прошлого.

Руководящие ископаемые — это остатки ископаемых животных и растений, существовавших сравнительно короткое время на обширных площадях (рис. 70). Находки таких организмов позволяют сопоставлять пласты осадочных пород, удаленных друг от друга, и определять их относительный возраст.

Изучая взаимоотношения осадочных горных пород, их состав, руководящие ископаемые, геологи установили, что в длиннейшей цепи жизни (начиная от простейшего одноклеточного живого вещества) сохранились только отдельные обрывки.

Наиболее древние напластования коры состоят из сильно метаморфизованных горных пород и почти не содержат признаков органической жизни. В ряде случаев окаменелые остатки растительных

и животных организмов (фауна и флора) плохо сохранились, многие из организмов вообще бесследно исчезли, консервировались лишь формы, обладавшие твердым скелетом. Иногда сохранялись не части скелетов, растений, не самые раковины, кости, а только их отпечатки (рис. 71, 72). Наконец, среди окаменелостей различают сле-

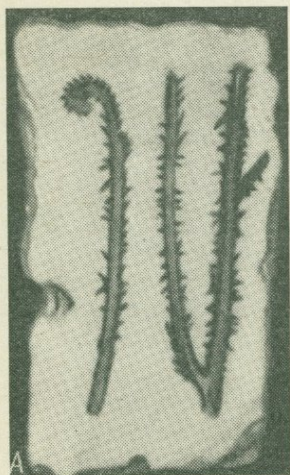
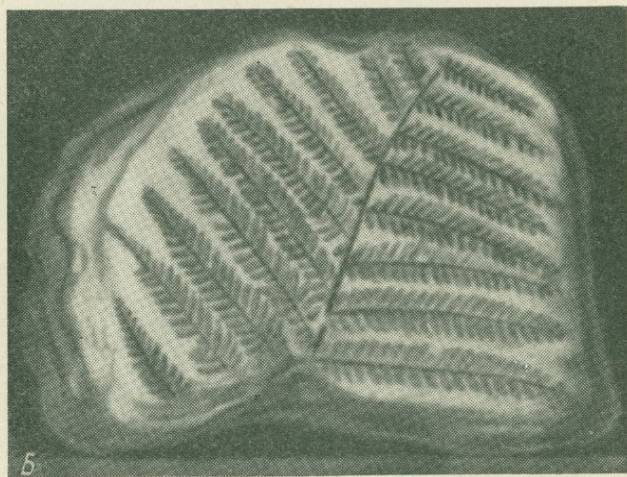


Рис. 72. Отпечатки растений.
А — мохоподобного расте-
ния; Б — древовидного па-
поротника



ды непосредственного проявления жизни животных. Так, известны следы копыт древних животных (лошадей), следы ползания червей. Отдельные находки костей животных, кусков древесины хранятся в музеях разных стран.

Стратиграфический и палеонтологический методы определения возраста горных пород. Изучая условия залегания и взаимоотно-

нения отдельных слоев осадочных пород в земной коре и многочисленные сохранившиеся в них руководящие ископаемые, геологи определяют относительный возраст осадочных горных пород. Определение возраста слоев по их залеганию относительно друг друга получило название *стратиграфического метода* (от лат. «стратум» — 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 затруднительно.

Другой метод был предложен англичанином В. Смитом в начале XIX века. Занимаясь в Англии строительством каналов, В. Смит обнаружил в различных толщах многочисленные остатки окаменелых животных организмов. При более тщательном изучении им было установлено, что отдельные формы животных приурочены только к определенным слоям и отсутствуют в других. Был сделан важный вывод: в пластах одного и того же возраста часто присутствуют одни и те же ископаемые организмы, не встречаемые в более древних и более молодых отложениях. Оказалось также, что чем пласт древнее, тем более простые формы руководящих организмов он содержит. Этот метод стал называться *палеонтологическим*.

Позднее было установлено, что в пластах одинакового геологического возраста на различных материках содержатся одни и те же формы ископаемых организмов. Наоборот, в одном и том же обнажении, но в пластах различного возраста устанавливаются неодинаковые формы ископаемых органических остатков. С развитием микропалеонтологических методов исследований было установлено множество микроорганизмов, являющихся *руководящими формами* для осадочных морских свит. Для континентальных отложений весьма важно изучение спор, семян, пылцы растений.

Палеонтологический и, в частности, *микропалеонтологический* метод широко используется современной наукой. Однако палеонтологический метод имеет ограниченные возможности применения. Он пока не может быть использован при изучении весьма распространенных древнейших напластований, которые по времени составляют около 85% всей известной истории земной коры, и определения возраста магматических горных пород.

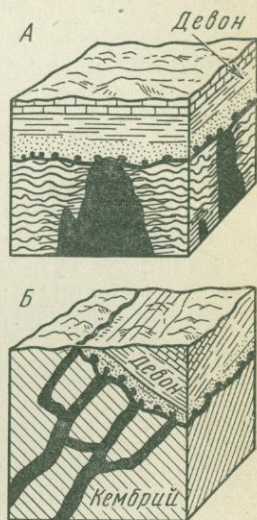


Рис. 73. Признаки определения возраста интрузии. А — батолит гранита метаморфизует сланцы, гранит моложе сланцев, но старше девона, в слоях которого встречаются гальки гранита; Б — дайки диабазы рвут кембрийские слои; диабаз моложе кембрия, но старше девона, т. е. возраст диабазы — силурийский

В случае совместного залегания магматических и осадочных пород относительный возраст первых можно определить по характеру контакта и взаимоотношениям этих пород друг с другом (рис. 73). 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. Если интрузия покрывается морскими осадочными толщами, то эти свиты отложений образовались позже и являются более молодыми. Этим же принципом руководствуются и при совместном положении в геологическом обнажении серий разновозрастных магматических пород: какая-либо жила, секущая гранитный батолит, образовалась позднее, чем пересекаемый ею массив. Каждое внедрение моложе пересекаемых им пород (рис. 73).

Таким образом, 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 телами (массивами) без видимой слоистости и не содержащих каких-либо остатков органической жизни.

Геологическая хронология. На основании определения относительного возраста горных пород, изучения последовательности отложения отдельных пластов осадочных горных пород и тождественности найденных в этих слоях руководящих ископаемых геологи делят всю геологическую историю на пять крупнейших единиц, называемых эрами, которые, в свою очередь, подразделяются на периоды, эпохи, века. Эти категории терминов служат для обозначения промежутков времени; другая группа терминов применяется для обозначения геологических образований — горных пород, отложившихся в течение всех отрезков времени.

Названия эр отвечают главнейшим этапам развития животного и растительного мира (см. табл. 9). В переводе с древнегреческого языка они обозначают: «архе» — начало, «протерос» — первый, «паляйос» — древний, «мезос» — средний, «кайнос» — новый, «зоэ» — жизнь. Соответственно с этим: архейская — это эра начала жизни; протерозойская — первичной жизни; палеозойская — древней жизни; мезозойская — средней жизни, кайнозойская — новой жизни.

Названия геологических периодов были введены в науку учеными различных стран и в разное время; они даны преимущественно по тем местам материков, 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 впервые были изучены. Пермская — от названия бывшей губернии в России (ныне Пермская область) и т. д. Каменноугольная (или карбон) система получила название по отложениям каменного угля, а меловая — по отложениям белого писчего мела. Поздние

по времени периоды — третичный и четвертичный — сохранили свои названия от старого деления всей истории Земли на четыре эры: первичную (палеозой), вторичную (мезозой), затем третичную¹ и четвертичную.

Когда говорят о распространении карбона или юры (сокращенные названия каменноугольной и юрской систем), это значит, что подразумевается распространение пород, образовавшихся в течение этого периода. Например, выражение «забил фонтан нефти из девона» нужно понимать, что 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 являются обязательными для геологов всех стран.

Краткие сведения о развитии представлений о возрасте Земли. Одновременно с определением относительного возраста горных пород человека всегда интересовал и их абсолютный возраст. Уже в далекие времена людей интересовал вопрос о древности мира. Китайцы и японцы определили древность мира в 30 000—40 000 и до 100 000 лет. Народы, жившие у Средиземного моря, значительно сокращали срок существования мира — до 5000 лет. Этот же срок был принят христианской религией, согласно которой время, прошедшее до новой эры, условно принимаемое (рождение Христа), определяется цифрой в 5508 лет. Но колоссальное количество событий, происшедших в истории Земли, не уместается в тот короткий срок, который указывает библия. М. В. Ломоносов подчеркивал, что срок существования Земли значительно больше, чем об этом говорят библейские сказания.

Много времени и труда потребовалось ученым, чтобы кроме относительного метода определения возраста горных пород дать в руки естествоиспытателей и надежные материалы об абсолютном возрасте Земли.

Методы определения возраста Земли по скорости накопления осадочных пород. Ученые пытались найти более точные методы определения возраста Земли. Подсчитав среднюю мощность осадочного чехла коры, накопившегося за всю историю Земли, и зная среднюю скорость накопления современных осадков в дельтах рек, морях, геологи определили ориентировочно возраст толщи осадочных пород.

Реки выносят в моря, океаны весьма значительное количество наносов. Ориентировочная мощность осадочного чехла, если предположить, что эти породы не претерпевали размыва, исчисляется в 100 км; в дельтах рек скорость отложения осадков довольно зна-

¹ В настоящее время геологи третичный период подразделяют на два периода — палеогеновый и неогеновый.

чительна и определяется цифрами примерно 1 см в 30—100 лет. В этих случаях возраст осадочных пород всей Земли выразится цифрами от 300 до 1000 млн. лет.

Однако большинство осадочных пород континентов является не отложениями древних 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 метода.

Геохронологический метод определения возраста ленточных глин (метод Де-Геера). Этот метод основан на подсчете и сопоставлении годовичных лент в ленточных глинах озерно-ледникового происхождения или в озерных илах. Метод более точен, однако применим только для территорий, испытавших материковое оледенение. При описании озерно-ледниковых отложений приводилось объяснение механизма образования годовичных лент, каждая из которых состоит из двух сезонных слоев: зимнего — глинистого и летнего — песчаного (см. гл. 16). Годичные слои начинают отлагаться на дне приледникового озера сразу же после исчезновения ледника в данном пункте. Изучая годовичные ленты, 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 открыл, что уран обладает способностью излучать невидимые лучи. Позднее было установлено, что многие элементы являются радиоактивными. Радиоактивные превращения подтвердили изменимость атомов.

В итоге радиоактивного распада уран превращается в устойчивые продукты распада — инертный элемент свинец с атомной массой 206 (вместо Pb — 207). Период распада радиоактивных элементов постоянен; ни температура, превышающая температуру плавления пород, ни давление в тысячи атмосфер, ни химические реакции, магнитные и электрические поля не влияют на скорость распада.

О методике определения возраста породы. Для определения возраста, например гранитов, необходимо весьма точными и чувствительными методами химического и спектрографического анализов определить в каком-либо минерале, например слюде, содержание калия; или в уранините (урановой смолке) содержание изотопов свинца. Процесс распада урана, тория и других радиоактивных элементов известен: 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. Зная скорость распада U и Th, можно определить возраст минерала, входящего в состав горной породы:

$$t = \frac{{}^{206}\text{Pb} + {}^{208}\text{Pb}}{\text{U} + 0,38\text{Th}} \cdot 74 \cdot 10^8,$$

где t — время в млн. лет; U, Th, ^{206}Pb , ^{208}Pb — количество образовавшихся за год новых радиоактивных элементов ¹.

Этим способом был определен возраст различных магматических пород земного шара. Так, породы, найденные в Южной Африке, имеют возраст 3,5 млрд. лет (А. Л. Холмс). Значительно более молодыми оказались граниты Приморья, Дальнего Востока. Здесь удалось выделить две группы пород: возраст одних интрузий оказался равным только 60—90 млн. лет, других — 170—250 млн. лет.

Распад радиоактивных элементов — эталон геологического времени, своеобразные геологические часы, хронометр горных пород. Период полураспада урана очень велик: для урана-238 период полураспада равен 4,5 млрд. лет ($4,5 \cdot 10^9$). Элементы, для распада которых нужны миллиарды лет, получили название долгоживущих.

Из радиологических методов определения возраста пород наиболее распространен углеродный.

Когда возраст горных пород невелик и измеряется тысячами лет (возраст пород позднечетвертичного времени), пользуются *углеродным методом*. Возраст определяют по содержанию радиоактивного углерода ^{14}C в различных углеродсодержащих соединениях. Радиоактивный углерод (или радиоуглерод) в противоположность урану и радиоактивному калию живет сравнительно недолго — период его полураспада всего лишь 5568 лет. Это значит, что за это время количество изотопа углерода уменьшается вдвое. Этим методом можно установить возраст пород до 50 000 лет.

Соотношение ^{13}C и ^{14}C в атмосфере постоянно. Растения и животные, поглощая из атмосферы углекислоту, усваивают и ^{14}C . Пока животные и растения живут, соотношение ^{13}C и ^{14}C не меняется; после их гибели ранее усвоенный ^{14}C начинает распадаться, тем самым как бы «отсчитывая» время. Измеряя количество ^{14}C в растительных остатках, можно вычислить время, прошедшее после смерти организма, и этим определить возраст отложений.

В 1948 г. на п-ове Таймыр обнаружили в многолетнемерзлых породах труп хорошо сохранившегося мамонта. Палеонтологи не смогли установить, сколько тысяч лет пролежал он в промерзших горных породах. 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 и трупом мамонта, найденными в 1973 г. в Якутии. Оказалось, что возраст этих находок «старше» 15—20 тыс. лет.

Вполне очевидно, что метод радиоактивного углерода открывает большие перспективы и в почвоведении для определения абсолютного возраста горизонтов ископаемых почв.

¹ U, Th, ^{206}Pb , ^{208}Pb — химические символы радиоактивных элементов, цифровой индекс обозначает массу ядра.

Глава девятнадцатая
СВЕДЕНИЯ ИЗ ИСТОРИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Новая советская геохронологическая шкала (1969) охватывает огромный отрезок времени — около 4 млрд. лет, из них на архей и протерозой приходится более 3,5 млрд. лет. Основные события в жизни Земли и главнейшие этапы развития органической жизни приведены в табл. 9 и на рис. 74.

Рассмотрим особенности эры новой жизни — *кайнозойской*.

В результате длительной эволюции на Земле появились современные нам растения и животные и произошло событие величайшей важности — появился человек. Начинается новая эра — эра разума.

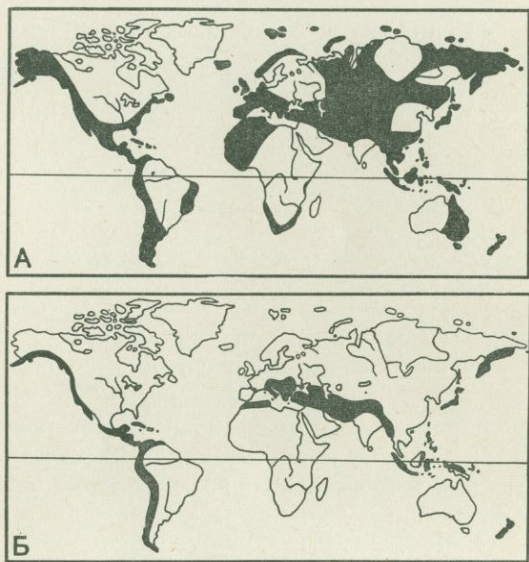


Рис. 74. Развитие земной коры на площади современных материков в различные эпохи. Складчатые системы обозначены черным, платформы — белым.
А — конец протерозоя; Б — конец неогена

Всю историю кайнозоя делят на три периода: палеогеновый, неогеновый, длившийся около 66 млн. лет, и четвертичный, начавшийся около двух миллионов лет назад и продолжающийся ныне. В связи с тем, что четвертичный период на Земле ознаменовался появлением и развитием человека и человеческого общества, акад. А. П. Павлов предложил называть его *антропогеновым*, или *антропогеном* (от греч. слов «антропус» — человек и «генус» — род, рождение).

Четвертичный период. Продолжительность антропогена исчисляется примерно от 1 до 2 млн. лет. Это наиболее короткий период в истории Земли. Он подразделяется на два неравных отрезка вре-

мени: *ледниковый* (плейстоцен), длительностью около 600 тыс. лет, который, в свою очередь, делится на ранний, средний и поздний отделы — Q_1 , Q_2 , Q_3 , и послеледниковый период (голоцен), или современную эпоху, которая продолжается в настоящее время.

Характерная особенность четвертичного периода — резкое изменение физико-климатических условий, выразившееся в сильном похолодании и развитии большого материкового оледенения на значительных пространствах суши. С момента исчезновения материковых льдов на территории СССР прошло только около 10—12 тыс. лет.

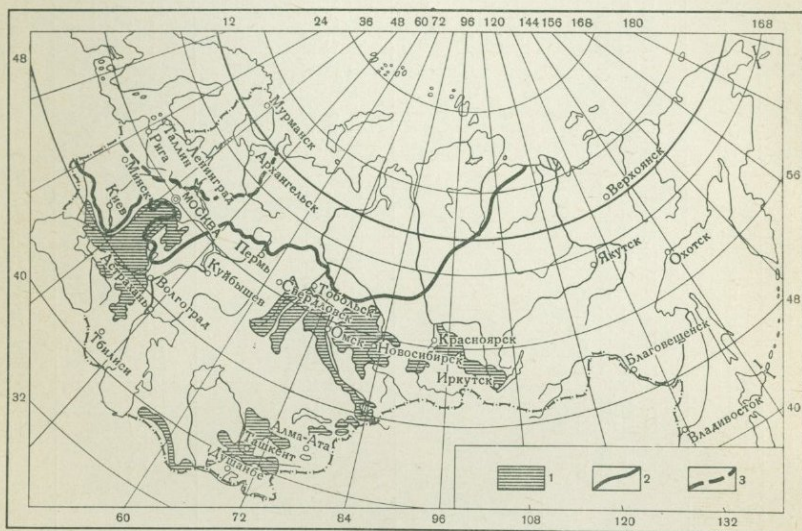


Рис. 75. Границы оледенения в СССР и распространение лёссовидных пород:
1 — лёссовидные образования, 2 — граница максимального оледенения, 3 — граница нового оледенения

Обширная территория СССР в ледниковую эпоху характеризовалась большим разнообразием физико-географических условий. Так, в европейской части СССР был развит мощный ледниковый щит (рис. 75), в Западной Сибири ледниковый покров был небольшой мощности, в Восточной Сибири покровное оледенение отсутствовало. В ледниковые эпохи огромный европейский ледниковый щит достигал более 2 км толщины, покрывая площадь в 5,5 млн. км² (максимальное оледенение).

Ледниковые покровы не были постоянными, ледниковые эпохи сменялись межледниковыми.

Уменьшение воды в реках, поверхностных водоемах в ледниковые эпохи обуславливало понижение базиса эрозии — регрессию моря и усиление размыва; сформировался ряд террас; изменялась гидрографическая сеть. При таянии льдов появлялось множество водных потоков, которые переносили большое количество обломоч-

История развития Земли. Главнейшие события (по данным геохронологической таблицы 1969 г.)

Эра	Периоды	Длительность, млн. лет	Условные обозначения	Основные геологические события в пределах СССР	Главнейшие этапы развития органической жизни
Архейская	Архей AR	4000	AR (A)	Складчатость, вулканизм, образование высоких хребтов в Карелии, Забайкалье, на Кольском полуострове, Украине	Зарождение жизни на Земле. Появление бактерий, одноклеточных животных
Протерозойская	Ранний протерозой	2500 1900			
	Средний протерозой	1600	PR (Pt)		
	Поздний протерозой	Рифей, венд 570			
Палеозойская PZ	Кембрий	70	Є (Cm)	Каледонская складчатость, вулканизм и горообразование в Саянах, море покрывает Сибирь, Среднюю Азию	Расцвет беспозвоночных. Широкое развитие иглокожих, моллюсков, брюхоногих, плеченогих
	Ордовик	60	O		
	Силур	30	S		
	Девон	70	D	Море затопляет всю территорию СССР	Появление всех основных видов рыб. Развитие папоротниковых. Появление первых лесов, формирование первых почв
	Карбон	55	C	Море затопляет большую часть СССР, образование углей в Подмосковном бассейне	Расцвет споровых растений. Развитие папоротникообразных — папоротников, плаунов, хвощей

175		Пермь	45	P	Герцинская складчатость, вулканизм, образование гор Урала, Алтая, Тянь-Шаня. Сухой климат в Приуралье	Развитие пресмыкающихся — котилозавров и зверообразных
		Триас	45	T	Значительная часть территории 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, головоногих моллюсков — аммонитов и белемнитов. Распространение голосеменных растений
	Мезозойская MZ	Мел	70	K (Cr)	Затопление морем многих районов	Вымирание морских пресмыкающихся, аммонитов и белемнитов, появление цветковых растений
	Кайнозойская KZ	Палеоген	41	P (Pg)	Море периодически затопляет Украину, Поволжье, Западную Сибирь, Среднюю Азию	Широкое распространение цветковых растений
		Неоген	25	N	Альпийская складчатость и образование гор на Кавказе, в Крыму. Неоген — четвертичный вулканизм	Состав фауны и флоры, близкий к современному. Появление человекообразных обезьян и новых групп млекопитающих из отрядов копытных, хоботных и хищников
		Четвертичный (антропоген)	1,5—2,0	Q	Большое оледенение Русской, Западно-Сибирской равнины. Поднятие Кавказа, Урала, Тянь-Шаня. Образование современных ландшафтных зон: тундры, степей, пустынь	Расцвет млекопитающих, птиц, рыб, насекомых. Появление человека. Развитие ноосферы

ного и песчаного материала; увеличивалось поступление речной воды в моря, что вызвало сильный подъем их уровней. Море наступало на сушу. Трансгрессии были как на севере, в бассейне Баренцева, Белого и Балтийского морей (бореальная, онежская, мгинская, иольдиевая), 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 состава почвообразующих пород Прикаспийской низменности, являющейся в настоящее время областью полупустыни и распространения «черных», сильно засоленных земель, широко используемых для отгонного животноводства.

В результате неоднократных смен наступлений ледников отступлением, трансгрессий регрессиями, понижений базиса эрозии повышением сформировались серии террас, ярусы лёссовых горизонтов и погребенных почв.

Четвертичные отложения. В целом на Русской равнине морских отложений в четвертичном периоде накопилось немного. Главная особенность горных пород — отсутствие метаморфических пород, резкое преобладание континентальных фаций. Отлагались аллювий, пролювий, делювий, эоловые и моренные горизонты и т. д.

Непродолжительность четвертичного периода обусловила сравнительно небольшую мощность отложений (30—60 м и редко более). Это, как правило, рыхлые породы (ввиду короткого времени отложения не успели пройти стадию диагенеза), они обладают большей подвижностью и могут легко транспортироваться на значительные расстояния ветром и водой. Отличаются породы и тем, что в них находят остатки человека, орудия его труда и материальной культуры. Органический мир (растения и животные) не успел видоизмениться, поэтому в отложениях четвертичного периода не установлено руководящих форм пресноводных наземных моллюсков.

Четвертичные отложения почти повсеместно покрывают земную поверхность. Являясь почвообразующей породой, они в значительной мере обуславливают свойства тех или иных почв. Многочисленные естествоиспытатели — А. Гумбольдт, Ч. Лайель, В. В. Докучаев — подчеркивали важность для сельского хозяйства знания происхождения, состава, условий залегания почвообразующих пород.

Исключительное значение имеют лёсс и лёссовидные породы, которые покрывают более 10% поверхности материков (карта, рис. 75). Тонкий слой лёсса иногда обуславливает высокие урожаи сельскохозяйственных культур, давая человечеству, по словам Гумбольдта, больше богатства, чем все рудники, вместе взятые.

Хронология четвертичного периода может быть подразделена так: появление человека — более 1,5 млн. лет, начало ледниковых эпох — около 1,0 млн. лет; окончание последней ледниковой эпохи — около 10—12 тыс. лет; начало тонкой обработки камня — 7 тыс. лет; начало века меди — 6 тыс. лет; начало века железа — 3 тыс. лет; начало атомного века — 1945 г.; века космоса — 1957 г.

Полезные ископаемые четвертичного периода разнообразны: кроме различных стройматериалов (песок, гравий, глина), в современных водоемах происходит садка солей, мирабилита, извести, образуется торф, сапропели и болотно-озерные железные руды. Иногда в аллювиальных песчаных россыпях содержатся самородные металлы — золото, платина, некоторые драгоценные камни — алмазы, изумруды и др.

Структура земной коры и ее развитие. На нашей планете выделяются материки и океанические впадины. На материках устанавливаются платформы и складчатые геосинклинальные системы.

Платформы называются весьма древние по возрасту, устойчивые участки земной коры. Платформы характеризуются двухъярусным строением — в основании залегает кристаллический, или складчатый, фундамент различного возраста, прикрытый сравни-

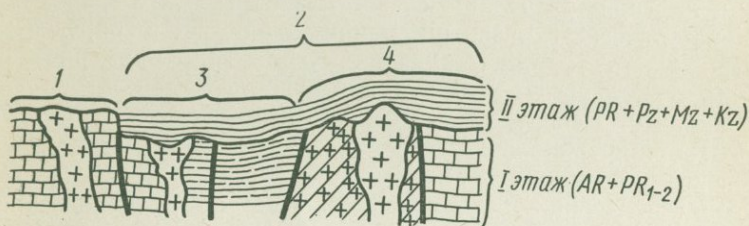


Рис. 76. Особенности строения древней платформы:

1 — щит, 2 — плита, 3 — синеклиза, 4 — антеклиза, I этаж — складчатый фундамент (допалеозойский), II этаж — осадочный чехол

тельно небольшим чехлом слоистых осадочных пород (рис. 76). Примерами древних докембрийских платформ являются Русская и Сибирская.

Платформы испытывали только слабые вертикальные движения с тенденцией к воздыманиям, на них распространены весьма пологие складки, магматическая деятельность была незначительной. Мощность земной коры в среднем 35 км.

Древние части платформ с выходами на дневную поверхность допалеозойских магматических и метаморфических пород получили название *щитов* (рис. 76). В щитах, жестких массивах породы метаморфизованы, смяты в складки, пропитаны магматическими интрузиями. По рельефу — это плоские поднятия. Примерами древних щитов в европейской части СССР являются Балтийский и Украинский.

Складчатые системы в коре выделяются узкими полосами, опоясывающими земной шар в различных направлениях. Длина таких полос во много раз превосходит ширину. Вертикальные тектонические движения и излияния магмы в складчатых системах отличались большой силой. Мощность осадочных пород очень велика (15 000—20 000 м). К ним приурочены сложные процессы магматизма, складкообразования, глобальные разломы, землетрясения. Мощность коры здесь 50—60 км.

Особо подвижные участки коры получили название *геосинклиналей*. В прошлом Земли геосинклинальные зоны занимали значительную площадь. Все молодые горные сооружения — Кавказ, Памир, Гималаи — образовались в разные геологические периоды на месте геосинклиналей. В настоящее время размеры геосинклиналей сократились и современными геосинклиналями являются территории, прилегающие к Охотскому и Японскому морям, к Малайскому архипелагу (см. рис. 74).

Океанические впадины еще мало изучены. Новейшие материалы показывают, что они так же неодинаковы по природе и времени возникновения. В них установлены глобальные срединные хребты, многочисленные разломы. Мощность коры здесь резко уменьшается, а иногда и совсем отсутствует. Интерес к изучению впадин возрастает, так как под дном океана находятся крупные залежи нефти, марганца и железа.

В историческом развитии Земли наблюдается определенная направленность тектонических процессов. Так, примерно около 2,0 млрд. лет назад почти вся поверхность Земли представляла собой складчатое сооружение. В дальнейшем лик Земли изменяется: зарождаются древние платформы, складчатые системы. Происходит постепенный рост платформенных участков.

Развитие древних платформ и складчатых зон распадается на ряд больших «тектонических этапов» различной продолжительности.

На территории СССР в геологическом отношении намечаются неодинаковые по строению участки коры, сформировавшиеся в различные геологические периоды. Территорию СССР составляют устойчивые стабильные участки коры — древние докембрийские платформы — Русская, Сибирская и подвижные участки — Урало-Монгольский геосинклинальный пояс, Евразийский.

Древние и новейшие движения коры большинством геологов кладутся в основу районирования геоморфологического, гидрогеологического, инженерно-геологического и т. д. Соответственно на территории СССР выделяют древние равнины — *платформы* и подвижные — *складчатые системы* разного возраста.

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 продолжают и в настоящее время, сопровождаясь землетрясениями и вулканическими извержениями (например, Камчатка).

Знание тектонического развития земной коры имеет большое народнохозяйственное значение.

Так, на Дальнем Востоке с внедрениями магмы связаны 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, в которые преобладали процессы выветривания. Установив стадии развития 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 двадцатая

РЕЛЬЕФ, ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЕГО РАЗВИТИЯ

На стыке географии и геологии находится *геоморфология* — наука, изучающая рельеф земной поверхности, его формы, происхождение и законы развития. Значение геоморфологии для сельского хозяйства и, в частности, для борьбы с засолением, заболачиванием и эрозией почв и получения устойчивых урожаев — весьма велико.

Рельеф нашей страны отражает ее историю, особенности геологического строения и сложного развития. Он создается в результате взаимодействия эндогенных (структурных) и экзогенных (климатических) факторов.

Среди элементарных форм рельефа различают положительные формы, выпуклые (холмы, водоразделы) и отрицательные формы, вогнутые, имеющие вид впадин и понижений (речные долины, овраги).

Выделяют рельеф древний и молодой, современный. Говорят о макро-, мезо- и микрорельефе.

Рельефообразующие факторы и процессы. Главнейшие формы Земли — материки, океанические впадины, горы и равнины. Эти глобальные формы рельефа подразделяются на генетические группы: 1) *архитектурные*, 2) *структурные*, 3) *скульптурные* (рис. 77). Первые формируются под влиянием процессов общепланетарного, космического характера, вторые — под ведущим влиянием эндогенных сил; третьи — под преобладающим воздействием экзогенных процессов. Особо рассматривают формы рельефа, сформировавшиеся в результате деятельности человека.

Скульптурные формы рельефа подразделяются на рельеф, связанный с процессами эрозии, гляциальными и перигляциальными явлениями, аридной денудацией (рис. 78).

По происхождению выделяют *аккумулятивные* и *денудационные* формы рельефа.

Среди аккумулятивных форм выделяют: а) аллювиальные и озерно-аллювиальные, б) аллювиальные и озерно-аллювиальные

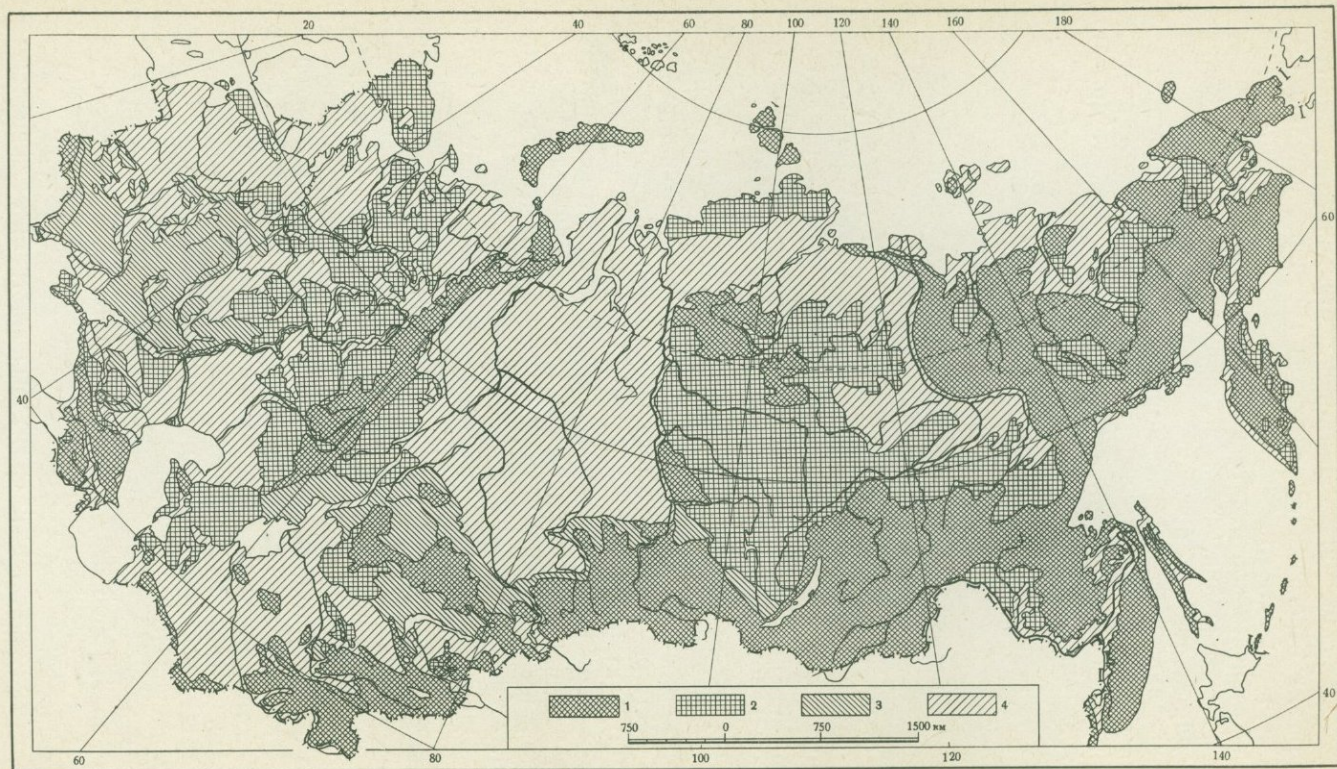


Рис. 77. Карта типов рельефа СССР (по К. К. Маркову):

1 — эрозивно-тектонический рельеф, 2 — структурный рельеф, 3 — скульптурный рельеф, 4 — аккумулятивный рельеф

с эоловой обработкой, в) ледниковые, г) морские и морские с эоловой обработкой.

Среди денудационных форм различают равнины: а) на кристаллическом основании, б) на кристаллическом основании с развитием на поверхности ледниковых форм, в) на складчатом основании, г) на горизонтально лежащих или пологопадающих пластах, д) то же, но с развитием на поверхности ледниковых форм, е) с развитием лёссового покрова.

При изучении рельефа особо фиксируется внимание на различных современных геологических процессах, оказывающих большое

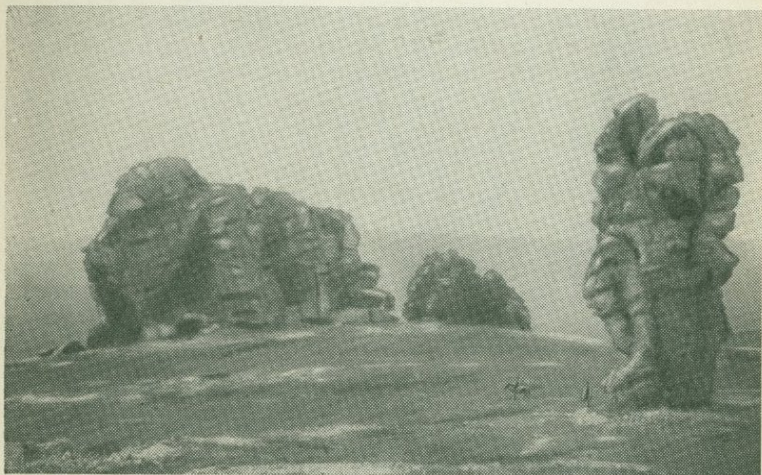


Рис. 78. Скульптурные формы рельефа. Формы выветривания кварцитов (Приуралье)

влияние на микрорельеф и особенности почвообразования. Описываются все водно-эрозионные и карстово-суффозионные явления: различные овраги, балки, западины, сухие конусы выноса; всевозможные просадки, блюдца, оползни, оплывины, выходы родников, отмечаются все виды деятельности человека — разработка карьеров, буровые работы, строительство дорог, сброс промышленных стоков, применение минеральных удобрений и ядохимикатов, оросительные и осушительные мелиорации и т. д. Обращается внимание на высотное положение местности (вертикальная зональность), так как мезо- и макрорельеф влияют на комплексность и пятнистость почвенного покрова и его агрономические свойства.

Основные типы рельефа суши. В СССР распространены следующие типы макрорельефа (см. рис. 77): эрозионно-тектонический — горные районы, структурный — плоскогорья, скульптурный — возвышенности, аккумулятивный — равнины. По генезису рельеф обычно подразделяют на *гляциальный, флювиальный, аридный,*

морской (геоморфологическая карта европейской части СССР и Кавказа, масштаб 1 : 2500 000, 1966).

Г л я ц и а л ь н ы й р е л ь е ф. Он имеет несколько разновидностей.

1. *Гляциальный аккумулятивный.* Характерен для поверхности горных ледников с грядами морен и с поднимающимися над ними горными гребнями и пиками высотой свыше 2500 м.

2. *Гляциальный реликтовый, слабопереработанный, денудационный и аккумулятивный.* Распространен в горах и на равнинах, холмы, гряды которых высотой 150—300 м сложены ледниковыми отложениями.

3. *Гляциальный реликтовый, сильно переработанный.* Денудационный — горы, равнины, сложенные коренными породами, местами перекрытыми ледниковыми отложениями; аккумулятивный — равнины, сложенные моренными отложениями. Этот тип рельефа широко распространен в РСФСР.

Ф л ю в и а л ь н ы й р е л ь е ф также имеет несколько разновидностей:

1. *Флювиально-гляциальный, аккумулятивный.* Сложен песками, глинами. Широко распространен на севере РСФСР.

2. *Флювиальный аккумулятивно-денудационный и денудационный.* Первый широко распространен в поймах многих рек (пески, супеси, галечники), на надпойменных террасах (пески, глины, галечники), второй развит на междуречьях, где коренные породы прикрыты небольшим чехлом элювия. Распространен в нечерноземных районах СССР; характерны овражно-балочные формы.

Флювиально-делювиальные, флювиально-гравитационные, флювиально-морские и пролювиальные формы, относящиеся к этой группе, менее распространены на территории Русской равнины.

А р и д н ы й р е л ь е ф. Создан комплексной деятельностью ветра, временных водотоков, гравитационных процессов в условиях аридного климата. Денудационный подтип распространен и в горах, и на равнинах.

В горах развит сопочно-грядовый рельеф с широким распространением структурных останцовых форм, сложенных коренными породами. Широко развиты осыпи, мелкие конусы выноса. На равнинах преобладают плоские плато и низменности, осложненные останцами; в плоских понижениях — тапыры, солончаки. Коренные породы перекрыты тонким чехлом элювия.

М о р с к о й и о з е р н ы й р е л и к т о в ы й. Аккумулятивные формы распространены на плоских равнинах, осложненных «лиманами», реликтовыми косами, барами, пересыпями; абразионно-аккумулятивные — представлены террасированными равнинами с реликтовыми абразионными уступами, сложенными коренными породами, перекрытыми чехлом морских отложений.

И с к у с с т в е н н ы й р е л ь е ф. В связи с возросшим влиянием человека на природу уместно выделение искусственных форм рельефа, обязанных своим происхождением человеку: рельефа

водохранилищ и ирригационных каналов, ТЭЦ и каскада плотин, руднично-шахтного, фабрично-заводского, железнодорожных узлов, аэродромов, больших городов.

Гляциальные формы рельефа

Совокупность форм рельефа, состоящая из различных впадин, многочисленных валов, котловин между ними, крупных валунов (рис. 79), бараньих лбов, называют *моренным*, или *ледниковым рельефом*. Для него обычны острота и резкость форм, обусловленные экзарационной деятельностью ледника, штриховка, борозды на породах, ледниковые ворота, котлы, грибы и т. д. *Борозды и штриховка* представляют собой царапины и шрамы, тянущиеся параллельно направлению движения бывшего ледника. *Столы и грибы*



Рис. 79. Ледниковые валуны около Чудского озера

образуются вследствие падения пород на поверхность ледника. Поверхность валуна предохраняет лед от таяния, в результате валун через некоторое время оказывается сидящим на ледяной «ножке» наподобие стола или гриба.

Аккумулятивные ледниковые формы прослеживаются в средней полосе европейской части СССР. Они представлены зандровыми равнинами, озами, камами, друмлинами, конечными моренами, моренными озерами и т. д.

Зандровые поля широко распространены на Русской равнине у окраины четвертичных материковых ледников. Обычно они представляют собой слившиеся плоские конусы выносов подледниковых потоков. Примером зандровых равнин являются Припятское и Мещерское полесья.

Гряды, имеющие форму длинных узких валов, сложенных несортированным гравийно-галечным моренным материалом, называют *озами*. Озы протягиваются на 30—40 км, ширина их у основания

40—100 м, у гребня — 4,5 м, высота — от 25 до 30 м. Озы распространены на равнинах в северо-западной части СССР, в Финляндии, а также в горах — Алтае, Альпах. На поверхности озв встречаются глубокие воронки — озовые котлы.

Камы представляют собой формы рельефа, образовавшиеся в ледниковый период при таянии ледника. Это беспорядочно разбросанные холмы высотой до 100 м, сложенные сортированными слоистыми песками с примесью валунного материала, разделенные впадинами в виде бессточных, иногда занятых озерами, заболоченных котловин. Образуются у края материковых ледников в условиях их отступления. В СССР распространены в Ленинградской области, 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 конечных морен. Ядро друмлин часто сложено коренными породами, реже флювиогляциальными отложениями. Скопление друмлин образует так называемый друмлиновый ландшафт, распространенный в Ленинградской, Псковской, Новгородской областях.

К гляциальным относят и формы рельефа, связанные с различными *криогенными* явлениями. Эти явления характерны для районов распространения многолетнемерзлых пород.

Уничтожение растительного покрова, глубокая вспашка, разработка месторождений полезных ископаемых, проведение шоссейных и железных дорог, например начатое строительство Байкало-Амурской магистрали, приводят к оттаиванию мерзлых пород и различным суффозионно-эрозионным явлениям. К числу их относится *солифлюкция* (*solum* — почва, *fluctus* — течь). Под этим процессом понимается медленное передвижение поверхностных слоев по уклону при сильном насыщении их водой. Он возникает при таянии льда, снега и отсутствии возможности для воды просачиваться вниз из-за расположенных на небольшой глубине непроницаемых мерзлых горных пород.

Процесс протаивания многолетнемерзлых пород с образованием многоугольных неглубоких ложбин, морозобойных трещин именуют *термокарстом*.

Широко распространены в Якутии, Восточной Сибири *тарыны* (наледи). Это сезонное или многолетнее явление, состоящее в том, что зимой при сильных морозах на поверхность из почвы изливается вода, которая обычно сразу замерзает, образуя слоистый ледяной покров, ледяное поле.

При замерзании воды и образовании льда в грунтах возникают *бугры вспучивания* с ледяным ядром (рис. 80). Их называют также гидролакколитами. Бугристые заболоченные участки именуют *мари*.

Тарыны, гидролакколиты, процессы солифлюкции отрицательно сказываются на сельском хозяйстве, так как приводят в негодное состояние различные угодья.

При работах в зоне многолетнемерзлых пород для регулирования теплообмена в породах применяют два диаметрально противоположных метода — специальное охлаждение пород или их разогрев.

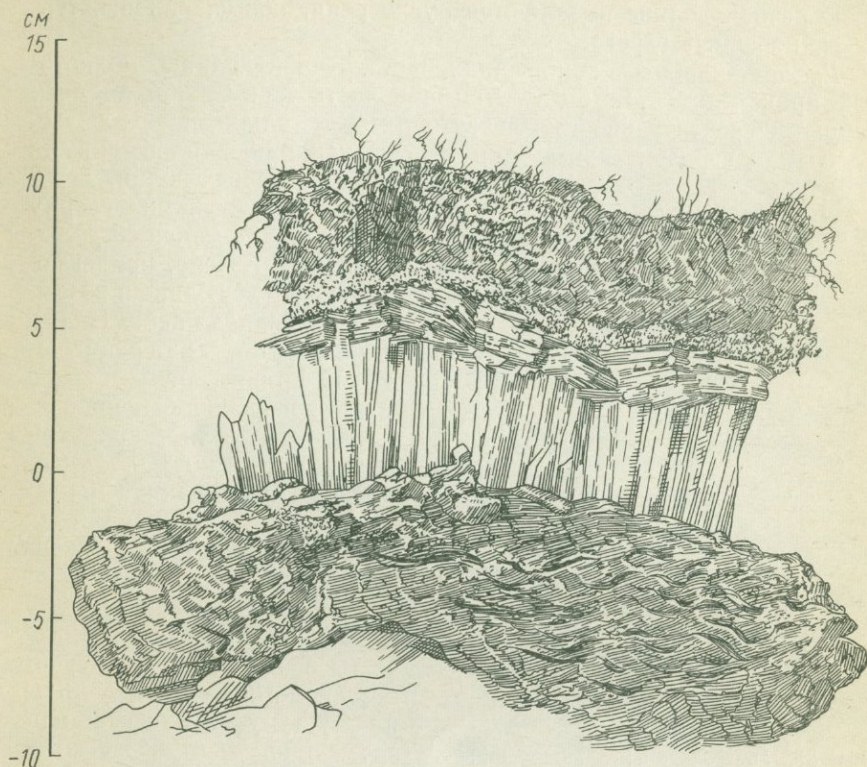


Рис. 80. Шестоватые ледяные кристаллы с ледяными шапками наверху приподняли корку подсохшего грунта (пучение)

Так, при строительстве фундаментов зданий с помощью специальных свай берегут мерзлоту от «теплового влияния» постройки, а при разработке россыпных месторождений стремятся сохранить оттаявший грунт от нового промерзания.

Флювиальные формы рельефа

Эти формы рельефа многочисленны: распространены в поймах, на террасах рек, на междуречьях, в горных странах.

Речные долины. Узкое, вытянутое в длину и большей частью извилистое углубление в земной поверхности, имеющее на всем протяжении уклон от верховьев к устью, называют *речной долиной*. При встрече долины никогда не пересекаются, а сливаются, образуя одну общую полную форму. Их размеры как в длину, так и в ширину и в глубину могут быть весьма различными. Происхождение

равнинных речных долин в основном эрозионное, иногда в их возникновении и развитии играют роль и другие геологические процессы.

В речной долине выделяются русло реки, пойма, склоны, террасы, коренные берега.

Русло — наиболее пониженная часть речной долины, по которой происходит сток воды. *Пойма* — часть дна речной долины, покрытая растительностью и затопляемая только в половодье.

Террасы — горизонтальные или слегка наклонные площадки на

склонах речных долин, ограниченные уступами сверху и снизу. *Коренной берег* — часть водораздела, прилегающая к речной долине и возвышающаяся над ней. В его строении отложения реки участия не принимают.

В поперечном направлении пойма делится на три части: *прирусловая пойма* — наиболее возвышенная и расчлененная, поднимается на несколько метров над меженным уровнем реки; *центральная пойма* — несколько более ровная, занимает среднюю часть и прилегает к коренному пологому склону долины или уступу следующей террасы; *притеррасная пойма* — наиболее пониженная часть, имеет вид заболоченной ложбины, где находятся болота, озера, старицы.

Пойменная терраса может быть разной ширины; это обус-

ловливается характером геологического строения русла и водностью реки.

Террасы (рис. 81) бывают *аллювиальные* (аккумулятивные) и *эрозионные* (денудационные). Аллювиальные надпойменные террасы — это более или менее горизонтальные площадки, отделенные друг от друга уступами, представляющие остатки прежних днщ речных долин, сформировавшихся при более высоком уровне реки. Процесс образования надпойменных террас тесно связан с изменением режима течения реки, вызванном геологическими и климатическими причинами, деятельностью человека. К первым относятся колебательные движения — поднятия в верховьях реки, понижение базиса эрозии и т. д., ко вторым — строительство крупных гидротехнических сооружений (шлюзов, плотин, каналов), суще-

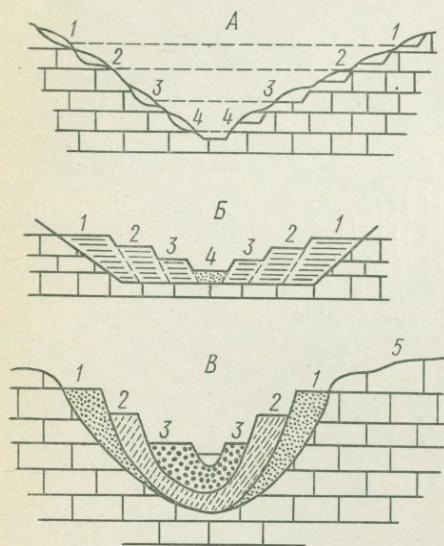


Рис. 81. Морфология различных террас: А — террасы эрозионные, цокольные, В — террасы аккумулятивные — «наложенные», В — террасы аккумулятивные — «вложенные»:

террасы 1—1 — наиболее древние, 4—4 — наиболее молодые, 5 — коренной берег

ственно изменяющих уклоны рек, их водность. 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. Такой процесс может повторяться неоднократно, поэтому на склонах долин образуется несколько этажей (ярусов) террас (рис. 82).

Эрозионные террасы образуются в результате размыва пород разной устойчивости. Относительно ровная поверхность структурной террасы совпадает с поверхностью определенного, обычно с меньшей устойчивостью пласта из числа тех, что составляют склоны долин. Цокольные террасы характерны для рек, текущих в горных местностях.

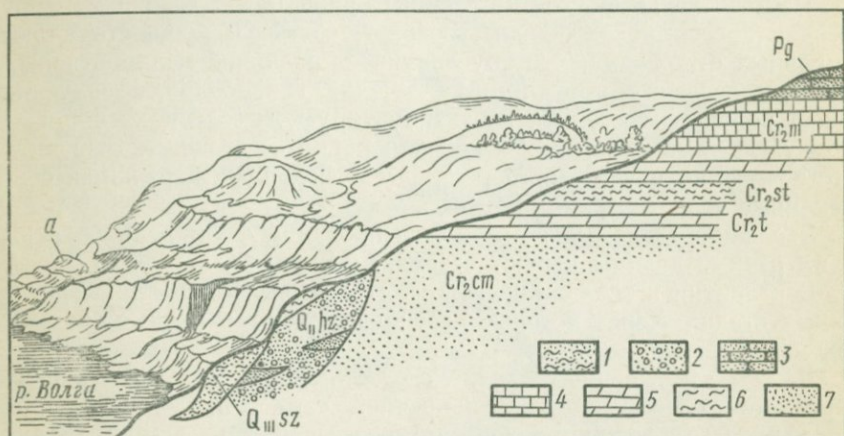


Рис. 82. Ступенчатое строение склонов долин Волги в верхнемеловых породах. Внизу — аккумулятивные террасы,верху — структурные. Вдали оползневый склон (а):

1 — супесь, 2 — песок с галькой, 3 — песчаник, 4 — мел писчий, 5 — мергель, 6 — глина, 7 — песок мелкозернистый

Устья рек. Только небольшую часть отложений река оставляет в среднем и нижнем течении. Основную массу аллювия она выносит в устье и здесь его откладывает.

Конус выноса реки, аллювиальная равнина, отвоеванная рекой у моря, имеет в плане форму греческой буквы Δ и называется *дельтой*. Многочисленные плодороднейшие аллювиальные равнины занимают древние дельты рек.

Асимметрия речных долин. Наблюдениями 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*¹ (1857) и обусловлено

¹ К. М. Бэр — русский ученый, член Российской Академии Наук.

неодинаковой скоростью вращения отдельных точек земной поверхности с запада на восток в различных широтах. На экваторе каждая точка Земли движется со скоростью 1666 км/ч, на 60° широты скорость движения в два раза меньше, а на полюсе равна нулю. В силу закона инерции частички воды реки отстают в своем движении от движения Земли, отклоняются вправо, ударяются и подмывают правый, западный (для рек Северного полушария) берег.

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.

Часто отдельные участки долины одной и той же реки имеют неодинаковое происхождение, возраст, состав и мощность аллювиальных отложений, что обуславливает различие мелиоративных методов освоения придолинных земель. Так, большое значение имеет вопрос: имеется ли на эксплуатируемом сельскохозяйственном угодье отток грунтовых вод или район бессточный. Выяснить это возможно, изучив микрорельеф участка, водный режим и современные геологические процессы.

Эволюция форм рельефа. В формировании форм рельефа реки и их речные долины играют весьма большую роль.

В развитии и эволюции рельефа страны выделяется ряд эрозионных стадий, через которые обычно проходят и речные системы (схема В. М. Дэвиса).

Первая стадия — детства, молодости. Стадия детства характеризуется слаборазветвленной речной сетью, продольный профиль русла (профиль равновесия) не выработан, долина узкая, порожистая, уклон реки неравномерный. Преобладает глубинная эрозия, река углубляется, врезает свое русло. Аллювия откладываются 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 эрозионная деятельность начинает постепенно замедляться, наступает *стадия дряхлости*, долины заполняются аллювием, по которому, сильно меандрируя, медленно текут реки, образуются старицы, затоны (рис. 83, А). 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.

Схема В. М. Дэвиса весьма условна и ко многим равнинным рекам СССР неприменима.

Современная гидрографическая сеть во многих областях СССР, испытавших материковое оледенение, сформировалась уже после ухода последнего ледника. Ледник подпруживал ряд рек. После его таяния и ухода реки проложили себе новые молодые долины.

На месте старых доледниковых долин образовались озера, болота и мощные толщи древнеаллювиальных отложений.

Процесс формирования долин важен для понимания истории рельефа и возраста некоторых материнских пород и почв, а также инженерного строительства.

Медленные и постепенные изменения земной поверхности происходят в зависимости от геологического строения данной местности, тектоники и состава пород. В итоге поверхность страны постепенно утрачивает все черты горного и холмистого рельефа и приближается к равнине, которая называется *пенепленом*.

Однако развитие рельефа (от детства к дряхлости) может быть нарушено новыми движениями коры, которые создают условия для нового эрозионного этапа (оживление эрозии), вследствие чего

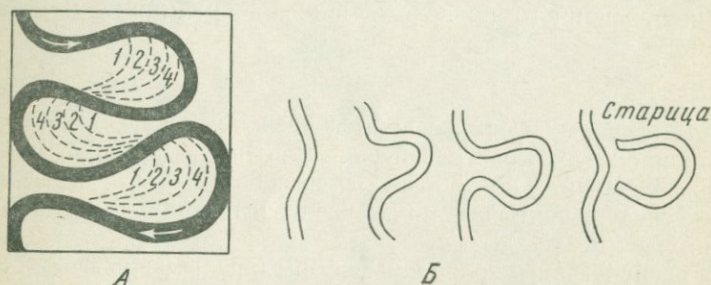


Рис. 83. А — развитие меандров вниз по долине; Б — схема развития и отмирание меандра

каждый раз развитие рельефа может протекать по-иному. Так, в стадию зрелости проявляется боковая эрозия, происходящая попеременно то на правом, то на левом берегу.

Другие флювиальные формы рельефа. В предгорных и горных странах поверхностные воды создают своеобразные формы рельефа — делювиальные плащи, конусы выноса. Делювиальные плащи образуются в нижних частях склонов гор и их подножий и состоят из смытого со склонов делювия, состав которого зависит от горных пород, слагающих склоны, его крутизны и интенсивности стока.

Конусы выноса — формы рельефа, образованные скоплением рыхлого обломочного материала в устьевой части потоков при выходе их из гор на предгорные равнины. Конусы выноса некоторых рек Средней Азии, Закавказья занимают значительные площади, на них расположены населенные пункты. На плодородных почвах конусов выноса выращивается хлопчатник. Иногда конусы выноса относят к формам аридного рельефа.

Во многих предгорных районах Средней Азии, где длительное время осуществлялось орошение, образовались мощные толщи так называемых «*ирригационных отложений*», представленных мелкоземом.

Рельеф бедленд (англ. badlands — буквально «дурные» земли). Представляет собой резко расчлененный рельеф, состоящий из запу-

танных ветвящихся оврагов и разграничивающих их узких водоразделов. Этот рельеф возникает на водоупорных глинистых породах в полупустынных районах СССР (предгорья Средней Азии, Казахстан).

В зависимости от положения базиса эрозии и состава пород текущие воды¹ формируют различные типы ландшафта.

1. *Овражно-балочный*. Основные формы рельефа — овраги и балки, разделенные слегка выпуклыми водоразделами. Характерен для равнинно-возвышенных участков степной и лесостепной зон СССР.

2. *Сыртовой рельеф*. Водоразделы расчленены неглубокими понижениями, долинами (Высокое Заволжье) (от тюрк. «сырт» — возвышенность).

3. *Рельеф грив*. Характеризуется узкими пологими возвышенностями эрозионного происхождения. Распространен в Западной Сибири.

Аридные формы рельефа

Типы песчаных форм рельефа в различных областях. Эоловые пески широко распространены в пустынях, полупустынях, на побережье морей. Они образуют своеобразные формы рельефа, которые следует учитывать при почвенных и агрохимических исследованиях.

По распространению аридные формы рельефа обычно подразделяют на четыре группы: материковые, приморские, приозерные и приречные.

Бархан — форма рельефа, образовавшаяся в условиях чрезвычайно сухого воздуха, инсоляции и резких колебаний температуры. Эти условия характерны для пустынь. Бархан представляет собой асимметричный холм подвижного песка. У него различают два склона — наветренный, длинный, пологий (уклон до 12—15°), с острым гребнем и подветренный, короткий, крутой, причем уклон соответствует углу естественного 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. 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, приносимый со стороны. Ветры определенного направления приводят к массовому скоплению барханов, к появлению *барханных цепей*.

Бугристыми песками называют почти совсем неподвижные, закрепленные и преобразованные растительностью (кустарниками, саксаулами) барханные гряды. Бугры имеют небольшую высоту

¹ Типы рельефа оползневый, карстовый, просадочный описаны в главе 13, с. 142.

(до 10 м) и самую разнообразную форму (кос, гребней). Они протягиваются на десятки километров в песчаных пустынях Средней Азии.

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.

Приморские, приозерные и приречные пески образуют одинокие холмы — *дюны*. Приморские дюны обычно превосходят приозерные и приречные по величине и площади распространения.

Вследствие сдувания песка с гребня дюны могут передвигаться все дальше и дальше, создавая угрозу культурным землям.

Для образования морских дюн необходимы пологое строение берегов (пески), ветры определенного направления и силы, морские течения и определенный характер колебательных движений. Установлено, что 90% дюн Европы находится на берегах, испытывающих опускание, и только в немногих местах они известны на берегах поднимающихся.

Геоморфологическое районирование

На геоморфологической карте СССР (С. С. Воскресенский, 1966) выделены *равнины — платформы* (4 провинции), *складчатые системы* разного возраста (8 провинций), отличающиеся друг от друга и мощностью четвертичных отложений.

I. Древние платформы с допалеозойским складчатым фундаментом (основанием): 1) Русская платформа — равнина, 2) Сибирская платформа — плоскогорья и низменности.

II. Платформы — плиты с палеозойским складчатым основанием:

3) Западно-Сибирская платформа — плита, 4) Туранская платформа — плита, равнины Средней Азии.

III. Складчатые системы: 5) низкогорья и денудационные равнины Центрального Казахстана, 6) Урал, 7) горы Средней Азии, 8) горы южной Сибири (Саяны, Алтай), 9) горы и равнины Дальнего Востока, 10) горы и равнины Северо-Востока, 11) горные сооружения альпийской складчатой зоны (Карпаты, Крым, Кавказ), 12) горные сооружения тихоокеанской складчатой зоны.

Выделенные провинции отличаются характером тектонических движений (тенденции к опусканиям свойственны, например, Западно-Сибирской плите, к воздыманиям — Сибирской платформе), неодинаковой мощностью и возрастом осадочных пород, наличием крупных структур — антеклиз и синеклиз, геологической историей, формами рельефа, залеганием грунтовых вод и составом почвенного покрова.

Особенности геоморфологических условий предопределяют состав и генезис почв, их водный режим, явления эрозии, заболачивания и засоления и в связи с этим — характер мелиорации.

КАРТЫ И ПРИНЦИПЫ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО
СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Карты. Геологические карты — очень важный документ, необходимый как для поисков и разведки полезных ископаемых, так и для строительных работ, почвенных и инженерно-геологических исследований.

Геологическая карта (рис. 84, А) — графическое изображение на горизонтальной плоскости выходящих на поверхность Земли геологических образований в определенном масштабе определенными условными обозначениями. Геологическая карта отражает строение только верхних частей коры и поэтому является двухмерным плоскостным изображением трехмерных объемных тел — пластов горных пород. Для чтения геологической карты необходимы определенные навыки.

Чертеж, изображающий геологическое строение в виде сечения местности вертикальной плоскостью, проведенной по возможности под прямым углом к простиранию горных пород, называется *геологическим профилем*, или *разрезом*. Горизонтальный масштаб берут тот же, в каком составляется геологическая карта, или более крупный. Вертикальный масштаб в зависимости от масштаба изображений берут по отношению к горизонтальному часто преувеличенным (рис. 84, Б).

Геологические карты различают по масштабам, содержанию (типу и характеру) и условным обозначениям.

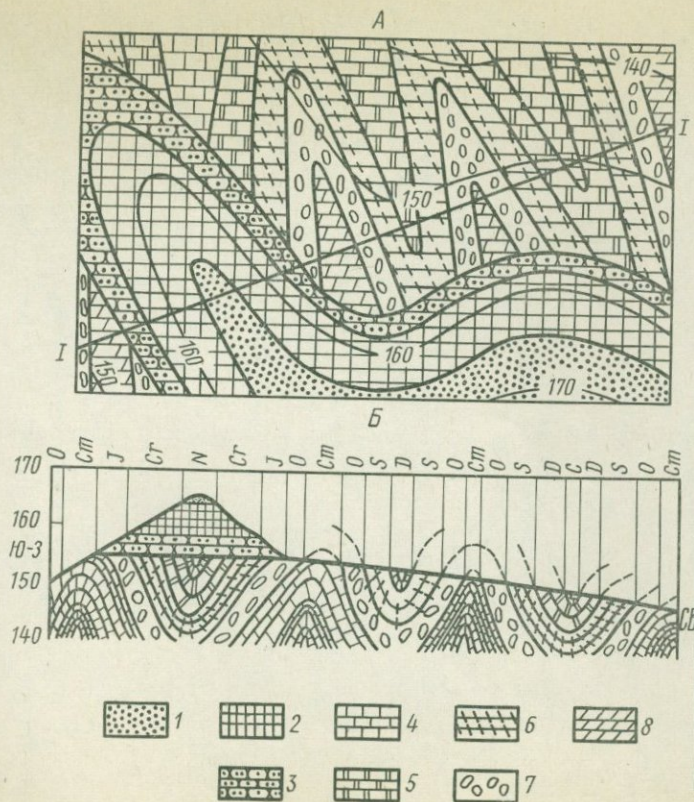
Масштабы карт. Масштаб — это численное выражение, показывающее, во сколько раз расстояние между двумя точками на карте уменьшено по сравнению с расстоянием на местности.

Среди геологических карт наибольшим распространением пользуются карты масштаба 1 : 1 000 000 и 1 : 500 000, в которых в настоящее время составляется государственная геологическая карта СССР.

Масштаб карт определяется ее целевым назначением. Различают карты *обзорные* и *региональные*, изображающие геологическое строение отдельных стран, областей; карты *детальные* (масштабы 1 : 200 000 и 1 : 50 000), позволяющие конкретно разрешать различные задачи, и, наконец, карты *специальные* (1 : 25 000 и крупнее), изображающие какую-либо одну особенность геологического строения района, например глубину залегания грунтовых вод (гидрогеологическая карта) или распространение в районе оползней, просадок, карста, карта современных физико-геологических явлений.

Типы и характер карт. Условные обозначения на геологических картах наносятся красками, штрихами либо индексами.

По характеру геологические карты подразделяются на две большие группы: карты геологические — *стратиграфические* (*возрастные*) и карты *литологические* (*вещественного состава*); иногда их совмещают и тогда карта называется *стратиграфо-литологической*.



В

Группа	Система	Индекс	Колонка	Мощность, м	Краткая характеристика пород
Мезозойская	Неоген	N		4	Песок
	Мел	Сг		7	Мел
	Юра	J		13	Песчаник крупнозернистый
Палеозойская	Карбон	C		400	Известняк
	Девон	D		500	Доломит плотный
	Силур	S		500	Аргиллит
	Ордовик	O		400	Галечник слабоцементированный
	Кембрий	Сп		более 500	Мергель с прослоями глин

Рис. 84. А — геологическая карта; Б — геологический профиль I—I; В — стратиграфическая колонка:

1 — неоген, 2 — мел, 3 — юра, 4 — карбон, 5 — девон, 6 — силур, 7 — ордовик, 8 — кембрий

На стратиграфических картах условными красками и индексами (латинскими буквами) обозначается возраст тех или иных выделенных на карте отложений. Эта группа геологических карт наиболее распространена.

Условные обозначения геологических систем на картах в красках, по предложению знаменитого русского геолога акад. А. П. Карпинского, были утверждены на Международном геологическом конгрессе еще в 1881 г. Они, так же как и начальные латинские буквы — индексы, обозначающие названия геологических систем, обязательны для геологов. Геологические карты любой страны могут быть прочитаны специалистами по цветам красок и индексам без знания иностранного языка.

Условные обозначения, цвета и индексы на картах следующие.

<i>Возраст</i>	<i>Цвет</i>	<i>Индекс старый</i>	<i>Индекс новый</i>
Архейская эра (докембрий)	Розовый	A	AR
Кембрий	Сине-зеленый (темный)	Sm	Є
Ордовик	Оливковый	O	
Силур	Серо-зеленый (светлый)	S	
Девон	Коричневый	D	
Карбон	Серый	C	
Пермь	Оранжево-коричневый	P	
Триас	Фиолетовый	T	
Юра	Синий	J	
Мел	Зеленый	Gr	K
Палеоген	Оранжево-желтый	Pg	P
Неоген	Лимонно-желтый	N	
Четвертичный период — антропоген	Желтовато-серый с разными оттенками	Q	

Магматические кислые породы закрашиваются красными тонами, основные — зелеными; метаморфические — розоватыми.

Возраст магматических пород показывают с помощью цвета и заглавных и строчных букв греческого алфавита: например, мезозойские интрузии γ_3 — гамма строчная, светло-желтый цвет; палеозойские — γ_2 — оранжевый цвет, допалеозойские — γ_1 — фиолетовый цвет. Основные интрузии — ν — ню строчная (габбро, габбро-диориты), ярко-зеленый цвет; траппы — $\nu\beta$ — ню и бета строчные, зеленый цвет; ультраосновные интрузии — Σ — сигма прописная (пироксениты, перидотиты), лиловый цвет; щелочные интрузии — E — эпсилон прописная; четвертичные эффузии — β — бета (лапариты, трахиты, андезиты, базальты и др.), светло-зеленый цвет.

Среди разных геологических карт можно выделить карты *дочетвертичных*, или *коренных*, *отложений* и *четвертичных отложений*.

Подавляющая часть геологических карт является *стратиграфическими* (возрастными) *картами коренных отложений*, где общепринятыми условными обозначениями выделяют породы дочетвер-

тичного возраста. Обычно для их построения пользуются картами топографическими с горизонталями или без них. В последнем случае ориентируются в рельефе по гидрографической сети, указывающей, что долины крупных рек — самое низкое место в рельефе, а междуречья — водораздельные пространства — наиболее возвышенные участки в данной местности.

Для большей наглядности геологических карт принято древние слои пород обозначать более темными тонами, молодые — более светлыми. Например, в отложениях мела выделяют ранний отдел K_1 — более древний и поздний K_2 — более молодой. Первый обозначается темно-зеленым цветом, второй — более светлым. Соответственно девон ранний, средний и поздний (D_1 , D_2 , D_3) закрашивают от темно-коричневого до более светлых тонов. Более дробное деление (например, позднего девона — D_3) производится при помощи цифр, которые пишутся как показатель степени — D_3^1 — D_3^i и читается так: девон поздний, первый горизонт; девон ранний, третий горизонт. D_3^1 моложе, чем D_3^i . При штриховых обозначениях более древние слои должны быть даны более густой штриховкой, чем более молодые.

Геологические карты при внимательном рассмотрении представляют собой очень сложный рисунок, состоящий из множества линий, контуров, отражающих не только достоверные объекты — выходы пород на поверхность, но и границы их распространения, невидимые на дневной поверхности, которые приходится лишь предполагать. Так как почти всюду под почвами залегают породы четвертичного периода, имеющие сравнительно небольшую мощность, то они обычно с карты снимаются. Для четвертичных отложений составляются специальные карты, показывающие распространение этих отложений. Если мощность четвертичных отложений очень значительна и геологи еще не знают, породы какого возраста залегают под ними (например, некоторые участки Прикаспийской низменности, Западно-Сибирская низменность), тогда показывают и их.

Для складчатых зон земной коры обычно составляются только карты дочетвертичных (коренных) пород, так как мощность рыхлых отложений здесь обычно невелика. Карты имеют сложный узор линий — контуров, так как границы выхода пород на дневную поверхность (магматических, осадочных и метаморфических) весьма причудливы. Этот «узор» отражает взаимоотношение осадочных и магматических пород на глубине, указывает на то, что нередко породы залегают не горизонтально, в отдельных местах размыты, смяты в складки; рядом с молодыми породами выходят и более древние, иногда речная сеть пересекает выходы разнообразных по возрасту горных пород, совершенно не согласуясь с их геологическими границами.

Анализ особенностей рельефа и условий залегания пород помогает выяснить, какие процессы тектоники или денудации преобладали в этом районе. Минеральный состав и условия залегания горных пород, их возраст и взаимоотношения друг с другом, рельеф

Сводная таблица генетических типов четвертичных отложений

Группа и парагенетический ряд		Генетический тип	Индекс		
			преж- ний ¹	но- вый ²	
Вулканические образования				β	
Морские отложения			m	m	
Антропогенные (техногенные) отложения			a	t	
Континентальные осадочные образования	Элювиальный ряд		Элювий	el	e
	Склоновый ряд	Гравитационные отложения (коллювий)	Почва	pd	
			Обвальные и осыпные накопления	gr	
			Оползневые накопления	dp	
			Солифлюкционные накопления	dfs	
			Делювий	dl	d
	Ряд отложений русловых водных потоков		Аллювий	al	a
			Пролювий	pl	p
	Ряд озерных отложений		Озерные отложения в целом	l	l
			Химические осадки (соли)	ch	
	Органогенные болотные отложения		Торфяники	h	
	Ледниковый ряд		Ледниковые отложения (морены)	gl	g
			Флювиогляциальные отложения	fgl	f
			Лимногляциальные отложения	lgl	l
	Эоловый ряд		Эоловые пески Эоловый лёсс	al — s al — ls	

Группа и парагенетический ряд		Генетический тип	Индекс	
			преж- ний ¹	но- вый ²
Континен- тальные осадочные образования	Смешанные генетиче- ские типы	Элювиально-делювиаль- ные отложения	eld	ed
		Делювиально-пролю- виальные отложения	dlpl	dp
		Делювиально-аллюви- альные отложения	dlal	da
		Аллювиально-пролю- виальные отложения	alpl	ap
		Аллювиально-озерные отложения	lal	al
Отложения проблематического генезиса			pr	.
Лёссовые породы				L

¹ Материалы Всесоюзного совещания по изучению четвертичного периода, т. 1, 1961, т. 2, 3, 1961. Изд-во АН СССР.

² Карта четвертичных отложений СССР. М-б 1:7 500 000, 1966, под ред. Г. С. Ганешина.

местности — все это, вместе взятое, дает материал для выяснения основных этапов геологической истории данной области, помогая определить, чем интересен район и каковы его особенности для почвенных и агрохимических исследований.

Для составления почвенных и агрохимических карт большое значение имеют карты четвертичных отложений, характеризующие состав почвообразующих пород и предопределяющие их водный режим. Большинство таких карт составляют на генетической основе, при этом обычно пользуются типами и индексами четвертичных отложений, приведенных в табл. 10.

Общепринятой раскраски генетических типов четвертичных отложений еще не установлено, литологические разности обозначаются так, как показано на рис. 85.

Разновидности карт. Карты, на которых изображается вещественный состав пород, называются *литолого-петрографическими* и создаются на стратиграфической основе. На них выделяется состав пород условными штрихами (см. рис. 85). Подобные карты представляют большой интерес для почвоведов.

При почвенных и агрохимических исследованиях используются и другие карты. Например, карты, на которых отображаются формы, генезис и возраст рельефа (*геоморфологические*), химический состав и глубина залегания грунтовых вод, водоисточники (*гидрогеологи-*

ческие), выходы на поверхность различных полезных ископаемых — фосфоритов, известняков, известнякового туфа и др. (карты полезных ископаемых) и т. д.

Геоморфологические карты дают представление о разделении участков местности, различных по форме, генезису и возрасту элементов рельефа. Карты могут быть *морфографическими* и *морфогенетическими*.

Первые ставят задачу дать наглядное изображение рельефа по внешним признакам; на них показывают: высокогорья, горы, холмы — увалы, равнины.

Вторые показывают размещение форм рельефа, отличающихся генезисом или геологическим возрастом. Например, флювиальный рельеф с поверхностями эрозии (размыва), аккумуляции (намыва). Формы рельефа — овражные террасы, конусы выноса, русла рек, старицы; далее — террасы, дельты, аллювиальные равнины. Возраст отложений — аллювий современный, пойменный — alQ_4 , на древних террасах — второй эпохи оледенения — alQ_2 .

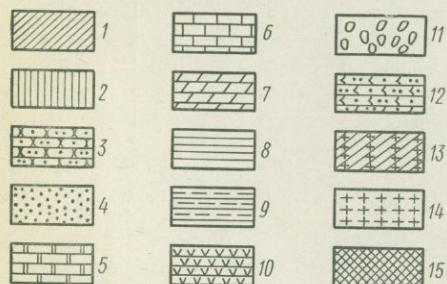


Рис. 85. Штриховые условные знаки:

1 — суглинок, 2 — лёсс, 3 — песчаник, 4 — песок, 5 — доломит, 6 — известняк, 7 — мергель, 8 — глина, 9 — глинистый сланец, 10 — гипс, 11 — галечник, 12 — кварцит, 13 — гнейс, 14 — гранит и другие магматические породы, 15 — вулканические туфы и пеплы

от целевого назначения и задач полевая геологическая съемка подразделяется на *маршрутную* и *площадную*.

Маршрутная, или рекогносцировочная, съемка проводится в малонисследованных районах и ведется по каким-либо направлениям — чаще всего по рекам, иногда удаленным друг от друга на большие расстояния.

При площадной, или детальной, съемке район покрывается маршрутами более или менее равномерно.

Геологическая съемка может быть мелкомасштабной (1 : 1 000 000 и 1 : 500 000), среднемасштабной (1 : 200 000 и 1 : 100 000) и крупномасштабной, или детальной (1 : 50 000 и крупнее).

Для проведения геологосъемочных работ необходимы горный компас, anerоид-высотомер, бинокли, фотоаппараты, молотки геологические, походные гидрохимические лаборатории, паяльная трубка, бур геолога и т. д.

К карте прилагается краткая объяснительная записка.

Приемы и методы полевых работ. Одним из основных видов полевых работ является *геологическая съемка* — метод изучения геологического строения верхних частей земной коры. Геологическая съемка состоит из трех этапов: *подготовительных работ, полевых исследований и камеральной обработки* собранных материалов. В зависимости

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. Их определяют при помощи горного компаса.

Горный компас (модель геологоразведки) состоит из доски компаса (рис. 86), имеющей вид четырехугольного основания,

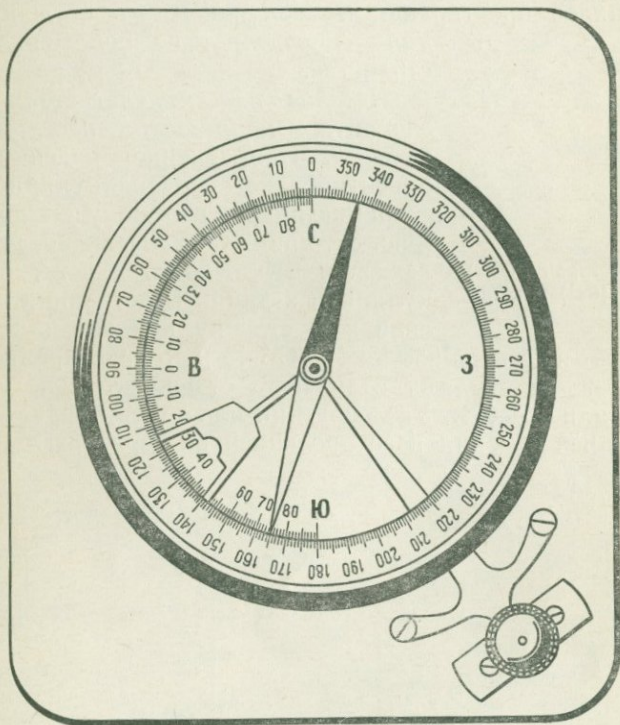


Рис. 86. Горный компас

круглой коробки с лимбом, отвеса — клинометра, острия, магнитной стрелки, пкровного стекла с удерживающей его пружиной и тормозного приспособления магнитной стрелки. Отсчеты делаются по северному концу магнитной стрелки. Лимб разделен на 360° . В горном компасе в отличие от обыкновенного градусы нанесены против часовой стрелки. Градуировка лимба произведена через один градус, цифры 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 на горном компасе переставлены. Градуировка лимба против часовой стрелки и соответственная перестановка стран света сделана для ускоре-

ния и упрощения замеров. Компас помогает определить направление линии, с которой при измерениях совмещается одна из длинных сторон пластинки (доска) компаса; в рассматриваемом случае с линией СЮ совмещается не меридиан, а любая другая линия, направление которой с помощью магнитной стрелки требуется определить.

Простираание пласта определяется ориентировкой линии простираания, под которой понимают любую горизонтальную линию, лежащую в плоскости пласта (линия АВ на рис. 87). Угол между линией простираания и меридианом — *азимут простираания* — определяет ее положение в пространстве.

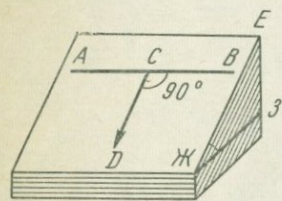


Рис. 87. Простираание (AB) и падение (CD) пласта

Падение пласта складывается из двух элементов: *направления падения* и *угла падения*. Направление падения пласта ориентировано перпендикулярно к простираанию пласта, в сторону наклона пласта (рис. 87, линия CD). Очевидно, это линия, лежащая в плоскости пласта, перпендикулярная к линии простираания и направленная в сторону наклона пласта. Если

пласт падает на северо-восток 45° (СВ 45°), то простираание определяют 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 пло-

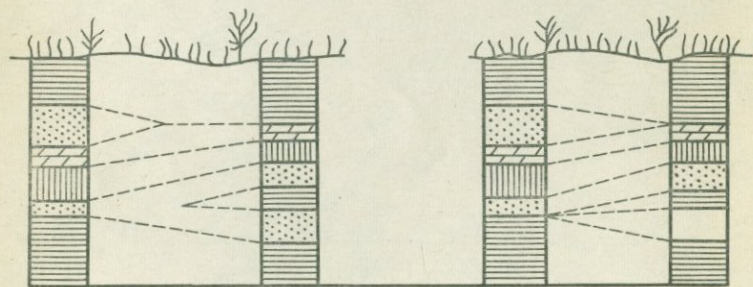


Рис. 88. Схема двух способов построения профилей по данным буровых скважин

скость (рис. 87, угол ЕЖЗ). Углы падения могут быть малыми — до 10° , средними — до 30° , большими — 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 минеральный состав, взаимоотношения; предварительно устанавливают их возраст. Одновременно ведут наблюдения за эрозией,

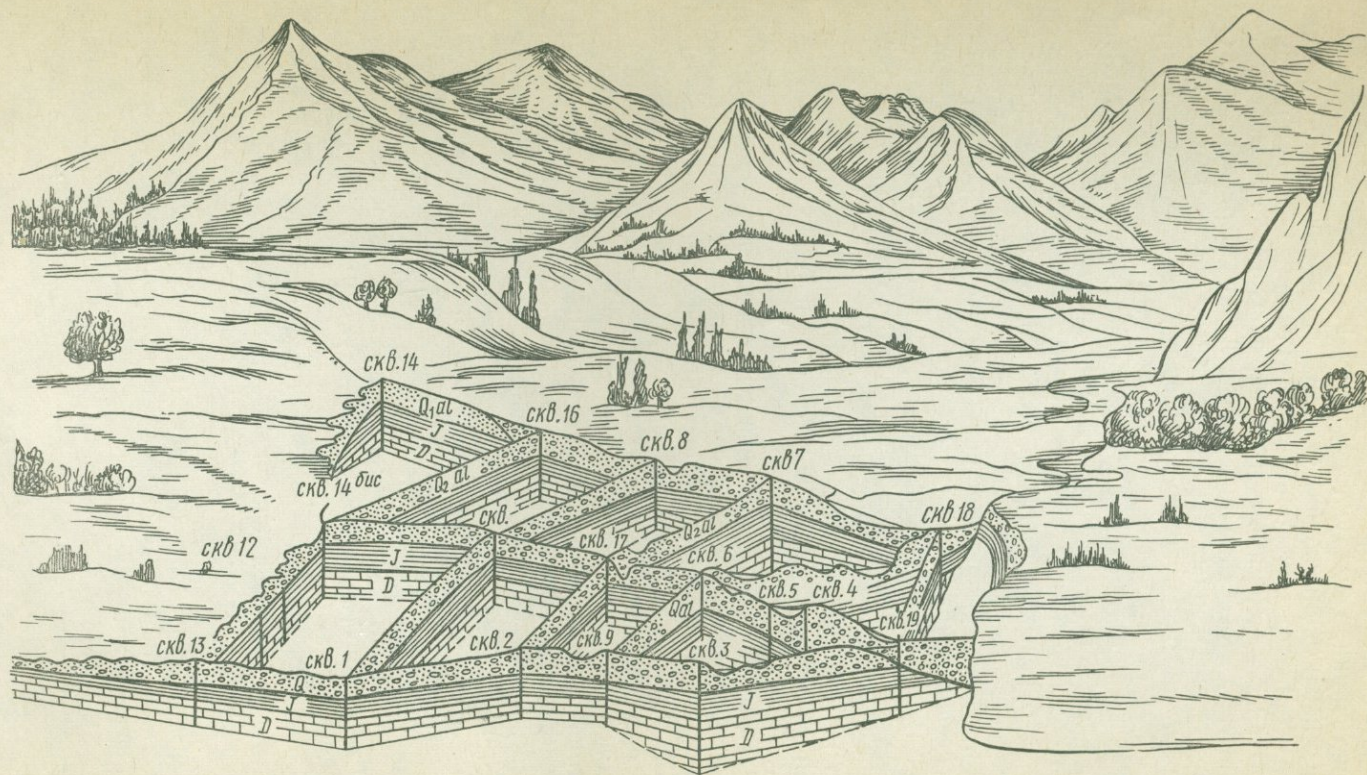


Рис. 89 Геологический разрез участка местности, построенного по данным буровых скважин

изучают рельеф, террасы и поймы рек, растительный покров, водоисточники, обследуют все выемки, осыпи.

Все наблюдения записывают в геологический дневник. Указывают местонахождение обнажений, скважин, колодцев и родников под тем же номером, что и на карте. Обнажения обычно фотографируют, а особенно интересные из них 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 масштаба съемки и задач, поставленных перед ней (съемка дочетвертичных, 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, составляют графически геологические профили (разрезы) (см. рис. 84, А, Б, В), стратиграфические разрезы, называемые геологическими колонками (рис. 88), карты и пишут геологический отчет.

Методы построения геологических колонок, профилей, карт. На макете (рис. 84) совмещены геологическая карта (А), геологический профиль I—I (Б) и стратиграфическая колонка (В). Эти геологические документы наравне с текстовой частью отчета и фотографиями служат основным материалом, свидетельствующим о проделанной полевой работе.

Прилагаемые в книге иллюстрации помогают построить по карте (рис. 84, А) геологический профиль и стратиграфическую колонку (рис. 84, В), а по данным бурения — геологический профиль (рис. 88, 89).

Геологическая карта (А) построена на топографической основе и показывает, что породы карбона, девона, силура, ордовика и кембрия имеют складчатое залегание, а породы юры, мела и неогена — горизонтальное. Ключом для чтения карты и решения вопроса о том, что местность имеет двухъярусное строение, служат горизонтали рельефа. Границы выходов неогена, мела и юры повторяют горизонтали рельефа (идут параллельно последним), а границы палеозоя пересекают границы рельефа поверхности Земли, что указывает на смятие пород в сложные складки (Б).

Стратиграфическая колонка (В) показывает последовательность залегания пластов: самые молодые слои — неогеновые, древние — кембрийские.

Более подробно методы построения по геологическим картам профилей излагаются в соответствующих курсах.

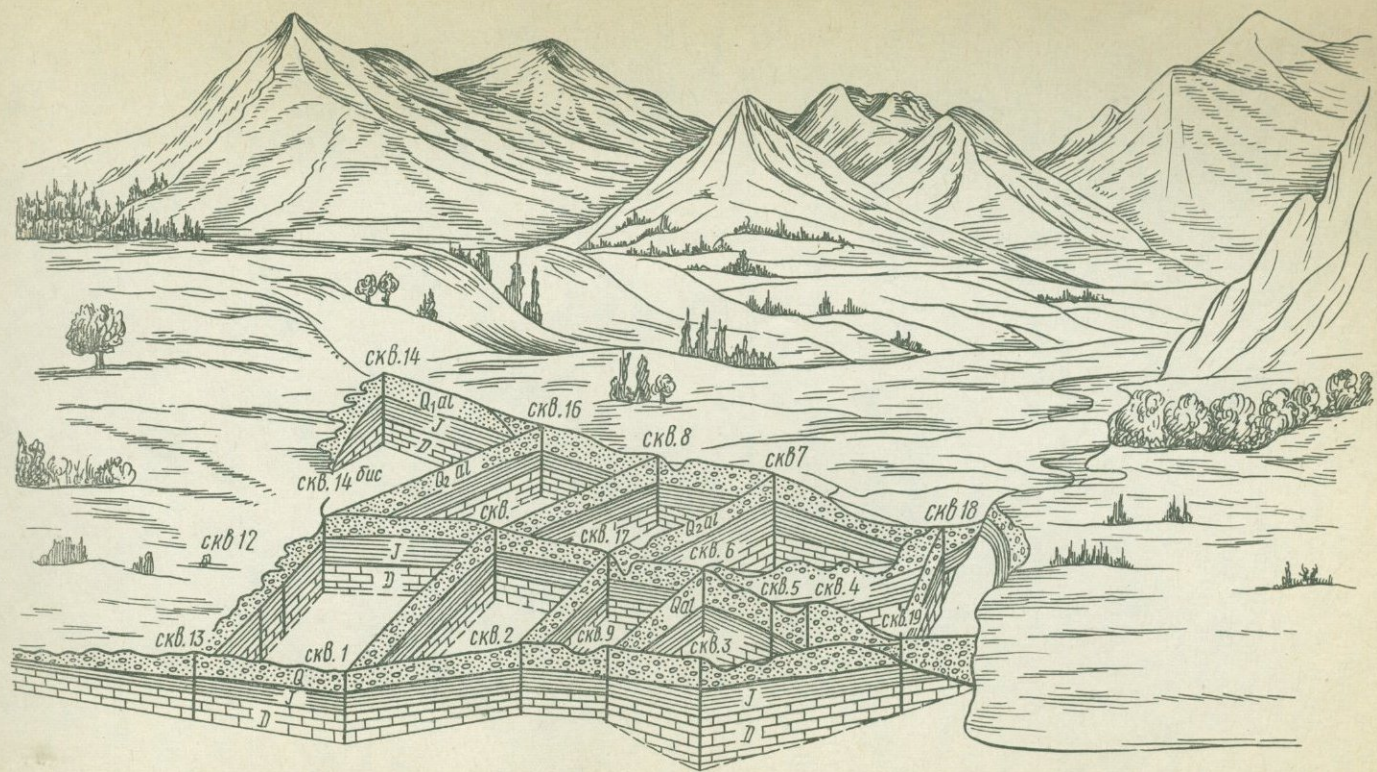


Рис. 89 Геологический разрез участка местности, построенного по данным буровых скважин

Глава двадцать вторая

**ГИПОТЕЗЫ РАЗВИТИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ,
ПРИЧИНЫ ТЕКТОНИЧЕСКИХ И МАГМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ,
МАТЕРИКОВЫХ ОЛЕДЕНЕНИЙ**

Кратко рассмотрим главнейшие современные представления по этим сложным и в ряде случаев нерешенным вопросам.

Гипотезы развития земной коры. Еще М. В. Ломоносов (1763) выдвинул оригинальные мысли о движениях земной коры, причину которых он видел во внутреннем состоянии Земли. Складчатость рассматривалась им как результат влияния внутреннего огня. Все движения в земной коре М. В. Ломоносов разделял на быстрые и медленные. Теоретическое обобщение данных о медленных движениях коры, получивших название колебательных, сделал акад. А. П. Карпинский (1894). Его работы сыграли огромную роль в развитии геологической науки. Крупные дислокационные явления в залегании пластов А. П. Карпинский объяснял изменениями земной коры вследствие сокращения земного шара от охлаждения.

Гипотезы сжатия (контракционная). Идея сжатия Земли лежит в основе многих тектонических гипотез. Всю сложность строения земной коры эта гипотеза объясняет, исходя из предположения Канта—Лапласа о сжатии нашей планеты в результате охлаждения. Земля рассматривается как раскаленное тело, которое непрерывно отдает тепло в окружающее мировое пространство. Сжатие Земли от охлаждения — одна из причин, создающих напряжения в земной коре. Все разнообразные складки на Земле — результат ее сморщивания. Против этих взглядов приводятся такие возражения.

1. Земля имеет собственные источники тепла и не охлаждается, а вследствие процессов радиоактивного распада и физико-химических процессов, напротив, постепенно разогревается. Установлено твердое состояние мантии Земли.

2. Складки (горы) на поверхности Земли распределены неравномерно. Эпохи горообразования сменялись периодами покоя.

3. Боковое, тангенциальное давление не в состоянии объяснить все разнообразие типов складчатости.

Однако полностью отрицать процесс сжатия геологи не могут, но сжатие, если оно и происходит, протекает в иных масштабах и формах и крайне медленно.

Отвергая примитивные варианты контракции, следует отметить, что, согласно мнению 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.

Гипотезы изостазии. Эти представления исходят из того, что при разрушении повышенные участки земной коры (континенты) должны испытывать движение вверх вследствие нарушения изостатического равновесия, а соседние области — дно океана, куда сносится разрушенный материал, должны опускаться под тяжестью накапливающихся осадков. В результате вертикальных перемещений в подкоровых пластических массах возникают токи вещества, направленные в сторону поднимающихся континентов. Токи вещества прижимают отложившиеся осадки моря к континенту, сминают их в складки. Так возникают горные хребты.

В настоящее время выявлено, что сжатие и изостазия причинно связаны между собой. Говорят о глубинно-гравитационном тектогенезе — открыты мощные горизонтальные сжимающие напряжения в верхней части земной коры, превосходящие в несколько раз давление, соответствующее данной глубине. Установлено сползание коры под влиянием сил тяжести по границе Мохоровичича (или верхней части коры по границе Конрада) при наклоне ее в $2-4^\circ$ и больше.

Радиоактивные гипотезы. В основу тектонических взглядов Д. Джולי (1851—1933) положены процессы радиоактивного распада.

Многие современные гипотезы используют идеи сжатия, изостазии и радиоактивного распада. Так, *пульсационная теория* (В. Бухер) в основу кладет представления о чередующихся сжатиях и расширениях (так называемых «пульсациях») объема планеты при доминирующей роли сжатия.

Ротационная гипотеза исходит из факта вековых (вследствие приливного течения) колебательных изменений скорости осевого вращения Земли и связанных с ними пульсаций ее формы.

Дифференциальная гипотеза (Р. Беммелен, 1954, В. В. Белосов, 1955) ведущее значение в развитии Земли придает процессу глубинной дифференциации вещества, слагающего нашу планету.

Гипотеза перемещения («дрифта») материков связана с именем немецкого ученого А. Вегенера (1880—1931). В основе ее лежит идея о разнородности строения материков и океанов. По этим представлениям, горы, складки в горных породах — итог давления, возникающего в результате перемещения в горизонтальном направлении материковых глыб. Передний край материковых глыб сдавливается, задний край растягивается.

Гипотеза Вегенера объясняла многие сложные вопросы геологии, зоологии, ботаники, климатологии. В частности, прежняя связь материков объяснялась не только внешним соответствием очертаний — конфигураций береговых линий побережья Атлантики (выпуклых частей Европы и Африки) вдающимся частям Северной и в особенности Южной Америки, но и рядом других факторов:

1. Большим сходством в строении, литологии одновозрастных пород, геологической истории этих материков, размещении полез-

ных ископаемых (например, алмазы, олово) Южной Африки и Южной Америки.

2. Наличием одинаковых ископаемых и современных растений в местах, разделенных громадными просторами океанов: о. Лорд Хоу (возле Новой Зеландии) и о. Сан-Фернандес (у берегов Чили) при громадной удаленности друг от друга имеют более 162 одинаковых растений.

3. Находками костей животного — листрозауруса в Антарктиде (1970). До этого аналогичные остатки были найдены в Южной Африке и Южной Америке. Эти неясности отпадают, если допустить, что в далеком прошлом материи составляли единое целое, а затем отошли друг от друга.

В последние годы гипотеза Вегенера в новой трактовке получила название «мобилизма». У нее много сторонников, особенно среди геологов, работающих в Южном полушарии. В пользу ее свидетельствуют данные земного магнитного поля геологического прошлого, так называемого *палеомагнетизма*. Учеными установлено, что в породах, содержащих сравнительно большое число частиц магнетита, гематита и других окислов железа, обнаруживается остаточная намагниченность, сохранившаяся в породах со времени их образования.

Эта намагниченность имеет направление магнитного поля Земли соответствующей геологической эпохи и может сохраняться до настоящего времени.

Таким образом, первичная намагниченность горных пород, подобно палеонтологии, представляет собой своеобразные отпечатки древних магнитных полей, позволяет изучать историю магнитного поля Земли, синхронизировать породы, содержащие отпечатки этого поля, и определять их возраст.

Аргументы «мобилизма» следующие: а) данные палеомагнитных измерений; своеобразные отпечатки древних магнитных полей свидетельствуют, что некоторые материи систематически перемещались; так, Африка, Индостан, Австралия, Южная Америка двигались в северном направлении; б) геодезические измерения, проведенные в конце XIX и начале XX в., показали, что расстояние между Европой и Гренландией увеличивается примерно на 32 см в год, расстояние между Европой и Северной Америкой на широте 45° возрастает на 65 см в год. Измерения координат о. Корсики свидетельствуют о перемещении его к востоку за 80 лет на 10—12 м; в) океанологические наблюдения, установление на дне океанов единой непрерывной горной цепи с огромными разломами; за счет добавления лавы происходит нарастание новой коры и движение дна океанов в стороны от срединных хребтов.

Некоторые ученые полагают, что перемещение материков захватывало большие блоки земной коры и верхней части мантии, которые двигались одновременно под влиянием обычных горизонтальных и вертикальных движений подкорового вещества.

Представления о причинах материковых оледенений и происхождении пояса многолетнемерзлых пород. По этим вопросам известно несколько точек зрения. Одни ученые считают, что многолетняя мерзлота — наследие холодного ледникового периода, другие — результат современного теплообмена в системе земная кора — атмосфера, третьи — реликт прошлого и результат климата современного периода. Последняя точка зрения в настоящее время принимается большинством ученых.

В истории Земли были эпохи, когда теплый климат сменялся похолоданием, и огромные ледяные покровы спускались с гор и с поднятых тектонических плато, покрывая ледяным панцирем большие территории. Так, в конце неогенового периода произошло резкое похолодание в Европе. На тропические леса надвинулись из Скандинавии и Новой Земли льды.

Причины изменения климата и наступления ледниковых эпох в истории Земли принадлежат к одним из наиболее сложных и еще нерешенных вопросов, по которым имеется несколько точек зрения.

1. Изменения климата и материковые оледенения связаны с положением Земли по отношению к Солнцу (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*.

Сторонники астрономических гипотез считают, что Солнце является переменной звездой, поэтому изменения климата «солнечно обусловлены» рядом причин, среди которых астрономы называют изменяющееся расстояние Земли от Солнца, колебания солнечной ультрафиолетовой радиации.

Сторонники климатических гипотез отмечают, что климат на Земле постоянно изменяется в связи с изменением солнечной активности. Считают, например, что изменения климата возникают в результате совпадения фаз колебания солнечной активности с периодами колебания, связанного с изменениями скорости вращения Земли.

На климат влияет также колебание состава атмосферы: содержание в воздухе углекислоты, водяного пара, вулканической пыли и облачности. Огромную роль в этом процессе играет человек (техногенез).

В основу тектонических гипотез взяты представления о том, что горообразование способствует охлаждению поднимающихся поверхностей Земли. Образование гор влияло на климат. В истории Земли известно несколько горообразовательных этапов, ряд материковых оледенений, крупнейших в протерозое (Канада, Центральный и Западный Китай, Австралия, Южная Африка), в верхнем карбоне (Африка, Южная Америка, Австралия,) (рис. 90).

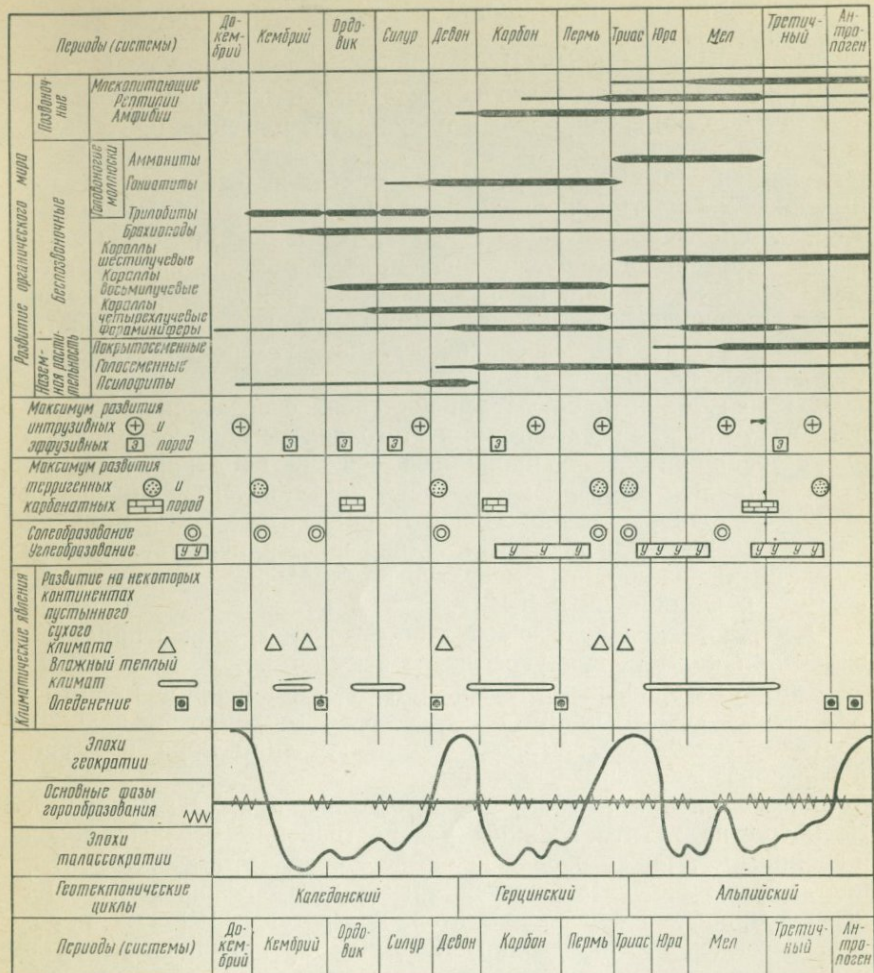


Рис. 90. Зависимость некоторых геологических явлений (оледенения, трансгрессии) от движений в земной коре

В те периоды истории Земли, когда горообразование прекращалось, под влиянием денудации горы постепенно разрушались, хребты понижались. Оболочка атмосферы становилась более толстой и равномерной. Наступало потепление, ледники сохранялись лишь в полярных странах и высокогорных местностях. Подобная обстановка имеет место в настоящее, послеледниковое время. Для оледенения достаточно понижения температуры лета всего на 4—5° С. Такое понижение температуры может быть вызвано увеличением площади суши и усилением континентальности климата. При обилии осадков на суше в это время может образоваться ледниковый покров.

В отношении изменения климата в современную эпоху имеются различные мнения.

Так, Губерт Лэмб (1973) на основании обширных исследований приходит к выводам, что за последние 30 лет (примерно начиная с 40-х годов) среднегодовая температура нашей планеты неуклонно снижается.

Начиная с 80-х годов прошлого столетия вплоть до 40-х годов нынешнего столетия происходило общее потепление климата: в среднем температура за этот период повысилась на $0,5^{\circ}\text{C}$. Это нашло отражение в следующих явлениях: горные ледники во всех частях света отступили, площадь ледового покрова арктических морей уменьшилась на 10%, а толщина ледового слоя — на треть. Было подсчитано, что содержание двуокиси углерода в атмосфере увеличилось на 10%.

С 1945 г. стало наблюдаться постепенное ослабление солнечного излучения — последствиями этого явилось общее похолодание, особенно интенсивно проявляющееся с 1961 года: арктический ледовый покров в северном секторе Атлантики усилился, уровни озер в Восточной Экваториальной Африке, а позднее в Великих озерах Северной Америки значительно повысились, установлены самые низкие за 200 лет температуры в отдельные холодные зимы в СССР и Финляндии в 1972 г.

Очевидно, что твердо обоснованной точки зрения о причинах 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.

Взаимоотношения материковых оледенений и мерзлых пород. Несмотря на то что границы распространения мерзлых пород и границы материковых оледенений не совпадают, имеются факты, подтверждающие связь между ними: это многочисленные находки неразложившихся трупов мамонтов, носорогов в мерзлых породах. 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.

В некоторых рудниках Сибири находили минерал мирабилит, который выпадает из морской воды при температуре $-8,2^{\circ}$, ныне в этих породах температура только $-4,2^{\circ}$. Очевидно, можно полагать, что произошло потепление.

С другой стороны, несовпадение зоны отрицательной температуры в поверхностных слоях с границами материковых оледенений может свидетельствовать о том, что возникновение вечной мерзлоты связано не только с периодом оледенения.

Происхождение мерзлых пород весьма сложно и, по-видимому, различно во многих областях СССР. Несомненно, что в ряде местностей отрицательные температуры в коре существуют многие тысячелетия, являясь наследием сурового ледникового периода;

в других же местах они обусловлены современными климатическими условиями.

Таким образом, Земля состоит из различных по составу и плотности пород, они 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. 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 сбора мелких и крупных холодных частиц и обломков, летавших в космосе в виде огромного роя. Рост Земли происходил 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 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 условия 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 создались условия для возникновения обособленных магматических очагов и начала дифференциации вещества, приведшей к образованию сиалической оболочки коры. Характерно, что глубины очагов глубокофокусных землетрясений и обособленных магматических цистерн (очагов) примерно совпадают (около 500—700 км). Глубинные разломы 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 вещества верхней мантии.

Изучая материки и океаны, нельзя рассматривать отдельно 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, удовлетворяю-

щей, 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.

Литература

- Павлинов В. Н., Кизевальтер Д. С., Мельникова К. М., Михайлов А. Е., Никитина М. Н., Рыжова А. А., Сапожников Д. Г., Тихонов Н. Д. Пособие к лабораторным занятиям по курсу общей геологии. М., «Недра», 1974, с. 182.
- Левитес Я. М. Историческая геология с основами палеонтологии и геологии СССР. М., «Недра», 1965.
- Смирнова Н. М. Основы геологии СССР. М., «Высшая школа», 1971.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Геология как наука и ее главнейшие отрасли	3
Часть первая. Краткие сведения о геологии и Земле	7
Глава первая. Размеры, строение и свойства Земли	7
Состав и строение сфер Земли	9
Некоторые свойства и особенности коры	12
Глава вторая. Земля в мировом пространстве	15
Краткие сведения о Солнечной системе	15
Основные представления о происхождении Земли	16
Часть вторая. Вещественный состав земной коры. Минералогия и петрография	20
Глава третья. Физические и химические свойства и формы нахождения минералов в природе	20
Физические свойства и методы изучения минералов	23
Формы нахождения минералов в природе	30
Химические свойства	33
Глава четвертая. Образование минералов, горных пород и полезных ископаемых	35
Глава пятая. Классификация и описание минералов	41
Класс силикатов	42
Класс карбонатов	56
Класс нитратов	59
Класс фосфатов	60
Класс сульфатов	63
Класс галоидов	66
Класс сульфидов	68
Класс окислов и гидроокислов	71
Класс самородных элементов	74
Глава шестая. Краткие сведения о горных породах (петрография)	76
Магматические породы	77
Осадочные породы	85
Обломочные породы	88
Глинистые породы — пелиты	90
Хемогенные, биогенные и биохимические породы	92
Метаморфические породы	95

Часть третья. Динамическая геология	98
Глава седьмая. Некоторые общие понятия о геодинамических процессах и преобразующей роли человека	98
Процессы внутренней динамики (эндогенные)	101
Глава восьмая. Вулканизм	101
Глава девятая. Движения земной коры	106
Процессы внешней динамики. Денудация, перенос, аккумуляция . . .	116
Глава десятая. Выветривание	116
Глава одиннадцатая. Геологическая деятельность ветра	121
Глава двенадцатая. Флювиальные процессы — деятельность поверхностных текучих вод	125
Глава тринадцатая. Подземные воды и их геологическая деятельность	134
Глава четырнадцатая. Озера и болота и их геологическая деятельность	144
Глава пятнадцатая. Геологическая деятельность моря	147
Глава шестнадцатая. Геологическая деятельность ледников	152
Глава семнадцатая. Многолетнемерзлые породы, процессы и явления	157
Часть четвертая. Основы исторической геологии и геоморфологии	163
Глава восемнадцатая. Геохронология и краткая история развития Земли	163
Глава девятнадцатая. Сведения из истории земной коры . . .	172
Глава двадцатая. Рельеф, закономерности его развития	179
Гляциальные формы рельефа	183
Флювиальные формы рельефа	185
Аридные формы рельефа	190
Геоморфологическое районирование	191
Глава двадцать первая. Карты и принципы изучения геологического строения земной коры	192
Глава двадцать вторая. Гипотезы развития земной коры, причины тектонических и магматических процессов, материковых оледенений	203

Толстой М. П.

Т 52 Геология с основами минералогии. Учебник для студентов сельскохозяйственных вузов по специальности «Агрохимия и почвоведение». М., «Высш. школа», 1975.

212 с. с ил. и табл. Библиогр.

В книге приведены краткие сведения о геологии, вещественном составе земной коры (минералогия и петрография), описаны геологические процессы (динамическая геология); даны основы исторической геологии и геоморфологии.

Книга может быть полезна студентам негеологических специальностей, а также специалистам, работающим в области сельского, водного и лесного хозяйства, — гидротехникам, гидрогеологам, гидрологам, мелиораторам, географам, лесоведам и др.

Т $\frac{20801-384}{001(01)-75}$ 129—75

552

Михаил Павлович Толстой

Геология с основами минералогии

Редактор Н. А. Соколова, художественный редактор Т. А. Коленкова, технический редактор Л. А. Григорчук, корректор С. К. Марченко

Т—12544. Сдано в набор 6/III-75 г. Подп. к печати 31/VII-75 г. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага тип. № 2. Объем 13,5 печ. л., 13,5 усл. п. л. Уч.-изд. л. 14,24. Изд. №Е-257. Тираж 25 000 экз. Цена 50 коп. Зак. 1897.

План выпуска литературы издательства

«Высшая школа» (вузы и техникумы) на 1975 г. Позиция № 129

Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14,

Издательство «Высшая школа»

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградское производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 197136, Ленинград, П-136, Гатчинская ул., 26.

**ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ВЫСШАЯ ШКОЛА»
ВЫПУСТИТ В СВЕТ
В 1976 ГОДУ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВУЗОВ
И ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
СЛЕДУЮЩИЕ УЧЕБНИКИ
И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ:**

Георгиевский В. И. Практическое руководство по физиологии сельскохозяйственных животных. Учебное пособие. 25 л. с ил., 1 р. 13 к.

Руководство состоит из двух частей: общей методики и частной методики. В общей даются методические указания по использованию элементов программированного обучения и технических средств. В частной приводятся 157 лабораторных работ с краткими теоретическими обобщениями. Даются основные физиологические сведения об опытных животных (особое внимание уделяется сельскохозяйственным животным). Подробно излагаются методы наркотизации животных, описание приборов, их назначение и основные правила использования.

Предназначается для студентов ветеринарных и зоотехнических факультетов. Может быть использовано специалистами сельского хозяйства.

Леман В. М. Курс светокультуры растений. Учебное пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп. 15 л. с ил., 78 к.

В книге даны теоретические основы и практические методы выращивания растений с помощью искусственного облучения. Показаны пути изучения физиологических процессов в лабораториях и фитотронах, освещены возможности интенсификации тепличного производства и рационального использования электрической энергии. Книга значительно расширяет существующие представления о фитобиологии растений и современных источниках их облучения. Первое издание вышло в 1961 году.

Предназначена для студентов сельскохозяйственных вузов. Может быть использована специалистами сельского хозяйства.

Хржановский В. Г. Курс общей ботаники (цитология, гистология, органография, размножение). Учебник. 20 л. с ил., 95 к.

Книга написана с учетом современных успехов науки и новых подходов к изучению растений. Материал изложен в свете эволюционной теории. Все разделы написаны на примере сельскохозяйственных культур.

Предназначаются для студентов агрономических специальностей сельскохозяйственных вузов. Может быть использована студентами биологических факультетов университетов и педагогических вузов.

Хржановский В. Г. Курс общей ботаники (систематика, экология и география растений). Учебник. 30 л. с ил., 1 р. 30 к.

В разделе «Систематика» дается система всех отделов растений: от бактерий и синезеленых водорослей до покрытосеменных включительно. Предпочтение отдается растениям, важным с сельскохозяйственной точки зрения, а также занимающим большое место в экономике природы.

В разделе «Экология» изложены основы экологии преимущественно сельскохозяйственных растений.

В разделе «География растений» даны основные законы распространения и распределения растений по почвенно-климатическим зонам, а также учение об ареалах.

Предназначается для студентов агрономических специальностей сельскохозяйственных вузов. Может быть использован студентами биологических факультетов университетов и педагогических вузов.

Уважаемые читатели!

Издательство «Высшая школа» выпускает для вас учебники, учебные и методические пособия, плакаты.

Подробнее познакомиться с нашей учебной литературой вам поможет аннотированный тематический план на 1976 год (вузы и техникумы), который имеется в книжных магазинах.

Предварительный заказ на книги можно оформить в магазинах книготорга или потребительской кооперации.

50к.

1441



ВЫСШАЯ ШКОЛА • 1975