

А. М. Горбачев

ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ



Рецензенты:

Проф. Горшков Г. П., заведующий кафедрой
динамической геологии МГУ;
Кузьменко Е. Е., старший преподаватель
Новочеркасского геологоразведочного техникума

Горбачев А. М.

Г67 Общая геология: Учебник для учащихся средн.
геолог. учеб. заведений.—2-е изд., перераб. и доп.—
М., Высш. школа, 1981.—351 с., ил.

В пер.: 90 к.

В учебнике изложены сведения о строении Вселенной, Солнечной системы, Земли и земной коры, рассмотрены физические и химические свойства Земли, ее вещественный состав. Главное внимание в книге уделено вопросам динамической геологии. По сравнению с первым изданием многие главы переработаны и дополнены. Новым в учебнике является раздел «Геологическая деятельность человека и охрана окружающей среды».

Г 20801—390
001(01)—81 234—81

1904010000

ББК 26.3
552

© Издательство «Высшая школа», 1973.
© Издательство «Высшая школа», 1981, с изменениями.

При подготовке учебника «Общая геология» ко второму изданию были учтены отзывы и пожелания, высказанные в адрес первого издания преподавателями Новочеркасского, Иркутского, Старооскольского геологоразведочных техникумов. В новом издании написаны вновь «Введение», раздел «Земля в мировом пространстве». В той или иной степени переработаны почти все главы. В отличие от первого издания учебник расширен главным образом за счет нового раздела «Геологическая деятельность человека и охрана окружающей среды».

Большую помощь в подготовке второго издания оказали критические замечания и ценные пожелания рецензентов доктора геолого-минералогических наук проф. МГУ Г. П. Горшкова и преподавателя Новочеркасского геологоразведочного техникума Е. Е. Кузьменко. Автор выражает им свою признательность.

ВВЕДЕНИЕ

Геологические науки и их задачи

Первой геологической наукой, открывающей нам дорогу в мир знаний о Земле, является *общая геология* (термин «геология» происходит от древнегреческого гео—земля). Общим этот курс называется потому, что рассматривает общие сведения о Земле, начиная с положения Земли в мировом пространстве и кончая геологической деятельностью человека. Свое продолжение он находит в ряде последующих геологических дисциплин, изучающих вопросы строения наружной оболочки Земли—земной коры, ее химический, вещественный состав, физические свойства, геологическую историю. Это минералогия, геохимия, геофизика, историческая геология, месторождения полезных ископаемых и другие геологические науки.

Геологические знания имеют большое практическое и познавательное значение. Они позволяют осуществлять поиски и разведку месторождений полезных ископаемых, обеспечивать промышленность необходимыми видами минерального сырья: железной рудой, нефтью, углем, цветными металлами и другими полезными ископаемыми. Познавательная роль геологии состоит в раскрытии тайн природы, выявлении законов развития материального мира. Каждая геологическая наука, имея общую цель—изучение Земли, в то же время решает свои задачи.

Кристаллография (греч. кристаллес — лед, горный хрусталь) — наука о внутреннем строении вещества, его свойствах, кристаллографических формах. Достижения этой науки широко используются в химии, металлургии, радиоэлектронике, минералогии.

Минералогия (позднелат. *minera* — руда) изучает минералы, их состав, строение, свойства, условия образования, применение в промышленности.

Петрография (греч. петра — скала, камень) — наука о горных породах. Рассматривает минеральный состав пород, их происхождение, формы залегания, связь с породами месторождений полезных ископаемых.

Гидрогеология (греч. гидор — вода) изучает подземные воды, их происхождение, условия залегания, законы движения. **Геохимия** — наука о распределении химических элементов в земной коре, их миграции (перемещении) и роли в процессах рудообразования. **Геофизика** изучает физические явления и процессы, протекающие в земле и ее оболочках.

Историческая геология изучает историю и закономерности развития Земли в период формирования ее коры. С исторической геологией тесно связана **палеонтология** (греч. палеос — древний, онтос — существо) — биологическая наука, изучающая по ископаемым остаткам организмов и следам их жизнедеятельности историю растительного и животного мира прошлых геологических эпох.

Стратиграфия (лат. *stratum* — слой) — раздел исторической геологии, рассматривающий историческую последовательность образования слоев осадочных, вулканических и других горных пород. **Геотектоника** (греч. тектоника — строительство) изучает структуры земной коры, их образование и развитие во времени и пространстве. Рельеф нашей планеты и его связь с геологическим строением земной коры изучает геолого-географическая наука — **геоморфология**, а точными измерениями земной поверхности и ее геоморфологических элементов занимается **геодезия**.

Изучение Земли продолжается. Геологические науки ежегодно обогащаются более точными научными данными о строении Земли и земной коры, об условиях образования горных пород и месторождений полезных ископаемых. Этому способствует развитие геологических методов исследования, среди которых особенно актуальны геофизические, геохимические и космические методы.

Геофизические методы основаны на изучении таких физических свойств Земли и горных пород, как плотность, сила тяжести, магнитные, радиоактивные свойства, электропроводность и др. **Геохимические методы** основаны на изучении поведения химических элементов в земной коре, их миграции, способности к рассеянию и образованию концентраций, ведущих к рождению месторождений полезных ископаемых.

Космические методы — это методы изучения Земли с помощью спутников и орбитальных станций. Цветное фотографирование поверхности Земли и исследование ее инфракрасного и светового

излучения позволяют выявлять из космоса геологические структуры, благоприятные для поисков месторождений полезных ископаемых, исследовать глубокие части морского дна и получать другую важную геологическую информацию.

Краткая история развития геологии

Период зарождения геологии. История геологических знаний тесно связана с практической деятельностью человека и развитием производительных сил общества. Как показывают археологические раскопки, на заре развития человеческого общества человек в качестве орудия труда и охоты использовал твердые камни — обсидиан и кремнь. В бронзовом веке он научился выплавлять из руд медь и олово, в железный век — железо.

Находки гончарных изделий, пирамиды, остатки городов, относящиеся к 3—4-му тысячелетиям до н. э., свидетельствуют об использовании месторождений соли, гончарных глин, строительного камня и некоторых других видов полезных ископаемых. Сохранившиеся до наших дней горные выработки говорят о том, что задолго до нашей эры люди стремились раздобыть в залежаниях руд и особенностях их распространения. Стремление к распознаванию камней вело к накоплению знаний о рудах. В процессе познания возникали вопросы, связанные с происхождением полезных ископаемых и закономерностями их распространения. Первые попытки получить ответы на поставленные вопросы были сделаны в первом тысячелетии до н. э.

Талантливый древнегреческий философ и ученый Аристотель (384—322 до н. э.) сделал попытку объяснить причины землетрясений, составил первую классификацию минералов и описать некоторые геологические явления. Аристотель считал, что землетрясения чаще происходят там, где есть трещины и пещеры, в которые попадают воздух и вода, вызывающие землетрясение. По его мнению, мир существует вечно и состоит из четырех взаимодействующих стихий: земли, воздуха, воды и огня. Несколько позже древнегреческий ученый Страбон (63/64 до н. э. — 23/24 н. э.) предположил, что причиной поднятий и опусканий земной поверхности являются землетрясения. Он считал, что остров Сицилия образовался из продуктов извержения вулкана Этна. Подобного мнения о причинах поднятий и опусканий земной поверхности придерживался и римский ученый Плиний Старший (23—79), погибший при извержении вулкана Везувий в 79 г.

Период средневековья мрачной страницей вошел в историю развития естественных наук. На фоне общего застоя науки в этот период выделяются работы ученых Средней Азии Авиценны и Бируни. Таджикский философ и врач Абу Али Ибн Сина (Авиценна, 980—1037) написал «Книгу исцеления», в которой указывал, что суша раньше была морским дном, а морское дно — сушей, что море неоднократно наступало на сушу, оставляя после себя слои горных пород. Он предложил классификацию минералов, согласно

которой все природные образования были поделены на камни, плавкие тела (металлы), горючие, серные вещества и соли. Среднеазиатский ученый-энциклопедист аль-Бируни (973—1048) написал «Книгу сводок для познания драгоценностей», в которой описал свыше 100 минералов, собранных в Средней Азии, Китае, Индии и других странах.

Пришедшая на смену Средневековой культуре эпоха Возрождения (XIV—XVI вв.) ознаменовалась оживлением науки, культуры и искусства. Новая эпоха выдвинула плеяду талантливых ученых, внесших большой вклад в развитие естественных наук. К этому времени относится открытие польского астронома Николая Коперника (1473—1543), доказавшего, что не Земля, а Солнце является центром Солнечной системы. Итальянский ученый Леонардо да Винчи (1452—1519) опроверг библейскую легенду о всемирном потопе, доказав, что раковины морских животных, встречающиеся в горных породах суши, являются следствием длительного развития Земли, в процессе которого происходило перераспределение суши и моря.

Расширению геологических знаний способствовали и крупные географические открытия (открытие Америки, кругосветное путешествие Магеллана и др.).

Период зарождения — наиболее длительный в истории развития геологии. Он охватывает время с IV в. до н. э. до середины XVIII в.

В России период зарождения геологии также связан с развитием горного промысла. Первыми специалистами по поискам руд были рудознатцы и рудоискатели, а первыми организациями, возглавлявшими поисковые и горные работы, — Сибирский приказ (1637) и Приказ тайных дел (1654). Особенно широкий размах поиски месторождений полезных ископаемых приобрели при Петре I. В это время началось освоение железных руд Центральной России, медных руд Урала, самоцветов Забайкалья. В 1721 г. рудознатцем Григорием Капустиным на юге России было открыто месторождение угля (Донбасс). Начиная с 1700 г. поисками и разработкой полезных ископаемых в России ведал «Приказ рудоконных дел», а с 1718 г. — «Берг-коллегия».

Период становления геологии. Как наука геология стала оформляться во второй половине XVIII в. В это время делаются попытки объяснить происхождение Вселенной и Земли. Эти попытки нашли свое отражение в космогонических гипотезах и научных работах французского естествоиспытателя Ж. Бюффона (1707—1788), немецкого философа И. Канта (1724—1804), выдающегося русского ученого М. В. Ломоносова (1711—1765) и ряда других исследователей. Бюффон полагал, что Земля и другие планеты образовались из солнечного вещества, отторгнутого от массы Солнца силой притяжения проходившей мимо кометы. Кант считал, что Солнце и планеты образовались из частиц единой материи, заполняющей мировое пространство.

Значительным событием периода становления геологии в Рос-

сии был выход в свет работ М. В. Ломоносова «Слово о рождении металлов от трясения Земли» (1757) и «О слоях земных» (1763). Ломоносов рассматривал Землю как нечто изменяющееся и развивающееся во времени и пространстве. Он отмечал, что земная кора подвижна и может подниматься и опускаться, а горы — подниматься и разрушаться. Причины таких изменений он связывал с «землетрясением», которое он считал проявлением внутреннего огня или внутренней энергии Земли, и с внешними факторами. К внешним факторам М. В. Ломоносов относил текучие воды, разрушительную работу морских волн, мороз, ветер. Геологическое прошлое Земли он рассматривал через призму современных геологических процессов и явлений. Такой подход к изучению геологических процессов прошлого Земли получил впоследствии название *принципа актуализма* (фр. актуэль — современный, сейчас действующий).

Развитию прикладного (практического) направления геологии в России способствовали академические экспедиции 1768—1773 гг., организованные по замыслу М. В. Ломоносова. Таких экспедиций было пять. В их задачу входило описание природных ресурсов России. Одна из них, возглавляемая И. И. Лепехиным, изучала Урал и Поволжье. Наиболее обширные исследования были проведены экспедицией П. С. Палласа, обследовавшей Поволжье, Оренбургский край, Западную Сибирь, Западный Саян. Результаты исследований Паллас обобщил в труде «Путешествия по различным провинциям Российского государства».

В 1755 г. в Москве по инициативе М. В. Ломоносова был открыт университет, в 1773 г. в Санкт-Петербурге было образовано горное училище (ныне Ленинградский горный институт).

В Германии широкой известностью пользовалась Фрейбергская горная академия в Саксонии. Профессор академии А. Г. Вернер (1750—1817) и его ученики сыграли большую роль в популяризации геологических знаний в Западной Европе. Вернер дал правильное объяснение происхождению осадочных пород, сделал попытку разделить их по возрасту. Вернер был представителем школы нептунистов. *Нептунизм* (лат. нептунус — бог морей и вод) — распространное в конце XVIII и начале XIX в. учение о происхождении горных пород (в том числе и изверженных) путем осаждения вещества из воды. Против нептунистов в конце XVIII в. выступили представители школы плутонистов. *Плутонизм* (греч. Плутон — бог подземного мира) — учение о ведущей роли внутренних сил в геологической истории Земли. Представителем этой школы был шотландский ученый Д. Геттон (1726—1797). Свои взгляды на образование Земли он изложил в двухтомном труде «Теория Земли». Острова и континенты, по Геттону, образовались при участии «внутреннего огня».

В XIX в. важнейшие проблемы геологии решались с позиции гипотезы Канта — Лапласа, в основе которой лежала идея о первичном огненно-жидком состоянии планет Солнечной системы. Действием «внутреннего огня» объяснялись землетрясения, обра-

зование гор, извержение вулканов и другие процессы. Несколько позднее появляются представления о первично твердой Земле. Однако гипотеза твердого состояния Земли не имела достаточного числа сторонников и не пользовалась популярностью.

Одновременно с рассмотренными направлениями геологии развивались стратиграфия, геотектоника, петрография и другие отрасли геологических знаний. Большое значение для развития стратиграфии имели находки в осадочных породах остатков ископаемых организмов. Впервые на них обратил внимание английский землемер В. Смит (1769—1839). Используя находки раковин морских животных, он установил последовательность отложения слоев горных пород. Изучение ископаемых организмов положило начало новой науки *палеонтология*.

Основы палеонтологического метода изложены в работах французского естествоиспытателя Ж. Кювье (1769—1832). Резкие различия в облике и строении органических остатков, встречающихся в разных слоях земной коры, Кювье объяснял катастрофами (гигантскими наводнениями, землетрясениями и др.), приводившими, по его мнению, к массовой гибели одних организмов и появлению других. Это учение вошло в историю под названием *катастрофизма*. Теорию Кювье поддержали основоположник геотектоники француз Эли де Мон и немецкий вулканист Л. Бух, разработавшие гипотезу развития земной коры и образования гор с позиции катастрофизма. По своей сути катастрофизм не был прогрессивным учением.

В борьбу с катастрофизмом вступило *эволюционное учение*, значительную роль в развитии которого сыграл английский геолог Ч. Лайель (1797—1853). Используя обширный фактический материал, Лайель доказал, что все изменения, происходящие на Земле, совершаются постепенно, на протяжении длительного времени. Свои доводы он изложил в трехтомном труде «Основы геологии» (1830—1833). Эта работа нанесла сокрушительный удар катастрофизму. Она свидетельствовала о новых подходах к изучению процессов и явлений, вошедших в геологию под названием *актуализма* и *униформизма*. Под униформизмом понималась неизменность законов прошлого и настоящего, управляющих процессами преобразования природы. Этот метод стал ведущим в геологии с середины XIX в. В России идеи Лайеля поддерживал Д. И. Соколов. Они нашли отражение в его учебнике «Курс геогнозии».

Важнейшим событием XIX в. было появление гениального труда Ч. Дарвина «Происхождение видов» (1859), в котором излагалась эволюция органического мира Земли. Этот труд утвердил в естествознании эволюционную теорию и создал прочный фундамент для дальнейшего развития палеонтологии. Учение Ч. Дарвина получило развитие в работах выдающегося русского ученого В. О. Ковалевского, который объяснял появление новых видов животных изменениями окружающей среды и условий обитания организмов.

В 1869 г. Д. И. Менделеев открыл периодический закон хими-

ческих элементов, оказавший влияние на развитие химических методов в геологии. В 1858 г. для изучения горных пород впервые был применен поляризационный микроскоп.

Научные открытия и практические исследования расширили круг вопросов, изучаемых геологией, и способствовали появлению новых отраслей геологических знаний. В начале XX столетия появляются *геохимия*, *гидрогеология*, *сейсмология*, *геоморфология*. Дальнейшее развитие получают *геотектоника*, *стратиграфия*, *минералогия*. Основное внимание ученых уделяется изучению строения Земли и ее оболочек. Возникает предположение о двухслойном (ядро и мантия) строении земного шара, затем о трехслойном (ядро, мантия, земная кора). В результате сейсмических, геофизических и геохимических исследований создается первая сейсмическая модель Земли.

Много внимания уделяется рельефу Земли и строению земной коры. Американец Дж. Дэна разрабатывает основы учения о геосинклиналях и платформах. Француз Э. Ог и русский геолог А. Д. Архангельский развивают это учение. Шумный успех выпадает на долю гипотезы перемещения материков американского геолога Ф. Тейлора (1910) и немецкого геофизика А. Вегенера (1912).

Огромное значение в развитии естественных наук первой половины XX в. имел выдающийся труд Ф. Энгельса «Диалектика природы» (1873—1878), позволивший по-новому, диалектически взглянуть на развитие природы и материю в целом. В природе «...ничто не вечно, — писал Энгельс, — кроме вечно изменяющейся, вечно движущейся материи и законов ее движения и изменения»¹. Оценивая вклад в науку Ч. Дарвина и других сторонников материалистического понимания природы, он отмечал, что благодаря их воззрению «...все застывшее стало текучим, все неподвижное стало подвижным, все то особое, которое считалось вечным, оказалось преходящим, было доказано, что вся природа движется в вечном потоке и круговороте»². «Диалектика природы» Энгельса сыграла большую роль в развитии советской геологической науки.

Развитию геологических знаний в первой половине XX в. способствовали труды многих русских ученых: И. В. Мушкетова, Е. С. Федорова, А. П. Карпинского, В. И. Вернадского, А. П. Павлова, А. Д. Архангельского. Исследователь Средней Азии И. В. Мушкетов (1856—1902), собравший богатый фактический материал, внес ценный теоретический вклад в развитие динамической и исторической геологии. Академик В. И. Вернадский (1863—1945) разработал систему минералов, заложил основы геохимии, внес вклад в изучение биосферы Земли. А. П. Карпинский (1847—1936) — автор многочисленных трудов в области страти-

¹ Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 20, с. 362.

² Там же, с. 354.

графии, палеонтологии, петрографии, палеогеографии. Им составлены первые палеогеографические карты Европейской России. Е. С. Федоров (1853—1919) внес крупный вклад в развитие кристаллографии. Им разработан метод структурного анализа кристаллов, создана теория пространственных групп симметрии. А. П. Павлов (1854—1929) составил классификацию генетических типов континентальных отложений, разработал гипотезу о происхождении лёсса. А. Д. Архангельский (1879—1940) внес большой вклад в развитие геотектоники, стратиграфии, литологии, палеогеографии. Он инициатор составления тектонических и геологических карт.

Советский период развития геологии. Бурное развитие теоретической и прикладной геологии началось после Великой Октябрьской социалистической революции. Планомерное геологическое изучение территории СССР сопровождается открытиями многочисленных месторождений полезных ископаемых. Было открыто замечательное железнорудное месторождение КМА, медные руды Казахстана, угольные месторождения Восточной и нефти Западной Сибири. Большую роль в освоении природных богатств страны сыграли такие советские геологи, как Ю. А. Билибин, Г. С. Момджи, И. И. Малышев, С. С. Смирнов. Публикуются фундаментальные труды по минералогии и петрографии Ф. Ю. Левинсон-Лессинга, А. Н. Заварицкого, Н. М. Страхова, Д. С. Коржинского, Н. С. Шатского.

В области гидрогеологии широкую известность получили работы Н. И. Толстихина, В. А. Приклонского и др. Коллектив геологов, возглавляемый Д. В. Наливкиным, создает ряд геологических и тектонических карт территории СССР и зарубежных стран. Неоценимый вклад в освоение нефтяных и газовых месторождений внес И. М. Губкин (1871—1939). Его работы «Учение о нефти», «Урало-Волжская нефтеносная область» способствовали открытию Западноуральских, Западносибирских и других месторождений нефти и газа. По инициативе В. И. Ленина Губкин принял участие в освоении железнорудных месторождений КМА.

Не менее известно имя выдающегося исследователя Сибири В. А. Обручева (1863—1956). Им написаны: трехтомный труд «Геология Сибири», «История геологических исследований Сибири», научно-популярные издания «Основы геологии» и «Полевая геология», научно-фантастический роман «Земля Санникова». Обручев занимался проблемами образования лёсса, изучением оледенений, многолетней мерзлоты и другими вопросами.

Развитию геохимических методов способствовали работы известного советского геолога А. Е. Ферсмана (1883—1945). Им написан ряд книг по геохимии, минералогии и петрографии, получивших мировую известность: «Пегматиты», «Геохимия», «Геохимические методы поисков». Увлекательно написаны «Занимательная геохимия» и «Занимательная минералогия». Дальнейшему развитию геохимических исследований способствовали работы советского учено-геохимика А. П. Виноградова (1895—1975). Им со-

ставлены схемы строения Земли и земной коры, разработан метод определения абсолютного возраста горных пород с помощью изотопов. Большая работа проведена Виноградовым по изучению геохимии Мирового океана и геохимии планет: Луны, Марса, Венеры.

Работы по геологическому изучению территории СССР сосредоточены в научных центрах страны. Научно-исследовательские учреждения занимаются не только геологическими вопросами внутреннего характера, но и решают глобальные проблемы. Много внимания уделяется изучению глубин Земли, Мирового океана и исследованию Земли из космоса. Активизировавшиеся в последние десятилетия исследования морского дна и океанских вод привели к важным научным открытиям и создали предпосылки к появлению новой отрасли геологических знаний — *морской геологии*. В области изучения моря имеется еще множество нерешенных проблем, первоочередной из которых являются поиски и разведка полезных ископаемых в области морского дна.

Эпоху космических исследований Земли открыл запуск первого советского искусственного спутника, осуществленный 4 октября 1957 г. Последующие запуски спутников, космических кораблей и полеты орбитальных станций способствовали изучению Земли из космоса. Появилась новая наука — *космическая геология*. Космические аппараты, запущенные в сторону Луны, Марса, Венеры и других планет, передали на Землю ценную научную информацию о рельефе планет, химическом составе и физических свойствах их атмосфер, вещественном составе грунта. Полученные сведения легли в основу новой отрасли геологии — *планетологии*. Изучение Земли и окружающего пространства продолжается. Оно приносит новые открытия и ставит перед геологами все новые и новые проблемы.

Раздел I

ЗЕМЛЯ В МИРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Глава I

СТРОЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

Метагалактика и внегалактические туманности. Наша Земля является крошечной составной частью единого материального мира, называемого *Вселенной*. Чтобы проникнуть в тайны Земли, понять ее внутреннее строение и геологические процессы, происходящие в ее недрах, необходимо расширить наши познания путем изучения окружающего мира и закономерностей его развития. Вселенная, или космос (греч. космос — Мир, Вселенная, украшение, порядок) — это бесконечное пространство, заполненное звездами, облаками газа и пыли, межзвездной материей. Звездное небо изучается на протяжении многих веков. Занимается его изучением наука *астрономия*. По мере совершенствования телескопов (оптических приборов, с помощью которых исследуются небесные тела) ученые все глубже проникают в тайны Вселенной. Глубина наблюдений достигла миллиарда световых лет¹. Доступную для исследований часть Вселенной называют *Метагалактикой*.

Главными объектами Метагалактики являются звездные системы, или *галактики* (позднегреч. галактикос — молочный, млечный); в каждой галактике насчитывается от сотен миллионов до сотен миллиардов звезд. В одну из таких галактик, называемую *нашей Галактикой*, входят Земля и Солнце. При наблюдении с Земли другие галактики имеют вид небольших, разнообразных по форме туманных пятен эллиптической, спиральной или неправильной формы (рис. 1). В отличие от звездных скоплений нашей Галактики, более четко выделяющихся на небосводе, их называют *внегалактическими туманностями*.

Во Вселенной некоторые галактики образуют группы, состоящие из двух-трех галактик, или скопления, насчитывающие сотни звездных систем. Так, в созвездии Волосы Вероники установлено около 800 звездных систем, каждая из которых в среднем включает около 400 миллиардов солнечных масс.

В пределах Метагалактики обнаружено свыше миллиарда галактик. Некоторые из них являются мощными источниками радиолучения. Это так называемые *радиогалактики*. Число выявленных радионисточников достигает нескольких сотен.

¹ *Световой год* — расстояние, которое свет проходит за 1 год, распространяясь со скоростью около 300 000 км/с. 1 световой год равен $9,460 \cdot 10^{12}$ км.

Изучением законов строения и развития Вселенной занимается наука *космология*. Она рассматривает Метагалактику как один из макромиров Вселенной, за пределами которого расположены другие метагалактики.

В 20-е годы нашего столетия советским ученым А. А. Фридманом была высказана мысль о том, что Метагалактика расширяется. Фридмановская теория нашла подтверждение в наблюдениях Э. Хаббла, обнаружившего смещение линий спектра галактик в сторону длинноволнового красного конца. Это *смещение*, назван-

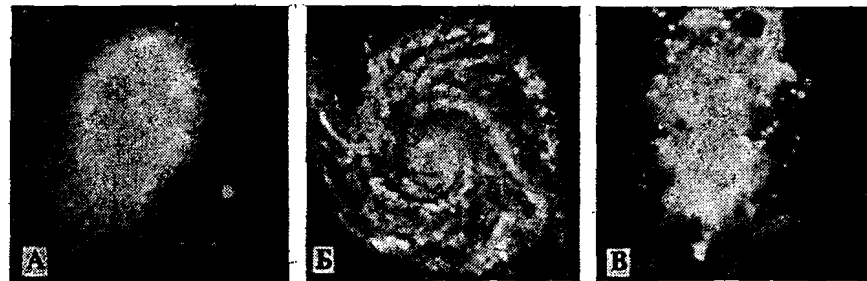


Рис. 1. Основные типы галактик: А — эллиптическая, Б — спиральная, В — неправильная

ное *красным*, показало, что галактики не стоят на месте, а как бы «разбегаются» в стороны, удаляясь друг от друга. Причину «разбегания» галактик впервые пытался объяснить Г. А. Гамов (1946—1948). Он считал, что в период, когда еще не было ни звезд, ни галактик, на месте Метагалактики находилось горячее (миллиарды градусов) сверхплотное дозвездное вещество. В результате «взрыва» материя стала рассеиваться в пространстве, плотность вещества падать, а температура понижаться. Модель «горячей» Вселенной Гамова была подтверждена открытием в 1964 г. А. Пензиасом и Р. Вильсоном теплового фонового излучения Вселенной. Это излучение, названное *реликтовым* (остаток тепла, сохранившегося от первоначально горячей Вселенной), — пока единственный вид информации о догалактическом периоде эволюции Вселенной.

Руководствуясь фридмановской теорией расширяющейся Вселенной, группа советских ученых, возглавляемая академиком Я. Б. Зельдовичем, разработала схему эволюции галактик. Согласно этой схеме на ранних этапах эволюции в однородном и изотропном расширяющемся веществе в отдельных участках отмечались возмущения плотности и скорости движения. Материя в этих местах в силу гравитационной неустойчивости (в связи с нарастанием возмущений плотности и скорости вещества под действием сил тяготения) сжималась и собиралась в сгустки, которые приобретали форму плоских и плотных «блинов». Сжатие сначала вызывало разогревание вещества, затем «блины» охлаждались и

распадались на части, образуя отдельные галактики, группы галактик, облака газа. Вещество одних галактик рассеивалось в пространстве, в других происходило сгущение материи, сопровождавшееся образованием звезд.

Ученые полагают, что с момента, когда в окружающем нас мире еще не было ни звезд, ни галактик, прошло около 15—18 млрд. лет (возраст Метагалактики).

Галактика. Наша Галактика — небольшой островок в огромном мире галактик. В ней около 150 млрд. звезд. С Земли наша Галактика имеет вид широкой белесой полосы, которая тянется вдоль дуги большого круга. Издавна эту полосу называют *Млечным путем*.

Наша Галактика относится к типу спиральных. Длина ее диска около 100 тыс. световых лет, толщина в центральной части 12 тыс. световых лет. В центре диска расположено ядро (в созвездии *Стрельца*), состоящее из мелких и крупных звезд различной светимости. От диска в стороны отходят спиральные ветви или рукава, общее количество которых пока не установлено. Ближайший к Солнцу рукав назван *Орионом*, наиболее далекий от центра — *Персеем*, а ближний к центру — *Стрельцом*. Спиральные ветви состоят из молодых горячих звезд, звездных скоплений, облаков ионизированных газов (водорода или кальция) и мощных облаков темной пылевой материи. Вся звездная система вращается вокруг ядра с периодом обращения на уровне Солнца 200 млн. лет. Возраст Галактики 10—13 млрд. лет.

Звездный мир. Рассматривая невооруженным глазом ночное небо, мы видим множество звезд. Разбросаны они по небосводу неравномерно, образуя неодинаковые по своей концентрации *шаровые* и *рассеянные скопления*. Основная масса звездных скоплений сосредоточена в полосе Млечного Пути. Они состоят из звезд различных размеров. Одни из них крупные и яркие, другие — мелкие и еле заметны. Слишком большая удаленность от Земли не позволяет даже в самые сильные телескопы рассмотреть поверхность звезд. В телескопах они видны как светящиеся точки различной яркости и цвета. С помощью оптических приборов астрономы определяют температуру, химический состав, физические свойства звезд, рассчитывают их массу. Зная, например, *светимость*¹ и расстояние до звезды, можно получить представление о ее размерах. Самые крупные звезды называют *сверхгигантами*, мелкие — *белыми карликами*. Размеры сверхгиганта звезды Антарес в сотни раз больше размеров Солнца, масса в 30—40 раз меньше солнечной², а плотность вещества в тысячи раз меньше плотности воздуха у поверхности Земли. Белым карликом является спутник звезды Сириус, радиус которого такой же, как и у Земли³, масса такая же, как у Солнца, а плотность, судя по соотно-

¹ Светимость — количество энергии, излучаемое в 1 с поверхностью звезды.

² Масса Солнца приблизительно равна $2 \cdot 10^{33}$ г.

³ Масса Земли равна $5,976 \cdot 10^{27}$ г, средний радиус — 6371,110 км.

шению размеров и массы, в десятки тысяч раз превышает солнечную. Размеры ближайших звезд определяются относительно радиуса Солнца, принимаемого за единицу. Так, радиус звезды сверхгиганта Бетельгейзе равен 300 солнечным радиусам, звезды Вега — 2,4, Сириуса В — 0,0034. В Галактике преобладают мелкие звезды. Как показали подсчеты, на 10 млн. белых карликов приходится 1000 гигантов и только одна звезда сверхгигант.

Цвет звезд зависит от их температуры. Голубовато-белый — 24 000 К, белый — 12 000, желтый — 5900, красный — 3300 К. Температура наиболее холодных звезд ниже 2000 К, а наиболее горячих (ядра планетарных туманностей) 100 000 К. Температура ядер звезд значительно превышает температуру их поверхности и измеряется миллиардами градусов. Плотность межзвездной среды 10^{-25} г/см³, красного сверхгиганта $5 \cdot 10^{-8}$, нейтронных звезд 10^{14} г/см³, средняя плотность Земли 5,527 г/см³.

Звездное вещество представляет собой *плазму*¹. Согласно данным спектральных исследований плазма состоит главным образом из ионизированных водорода и гелия, реже из более тяжелых химических элементов. Источником энергии звезд на ранней стадии их развития является гравитационное сжатие, на последующих — термоядерные реакции. Ядерным горючим могут служить как водород, так и гелий. Термоядерные реакции протекают обычно в ядрах звезд.

Поверхностные слои звезд называют *звездными атмосферами*. В их составе выделяют три слоя: внутренний — *фотосфера*, средний — *хромосфера* и внешний — *протяженная корона*. Фотосфера пропускает и излучает в окружающее пространство различные виды электромагнитных излучений: радиоволны, инфракрасное излучение, видимый свет, ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучение. Излучения дают нам информацию о звездах и помогают выявить природу происходящих на них физических процессов. Одним из удивительных физических процессов является пульсация атмосферы *переменных* звезд, которая приводит к изменению яркости звезды, ее температуры и спектра. Физические процессы сопровождаются химическими превращениями вещества и вызывают перестройку внутренней структуры звезды. Выделение энергии носит постепенный или пульсирующий характер. Длительность термоядерных процессов измеряется миллионами и миллиардами лет.

Есть звезды, у которых изменения яркости, блеска и других свойств происходят довольно быстро — в течение суток, а то и секунд. К числу таких звезд относятся новые и сверхновые звезды. *Новыми* называют звезды, блеск которых быстро увеличивается (в тысячи, а то и миллион раз), а потом падает. Длительность вспышки длится сутками, спад — годами и десятилетиями. К *сверхновым* относят звезды, у которых светимость в течение нескольких дней может достигнуть колоссальных значений, превышающих

¹ Плазма — газ, большинство атомов которого ионизировано.

яркость галактик. После вспышки образуется газовое облако, впоследствии рассеивающееся в пространстве. Оставшееся после вспышки ядро превращается со временем в *нейтронную звезду* или *черную дыру*.

Образование *нейтронной* звезды начинается с сильного сжатия оставшейся материи ядра. Силы гравитации возрастают настолько, что протоны и электроны, сливаясь, превращаются в нейтроны. В результате сильного сжатия ядро уменьшается и размеры его достигают 10—100 км в диаметре. Плотность вещества повышается до невероятных значений. Масса нейтронных звезд обычно не превышает двух солнечных масс.

Нейтронные звезды с большими магнитными полями называют *пульсарами*. Пульсары излучают импульсы радиоволн, обнаруживаемые только радиотелескопами.

Черные дыры возникают в результате неограниченного сжатия вещества, при котором сверхплотная материя все поглощает вокруг и ничего не излучает. Их масса превышает массу нейтронных звезд. Обнаруживаются черные дыры по гравитационному влиянию на межзвездную среду или движение соседних звезд.

Интересны по своей природе *двойные звезды*. В их состав входят две, а иногда и более составляющих, вращающихся вокруг общего центра масс.

Квazarы. В 1954 г. во внешних частях Метагалактики были обнаружены мощные источники инфракрасного, ультрафиолетового и радиоизлучений, обладающие энергией, в миллионы раз превышающей энергию нашей Галактики. Их назвали *квazarами*. Свечение квazarов равно почти 100 триллионам звезд. Природа квazarов пока остается загадкой.

Расстояния между звездами измеряются в световых годах. Ближайшая к нам звезда α -Центавра удалена от Солнца на 4 световых года. Это расстояние принимается за среднее между звездами.

Межзвездная среда. Так называют пространство между звездами, заполненное разреженным газом и пылью. Как показали спектральные исследования, газ состоит из электронов, протонов, ионизированных водорода и гелия. В спектре обнаружены линии кислорода, серы, азота, углерода, алюминия, калия, железа и других элементов. Пылинки состоят из смеси льда, кристаллических аммиака и метана и примеси металлов. В отдельных частях межзвездной среды газ и пыль уплотнены и образуют газовые, пылевые или смешанного состава облака. Плотность вещества среды 10^{-20} г/см³, облаков 10^{-29} г/см³. Значительную роль в межзвездной среде играют *космические лучи*, т. е. электроны, протоны и ядра тяжелых элементов, движущиеся с почти световыми скоростями в межпланетном пространстве. Космические лучи исходят от Солнца и из недр Галактики.

Большая часть материи Вселенной сосредоточена в звездах. Предполагается, что звезды образуются из диффузной межзвездной среды. Как показали наблюдения, проводимые А. А. Амбар-

цумяном (1947), звезды рождаются группами или ассоциациями, в пределах которых все тела обладают сходными свойствами (возрастом, температурой, блеском и др.). Замечено, что рассеянные скопления нашей Галактики состоят в основном из молодых звезд (возраст сотни миллионов лет). Возраст звезд шаровых скоплений свыше 3 млрд. лет. В начальную стадию рождения звезды происходит сгущение и уплотнение материи, а затем ее гравитационное сжатие. Последнее вызывает разогревание вещества. Заметить молодую звезду удается лишь с помощью инфракрасного излучения. Когда температура звезды достигает 10—15 млн. К, звезда вступает в главную, самую длительную стадию своего развития, которая называется *главной последовательностью*. В это время внутри звезды начинаются термоядерные реакции, обусловленные превращением водорода в гелий. Чем массивнее звезда, тем быстрее завершается ее эволюционный путь развития. Большой частью он заканчивается превращением звезды в красный гигант или белый карлик. При жизни звезды ее вещество, постепенно рассеиваясь в пространстве, создает условия для образования звезд следующего поколения. За время жизни нашей Галактики (более 10 млрд. лет) в ней сформировались звезды двух поколений. Ко второму относится и Солнце.

Глава II

СТРОЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Солнце — ближайшая к Земле звезда. Оно удалено от Земли на расстояние в 149 600 000 км. Это расстояние принято на Международном астрономическом съезде 1964 г. за единицу измерения расстояния между космическими объектами и называется *астрономической единицей* длины (сокращенно а. е. д.). Вокруг Солнца обращается рой более мелких холодных космических тел: планеты, их спутники, астероидов, комет, метеоритов. Эти тела вместе с Солнцем образуют единую *Солнечную систему* (рис. 2). Солнечная система имеет вид огромного плоского вращающегося круга, расположенного в пределах одной из звездных подсистем Галактики. Совместно с группой ближайших звезд Солнечная система вращается вокруг центра Галактики, совершая один оборот за 200 млн. лет. Планеты, движущиеся вокруг Солнца, расположены в следующем порядке: ближайшей к Солнцу является планета *Меркурий*, затем следуют *Венера*, *Земля*, *Марс*, *Юпитер*, *Сатурн*, *Уран*, *Нептун*, *Плутон*. Вокруг большинства планет обращаются спутники. Между орбитами Марса и Юпитера расположен рой так называемых *малых планет*, или *астероидов*, размеры которых во много раз меньше, чем размеры планет. На далеких окраинах Солнечной системы располагаются *кометы* и *газопылевые облака*. Межпланетное пространство заполнено космической пылью и межпланетным газом.

Солнце — центр Солнечной системы. На него приходится 99,866% всей массы системы. Солнце — желтая звезда средней ве-

личины. По физическому состоянию это плазменный шар, в составе которого обнаружено более 70 химических элементов. Преобладающий элемент — водород, по числу атомов его примерно в 10 раз больше, чем всех остальных элементов (70% всей массы Солнца), 29% массы Солнца приходится на гелий, на долю остальных элементов приходится чуть больше 1%. Радиус Солнца 696 000 км, средняя плотность 1,41 г/см³. Средняя температура внешних слоев 6000 К, глубоких недр — более 10 млн. К. Тепловая энергия

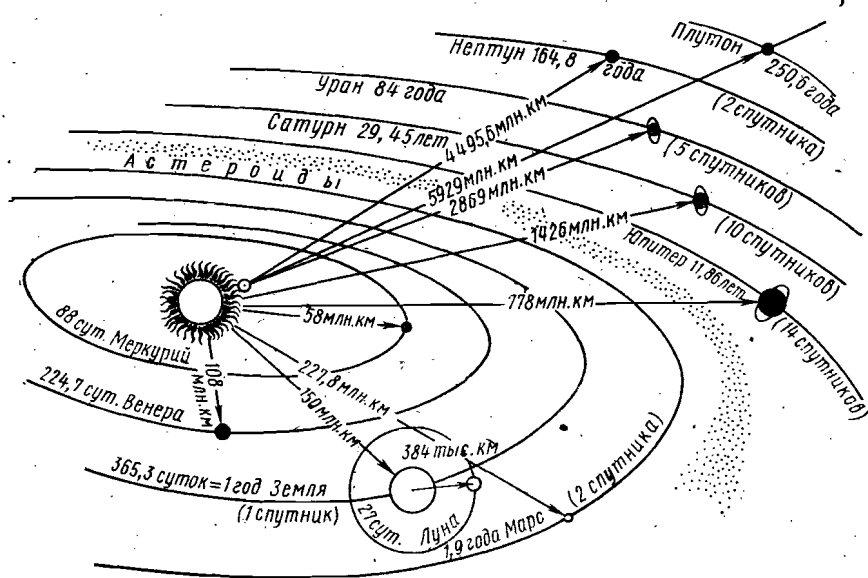


Рис. 2. Схема строения Солнечной системы (цифрами указаны расстояния от Солнца до планет и время обращения планет по своим орбитам) (по А. Е. Меньчукову, 1977)

Солнца обусловлена термоядерными реакциями превращения водорода в гелий. Солнце окружено сильно разреженной нагретой плазменной оболочкой — *солнечной атмосферой*. Последняя подразделяется на *фотосферу*, *хромосферу* и *корону* (рис. 3). *Фотосфера* — тонкий слой газа, весьма прозрачный, с концентрацией частиц около 10^{16} – 10^{17} в 1 см³, температурой 5–6 тыс. К, толщиной около 350 км. *Хромосфера* — излучающий слой протяженностью 10 000 км, температура 5000–15 000 К, плотность плазмы $3 \cdot 10^{-12}$ г/см³. *Корона* — внешний сильно разреженный слой солнечной атмосферы с температурой около миллиона градусов. Составляет преимущественно из свободных протонов и электронов. Плотность плазмы ниже плотности атмосферных газов у поверхности Земли приблизительно в 100 млрд. раз. Наблюдать корону можно во время полной фазы солнечных затмений. Она имеет вид расходящихся корональных лучей, сильно вытянутых в экватори-

альной части и сжатых в полярной. Лучи простираются на расстояние нескольких десятков солнечных радиусов. При повышении солнечной активности размеры короны несколько увеличиваются и форма ее становится близкой к сферической. Выяснилось, что из солнечной короны происходит постоянное истечение плазмы. Это расширение короны в межпланетное пространство называется *солнечным ветром*. Мощный поток заряженных частиц (электронов и протонов) движется с большой скоростью, нарастающей по мере удаления от Солнца. Попадая в геомагнитное поле Земли, ветер сжимает его, вызывает в атмосфере полярные сияния, магнитные бури и другие явления.

Солнце совершает вокруг оси один оборот за 27 суток. В солнечной атмосфере возникают быстро меняющиеся активные образования, резко отличающиеся от окружающих невозмущенных областей.

Проявления солнечной активности весьма различны, и количество этих проявлений периодически меняется. Различают годы «спокойного» и «активного» Солнца. Солнечная активность проявляется в виде факелов, пятен, хромосферных вспышек, протуберанцев.

Активизация предшествует очаговое усиление напряженности магнитного поля. Для общего магнитного поля Солнца напряженность около 80 А/м. В активных областях она увеличивается в сотни и тысячи раз. При небольшом усилении магнитного поля появляются *факелы* — более яркие области фотосферы.

В областях факелов с наибольшим усилением магнитного поля могут возникнуть *солнечные пятна* — темные образования на диске Солнца с температурой примерно на 1000 К ниже температуры фотосферы. Пятно имеет вид овала, окруженного более светлой волокнистой полутьней. Диаметр мелких пятен около 1000 км, крупных — до 100 000 км, напряженность магнитного поля 80–360 тыс. А/м. Располагаются они по обе стороны солнечного экватора цепочками. В отдельные годы (1957–1958) пятна распространяются по всему солнечному диску. Мелкие пятна живут до двух суток, крупные — 10–20 суток, а иногда и до 100 дней.

Протуберанцы — огромные, причудливой формы облака, состоящие из плазмы. В период солнечных затмений протуберанцы мож-

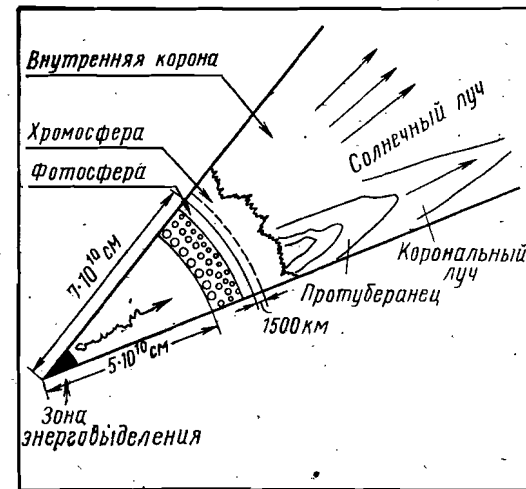


Рис. 3. Строение Солнца и его атмосферы (Малая энциклопедия, 1976)

но наблюдать на поверхности солнечного диска. Они имеют вид гигантских полотен, вдоль складок которых из короны в зону пятен истекает вещество. Высота этих облаков до 30 тыс. км, мощность — до 10 тыс. км. Время жизни протуберанцев измеряется от десятков минут до года и более. Температура их выше температуры фотосферы.

Самые сильные проявления солнечной активности — *хромосферные вспышки*, наблюдаемые в области солнечных пятен. Они представляют собой выброс струй солнечной плазмы. Яркость вспышки возрастает в течение 5—10 мин, угасание длится 1—2 ч.

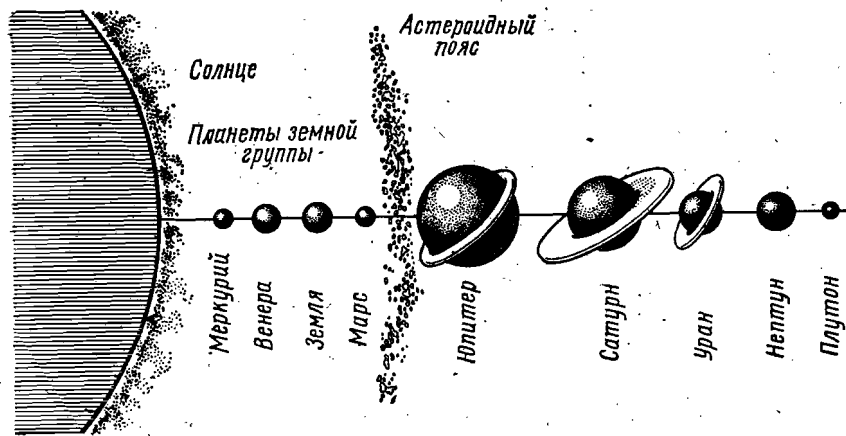


Рис. 4. Сравнительные размеры планет Солнечной системы

С увеличением яркости температура плазмы достигает 10—30 млн. К. В момент вспышки освобождается энергия, эквивалентная взрыву нескольких миллиардов атомных бомб.

Активность Солнца возобновляется через каждые 11,2 года. Этот период называют *солнечным циклом*. Повышение активности длится 4,2 года, спад — 7 лет. Предвестник бурных реакций на Солнце — электромагнитное излучение. Рентгеновское излучение и космические лучи достигают Земли через 8—30 мин после вспышки, а поток выброшенных частиц достигает орбиты Земли примерно через сутки. Источник электромагнитного спектра — хромосферные вспышки. Они выбрасывают мощные потоки ультрафиолетового и рентгеновского излучений. Вслед за электромагнитным излучением движется поток частиц высоких энергий — электронов и протонов. Заряженные частицы всей своей мощью обрушиваются на магнитное поле Земли и деформируют его. В высоких широтах во время возмущения магнитного поля наблюдаются северные сияния, нарушается радиосвязь.

По соотношению водорода и гелия (водорода примерно в 10 раз больше, чем гелия) возраст Солнца оценивается в 5 млрд. лет. Согласно расчетам Солнце находится в главной последова-

тельности своего развития и будет пребывать в этой стадии еще около 7 млрд. лет.

Планеты и их спутники. Все девять планет Солнечной системы обращаются вокруг Солнца по эллиптическим (близким к круговым) орбитам в одном направлении. Расстояния между орбитами по мере удаления от Солнца увеличиваются. Особенности строения, размеры и свойства планет позволили разделить их на две группы: планеты типа Земли и планеты-гиганты (табл. 1, рис. 4).

Таблица 1. Характеристика планет Солнечной системы

Название планет	Среднее расстояние от Солнца, млн. км	Диаметр, тыс. км	Плотность, г/см ³	Масса, выраженная в единицах массы Земли	Период вращения вокруг оси	Орбитальный период обращения	Число спутников
Меркурий	58	4,88	5,59	0,05	59 сут	88 сут	—
Венера	108	12,10	5,22	0,82	243 сут	224,7 сут	—
Земля	150	12,74	5,52	1,00	23 ч 56 мин 4 с	365,3 сут	1
Марс	227,8	6,8	3,97	0,11	24 ч 37 мин 22 с	1,9 лет	2
Юпитер	778	142,8	1,30	317,82	9 ч 50 мин	11,86 лет	14
Сатурн	1426	120,8	0,71	95,11	10 ч 14 мин	29,45 лет	10
Уран	2869	50,8	1,47	14,52	10 ч 49 мин	84 лет	5
Нептун	4495,6	48,6	2,27	17,23	15 ч 40 мин	164,8 лет	2
Плутон	5929	4,40	10,4	0,11	6,4 сут	250,6 лет	1

Планеты земной группы. Ближайшая к Солнцу планета — *Меркурий*, формы ее рельефа имеют поразительное сходство с рельефом Луны. Обширные равнины Меркурия покрыты кратерами разных размеров, местами наблюдаются линейно вытянутые уступы или обрывы протяженностью в сотни километров и высотой 2—3 км. Меркурий имеет слабое магнитное поле (около 1% земного). Он окружен разреженной атмосферой, состоящей из гелия и других газов. На стороне, обогреваемой Солнцем, температура достигает 420°C, ночью она снижается до 180°C. Солнечные сутки на Меркурии длятся 176 дней.

Венера — одна из красивейших планет Солнечной системы. Яркой белой звездочкой (светит отраженным светом) она четко выделяется на утреннем и вечернем небе. Поверхность планеты скрыта от глаз наблюдателя мощной и довольно плотной атмосферой. При зондировании Венеры с помощью межпланетных автоматических станций удалось установить, что газовая оболочка планеты состоит из плотных облаков углекислого газа, на долю которого приходится 97%, остальную часть составляют азот, инертные газы, аммиак, кислород, пары воды. В нижних слоях атмосфера нагревается до 475°C, давление 91 192—96 258 гПа¹, плотность воздуха в 65 раз больше плотности воздуха у поверхности Земли. Несмотря на мощный и плотный слой облаков, освеще-

¹ 1 гПа (гектопаскаль) = 10² Па (паскалей).



Рис. 5. Земля со стороны Луны. Фотография сделана из космоса

шенность поверхности довольно хорошая, о чем говорят фотографии, переданные с Венеры спускаемым аппаратом «Венера-10» в октябре 1975 г. На одной из фотографий виден участок поверхности планеты, покрытый обломками камней размером в десятки сантиметров. Измеренная плотность пород $2,8 \text{ г/см}^3$, что соответствует плотности лунных базальтов. Радиолокация планеты позволила обнаружить в ее рельефе кратеры диаметром 35—160 км. Смена времен года на Венере отсутствует. Планета вращается в сторону, противоположную вращению других планет.

Земля, согласно наблюдениям, отличается от других планет голубизной своих океанов и разбросанными среди них зеленовато-желтыми материками (рис. 5). Кратеры, характерные для планет земной группы, хотя и встречаются на Земле, не являются основной формой ее рельефа. В отличие от других планет атмосфера Земли состоит преимущественно из азота и кислорода. Более подробные сведения о нашей планете изложены в последующих главах.

Вокруг Земли по эллиптической орбите со средней удаленностью 384 400 км обращается естественный спутник — *Луна*. По размерам она почти в четыре раза меньше Земли и вместе с ней образует как бы двойную планету. Долгое время мы мало знали о нашей соседке. Лишь с помощью космических аппаратов люди смогли получить ответы на многие интересующие их вопросы.

Луна постоянно обращена к Земле одной стороной, одним полушарием. Объясняется это тем, что период вращения ее вокруг оси соответствует периоду обращения вокруг Земли (27 сут). Солнечные сутки на Луне составляют 29,5 земных суток. Диаметр Луны 3474 км, масса $7,35 \cdot 10^{25}$ г, средняя плотность $3,34 \text{ г/см}^3$, атмосфера отсутствует, небо имеет не голубой, как у Земли, а черный цвет. Наземные и космические исследования показали, что Луна — это огромный каменный шар, 85% поверхности которого покрыто горами или «материками». Остальную часть составляют лунные равнины — «моря». Равнины в отличие от материков имеют более темную окраску и расположены в основном на видимой стороне Луны. Наиболее крупные из них — Океан Бурь, Море Дождей, Море Ясности, Море Спокойствия, Море Изобилия и др. Поверхность Луны (как «материковая», так и «морская») покрыта кратерами. На «материках» кратеры более крупные (диаметр десятки и сотни километров), в районах морей более мелкие (диаметр десятки и сотни метров). На видимой стороне Луны их насчитывается около 17 тыс. Наиболее крупные из них названы именами выдающихся ученых и исследователей: Аристотеля, Ломоносова, Менделеева, Джордано Бруно, Циолковского, Королева, Гагарина и др. Имеются на Луне кольцевые горы и горные хребты, протяженность которых измеряется сотнями километров, а высота 3—5 км.

В лунных породах обнаружены окислы кремния, титана, алюминия, магния, самородное железо и др. Минералы, содержащие воду и углекислый газ, отсутствуют. На обломках лунных пород следы ударных изменений. Представлены породы анортозитами и базальтами, которые в условиях Земли относят к магматическим образованиям. Изредка встречаются кратеры вулканического происхождения, имеющие конус, кратер и жерло.

Лунные моря — обширные лавовые равнины по возрасту более молодые, чем материки. Сверху они покрыты рыхлой легкой породой — *реголитом*, продуктом разрушения коренных пород, состоящим из стеклянных шариков и пыли. Исследования «Лунохода-2» показали, что мощность реголита в районе Моря Ясности

1—6 м. Лунные породы обладают довольно высокой отражательной способностью: от 8 до 18% солнечного света отражается. Поглощая тепловые лучи, поверхность Луны в лунный полдень нагревается до 130°C, ночью температура падает до —160°C. Сейсмические приборы, оставленные на Луне, на протяжении нескольких лет регистрировали слабые лунотрясения (0,5—0,3 балла по шкале Рихтера). По мнению исследователей, лунотрясения вызваны падением на поверхность Луны метеоритов и внутренними причинами. Во втором случае очаги лунотрясений расположены на глубинах 800—1000 км. Возраст Луны, по данным исследований лунных пород, около 4,5 млрд. лет.

Марс по размерам в два раза меньше Земли. Орбита Марса удалена от орбиты Земли в среднем на 78 млн. км. Марсианский год почти в два раза больше земного. Вокруг Марса обращаются два небольших спутника — Деймос (16 км) и Фобос (27 км), каждый из которых имеет вид каменной глыбы, покрытой небольшими кратерами. Поверхность Марса благодаря сильно разреженной атмосфере просматривается с Земли. В телескопы виден оранжевый шар с небольшими темными пятнами (марсианские моря), белыми полярными шапками и темными прямыми линиями, которые долгое время считали каналами, созданными живыми существами.

Советские и американские космические аппараты с близкого расстояния сделали сотни и тысячи снимков марсианской поверхности и передали их на Землю. Посадочные аппараты непосредственно исследовали марсианский грунт и брали пробы на определение биологической среды. На фотоснимках запечатлена панорама обширных марсианских равнин, пустынь, многочисленных кратеров и горных хребтов. Равнины напоминают лунные моря. Они сложены довольно плотными породами, напоминающими базальты, сверху покрыты более рыхлыми отложениями. Судя по углублению опор посадочных аппаратов, плотность грунта 1,67—1,8 г/см³. В составе марсианского грунта приборами установлены: Fe — 12—15%; Si — 13—15, Ca — 3—8, Al — 2—7, Ti — 0,5—2%.

На равнинах можно наблюдать трещины, подобные тектоническим разрывам Земли, каньоны, речные долины. Каньоны имеют вид глубоких, линейно вытянутых понижений рельефа протяженностью до 2500 км, шириной до 120 км и глубиной 3—4,5 км. На дне каньонов просматриваются скопления обломков пород, накопившихся при обрушении крутых склонов. Речные долины имеют хорошо разветвленную систему притоков. Протяженность долин 400—700 км, что характерно для равнинных рек. Руслу рек высохшие, но сохранившие характерные черты, петлеобразную форму, удлиненные острова, речные косы. О судьбе воды, когда-то наполнявшей марсианские водоемы, высказываются разные предположения. Одни ученые считают, что воды Марса сосредоточены в полярных ледяных шапках, другие предполагают, что вода погребена под наносами, где она, возможно, находится в замерзшем

состоянии. Общее мнение ученых — марсианский климат изменился, и эти изменения привели к осушению водоемов.

Особый интерес вызывают песчаные пустыни. На цветных фотографиях, переданных на Землю с автоматических станций, видны красно-бурые пески, слагающие дюны, и отдельные возвышенности. Пустыня *Теллас* имеет в поперечнике 1600 км. На ее поверхности не видно ни кратеров, ни гор. Марсианские кратеры имеют меньшую плотность сосредоточения, чем лунные. Это небольшие по размерам, плоскодонные неглубокие образования кольцевой формы. Вокруг многих из них виден выброшенный при падении метеоритов сыпучий материал. Иногда вокруг основного располагаются несколько меньших по размеру вторичных кратеров. На Марсе наблюдаются кратеры и вулканического происхождения. Уникален огромный вулканический конус «Никс Олимпика» диаметром 500 км и высотой до 20 км. В центре его расположено углубление диаметром 64 км, на дне которого видны структуры, напоминающие застывшую лаву.

Вокруг Марса существует магнитное поле, которое в 500 раз слабее земного. Поле радиации отсутствует. Планета окружена атмосферой. По данным измерений, атмосфера на 95% состоит из углекислого газа, остальную часть составляют: кислород — 0,1—0,4%, азот — 2—3, аргон — 1—2%, в незначительном количестве содержится влага, озон и окись углерода. Скорость ветра в спокойную погоду 0,9 м/с. Небо над Марсом красновато-оранжевого цвета. Это объясняется наличием в атмосфере пылеватых частиц, рассеивающих солнечное излучение в красной области спектра. В утренние часы над поверхностью планеты наблюдается плотная дымка. На высоте замечены слоистые облака. Во время одного из экспериментов нижний слой облачности наблюдался на высоте 3 км, верхний — 40 км. Измеренное давление воздуха оказалось очень низким, порядка 798 Па. Температура воздуха в дневные часы достигала 25°C, ночью понижалась до —70°C.

Атмосфера Марса не всегда спокойна. Нередко в ней бушуют пылевые бури. Бури могут принимать катастрофические размеры. В 1971 г. советские межпланетные станции «Марс-2» и «Марс-3» во время облета планеты зарегистрировали сильнейшую пылевую бурю, закрывшую поверхность Марса от обозрения. Буря продолжалась несколько месяцев. Судя по фотоснимкам, видимые признаки жизни на Марсе отсутствуют. Не принесли пока успеха и исследования по обнаружению признаков жизни в марсианском грунте, проведенные американскими посадочными аппаратами. Изучение планеты продолжается.

Планеты-гиганты. Самая большая планета Солнечной системы — *Юпитер*. Она более чем в 11 раз превышает размеры Земли. На нее приходится 70% всей массы планет. Юпитер окружен мощной слоистой атмосферой бело-оранжевого цвета. В ее составе обнаружены аммиак, метан, молекулярный водород и другие газы. В атмосфере наблюдается группа мелких и крупных пятен, среди которых обращает на себя внимание крупное Красное Пятно, по

размерам более чем в 3 раза превосходящее нашу Землю. На снимках, полученных с межпланетных станций «Пионер» и «Вояджер», видна вихревая структура пятна, движение газов в котором направлено против часовой стрелки. Температура верхних слоев атмосферы — 140°C, внутренней части планеты 15—20 тыс. градусов. Юпитер получает от Солнца тепла в 30 раз меньше, чем Земля, при этом он излучает тепла больше, чем получает. Это свидетельствует о довольно высокой температуре недр планеты. Межпланетными станциями зарегистрированы мощный пояс ра-

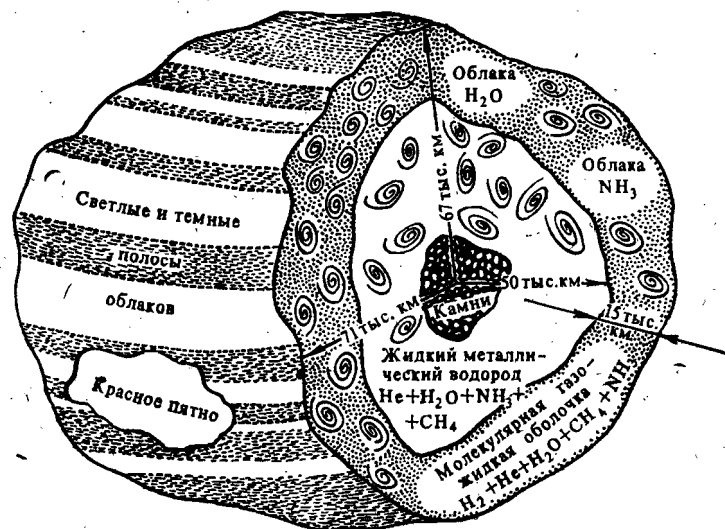


Рис. 6. Внутреннее строение Юпитера (модель по В. П. Трубищину, 1974)

диации и сильное магнитное поле. Магнитосфера простирается вокруг Юпитера на 50—100 его радиусов. Фотографирование с межпланетной автоматической станции «Вояджер» в марте 1979 г. ночной, невидимой со стороны Земли поверхности Юпитера позволило обнаружить кольцо, окружающее планету. Кольцо оказалось тусклым, состоящим из частиц размером в десятки и сотни метров. Ширина кольца 9000 км, толщина более 30 км, удаление от центра Юпитера — 128 000 км.

Весьма интересными объектами наблюдений оказались наиболее крупные спутники Юпитера: Ганимед, Калисто, Ио, Европа. По размерам они не уступают таким планетам земной группы как Марс, Меркурий. На цветных фотографиях, полученных с «Вояджера», хорошо видна коричнево-серая поверхность спутников, покрытая кратерами метеоритного происхождения. Плотность вещества у Калисто и Ганимеда 1,8—1,9 г/см³, что, по мнению ученых, соответствует смеси льда и горных пород. Ио и Ганимед окружены атмосферами, состоящими предположительно из метана,

аммиака, воды и азота. Наиболее интересным оказался спутник Ио, диаметр которого на 150 км больше диаметра Луны. На его хорошо освещенной поверхности видны голубовато-белые пятна неправильной формы и небольшое количество черных пятен. Последние оказались действующими вулканами. При фотографировании семь из них действовали и выбрасывали вулканические продукты. Вокруг кратеров видны потоки лавы. По мнению исследователей, вулканические явления на Ио более активны, чем на Земле.

На рис. 6 приведена одна из моделей Юпитера, составленная В. П. Трубищным по данным наблюдений и расчетов, позволяющая получить общее представление о внутреннем строении планет-гигантов.

Сатурн по размерам в 9 раз больше Земли. Окружен плотным метеоритным кольцом. Радиус кольца 138 000 км, ширина 60 000 км, толщина 1—3 км. Состоит оно из частиц размером около 10 см, имеет высокую отражательную способность порядка 70%, поэтому хорошо наблюдается с Земли. Мощная атмосфера Сатурна состоит из льдов аммиака и метана. В 1979 г. межпланетная автоматическая станция «Пионер-11» обнаружила у Сатурна мощное магнитное поле.

Уран по размерам уступает Сатурну. Диаметр планеты по уточненным данным около 51 400 км. Мощная атмосфера Урана состоит преимущественно из метана. В марте 1977 г. астрономы обнаружили у Урана пять колец, окружающих планету. Внутренний радиус колец 42 000 км, внешний — 51 000 км. Плоскость колец приблизительно совпадает с плоскостью экватора. Как полагают ученые, кольца состоят из каменных частиц и обладают очень низкой отражательной способностью (всего 5%).

Нептун по размерам в 4 раза больше Земли. Мощная атмосфера планеты имеет тот же состав, что и атмосфера Урана.

Плутон открыт в 1930 г. В силу большой удаленности изучен недостаточно. Расчеты, основанные на отражении от поверхности планеты солнечных лучей, показывают, что атмосфера Плутона состоит из неона. В 1977 г. на поверхности планеты был открыт метановый лед, а в 1978 обнаружен спутник, который по размерам в 3 раза меньше планеты.

Малые тела Солнечной системы. В начале XIX в. между орбитами Марса и Юпитера были обнаружены космические тела с поперечником, равным единицам и сотням километров. Их назвали *астериодами* или *малыми планетами*. В дальнейшем было открыто свыше 1800 астероидов¹. Наиболее крупные из них — Церера (767 км), Паллада (489 км), Веста (386 км), Юнона (193 км) — впервые были обнаружены в 1801—1807 гг. Астероиды — неправильной формы глыбы, состоящие из камня и железа. Рой этих каменных тел обращается вокруг Солнца и образует своеобразное астероидное кольцо, или пояс, удаленный от Солнца на расстояние

¹ По данным на 1976 г., общее число открытых астероидов достигло 1832.

2,8 а. е. (около 420 млн. км). Орбиты некоторых астероидов выходят за пределы кольца. Периодически отдельные астероиды приближаются к Земле на близкое расстояние. Так, астероид Икар (1,5 км в поперечнике) не раз проходил в непосредственной близости от Земли. Последний раз сближение наблюдалось в 1968 г., когда Икар подошел к Земле на расстояние 6,5 млн. км, следующее сближение ожидается в 1987 г. Сближение астероидов с планетами¹ может завершиться их столкновением. В результате столкновений на поверхности планет образуются взрывные воронки (кратеры). Примером могут быть Понигайский кратер на севере нашей страны (диаметр около 100 км), многочисленные кратеры Луны, Меркурия, Марса, Венеры (?). Раньше считали, что астероиды — осколки когда-то существовавшей десятой планеты Фазтон. Тщательные наблюдения и расчеты показали, что каменные глыбы — остатки протопланетного роя малых тел, из которого образовалась вся Солнечная система. Суммарная масса астероидов немногим более 0,001 массы Земли.

Метеориты (греч. метеорос — атмосферные и небесные явления, парящий в воздухе) — тела, падающие на Землю из межпланетного пространства; от астероидов отличаются меньшими размерами. Ежегодно на земную поверхность из космоса падает около 10 тыс. т метеоритного вещества. Метеориты диаметром менее 1 мм называются метеоритной пылью. Крупные метеориты выпадают редко. При прохождении через атмосферу Земли каменные тела от трения сильно нагреваются и начинают светиться. Иногда свечение достигает миллиона кандел. Такие яркие падающие огненные тела называют *болидами*. Нагревание ведет к сильному оплавлению метеорита, и он покрывается коркой плавления. Нередко метеорит разрушается, не достигнув Земли. Тогда на поверхность Земли падает град обломков. Падение их сопровождается шумом, вызывает сотрясение почвы. При ударе образуется взрывная воронка в форме кратера.

В феврале 1947 г. на западных отрогах Сихотэ-Алиня упал метеорит, масса которого, по оценкам ученых, превышала 100 т. Метеорит рассыпался на множество обломков, крупные из них образовали кратеры диаметром 11—28 м и глубиной до 6 м. Мелких обломков оказалось так много, что сбор их продолжается и в наши дни. Место падения сихотэалинского метеорита объявлено заповедным. Самым большим пока считается африканский метеорит Гоба массой около 60 т. В Гренландии найден метеорит Кейп-Йорк массой более 33 т. Самым большим метеоритным кратером считается кратер Аризоны в США диаметром 1200 м и глубиной 200 м. На поверхности Земли такие кратеры имеют различную степень сохранности. На территории СССР насчитывается около 120 кратеров разного происхождения, из них 16 — метеоритных. Существует мнение, что кольцевые структуры Земли (диаметром до 700 км), обнаруженные из космоса, расположены на месте

¹ По расчетам ученых, столкновение Земли с астероидами возможно раз в миллион лет.

древних метеоритных кратеров, уничтоженных интенсивной геологической деятельностью. Установлено, что метеориты приходят к нам из пояса астероидов и образуются, очевидно, при столкновении последних. Метеориты тщательно изучаются. На основе изучения химического и минерального состава метеориты делят на *каменные* — хондриты, *железные* — сидериты и *железокаменные* — сидеролиты. Основную массу всех находок (около 93%) составляют хондриты. Состав их близок к составу земных магматических пород *перидотитов*¹. Особый интерес представляют углистые хондриты, в которых обнаружено органическое вещество. Железные метеориты состоят из железа и никеля. Цвет метеоритов бывает пепельно-серым, темно-серым, черным, фиолетовым, синим и др. Метеориты дают нам ценные сведения о веществе внеземного происхождения.

Вокруг Солнца по параболическим орбитам, протяженность которых в тысячи раз превышает размеры Солнечной системы, обращаются *кометы*. Они имеют вид хвостатых звезд или туманностей. Кометы бывают крупными и мелкими. Каждая из них состоит из трех частей: ядра, головы и хвоста. Ядро — самая плотная часть кометы, в которой сосредоточена основная ее масса. Размеры ядра в поперечнике от 0,5 до 50 км, состоит оно из льдов H₂O, каменных веществ и кристалликов CH₄, NH₃, CO₂. Ядро окружено туманной оболочкой, называемой *комой*. Ядро с комой образует голову кометы. Размер головы в поперечнике от нескольких тысяч до 2 млн. км. У некоторых комет голова имеет вид вложенных друг в друга оболочек.

По мере приближения к Солнцу вещество комы под действием светового давления вытягивается в направлении движения кометы, образуя хвост. Последний состоит из сильно разреженных газов и достигает в длину десятков и сотен миллионов километров. В спектре комет обнаружены: углерод, азот, кислород, натрий, железо, молекулы CN, CH, OH, NH и др. Большую известность получила комета Когоутека, наблюдавшаяся в 1973—1974 г. В ее спектре обнаружены H₂O и радиоизлучение молекул цианистого водорода HCN и этилового спирта C₂H₅OH. Состав вещества комет близок к составу атмосфер планет-гигантов.

В настоящее время открыто около 1000 комет. Ежегодно список увеличивается на 5—10 комет. Кометы приходят из краевых зон Солнечной системы, движутся по орбитам со скоростью 500 км/с. Период обращения у них разный. У кометы Галилея, неоднократно наблюдавшейся астрономами, он равен 77 годам. При отклонении комет от орбиты возможны столкновения их с планетами. В результате таких столкновений образуются взрывные воронки-кратеры. Вошедший в историю Тунгусский метеорит, упавший в Сибирской тайге 30 июня 1908 г., ученые склонны считать небольшой кометой, столкнувшейся с Землей. В 1980 г. участники

¹ Ультраосновные магматические породы, богатые окислами магния и железа.

экспедиции Института геохимии и физики минералов Академии наук УССР обнаружили на месте ее падения алмазно-графитовые сродки внеземного происхождения. Рассеяние обнаруженных на месте падения изотопных частиц ^{14}C , а также мощность взрыва привели ученых к выводу, что масса взорвавшегося космического тела превышала 5 млн. т.

Нередко отмечают случаи распада ядер комет, в процессе которого возникают метеоритные потоки, состоящие из частиц размером в доли миллиметра. Метеоритные потоки, попадая в атмосферу Земли, вызывают в ней интереснейшие явления, называемые звездными дождями. Свечение метеоритных потоков наблюдается на высоте 80 км и более, ниже они не опускаются, так как сильно разогретые частицы испаряются в воздухе, не достигнув поверхности Земли. Один из таких дождей, получивший название Дождя Леонида, наблюдался полярниками в районе Карского моря в 1966 г.

Пространство в пределах Солнечной системы, заполненное метеоритной пылью, рассеянным веществом комет и межпланетным газом, называется *межпланетной средой*. Метеоритная пыль окружает планеты и Солнце. Межпланетный газ — ничто иное как солнечный ветер, влияние которого распространяется на всю Солнечную систему в радиусе 30—100 а. е. За пределами Солнечной системы межпланетная среда переходит в среду межзвездную.

Изучение Солнечной системы выявило в ее строении ряд закономерностей: 1) обращение всех планет вокруг Солнца в одном направлении; 2) вращение Солнца вокруг своей оси в том же направлении, в каком обращаются планеты; 3) обращение спутников вокруг планет (исключая некоторые спутники Юпитера, Урана и Сатурна) в направлении вращения планет; 4) вращение всех планет вокруг своей оси в одном направлении (исключая Венеру и Уран, которые вращаются в обратном направлении); 5) расположение орбит планет в одной плоскости (отклонение имеет лишь орбита Плутона); 6) расстояния между планетами по мере удаления от Солнца увеличиваются вдвое. Между планетами типа Земли существует морфологическое сходство: поверхность планет покрыта кратерами. Малые планеты имеют мало спутников или не имеют их совсем (Меркурий, Венера). Плотность у них намного выше, чем у планет-гигантов. Планеты окружены разреженными или довольно мощными газовыми оболочками, состоящими в основном из углекислого газа.

Каждая малая планета имеет и свои особенности. Планетой загадок остается Марс, на поверхности которого видны речные системы без воды, действуют мощные пылевые бури, существуют белые полярные шапки. Земля остается пока единственной, где обитают живые организмы, имеются огромные, заполненные водой океанические бассейны.

Планеты-гиганты не похожи на планеты земной группы. Их отличают большие размеры, малая плотность вещества, особенности строения. Как показали исследования последних лет, для

всех планет-гигантов характерны кольца. Впервые эту закономерность теоретически предсказал в 50-е годы советский астроном С. К. Всехсвятский. Состав атмосфер сближает большие планеты с кометами. Большое количество спутников, быстрое вращение говорят о несколько иных условиях развития этих планет.

Гипотезы происхождения Солнечной системы. Вопросами происхождения Солнца и планет занимается наука *космогония*. На разных этапах развития науки высказывались различные предположения о происхождении планет и Солнца. Развитие представлений шло по двум направлениям. Одно из них связывало рождение планет с катастрофами в космосе, другое рассматривало Солнечную систему как результат эволюции газово-пылевого облака.

Представители первого направления — Чемберлен, Джинс, Джеффрис и др. — в основу своих предположений ставили случайность. Так, английский астрофизик Дж. Джинс (1919) считал, что планеты образовались из сгустка солнечной материи, отторгнутого от Солнца силами притяжения проходящей близко звезды. Эти гипотезы ставили Солнечную систему (по сравнению с эволюцией других звезд) в положение исключительности. Несостоятельность таких гипотез состоит в том, что вероятность близкого схождения космических тел на фоне огромного пространства Вселенной крайне ничтожна.

Всеобщее признание получили гипотезы, основанные на эволюции газово-пылевой материи. Первая попытка объяснить происхождение Солнечной системы с этой точки зрения была сделана в 1755 г. немецким философом И. Кантом. По Канту, пространство, занимаемое Солнечной системой, вначале представляло собой первобытный хаос, заполненный твердыми неподвижными частицами. Силы взаимного притяжения, возникшие между частицами, привели каменный хаос в движение. Результатом движения явилось столкновение и слипание частиц и образование сгустков материи. Столкновение сгустков вызвало их вращение. Из центрального сгущения образовалось Солнце, а из небольших боковых сгущений — планеты. Первичное состояние планет и Солнца Кант считал горячим. Со временем горячие планеты остыли, стали холодными. То же, по мнению Канта, должно произойти и с Солнцем.

Несмотря на то что гипотеза удовлетворительно объясняла некоторые закономерности строения Солнечной системы, она имела много недостатков. Существенный из них — механистический взгляд Канта на материю. Он отрывал материю от ее свойства — движения (первобытный неподвижный каменный хаос).

В 1796 г. была опубликована космогоническая гипотеза французского математика П. С. Лапласа. Она во многом оказалась сходной с гипотезой Канта, хотя Лаплас не знал о ее существовании. По мнению П. С. Лапласа, Солнце и планеты образовались из горячей вращающейся туманности. По мере охлаждения происходило ее сжатие и увеличение скорости вращения. Со временем туманность приобрела форму диска, от которого в экваториальной части по мере возрастания центробежной силы отделялись га-

зовые кольца (рис. 7). Количество отделившихся колец соответствовало числу планет Солнечной системы. Кольца были неустойчивыми. Постепенно они размыкались, вещество колец сгущалось, становилось компактным. Так происходило зарождение планет. Подобным же образом Лаплас объясняет и образование спутников планет. Для Солнца, согласно гипотезе, исходным веществом для образования послужило центральное сгущение туманности.

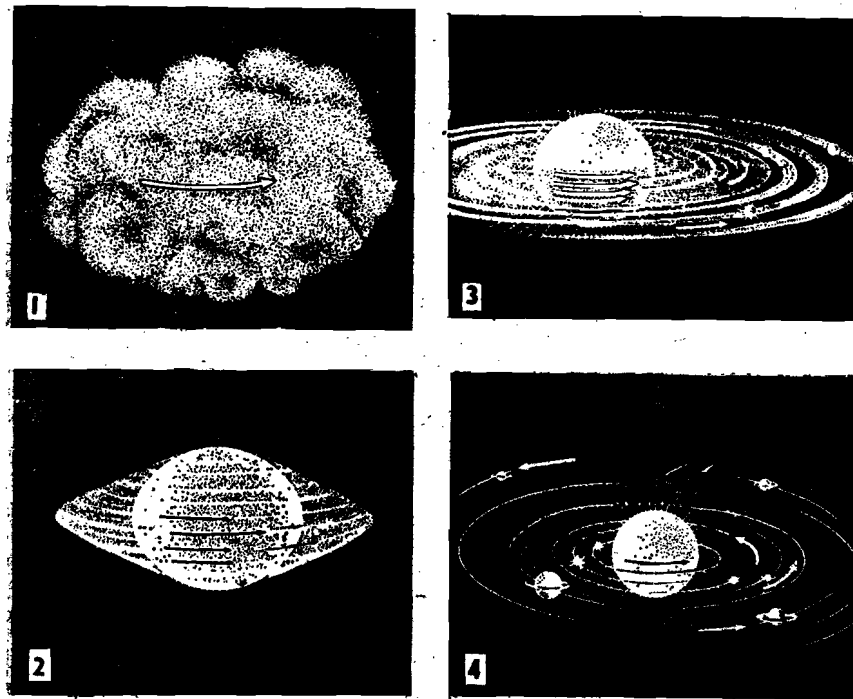


Рис. 7. Развитие Солнечной системы в соответствии с гипотезой Лапласа

Гипотезы Канта и Лапласа длительное время пользовались большой популярностью. Эти гипотезы впервые объяснили образование крупных материальных тел из газово-пылевой материи и изменили существовавший в то время взгляд на неизменность Вселенной. С точки зрения современной науки эти гипотезы имеют серьезные недостатки. Современная физика, например, не считает возможным длительное нахождение в природе устойчивых газовых колец. Общеизвестно, что газ при выделении, как правило, рассеивается. Не находит объяснения и обратное вращение Венеры, Урана и некоторых спутников планет.

На смену рассмотренным гипотезам пришли другие, объясняющие образование планет из холодной материи. Первая такая ги-

потеза была опубликована в 1943 г. советским ученым О. Ю. Шмидтом, который выдвинул предположение, что планеты сконденсировались из относительно холодного газово-пылевого облака, и эта точка зрения поддерживается многими современными исследователями (рис. 8).

Достоинство гипотезы О. Ю. Шмидта состоит в том, что она объяснила многие особенности строения Солнечной системы,

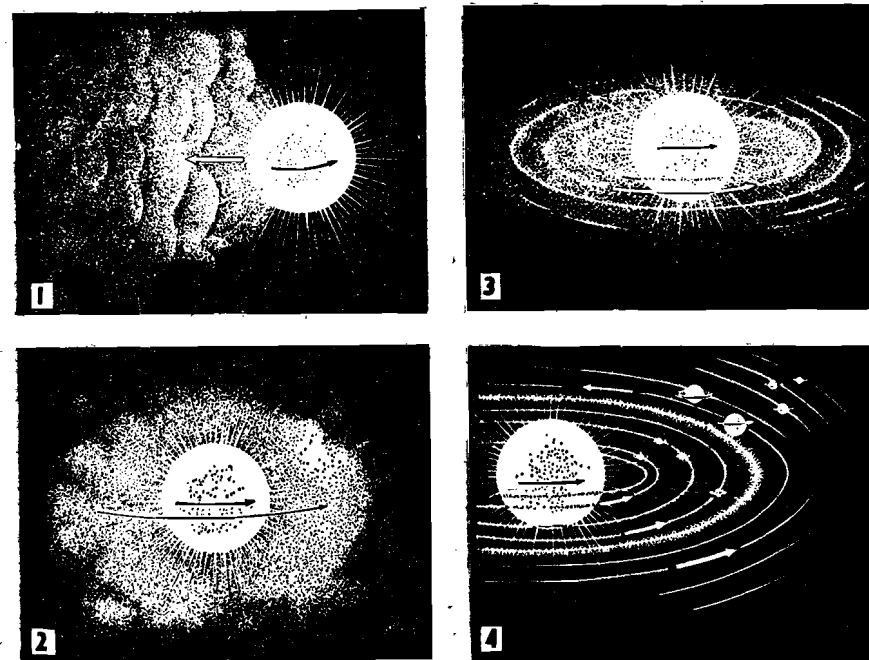


Рис. 8. Развитие Солнечной системы в соответствии с гипотезой О. Ю. Шмидта

в частности образование планет земной группы и планет-гигантов, закономерности увеличения расстояний между планетами и др. Недостатком гипотезы является неубедительность захвата Солнцем газово-пылевого облака и, главное, отсутствие представления о том, как образовалось Солнце, в котором сосредоточена почти вся масса Солнечной системы.

В пятидесятые годы была опубликована гипотеза известного советского астронома В. Г. Фесенкова, который подошел к решению проблемы с точки зрения рождения и эволюции звезд. Он считал, что Солнечная система не исключение в Галактике, что планетные системы существуют и вокруг других звезд. Рождение Солнца и планет В. Г. Фесенков считал одновременным. За исходную материю он принимал уплотненное волокно газово-пылевой туманности. Вначале в пределах волокна образовалось звездное

сгущение — Протосолнце. Быстрое вращение первичного Солнца (Протосолнца) не благоприятствовало присоединению оставшейся газовой-пылевой материи, и она была отброшена от центрального сгущения. Неравномерное распределение материи и перепады в плотности вызывали появление местных сгущений, из которых образовались первичные планеты (протопланеты) и их спутники. Как полагал В. Г. Фесенков, первым должен был образоваться Плутон, за ним — Нептун и т. д. Протопланеты формировались на безопасных расстояниях, поэтому не оказывали существенного влияния друг на друга. Масса первичных планет и Солнца раз в 8—10 превышала массу современной Солнечной системы. В начале химический состав вещества материальных тел был одинаковым, но затем под влиянием солнечного тепла состав ближайших к Солнцу планет изменился.

В настоящее время общепризнанной является гипотеза образования Солнца и планет из газовой-пылевой облака. Малые тела — астероиды, кометы, метеориты — считаются остатками когда-то существовавшего роя промежуточных тел, не принявших участия в планетообразовании, так как они находились в зоне, недоступной воздействию сил притяжения Марса и Юпитера. Астероиды и метеориты считаются исходным материалом планет земной группы, а кометы и метеорные потоки — планет-гигантов. Основываясь на данных о возрасте метеоритов, земных горных пород и лунного грунта (около 4,7 млрд. лет), можно сделать вывод, что астероидные тела формировались одновременно с другими планетами Солнечной системы. Различия в их плотности свидетельствуют о том, что планеты построены из неоднородного материала. Луна, например, имеет плотность меньшую, чем планеты ее группы ($3,34 \text{ г/см}^3$), что соответствует плотности каменных метеоритов, в то время как Меркурий, плотность которого $5,59 \text{ г/см}^3$, содержит много железа.

А. П. Виноградов считает, что все планеты земного типа, исключая Луну, имеют плотные металлические ядра железоникелевого состава. К этому выводу он пришел на основе эксперимента. Конденсируя пары никеля и железа в условиях вакуума, он получил характерные для железных метеоритов сплавы — *камасит* и *тенил*. Следовательно, железоникелевые соединения могли возникнуть в протопланетном облаке. Геохимические данные позволяют считать, что металлические ядра планет образовались в момент формирования планетных сгущений. Появлению ядер предшествовали процессы перераспределения первичного вещества протопланетного облака, обусловившие формирование железоникелевых сгущений, вокруг которых по мере увеличения планет-шло нарастание силикатных оболочек. Далее А. П. Виноградов пишет: «Таким образом дальнейшая дифференциация вещества земной мантии на оболочки шла на фоне уже существовавшего металлического ядра планеты».

Современная космогония, опирающаяся на достижения астрономии, геологии, геофизики, геохимии, космохимии, считает, что Солнечная система возникла из единого газовой-пылевой облака,

где каждая планета и спутник формировались путем аккумуляции материальных частиц вокруг определенных центров, послуживших зародышами будущих планет. Изучение Солнечной системы продолжается.

Глава III

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Наиболее древний метод изучения космического пространства — *астрономический*. На протяжении многих столетий с его помощью изучалась картина мироздания и развивалось представление о бесконечности, материальности и познаваемости Вселенной.

Большое значение для изучения вещества внеземного происхождения имеет *метеоритный метод*, в основе которого лежат исследования химического и минерального состава метеоритов. Наиболее молодым, но весьма результативным является *метод исследования окружающего нас пространства с помощью спутников и межпланетных автоматических станций*.

Астрономический метод. Он появился за много веков до нашей эры, когда окружающий мир познавался простым созерцанием. Настоящую революцию в зарождающейся астрономии вызвало совмещение видимой полусферы неба с невидимой ее частью. Оно послужило основой для создания *геоцентрической системы мира* Аристотеля — Птолемея (IV в. до н. э.), в которой Земля помещена в центр мироздания. Важным событием в астрономии стала смена *геоцентризма гелиоцентризмом*, которая низвела Землю до положения рядовой планеты Солнечной системы.

Утверждение гелиоцентризма продолжалось несколько веков: от Аристарха Самосского (III в. до н. э.) до Николая Коперника (XVI в.). Оно сопровождалось ожесточенной борьбой с инквизицией, отстаивавшей неизменность окружающего мира. В 1600 г. был сожжен Джордано Бруно только за то, что утверждал бесконечность Вселенной и предполагал существование бесчисленного множества миров. Однако наука развивалась. Новые открытия шаг за шагом раскрывали тайны Вселенной. В середине XVII в. Галилео Галилей впервые для наблюдения небесных тел использовал зрительную трубу, позволившую увидеть большинство планет Солнечной системы и их спутников. Позже И. Кеплер открыл закон движения планет, Ньютон — закон всемирного тяготения. На рубеже XVIII и XIX вв. В. Гершелем были заложены основы звездной астрономии, раскрывшей перед людьми мир звезд.

Совершенствование оптической техники позволило проникнуть в тайны внегалактических туманностей, расположенных далеко за пределами нашей Галактики. Благодаря мощным телескопам беломолочные пятна туманностей превратились в огромные звездные системы, по размерам не только не уступающие, но во многих слу-

чаях превышающие Галактику. Постепенно изучалась окружающая Землю часть Вселенной, названная впоследствии *Метагалактикой*. Вначале Метагалактика считалась системой стационарной, положение небесных объектов в ней представлялось неизменным. В 20-е годы XX столетия благодаря работам А. А. Фридмана и открытию красного смещения Э. Хаббла эти представления изменились. Было доказано, что Метагалактика — система однородная и изотропная (одинаковая по свойствам во всех своих частях), нестационарна и состоит из галактик, разбегающихся друг от друга в стороны.

Огромное значение для науки имела теория относительности Эйнштейна (30-е годы XX в.). Эйнштейн считал, что пространство и время не «арена» (как считал Ньютон), где разворачиваются физические процессы, а сами являются непосредственными «участниками» этих событий. Значительным событием нашего века было открытие в 1965 г. реликтового излучения, которое пролило свет на эволюцию Метагалактики.

По мере изучения окружающего нас мира перед учеными возникали все новые и новые проблемы. В решение многих из них значительный вклад внесли ученые Советского Союза. Всему миру известны имена Я. Б. Зельдовича, И. С. Шкловского, Ю. Н. Парийского, А. Б. Северного, В. А. Амбарцумяна и других советских ученых, труды которых способствовали изучению эволюции галактик, звездных ассоциаций, физических процессов на Солнце и звездах и т. д. Новейшая отечественная техника способствовала открытию в окраинных зонах Метагалактики мощных источников радиоизлучения и объектов типа сверхгалактик. В 1976 г. на Кавказе введен в строй крупнейший в мире телескоп БТА с шестиметровым зеркалом. Телескоп снабжен спектральными приборами, способными улавливать свет от самых далеких слабосветящихся звезд, определять химический состав объекта и среды, устанавливать напряженность магнитного поля и др. Термоэлементы, устанавливаемые в фокусе телескопа, позволяют определить температуру звезд и планет. Применяются для изучения небесных тел и радиотехнические средства. С их помощью, например, производилась радиолокация планеты и Солнца. Радиолокация Венеры, например, позволила уточнить расстояние до планеты, определить период ее вращения, изучить рельеф.

Большим достижением советской науки и техники явилось введение в строй в 1977 г. крупнейшего в мире радиотелескопа РАТАН-600 с круговым зеркалом диаметром 576 м. Радиотелескоп позволяет изучать квазары, пульсары, радиогалактики. Установлен он на Северном Кавказе в районе станицы Зеленчукской.

Астрономические исследования проводятся обсерваториями, научно-исследовательскими институтами, университетами. Большинство обсерваторий расположено в районах с наибольшим количеством солнечных дней в году. Старейшей в нашей стране является Пулковская обсерватория под Ленинградом, построенная в 1839 г. Большой известностью пользуются Крымская астрофизическая

обсерватория близ Симферополя, Бараканская около Еревана, Абастуманская близ Боржоми. Широко известен Государственный астрономический институт им. Штернберга (Москва). Обсерватории ведут наблюдения за галактиками, звездами, планетами, участвуют в проведении космических экспериментов.

Интереснейшей проблемой астрономии являются поиски внеземных цивилизаций. Одни исследователи считают жизнь на Земле явлением исключительным, характерным только для нашей планеты, другие предполагают, что звезды — «солнца» других планетных систем, на которых также возможна жизнь. С целью обнаружения внеземных цивилизаций начаты эксперименты по установлению связи с другими мирами. В ноябре 1974 г. с 300-метрового радио-телескопа в Пуэрто-Рико было отправлено в космос первое радио-послание. Сигнал передан в сторону шарового скопления в созвездии Геркулеса. Обратный ответ на послание может поступить примерно через 48 тыс. лет.

С началом космической эры значение астрономической науки возросло. Этому способствовали точные астрономические наведения летательных аппаратов на объекты: Луну, Марс, Венеру и др.

Метеоритный метод. Метеориты представляют большой интерес для науки. С их помощью изучают вещественный состав Солнечной системы и процессы ее образования. Как показали исследования, метеориты состоят преимущественно из тех же минералов, что и горные породы земной коры. В их составе обнаружены графит, самородное железо, сульфиды, окислы, карбонаты, фосфаты и др. Весьма распространены в метеоритах никелевое железо, оливин, пироксены. Есть минералы, нехарактерные для земной коры. Это добрелит $\text{FeS} \cdot \text{Cr}_2\text{S}_3$, лавренсит FeCl_2 и др.

По данным А. Е. Ферсмана, в среднем в метеоритах содержится: Fe — 37,04%, O — 28,56, Mg — 11,03, Si — 14,47%. На долю никеля, кобальта, калия, кальция, алюминия, натрия и некоторых других элементов приходится единицы и десятые доли процента. А. П. Виноградов, исследовавший химический состав железных метеоритов, отмечает, что для сидеритов характерны примеси никеля, платиноидов, кобальта, золота, молибдена, галлия, германия и др. Титан, ванадий, марганец присутствуют в незначительных количествах. Сопоставление минерального и химического состава метеоритов и других тел Солнечной системы свидетельствует о том, что материя Солнечной системы едина.

Исследование космического пространства с помощью спутников и межпланетных автоматических станций. Первый советский искусственный спутник Земли, запущенный в октябре 1957 г., положил начало изучению космоса с помощью летательных аппаратов. Вслед за первым спутником были запущены спутники с животными на борту, а в январе 1959 г. — межпланетная автоматическая станция «Луна-1». С 1961 г. на орбиту вокруг Земли стали выходить тяжелые спутники, запуск которых завершился полетом первого в Мире пилотируемого корабля с человеком на борту. Весь мир узнал имя первого космонавта Ю. А. Гагарина, совер-

шившего свой беспримерный полет 12 апреля 1961 г. Не прошло и трех лет, как на орбите появились многоместные космические корабли типа «Восход» и «Союз». Огромную работу по исследованию космического пространства продолжают спутники серии «Космос». С их помощью изучают атмосферу и магнитное поле Земли, решают народнохозяйственные задачи, для уточнения геодезических карт проводится фотографирование поверхности Земли, ведутся геологические исследования, осуществляются на большие расстояния радио- и телевизионные передачи, проводится разведка погоды. Это далеко не полный перечень исследований, проводимых искусственными спутниками Земли. Более широкий перечень исследований осуществляется экипажами космонавтов, выполняющими работы на орбитальных станциях типа «Салют».

Межпланетные полеты в Советском Союзе открыли межпланетные автоматические станции серии «Луна», «Марс», «Венера». Межпланетные станции типа «Луна» решили ряд сложных научных задач. Ими сфотографирована обратная поверхность Луны, взяты пробы лунного грунта, получена информация о физико-химической характеристике планеты. В американских экспериментах были использованы космические корабли серии «Рейнджер», «Сервейор», «Орбита», «Аполлон».

В июне 1969 г. произошло прилунение кабины с человеком на борту. Первым ступил на поверхность Луны астронавт Нейл Армстронг. Советская наука решила вопросы длительных исследований Луны по-другому. В ноябре 1970 г. «Луна-17» доставила и опустила на лунную поверхность автоматическую самоходную станцию «Луноход-1», а в январе 1973 г. туда же был доставлен «Луноход-2». Луноходы в течение многих месяцев проводили комплексные исследования лунной поверхности. Изучению подлежали рельеф, геологические структуры, магнитное поле, температурный режим и другие объекты и явления. Отбор лунного грунта и доставка его на Землю производились автоматическими посадочными аппаратами, снабженными установками для бурения неглубоких скважин. Как показали исследования, благоприятные условия для обитания живых организмов на Луне отсутствуют. С точки зрения науки, Луна — прекрасный полигон, с которого можно вести астрономические наблюдения, давать длительные прогнозы погоды на Земле и решать многие практические задачи.

Февраль 1961 г. вошел в историю как месяц старта первой межпланетной станции в сторону Венеры. Межпланетные станции типа «Венера» позволили сфотографировать планету с близкого расстояния, получить сведения о физических свойствах атмосферы и фотографии венерианской поверхности. На одной из таких фотографий, полученных в 1975 г., виден участок твердой поверхности Венеры, покрытый обломками небольших камней. Так была открыта тайна твердой Венеры, скрывающейся за мощной облачностью.

Началом исследований Марса можно считать дату запуска первой межпланетной автоматической станции «Марс-1» (ноябрь

1961 г.). За ним последовали запуски серии межпланетных станций типа «Марс» и американских «Маринер». Ими были отсняты и переданы на Землю многочисленные фотографии марсианской поверхности, проведены исследования марсианской атмосферы. С помощью спускаемых аппаратов осуществлены эксперименты по обнаружению жизни на Марсе и изучению физико-химических свойств грунта. Исследования Марса продолжаются.

В соответствии с американской программой космических исследований в 1972—1973 г. в сторону далеких планет Солнечной системы — Юпитера, Сатурна и др. — стартовали космические зонды серии «Маринер», «Пионер», «Вояджер». «Пионер-10» и «Пионер-11» в 1974 г. достигли Юпитера. Совершив облет планеты, они передали сведения о магнитном поле и поясе радиации Юпитера. В марте 1976 г. «Пионер-10» пересек орбиту Сатурна, а «Пионер-11» совершил его облет. Несколько позже (март 1979 г.) облет планеты совершили две межпланетные станции типа «Вояджер», передавшие на Землю информацию о спутниках и поверхности Юпитера. В 1979 г. «Пионер-10» достиг орбиты Урана, а в 1987 г. он должен достичь орбиты Плутона.

С каждым годом человек все глубже проникает в космос, Штурм космоса продолжается.

Раздел II

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ

Глава IV

ФОРМА И РАЗМЕРЫ ЗЕМЛИ. ЗЕМНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ

Совершая вращение вокруг своей оси, Земля одновременно обращается вокруг Солнца, а вместе с ним вокруг центра Галактики. Обращение вокруг Солнца происходит по эллиптической, близкой к круговой орбите с периодом 365, 2564 звездных суток. Наиболее далекая точка орбиты удалена от Солнца на расстояние 152 млн. км, наиболее близкая — 147 млн. км. Средняя скорость движения по орбите 29,76 км/с. Вращение вокруг своей оси Земля совершает за 23 ч 56 мин 4,0905 с.

Тщательные наблюдения и расчеты показали, что скорость вращения Земли периодически меняется. Так, с 1955 по 1972 г. наша планета несколько замедлила свое вращение, поэтому сутки стали длиннее на 0,00013 с. Начиная с 1972 г., Земля несколько ускорила вращение. Меняется скорость вращения и в течение года. Минимальной она бывает в апреле и ноябре, максимальной — в конце января и июля. Точка, расположенная на экваторе, за сутки проходит расстояние 40075,7 км, двигаясь со скоростью около 1670 км/ч. Ось вращения Земли наклонена к плоскости орбиты под углом 66° 33' 15,2". Угол наклона изменчив. Каждые 19 лет, отклоняясь от первоначального положения, ось описывает в пространстве конус. Такое раскачивание оси назвали *нутацией*. Меняется относительно перемещения географических полюсов.

На движение нашей планеты, в том числе и на скорость ее вращения, оказывают влияние силы притяжения Луны и Солнца. Одновременно они вызывают образование океанских приливов, отливов и твердых приливных волн, непрерывно перемещающихся по телу Земли.

Форма и размеры Земли. Первые представления о форме Земли начали складываться задолго до нашей эры. Суша, окруженная морем, круглая линия горизонта и другие наблюдения способствовали появлению представлений о дискообразной форме Земли. Перешагнуть за пределы этих представлений на ранних этапах развития человеческого общества не представлялось возможным. Мысль о шарообразной форме Земли впервые возникла у Пифагора (IV в. до н. э.), а несколько позже ее подтвердил Аристотель (IV в. до н. э.). Первый основывался в своих утверждениях на

расчетных, второй — на наблюдениях лунных затмений, во время которых можно было видеть на Луне круглую тень Земли. Дальнейшее изучение фигуры Земли было направлено в сторону ее уточнения. Геофизические измерения, начатые еще в XVII в., показали, что радиус в районе полюсов равен 6356,8 км, а в области экватора — 6378,2 км. Разница между радиусами, хотя и незначительная с точки зрения размеров планеты (всего 21,4 км), свидетельствовала, что фигура Земли не идеальный, а сплюснутый у полюсов шар. Сплюснутость объяснялась вращением Земли, в результате которого центробежная сила растянула ее в области экватора и сжала со стороны полюсов. Величина сжатия a составила: $a = \frac{1}{298,3}$. Сплюснутая форма Земли получила название

эллипсоида вращения. Тщательные измерения, проведенные в 30—40-х годах советскими геодезистами Ф. Н. Красовским и А. А. Изотовым показали, что Земля несколько сплюснута и в области экватора. Так родилось представление о *трехосном эллипсоиде вращения*. Для упрощения расчетов в практике принят *эллипсоид вращения Красовского*.

Несколько иной подход к изучению формы Земли, основанный на измерениях силы тяжести, ввел в науку Листинг в 1873 г. По его предложению уровенную поверхность, всюду перпендикулярную к направлению силы тяжести, стали называть *геоидом*. По современным представлениям, за поверхность геоида можно принять поверхность океанов, продолженную под материками и находящуюся в состоянии покоя. Поверхность геоида не совпадает с поверхностью каменной оболочки Земли и является несовершенной, однако ее используют при геодезических работах, измеряя по отношению к ней отметки поверхности суши и глубины дна океанов.

Ни одна из выше названных форм точно не совпадает с фигурой Земли, поэтому пользуются некоторой стандартной формой Земли, определяемой большой полуосью, сжатием и совокупностью коэффициентов, учитывающих отклонения фигуры Земли от эллипсоида вращения. На основе геофизических измерений были рассчитаны длина меридиана — 40025 км, величина дуги градуса — 111109711 м на широте 45°, определены площадь поверхности Земли — 510 млн. км² и ее объем — 1083204 млн. км³.

Поверхность Земли. Большая часть — 70,8% поверхности Земли покрыта водой, остальная часть — 29,2% приходится на сушу. Водная поверхность, или *Мировой океан*, разделена материками на четыре сообщающихся между собой океана: *Тихий, Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый, или Арктический*. Материков шесть — *Евразийский, Североамериканский, Южноамериканский, Африканский, Австралийский и Антарктический*. Среди вод Мирового океана разбросаны океанические острова. Материки имеют неправильную форму. У некоторых она близка к трехугольной. Средняя высота материков относительно уровня моря 850 м, а средняя глубина океана 3800 м (табл. 2). Наиболее высо-

кая точка земного шара находится в Гималаях (гора Джомалунга, высота 8884), наиболее низкая — в Тихом океане (Марианская впадина, глубина 11 022 м). Разница между самой высокой и самой низкой точками поверхности около 20 000 м.

Материки на Земле расположены неравномерно. Большая их часть размещена в Северном и Восточном полушариях. Рельеф поверхности асимметричен. Это объясняется тем, что наиболее высокоподнятые горные участки обычно расположены в краевых

Таблица 2. Размеры материков и океанов

Континенты	Площадь, км²	Высота, м		Океаны	Площадь, км²	Глубина, м	
		средняя	максимальная			средняя	максимальная
Европа	11 699	300	5633	Тихий	179 679	4220	11 034
Азия	41 839	950	8884	Атлантический	93 363	3330	9 219
Африка	29 841	650	6010	Индийский	74 917	3990	7 450
Северная Америка	24 959	700	6184	Северный Ледовитый (Арктический)	13 100	1200	5 220
Южная Америка	18 280	600	7040				
Австралия и Океания	8963	400	5030				
Антарктида	14 000	2000	6000				

частях континентов или вблизи них. Ровные участки суши со средними отметками 200 м называют *равнинами*. Равнины расположены как в краевых, так и в центральных частях континентов. Они занимают около 20% площади суши. Более поднятые участки с отметками до 1000 и называют *плоскогорьями*. Они покрывают более половины суши (около 53% ее площади) и представляют собой холмистые участки поверхности, сочетающиеся с отдельными горными массивами. Наиболее высокие, линейно-вытянутые поднятия называют *горными хребтами*, а их сочетания — *горными поясами*. Земной шар опоясывают три горных пояса. Два из них вытянуты в меридиональном направлении и один в широтном. Меридиональные горные пояса именуют *Тихоокеанскими*. Один из них проходит по западному побережью Тихого океана, другой — по восточному. *Западнотихоокеанский горный пояс* включает горы Чукотки, Курильских островов, Сахалина, Японии и др. вплоть до Австралийских Кордильер. *Восточнотихоокеанский пояс* охватывает горные сооружения кордильер Северной и Южной Америки. Широтный горный пояс — *Средиземноморский*, начинается горами Атласа (Северная Африка) и продолжается на восток, захватывает горные цепи Пиренеев, Альпы, Апеннины, Балканы, Карпаты, Крым, Кавказ, Памир, Гималаи и продолжается до Малайского

архипелага. Горные системы меридионального направления располагаются, как правило, в краевых частях континентов.

Части океанов, вдаваясь в сушу, образуют *моря и заливы*. Моря, имеющие широкую связь с океаном, называют *внешними* (море Лаптевых, Баренцево, Японское и др.). Моря, глубоко вдающиеся в сушу и почти полностью окруженные ею, называют *внутренними* (Средиземное, Балтийское, Красное и др.). Характер сочленения суши и океана не везде одинаков. Берега континентов, омываемых водами Тихого океана, обрывисты. К ним подходят горные сооружения продольного направления. У берегов развиты *островные дуги*, вдоль которых нередко простираются *глубокие океанические впадины*. Этот тип сочленения получил название *Тихоокеанского*. Совершенно иной характер сочленения имеет суша с Атлантическим океаном. Берега здесь чаще пологие, суша постепенно погружается под уровень океана, образуя широкую зону мелководья. *Атлантический тип сочленения* широко распространен на побережьях Атлантического, Индийского и Северного Ледовитого океанов.

Океаническое дно в отличие от суши более симметрично и имеет менее сложный рельеф. В настоящее время благодаря интенсивным океанографическим исследованиям составлены карты дна всех океанов. В строении океанического дна выделяют следующие элементы рельефа: *шельф* (англ. «шельф» — полка, мель), *континентальный склон*, *ложе Мирового океана*, *глубоководные желоба* и *срединные океанические хребты*.

Глава V

СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

Земной шар не однороден по своему составу и строению. В твердом теле Земли выделяют три *внутренние оболочки*: центральную — *ядро*, промежуточную — *мантию* и наружную — *земную кору* (рис. 9). Каменное тело планеты окружено воздушной, водной оболочками и оболочкой жизни, соответственно называемыми *атмосферой*, *гидросферой* и *биосферой*. Эти оболочки называют *внешними*. Как внутренние, так и внешние оболочки объединяют под общим названием *геосфер Земли*.

История изучения внутреннего строения Земли насчитывает несколько столетий и тесно связана с развитием представлений о происхождении Солнечной системы. Долгое время существовало убеждение, что Земля — огненный шар, остывший снаружи, но внутри заполненный расплавом. Такое предположение основывалось на гипотезах Канта — Лапласа, утверждавших первичное горячее состояние Земли, и подкреплялось явлениями вулканизма. В конце XIX в., когда на службу геологии пришли геофизические методы, представления изменились. Глубокое зондирование с по-

мощью сейсмических волн показало, что Земля — твердый шар, состоящий из оболочек. Сейсмические волны — упругие колебания, возникающие в горных породах при землетрясениях или искусственных взрывах, в средах с разной плотностью меняют скорость. Она возрастает в более плотных породах и резко уменьшается в породах рыхлых. На границе разных сред скорость изменяется скачкообразно. В 1896 г., по данным сейсмических исследований немецкого геофизика Э. Вихерга, была выделена промежуточная

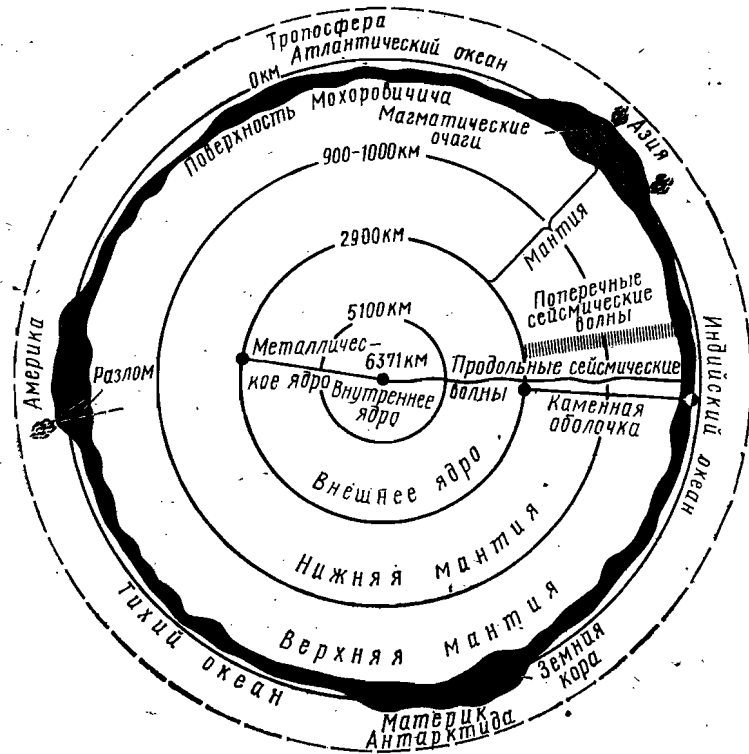


Рис. 9. Схема строения земного шара (по А. Е. Меньчукову, 1977)

оболочка Земли — мантия. В 1910 г. югославским геофизиком А. Мохоровичичем на глубине около 50 км устанавливается граница между мантией и земной корой. Эту границу впоследствии назвали *поверхностью Мохоровичича*, сокращенно *Мохо* или граница *М*.

В 1912 г. русским ученым Б. Б. Голицыным в пределах верхней мантии был обнаружен слой размягченных пластичных пород. Его назвали *астеносферой* (греч. астенос — слабый). В этом же году немецким геофизиком Б. Гутенбергом на глубине 2900 км была зарегистрирована граница между ядром и мантией, а в 1936 г. датской исследовательницей И. Леманн установлена граница, от

деляющая внутреннюю часть ядра от внешней. Так складывалась сейсмическая модель Земли. Один из вариантов этой модели, составленный А. П. Виноградовым, показан на рис. 10. На схеме выделены оболочки Земли и показано изменение в них давления, температуры и химического состава с глубиной. В табл. 3 приведены данные о внутренних зонах Земли в соответствии с моделью К. Буллена (модель А).

Таблица 3. Зоны Земли по К. Буллелу

Зона	Пределы глубин, км	Скорость волн, км/с		Плотность, г/см ³	Давление, ГПа*
		продольных	поперечных		
Земная кора	A 0—33	(5,57—7,6)	(3,36—3,7)	3,32	0,98
<i>Раздел Мохоровичича</i>					
Мантия Земли	B 33—410	7,8—9,0	4,4—5,0	3,64	13,7
	C 410—1000	9,0—11,4	5,0—6,4	4,68	38,2
	1000—2700	11,4—13,6	6,5—7,3	—	—
	2700—2900	13,6	7,3	5,69	134,7
<i>Граница ядра</i>					
Внешнее ядро	E 2900—4980	8,1—10,4	Не наблюдались	11,5	310,87
Переходная зона	4980—5120	10,4—9,5	.	—	—
Внутреннее ядро	F 5120—6370	11,2—11,3	.	17,3	356,9

* 1 ГПа (гигапаскаль) равен 10⁹ Па.

Ядро. Это наиболее плотная оболочка Земли. Большинство ученых считают, что его плотность от 10 до 12 г/см³. Резкие изменения в скорости сейсмических волн (уменьшение скорости продольных волн с 13,6 до 8,1 км/с и исчезновение поперечных волн) дают повод предположить жидкое внешнее и твердое внутреннее (слои E и F) ядро. Теоретические расчеты допускают температуру в центральной части ядра около 5000°C, а давление 343 ГПа. Происхождение ядра многие ученые объясняют дифференциацией первичной материи Земли, в процессе которой в центральной части планеты обособились наиболее тяжелые химические элементы, такие, как Fe, Ni, а более легкие сгруппировались в вышележащих оболочках. А. П. Виноградов принимает ядро Земли за родоначальное железо-никелевое астероидное тело, которое в процессе образования Земли обростало более легкой каменной материей. Обе гипотезы согласуются с утверждениями большинства исследователей о том, что химический состав ядра соответствует составу железных метеоритов. Существует и другое предположение, согласно которому состав ядра и мантии одинаков. Разница заключается в том, что железо и магний в центральной части Земли находятся в металлизированном состоянии.

Мантия. Промежуточная оболочка Земли сверху ограничена *поверхностью Мохоровичича*. Нижняя ее граница, или *граница*

Вихерта — Гутенберга, проходит на глубине 2900 км. Плотность вещества мантии с глубиной возрастает с 3,64 до 9,4 г/см³. По изменению скорости сейсмических волн в мантии выделяют три слоя: *B*, *C* и *D*, или верхний, средний и нижний. Верхняя мантия простирается до глубины 60—250 км, средняя — 800—950, нижняя — 2900 км. Ряд исследователей (Деменицкая, Магницкий и др.) объединяют слои *B* и *C* в один слой под общим названием *верхней мантии*. Масса мантии в два раза превышает массу ядра и земной

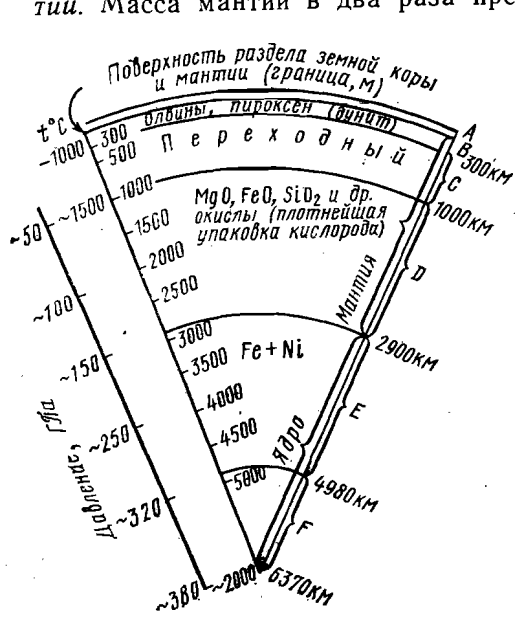


Рис. 10. Разрез земного шара (по А. П. Виноградову):

A — земная кора; *BCD* — верхняя, средняя и нижняя мантии; *E, F* — внешнее и внутреннее ядро

вещество астеносферы местами размягчено до жидкого состояния. Глубина залегания астеносферного слоя под континентами 100—200 км, под океанами 50—60 км. Этот слой, понижающий скорость сейсмических волн, иначе называют *волноводом*. С ним связывают наземный вулканизм, землетрясения и некоторые другие геологические явления. Область горных пород, расположенную выше слоя пониженной плотности, характеризующуюся активными движениями, называют *тектоносферой*.

Земная кора. Она ограничена сверху поверхностью Земли, снизу — поверхностью Мохоровичича. И та и другая неровные, с большими перепадами отметок. Мощность коры сильно уменьшается под океанами (до 5 км) и увеличивается под континентами (до 75 км). Земная кора изучена лучше, чем более глубокие слои Земли. Земную кору иногда неверно отождествляют с литосферой. *Литосфера* (греч. литос — камень, сфера — шар) — это наружная

каменная оболочка Земли, состоящая из осадочных и подстилающих их кристаллических пород земной коры и верхней мантии. Нижняя граница литосферы проводится на уровне астеносферного слоя.

каменная оболочка Земли, состоящая из осадочных и подстилающих их кристаллических пород земной коры и верхней мантии. Нижняя граница литосферы проводится на уровне астеносферного слоя. Средства и методы познания недр Земли. В настоящее время наука располагает комплексом методов изучения недр, основанных на разных свойствах материи Земли: магнитных, гравитационных, электрических, тепловых и др. **Метод глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ).** Это ведущий метод в изучении глубин Земли. В его основе лежит поведение сейсмических волн на различных уровнях земных недр. С помощью сейсмических волн удается установить плотность вещества, его фазовое состояние, определить глубины границ оболочек Земли. Используют три типа сейсмических волн: продольные, поперечные и поверхностные. Они рождаются при подземных толчках, вызванных естественными или искусственными причинами. **Продольные волны** передаются колебаниями частиц горных пород, направленными вдоль движения волны. По сравнению с другими типами сейсмических волн имеют наибольшую скорость распространения, обозначаются буквой *P* (от лат. prima — первые), распространяются и в твердых, и в жидких средах. **Поперечные волны** передаются колебаниями частиц, совершаемыми перпендикулярно направлению движения волны, распространяются только в твердых средах, обозначаются буквой *S* (от лат. sekunda — вторые). **Поверхностные волны** возникают на границе разнородных сред у поверхности Земли. Отличаются от других сейсмических волн большой длиной, обозначаются буквой *L* (от лат. longa — длинные). Сейсмичность Земли изучает наука *сейсмология*, в задачи которой помимо изучения глубинных недр входят поиски некоторых видов месторождений полезных ископаемых, таких, как нефть, природный газ и др. На рис. 11 показаны работы по сейсмическому зондированию глубин Земли. Сейсмические волны, образовавшиеся при искусственном взрыве, на границе слоев горных пород с разной плотностью испытывают преломление и частичное отражение и улавливаются сейсмоприемниками. Так устанавливается глубина залегания того или иного слоя горных пород. **Метод сопоставления скоростей сейсмических волн в земной коре со скоростями в образцах горных пород.** Лабораторные исследования, проводимые с образцами горных пород в условиях, максимально приближенных к большим глубинам (высокие температуры и давление), показывают, что скорости распространения сейсмических волн в некоторых магматических породах соответствуют скоростям сейсмических волн в нижних слоях земной коры и верхней мантии. На основе таких сопоставлений был сделан вывод, что под покровом осадочной толщи земной коры залегают породы, подобные гранитам и базальтам, а кристаллические породы верхней мантии близки по плотности к перидотитам.

каменная оболочка Земли, состоящая из осадочных и подстилающих их кристаллических пород земной коры и верхней мантии. Нижняя граница литосферы проводится на уровне астеносферного слоя.

каменная оболочка Земли, состоящая из осадочных и подстилающих их кристаллических пород земной коры и верхней мантии. Нижняя граница литосферы проводится на уровне астеносферного слоя.

каменная оболочка Земли, состоящая из осадочных и подстилающих их кристаллических пород земной коры и верхней мантии. Нижняя граница литосферы проводится на уровне астеносферного слоя.

каменная оболочка Земли, состоящая из осадочных и подстилающих их кристаллических пород земной коры и верхней мантии. Нижняя граница литосферы проводится на уровне астеносферного слоя.

каменная оболочка Земли, состоящая из осадочных и подстилающих их кристаллических пород земной коры и верхней мантии. Нижняя граница литосферы проводится на уровне астеносферного слоя.

каменная оболочка Земли, состоящая из осадочных и подстилающих их кристаллических пород земной коры и верхней мантии. Нижняя граница литосферы проводится на уровне астеносферного слоя.

каменная оболочка Земли, состоящая из осадочных и подстилающих их кристаллических пород земной коры и верхней мантии. Нижняя граница литосферы проводится на уровне астеносферного слоя.

каменная оболочка Земли, состоящая из осадочных и подстилающих их кристаллических пород земной коры и верхней мантии. Нижняя граница литосферы проводится на уровне астеносферного слоя.

Для изучения внутренних зон Земли применяются и другие геофизические методы — гравиметрические, магнитометрические, геотермические и т. д. Они используются преимущественно при изучении верхних толщ земной коры, а также при поисках месторождений полезных ископаемых.

Гравиметрические методы. Ими изучают свойства силы тяжести Земли. Как показали исследования, ускорение свободного падения незначительно возрастает с глубиной и достигает максимума на границе мантии с ядром. В ядре оно понижается и в цент

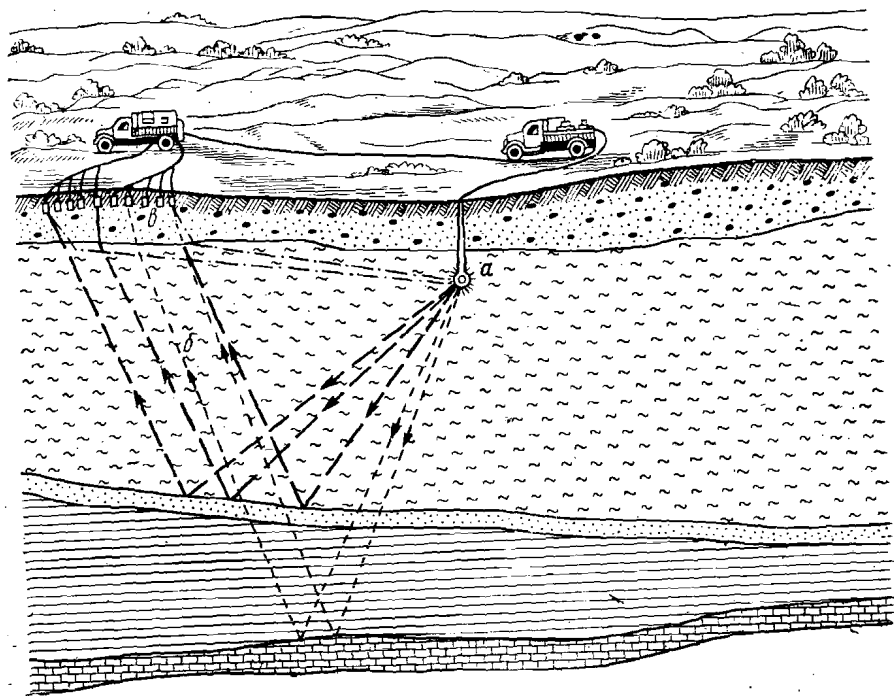


Рис. 11. Схема сейморазведочных работ методом отраженных волн:
а — искусственный взрыв, б — отраженные волны, в — сейсмоприемники

Земли равно нулю. Различная плотность горных пород и руд вызывает местные отклонения силы тяжести от нормальных или расчетных ее значений в верхних слоях земной коры. Эти отклонения, называемые *гравитационными аномалиями*, широко используются при поисках месторождений полезных ископаемых.

Магнитометрические методы. Они основаны на изучении магнитных свойств горных пород и руд. Магнитометрические исследования, проводимые последние десятилетия в области морского дна, выявили большое количество магнитных аномалий, изучение которых позволило сделать выводы об эволюции земной коры под океанами (см. гл. XXVII).

Геотермические методы. С их помощью обнаружены тепловые потоки, идущие из глубин Земли, установлено повсеместное возрастание температуры с глубиной, выявлено наличие на глубине термальных вод, вулканических очагов.

Геофизические методы пока имеют решающее значение в изучении больших глубин Земли.

Сверхглубокое бурение. Несмотря на разнообразие геофизических методов, применяемых для изучения недр Земли, мы пока не можем дать ответа на многие интересующие нас вопросы. Не располагая образцами горных пород из нижних оболочек земной коры и мантии, трудно судить об их подлинном составе. О физических процессах, происходящих в глубоких зонах Земли, мы или ничего не знаем, или имеем о них крайне скудные представления. Чтобы проверить результаты геофизических исследований, необходимо проникнуть на глубину с помощью инструмента. Такая задача может быть осуществлена путем проходки глубоких горных выработок, буровых скважин или проникновения в земную кору землеройного снаряда с дистанционным управлением. Бурение скважин — наиболее доступный и экономически выгодный способ. Наиболее глубокой выработкой в мире является Кольская скважина, достигшая глубины более 10 км.

В 1960 г. на XII ассамблее Международного геодезического и геофизического союза советскими учеными было внесено предложение об объединении усилий всех стран в области изучения верхних толщ Земли на глубину в несколько сот километров. Ассамблеей был принят международный проект изучения верхней мантии Земли, в обсуждении которого участвовало 45 стран мира. Осуществление его началось вначале в рамках отдельных стран (СССР, США), а затем приняло международные масштабы. В соответствии с проектом в Советском Союзе было намечено бурение пяти групп сверхглубоких скважин. К перспективным для этой цели районам отнесены Кольский полуостров, Урал, Закавказье, Прикаспийская низменность, Курильские острова. Ближайшей целью советского проекта «верхняя мантия Земли» является изучение геологического строения наиболее важных геологических регионов страны и прогноз поисков на больших глубинах рудных и нефтегазовых месторождений. Конечная цель — достижение границы Мохо. В мае 1970 г. приступили к бурению Кольской сверхглубокой скважины, а в декабре 1971 г. — Саатлинской скважины в Азербайджане. В процессе проходки скважин получена ценная научная информация о температурном режиме глубин, составе вещества, об особенностях геологических процессов. В США сверхглубокое бурение осуществляется в соответствии с проектом «Мохо» в основном в акватории океанов. Созданным для этой цели буровым судном «Гломар Челенджер» на протяжении более десяти лет пробурено на морском дне сотни скважин, наиболее глубокие из которых не превысили глубины 2000 м. Полученная информация позволила составить представление о строении земной коры под океанами и о составе вещества под ними. Цель сверхглубоких

скважин — не только достижение границ мантии, но и изучение магматических очагов, глубинных разломов и многое другое.

Эволюция Земли и ее возраст. Геофизические и историко-геологические исследования Земли позволяют выделить в ее истории две стадии развития: догеологическую и геологическую.

Догеологическая стадия начинается с зарождения газово-пылевой туманности, последующего сгущения материи и образования первичных планет (протопланет). Первичная планета Земля по размерам в 8—10 раз превышала современные ее границы. Последующие процессы сжатия и уплотнения материи, вызванные силами гравитации и вращения, способствовали разогреванию земных недр, дифференциации вещества и расслоению его на оболочки. А. П. Виноградов считает, что дифференциация Земли на оболочки определялась выплыванием и дегазацией легкоплавких и летучих компонентов. В процессе выплывания вещество верхней мантии расщеплялось на легкоплавкую и тугоплавкую фазы. Легкоплавкое вещество, как наиболее подвижное, перемещалось вверх, вплоть до излияния расплава на поверхность Земли. Перидотиты (породы мантии), например, при плавлении распались на три фракции: базальтическую магму, водяные пары и газы. Базальтическая магма, изливаясь на земную поверхность, затвердевала и давала начало первичной базальтической коре. Извержению ее предшествовало выделение водяных паров и газов. По расчетным данным, количество выделившихся газов составляло 7% всей массы излившегося расплава, причем 97% объема газов приходилось на долю водяных паров. Водяные пары конденсировались, заполняя понижения в формировавшемся рельефе Земли, давая начало будущим океанам. Часть выделившихся газов растворялась в воде, способствуя засолению будущих морских вод, часть шла на образование воздушной оболочки Земли. Образование первичной гидросферы и атмосферы завершило последний этап догеологической стадии в истории развития Земли.

Геологическая стадия — это стадия формирования земной коры: начало ее связывают с началом активного воздействия солнечной энергии на поверхность Земли. Взаимодействие тепла, горных пород, водяных паров и других факторов привело к появлению качественно новых, так называемых *экзогенных геологических процессов*. Экзогенные геологические процессы способствовали химическому и физическому разрушению первичной коры и накоплению осадков. Слои осадков в виде обломков горных пород и химически осажденного вещества превращались в *толщи осадочных пород*, запечатлевшие физико-географическую обстановку их накопления. По мере накопления осадочных толщ нижележащие слои под давлением вышележащих и под воздействием внутреннего тепла Земли изменялись и преобразовывались в *породы метаморфические*. Внутренняя теплота в глубоких зонах земной коры вызывала частичное переплавление ранее образовавшихся осадочных и метаморфических пород и формирование *промежуточной*, так называемой *гранитной оболочки* земной коры.

Физико-химические процессы, происходившие в глубоких зонах Земли, и неоднородность вещества литосферы обуславливали движение земной коры, вертикальные и горизонтальные перемещения отдельных ее участков и крупных блоков. Движения земной коры сопровождались смятием слоев в складки и образованием трещин. Шло формирование структур земной коры. Один цикл сменялся другим. С каждым циклом в процесс вовлекались все новые и новые порции вещества мантии. Образовались континенты и океанические бассейны. В результате сложных биохимических процессов на Земле появились первые формы жизни.

Первые попытки оценить возраст Земли мы встречаем в религиозных описаниях. Персы, например, считали, что Земля существует 12 000 лет, жрецы Вавилона — 2 млн. лет, основоположники христианской церкви — 7000 лет. И только с развитием геологических наук появилась возможность сделать более обоснованную оценку возраста нашей планеты. Появление изотопных методов позволило с помощью радиоактивных элементов установить возраст горных пород и дать предположительную оценку возраста Земли в целом. Предполагается, что возраст Земли $4,2 \cdot 10^9$ — $6 \cdot 10^9$ лет, по оценке А. П. Виноградова и С. И. Зыкова, 5 млрд. лет.

Глава VI

ВНЕШНИЕ ОБОЛОЧКИ ЗЕМЛИ

Внешние оболочки придают нашей планете особую привлекательность из космоса, делают ее непохожей на другие планеты и по сравнению с каменным телом Земли выделяются своей относительной молодостью. Они не имеют четких границ, через них осуществляется связь Земли с межпланетным пространством, они находятся в тесном взаимодействии друг с другом и каменным телом Земли (рис. 12).

Атмосфера

Атмосфера — газовая оболочка Земли. По наблюдениям из космоса она красивым голубым ореолом окружает нашу планету. В верхней части атмосфера сильно разрежена и постепенно переходит в межпланетное пространство. В нижних слоях она уплотнена и насыщена парами воды и пылью. В жизни Земли атмосфера имеет большое значение. Она удерживает солнечное тепло, в ней формируются погодные и климатические условия, оказывающие существенное влияние на режим жизни Земли и ход геологических процессов. В связи с огромной важностью атмосферы в жизни человека и Земли в целом ее изучению уделяется много внимания, международными законами предусматриваются меры, направленные против ее загрязнения. Исследованием атмосферы занимается наука *метеорология*.

С помощью различных приборов метеорологи установили строение атмосферы, выявили ее химический состав, физические свойства, движение воздушных масс. Различия в составе и свойствах позволили разделить атмосферу на ряд слоев: *тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу и экзосферу* (рис. 13). Промежуточный слой над тропосферой называют *тропопаузой*, над стратосферой — *стратопаузой* и т. д.

Тропосфера (переменная оболочка). Она омывает поверхность суши и океанов, содержит около 80% всей массы воздуха атмосферы. Толщина оболочки изменчива. Над средними широтами мощность ее 8—12 км, в экваториальной части она увеличивается до 17 км. Наиболее теплые слои расположены в приземном слое. Нагревание их происходит за счет солнечного тепла, отражаемого сушей и поверхностью океанов. Воздух в тропосфере нагрет неравномерно. Минимальная температура (−88,3°C) была зарегистрирована в Антарктиде, максимальная (+57,8°C) — в Ливийской пустыне. С высотой температура понижается через каждый километр на 6°C. У верхних границ тропосферы она падает до −85°C.

Давление воздуха с высотой падает¹. На

высоте 5 км оно составляет 506,5 гПа, 16 км — 101,3 гПа, 100 км — уменьшается в миллион раз. Воздух в тропосфере состоит из газов, паров воды и пылеватых частиц. В сухом воздухе (без влаги и пыли) 78,09% азота, 20,95 кислорода, 0,93 аргона, 0,03% углекислого газа. В небольшом количестве в составе газов встречаются водород, гелий, неон, радон, озон, иод, метан и др. (в сумме около 0,01%).

¹ Давление воздуха измеряется в паскалях: 760 мм рт. ст. = 1013 гектопаскалей (гПа).

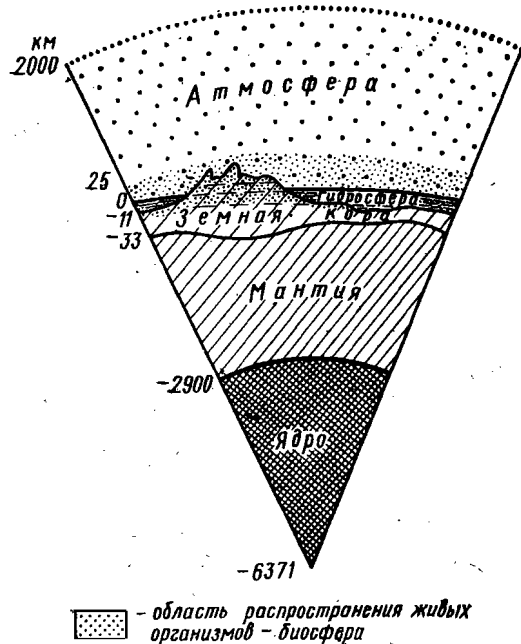
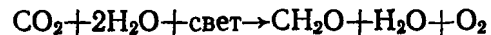


Рис. 12. Схема взаимоотношения геосфер Земли

Кислород — жизненно важный химический элемент, образующийся в процессе фотосинтеза растений:



Ученые полагают, что в первичной атмосфере кислород отсутствовал, появление его в составе воздуха связывают с жизнедеятельностью органического мира Земли.

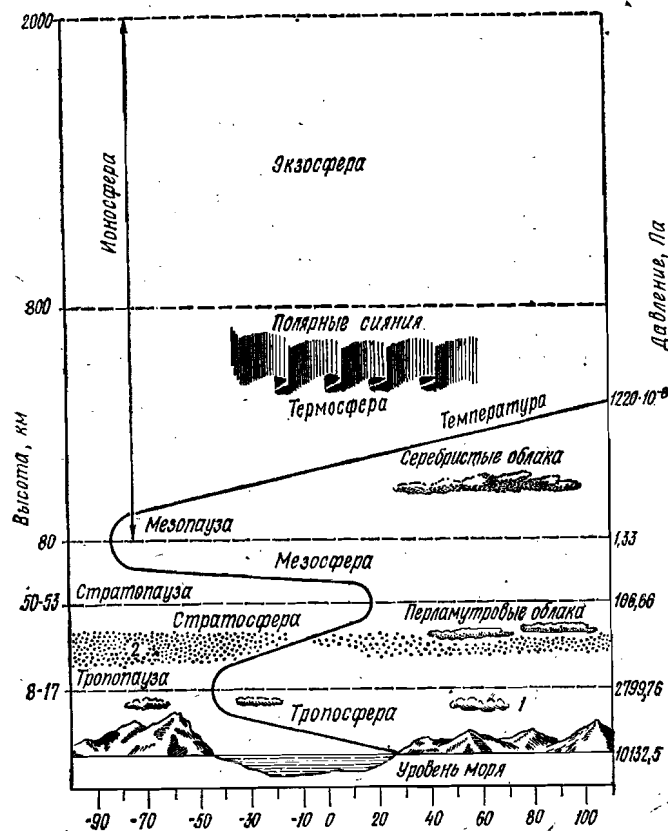


Рис. 13. Схема строения атмосферы:
1 — облака конвекции и перистые, 2 — слой озона

Углекислый газ попадает в атмосферу при извержении горячих источников, при сжигании растений и горючих полезных ископаемых. За последние 100 лет поступление углекислого газа в атмосферу стало увеличиваться за счет хозяйственной деятельности человека. Подсчитано, что только при сжигании различных видов топлива атмосфера в год получает около 10 млрд. т углекислого газа. С 1900 по 1976 г. содержание углекислого газа в атмосфере увеличилось с 0,029 до 0,0325%.

Появление азота в атмосфере объясняют по-разному. Одни считают, что он вошел в состав атмосферы в момент ее зарождения, другие утверждают, что азот появился в атмосфере как продукт бактериального брожения белковых веществ.

Водяные пары составляют около 4% всей массы атмосферы и сосредоточены в основном в тропосфере. В воздух они попадают в результате испарения воды с поверхности Земли. По расчетам М. И. Львовича, с поверхности океанов ежегодно испаряется до 450 тыс. км³, а с суши — 71 тыс. км³ воды. Благодаря восходящим потокам воздуха водяные пары поднимаются в верхние слои тропосферы, где охлаждаются, конденсируются и образуют облака. Водяные пары, насыщая воздух, обуславливают его *влажность*. Содержание влаги измеряется количеством водяных паров, содержащихся в 1 м³ воздуха при данной температуре (*абсолютная влажность*), или в процентах, выражающих отношение содержания влаги в воздухе к ее количеству; необходимому для полного насыщения воздуха при данной температуре (*относительная влажность*). При относительной влажности 100% водяной пар начинает выделяться в виде тумана, инея или образует облака. Облака формируются на высотах 800—4000 м, а иногда и выше. Состоят они из капелек воды размером 2—7 мкм. Форма их бывает кучевой, слоистой, перистой. При столкновении теплых и холодных воздушных течений водяные пары конденсируются, превращаются в более тяжелые капли. Так образуются дождевые облака. Рост капель завершается выпадением их в осадок. Атмосферные осадки выпадают в виде дождя, града, снега. Ежегодно над материками выпадает около 107 тыс. км³ воды, а над океанами — 410 тыс. км³. Количество выпавших осадков измеряется в миллиметрах водяного слоя, накапливающегося в течение года. Осадки распределяются неравномерно. В засушливых районах земного шара (пустыни Африки, Южной Америки, Средней Азии и др.) количество годовых осадков крайне ничтожно — 5—200 мм в год. Бывают годы, когда в этих районах не выпадает ни капли дождя. В средних широтах норма осадков больше — 500—600 мм в год. Самыми дождливыми районами земного шара считаются районы Индии, Индонезии, Гавайских островов. В Индии в районе Черрапунджи количество выпавшей за год воды на один гектар земли достигает 12,5 млн. ведер, или 15 000 мм в год.

Пыль — неотъемлемая часть атмосферы. В воздухе присутствует пыль земного и космического происхождения. Основными ее источниками являются сухие земли материков, продукты вулканических извержений, отходы индустриального производства. Количество пыли в атмосфере составляет многие миллионы тонн. Как показали исследования, в приземном слое воздуха в сухую погоду в 1 см³ содержится 150 тыс. пылинок. Даже после дождя в 1 см³ воздуха остается до 30 тыс. пылинок. С высотой количество пыли уменьшается. На высоте 100 м в 1 см³ насчитывается до 45 тыс., а на высоте 6 км — всего 20 пылинок. Пыль наземного происхождения состоит из мельчайших обломков кварца, глинистых частиц,

чешуек слюды, частиц соли. Последние попадают в воздух вместе с морскими брызгами, поднимающимися в воздух при сильном ветре. Космическая пыль обнаружена на больших высотах. Пылеватые частички рассеивают солнечные лучи и служат центрами конденсации водяных паров при образовании облаков и туманов.

Стратосфера (слоистая оболочка). Она простирается над тропосферой до высот 50—55 км. Воздух в стратосфере сильно разрежен и нагрет. Давление в 1000 раз меньше, чем в приземном слое, температура от —10 до +10°C. Нагревание газов происходит непосредственно солнечными лучами. Это объясняется тем, что газ озон, из которого в основном состоит воздух стратосферы, поглощает от 1 до 3% солнечного излучения. Мощность озонового слоя 25—30 км. Водяные пары в стратосфере почти отсутствуют. Иногда во время сильных гроз кучевые облака тропосферы проникают в стратосферу, образуя удивительные по своей красоте *перламутровые облака*. Пылеватые частицы попадают в стратосферу в основном из космоса. Физический режим стратосферы оказывает влияние на соседние с ней оболочки — тропосферу и мезосферу.

Мезосфера (средняя оболочка). Она имеет незначительную мощность — 25—30 км. Давление понижается до 1,33 Па, а температуры падают до —90°C. В нижних слоях мезосферы обнаружен озон. Удивительным явлением этой части атмосферы являются *серебристые облака*, ранее называвшиеся сумеречными (хорошо наблюдались в сумерки или ночью). Они были открыты в 1885 г. московским астрономом В. К. Цесарским. Серебристые облака появляются только в летний период (с мая по август) на высоте около 82 км. Они состоят из кристалликов замерзшей воды, образовавшихся вокруг частичек метеоритной пыли. Мезосферные ветры проявляются на высотах 60—65 км, причем летом это ветры западных направлений, зимой — восточных. Скорость ветра от 60 до нескольких сотен километров в час.

Термосфера (тепловая оболочка) и экзосфера (оболочка рассеивания). Они объединяются под общим названием *ионосферы*. Такое объединение объясняется тем, что в пределах оболочек воздух ионизирован. Наиболее активная ионизация отмечена на падает содержание кислорода, азота, углекислого газа, молекулы диссоциируют на ионы. С высот 400—500 км резко увеличивается содержание водорода и гелия. Состав газов в ионосфере находится в прямой зависимости от активности Солнца. Так, кулы диссоциируют на ионы. С высот 400—500 км резко увеличивается содержание водорода и гелия. Состав газов в ионосфере находится в прямой зависимости от активности Солнца. Так, в 1958 г. (год «активного Солнца») на высотах 900—1000 км преобладали ионы кислорода, а в 1964 г. (год «спокойного Солнца») на высоте 1000—1200 км верхняя атмосфера состояла из водорода.

Верхняя граница атмосферы фиксируется на высоте 1300 км. Выше ее состав приближается к составу межпланетного простран-

ства. По данным АМС, водородная корона вокруг Земли регистрируется на высоте 20 тыс. км и более.

Атмосфера Земли — взаимосвязанная система движущихся воздушных масс. Главные факторы, определяющие циркуляцию атмосферы, — лучистая энергия Солнца, вращение Земли вокруг оси и подстилающая поверхность.



Рис. 14. Циклон в районе Исландии (снимок сделан с борта спутника)

Неравномерное нагревание поверхности Земли в различных широтах — первый механизм меридиональной циркуляции атмосферы, названной В. В. Шулейкиным тепловой машиной первого рода (Марков К. К. и др., 1978).

В результате неравномерного нагревания поверхности материков и океанов возникает муссонная циркуляция атмосферы, или тепловая машина второго рода (по В. В. Шулейкину).

На направление циркуляции Земли влияет развиваемая вращением Земли сила инерции, называемая силой Кориолиса. Это третий основной механизм циркуляции атмосферы.

Основная форма атмосферной циркуляции в тропических широтах — вихри, возникающие под влиянием силы Кориолиса, — циклоны и антициклоны. Они образуются особенно часто на полярном фронте, на границе умеренного и тропического поясов. Циклоны имеют тенденцию перемещаться в северо-западном, антициклоны — в юго-восточном направлениях. Протяженность циклонов и антициклонов 1500—3000 км, высота от 2 до 20 км (рис. 14).

Разновидностью циклонов являются тайфуны и ураганы — вихри огромной разрушительной силы, скорость которых достигает 250 км/ч. Неизгладимый след в памяти людей оставил тропический циклон «Флора», пронесшийся в сентябре 1963 г. над островом Гаити. Он разрушил сотни домов и унес более 4 тыс. человеческих жизней. В 1972 г. тропический ураган «Агнес» неожиданно обрушился на северо-восточные районы США. Он причинил ущерб в 3 млрд. долларов. Несколько разрушительных тайфунов прошли по тихоокеанскому побережью 1979 г.

Антициклоны создают прерывистый субтропический пояс высокого давления, от которого воздух стекает к экватору. Так возникают пассаты, отклоняемые силой Кориолиса вправо в Северном полушарии и влево в Южном.

Движение воздушных масс имеет огромное значение в формировании погодных условий, оказывает влияние на ход геологических процессов Земли.

Погода и климат. Режим атмосферы крайне изменчив. Это мы ощущаем ежедневно в виде изменений погоды. Погода — это физическое состояние атмосферы, характеризуемое комплексом атмосферных факторов, таких, как ветер, температура, давление, влажность. В зависимости от изменения этих факторов погода бывает теплой или холодной, дождливой или солнечной и т. д. Кухней погоды по праву считают тропосферу, где воздух насыщен влагой, резкие перепады температуры вызывают движения воздушных масс, а зоны высокого и низкого давлений способствуют зарождению циклонов, антициклонов и других вихревых течений. Резкие изменения режима атмосферы вызывает усиление солнечной активности. Роль погоды в жизни человека огромна. Ее изменения отражаются на урожайности сельскохозяйственных культур, оказывают влияние на ход геологических процессов, усиливают или ослабляют их активность. Так, сухая и жаркая погода активизирует разрушение горных пород, ливневые дожди вызывают обвалы и оползни. В целях предупреждения стихийных бедствий, обеспечения устойчивых урожаев, нормализации работы воздушного и морского транспорта гидрометеослужба проводит огромную работу по составлению прогнозов погоды. В большинстве стран составляются краткосрочные прогнозы на двое-трое суток. Точность таких прогнозов в семидесятых годах составила 84—86%. В ряде стран, в том числе и в Советском Союзе, ведут-

ся работы по составлению и долгосрочных (декадных или месячных) прогнозов.

Многолетний режим погоды, определяющийся комплексом физико-географических условий для данной местности, принято называть *климатом*. Климат характеризуется определенной совокупностью погодных условий, или климатических факторов. На земном шаре выделен ряд климатических поясов, отличающихся друг от друга количеством получаемого солнечного тепла, количеством атмосферных осадков и другими климатическими факторами: полярные, умеренные, тропические и экваториальный.

Согласно классификации Пенка климат бывает аридным, гумидным и нивальным. *Аридный* («аридус» — сухой) климат характеризуется сильной жарой, незначительным количеством атмосферных осадков (менее 200 мм), скудной растительностью. Присущ для пустынь и сухих степей. *Гумидный* («гумидус» — влажный) климат отличается высокими температурами, большим количеством атмосферных осадков, пышной растительностью. *Нивальный* («нивалис» — снежный, холодный) климат свойствен для полярных и горных областей. Для него характерны низкие температуры. Атмосферные осадки, выпадающие в виде снега, не успевают стаять и поэтому накапливаются в виде льда.

Климатические условия периодически меняются. Потепления сменяются похолоданием и наоборот. Так, в 30-е годы отмечалось потепление в Арктике, в результате чего льды в Баренцевом, Карском и других морях отодвинулись в сторону полюса. Этому способствовали теплые массы воздуха, поступавшие в Арктику из Атлантики. Последние годы в Арктике вновь началось похолодание. Изменение климата происходило и в далеком прошлом Земли. Об этом рассказывают нам слои горных пород. Отложения каменной соли свидетельствуют об аридном климате, угля — о гумидном, ледниковые отложения — о нивальном. Наука, занимающаяся изучением климатов геологического прошлого Земли, получила название *палеоклиматологии*.

Гидросфера

Гидросфера — водная оболочка Земли. Образована водами морей, океанов и суши. Моря и океаны составляют единый водный бассейн, называемый *Мировым океаном* или *океаносферой*. Границы океаносферы четкие, сверху обозначены поверхностью Мирового океана, снизу — его дном. Максимальная мощность водной толщи 11 км. Воды суши разобщены. На поверхности они представлены водами озер, рек, ледниками, на глубине — подземными водами, заполняющими трещины и поры в горных породах.

По подсчетам М. Н. Львовича (1974), гидросфера включает

1,458 млрд. км³ воды. Ниже приводятся данные подсчета по частям гидросферы¹:

Части гидросферы	Объем воды (тыс. км ³)	% от общего объема
Мировой океан	1 370 000	94
Подземные воды	60 000	4
В том числе зоны активного водообмена	4 000	0,3
Ледники	24 000	1,7
Озера (в том числе около 5 тыс. км ³ воды в водохранилищах)	280	0,02
Почвенная влага (в том числе около 2 тыс. км ³ оросительных вод)	85	0,01
Пары атмосферы	14	0,001
Речные воды	1,2	0,0001
Всего	1 458 000	100

Различные типы воды находятся в тесном взаимодействии, участвуют в общем круговороте веществ в природе (рис. 15). В движение их приводит солнечная энергия, под влиянием которой происходит интенсивное испарение воды и образование облачности. Облака несут влагу в различные уголки земного шара и отдают ее в виде атмосферных осадков. Часть выпавшей воды стекает с суши в моря и океаны, часть просачивается в горные породы, часть испаряется. Подземные воды циркулируют в слоях горных пород или изливаются на поверхность Земли, участвуют в питании рек, испарении. Так осуществляется круговорот воды в природе.

Большое количество воды содержит вещество мантии. Масса этой воды в тысячу раз превышает количество воды, содержащейся в гидросфере. По существу, мантия является источником вод гидросферы. Высвобождение их происходит в результате плавления вещества мантии. Подсчитано, что за всю геологическую историю Земли из мантии в виде источников и пара выброшено около 3,4 млрд. км³ воды. Образование вод за счет переплавления вещества мантии продолжается.

Основная масса воды гидросферы (94%) сосредоточена в Мировом океане. О существовании огромного океанического пространства люди узнали на рубеже XV—XVI вв. В начале XIX в. Мировой океан был полностью освоен для вождения судов. Целеустремленное исследование океана началось со второй половины XIX в. Десятки научно-исследовательских судов ведут и сейчас большую научную работу на всех океанах, начиная от Арктического бассейна и кончая берегами Антарктиды. Среди них научно-исследовательские суда «Академик Вернадский», «Профессор Зубов», «Академик А. Ковалевский», флагман экспедиционного флота «Космонавт Юрий Гагарин» и многие другие. В результате проведенных работ составлены карты рельефа дна Северного Ледовитого, Атлантического, Тихого и Индийского океанов, открыты

¹ См.: К. К. Марков и др. Введение в физическую географию. М., 1978.

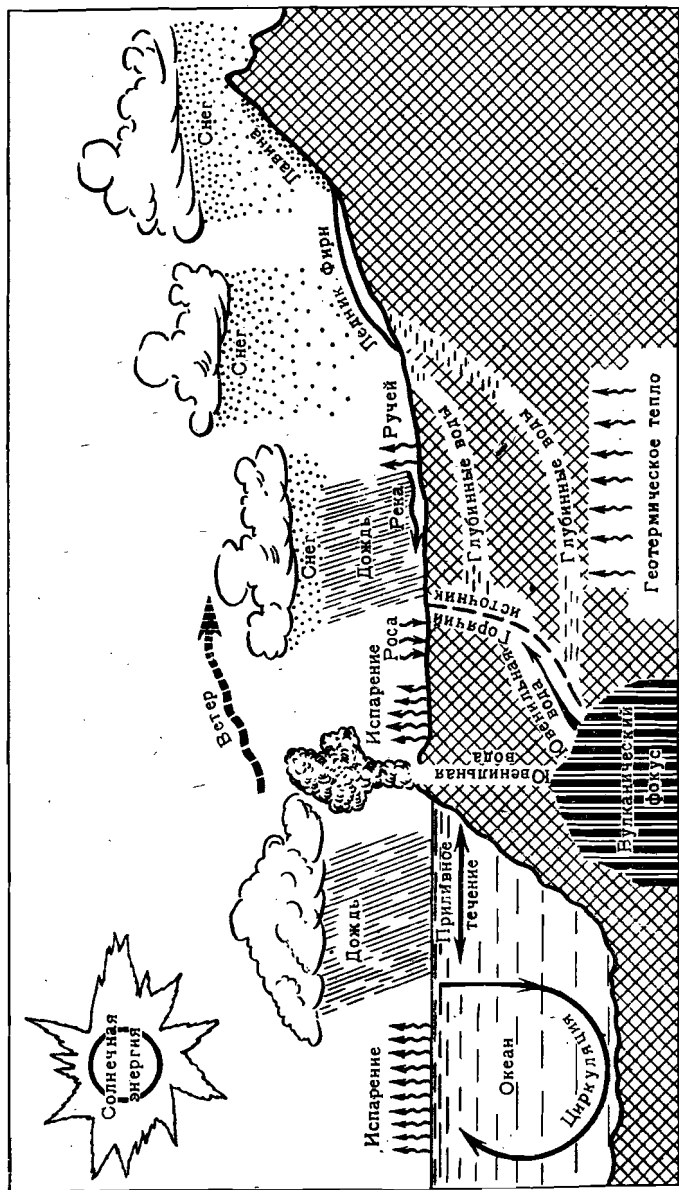


Рис. 15. Круговорот воды в природе

и исследованы различные океанские течения. Много внимания уделено изучению органического мира океанов и морей и исследованию морского дна, полезных ископаемых. Изучение океана продолжается, исследования носят глобальный характер. В 1974 г. был проведен международный Атлантический тропический эксперимент АТЭП, в котором приняло участие около 40 научно-исследовательских кораблей из разных стран мира, самолеты, ИСЗ и другие средства. Цель эксперимента — изучение океанских течений, взаимодействия атмосферы и океана и многих других вопросов. Международный проект глубокого бурения принес значительные результаты в области изучения геологии дна океанов. По проекту ПОЛИМОДЕ (Корт В. Г., 1977), разработанному советскими и американскими учеными, осуществляется изучение вихревых образований в океане, их взаимодействие друг с другом. В соответствии с международным проектом «Геодинамика» будет продолжено изучение океанической земной коры и мантии, происхождения и развития океанического дна.

Физические свойства воды. Воды морей и океанов имеют синий или зеленый цвет. Такая окраска объясняется тем, что морская вода отражает только синие и зеленые лучи солнечного спектра. Отклонения наблюдаются лишь в местах впадения рек, где в силу насыщения речных вод взвешенными минеральными частицами вода приобретает желтоватые оттенки. Солнечные лучи распространяются в воде с меньшей скоростью, чем в воздухе. Плотность морской воды больше плотности пресной речной воды. Более высокая плотность обусловлена присутствием солей. В морях с соленостью 35 г/л плотность воды при 0°C составляет 1,02843 см³, в наиболее глубоких океанических впадинах (на глубине 10 000 м и более) она повышается до 1,07105 г/см³. Это объясняется увеличением с глубиной давления и солености. Через каждые 10 м давление возрастает на 98066,5 Па и на глубине 11 тыс. м достигает 107,8 МПа. Температура воды в океане зависит от его географического положения и глубины. Теплые воды сосредоточены в экваториальном и тропических поясах. Температура их в среднем 26—28°C. Холодные воды занимают меньшую площадь и сосредоточены в полярных областях: их средняя температура 4°C, минимальная — 1,8°C. Наиболее теплый Тихий океан, его средняя температура 19,5°C. Наиболее холодный Северный Ледовитый океан. Средняя температура Мирового океана, по данным А. С. Монина, 18,75°C. С глубиной температура понижается. Измерения на глубинах 1—1,3 км показали колебания температур от 3 до —1,6°C.

Химический состав и соленость. Морская вода благодаря наличию солей горько-соленая на вкус. Средняя соленость океанской воды 35 г в 1 л воды (3,5%) принимается за нормальную. Наибольшие отклонения от средней солености наблюдаются во внутренних морях. Так, в Балтийском море соленость составляет 3—4 г/л, в Красном — 40—41 г/л. Высокая соленость воды в Красном море объясняется тем, что в него не впадают реки, несущие пресные воды, а жаркий климат обуславливает высокое испарение

воды. Балтийское море расположено в условиях относительно прохладного климата и принимает значительное количество пресных дождевых и речных вод.

С глубиной соленость несколько повышается. В среднем в морской воде содержится: хлористого натрия 78,32%, хлористого магния 9,44, сернистого магния 6,40, сернистого кальция 3,94, хлористого калия 1,6, углекислого кальция 0,04, кремнезема 0,009%. В незначительных концентрациях в морской воде присутствуют золото, железо, марганец, медь, кобальт, никель, иод, бром и другие элементы. В океане обнаружены практически все химические элементы таблицы Менделеева. Общее количество растворенных минеральных веществ составляет 10^{16} г.

Морская вода насыщена гумусом и детритом. Гумус — органическое вещество сложного состава, находящееся в воде в растворенном состоянии; детрит — тоже органическое вещество, только находящееся во взвешенном состоянии. Из газов в морской воде растворены: кислород, азот, углекислый газ, сероводород. Содержание в воде азота по сравнению с другими растворенными в ней газами меньше, чем в воздухе, а кислорода больше. Кислород поступает в воду из атмосферы и в процессе фотосинтеза морских растений. На глубинах 400—800 м отмечается нехватка кислорода, в связи с чем некоторые бактерии вынуждены добывать его из сернистых соединений (сульфатов). Разложение последних вызывает появление в воде сероводорода. В сероводородной зоне могут жить лишь сероводородные бактерии.

Причины осолонения океанов пока не совсем ясны. Вероятнее всего соленость морской воды обязана своим происхождением как вулканической деятельности, так и поступлению в моря растворенных солей с суши. Как показали подсчеты О. А. Алекина, реки сносят ежегодно в океан до 3300 млн. т растворимого вещества (табл. 4). Как видно из данных таблицы, реки приносят в океан мало хлористых соединений и много карбонатных. Однако в морской воде преобладают хлористые соединения. Это объясняется, вероятно, тем, что карбонатные соли в значительных количествах используются организмами для построения раковин и скелетов. Высокое содержание хлора может быть объяснено только растворением в океанской воде вулканических газов.

Океанические течения. Движение воды в океане можно установить по дрейфу потерпевших кораблекрушение судов или других плавучих предметов. Различают поверхностные и глубинные течения. В образовании поверхностных течений большую роль играет ветер. Пассатные ветры и силы вращения Земли способствуют возникновению Северного и Южного экваториальных течений (рис. 16). Эти течения на севере несут воды к западным берегам Тихого и Атлантического океанов, на юге — к берегам Антарктиды, скорость течений 1,852 км/сут (1 морская миля). Юго-западные течения воздушных масс в северном полушарии дают начало теплым течениям Гольфстрим и Куроисио. Гольфстрим начинается в Мексиканском заливе, откуда нагретые воды через Флоридский

залив текут в направлении Северного Ледовитого океана. Там воды охлаждаются и возвращаются на юг в виде холодного Гренландского течения.

Южное экваториальное течение дает начало Сомалийскому теплому течению на северо-западе Индийского океана. Наибольшая мощность этого течения 400—600 м, ширина 370—550 км. У берегов Антарктиды вода охлаждается и мощными холодными глубинными струями устремляется на север. Так возникает холодное Перуанское течение у берегов Южной Америки, Бенгельское — у берегов Африки и Западноавстралийское — у берегов Австралии.

Таблица 4. Сравнительная характеристика солевого состава океанской и речной воды

Вещества, растворимые в воде	Содержание солей в океанской воде, %	Среднее содержание солей в речной воде, %
Хлориды (соединения натрия и магния с хлором)	88,7	5,1
Сульфаты (соединения магния, калия и кальция с серой)	10,8	99
Карбонаты (углекислый кальций)	0,3	60,1
Прочие вещества	0,2/100,0	24,8/100,0

Огромную роль среди океанских течений играют вихревые течения, напоминающие циклонические и антициклонические движения воздуха в атмосфере. Изучению морских вихрей, их возникновению, движению и взаимодействию уделяется в настоящее время большое внимание. Мощность океанских течений огромна. Например, Гольфстрим переносит ежегодно 750 тыс. км³ воды, в то время как годовой сток всех рек суши равен 37 тыс. км³.

Поверхностные течения затрагивают верхние слои воды глубиной до нескольких сотен метров. Под поверхностными течениями обнаружены противоположно направленные глубинные или подповерхностные течения. Так, в Тихом океане на глубине 100 м существует мощное течение восточного направления (течение Кромвелля). Аналогичное течение открыто в Атлантическом океане советскими океанологами и названо течением Ломоносова. Глубинные течения отмечаются и на больших глубинах, где их направление и другие особенности во многом определяются рельефом морского дна.

Ветер способствует не только образованию течений, но и вызывает на поверхности океана волновые движения. В зависимости от силы ветра волны могут быть мелкими и крупными. Мелкие и частые волны называют рябью. Чем короче волны ряби, тем быстрее движутся они по поверхности океана. Крупные волны, образующиеся при штормовом ветре, имеют в среднем высоту 4—4,5 м, реже 6—7 м. Максимальная высота волны не превышает 20 м. Длина волны уменьшается с ростом ее высоты. Длина шторм-

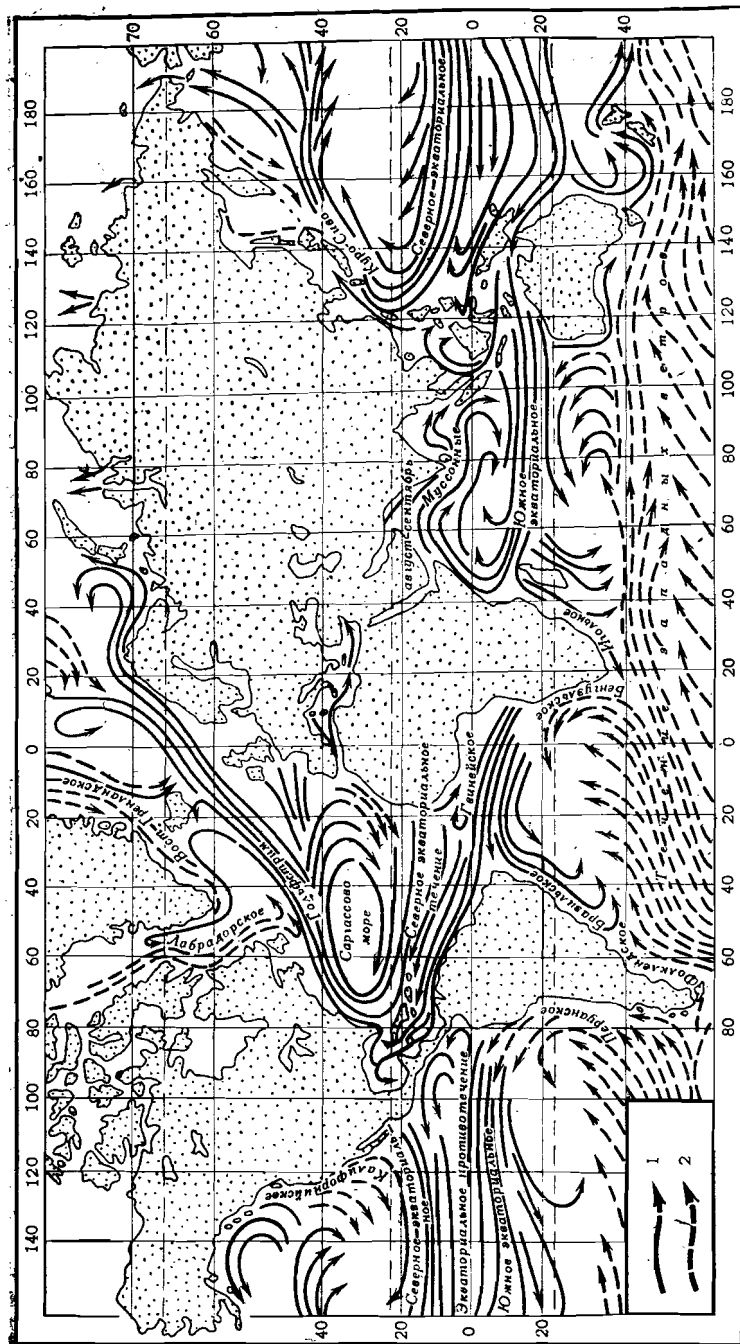


Рис. 16. Схематическая карта морских течений:
1 — теплые течения, 2 — холодные течения

мовых волн около 250 м, а волн *зыби* (довольно низкие послештормовые волны) 800—1000 м. Чем длиннее волна, тем глубже проникает волнение (до 180 м). Скорость распространения штормовых волн 60 км/ч, зыби 100 км/ч и более. На мелководье волны становятся выше и круче. В штормовую погоду на берег обрушиваются волны высотой 6—11 м, в спокойную накатываются мелкие волны зыби, называемые *морским прибоем*. Морской прибой — явление постоянное, так как всегда в каком-либо участке океана бушует шторм, и волны из зоны шторма бегут во все стороны на тысячи километров. Нагнетаемые к берегу штормовыми волнами и прибоем воды образуют системы сложных *прибрежных течений*.

Совершенно иную природу имеют *приливы* и *отливы*. Они представляют собой периодические изменения (повышение или понижение) уровня океана, вызванные силами притяжения Луны и Солнца. Притяжение Луны сильнее, чем Солнца, что объясняется (несмотря на малую массу Луны) более близким ее расположением к Земле. Примерно дважды в сутки через 12 ч 26 мин уровень воды в океанах опускается (отливы) и дважды поднимается (приливы). Высота приливов в различных районах земного шара не одинакова. Наиболее высокие приливы наблюдаются в то время, когда Луна и Солнце находятся по одну сторону Земли, и наиболее низкие, когда эти два небесных тела занимают противоположное положение по отношению к Земле. Наиболее высокие приливы наблюдаются на Атлантическом побережье Северной Америки (16,2 м). У берегов Советского Союза наиболее высокие приливы отмечены у берегов Охотского моря — 11 м, у побережья **Кольского полуострова** высота прилива не превышает 5 м. Во внутренних морях (Балтийское, Черное) приливы практически не ощущаются. Приливная волна иногда заставляет реки течь вспять, двигаясь в сторону, противоположную течению реки, в виде водяного вала. На реке Амазонке такой водяной вал достигает высоты 5—6 м и удаляется вверх против течения на расстояние до 300 км.

Значение гидросферы в жизни Земли и человека огромно. Геологические процессы в гидросфере сопровождаются образованием новых слоев горных пород. Мировой океан является главной тепловой машиной в формировании климата и погоды на Земле. Для человека это пути сообщения и морской промысел. Ежегодно океан дает людям около 70 млн. т рыбных и других пищевых продуктов (Никитин Д. П. и др., 1977).

Биосфера

Биосфера, или *оболочка жизни*, занимает особое место среди внешних оболочек Земли. Она не является обособленной, так как жизнь распространена в пределах всех внешних оболочек Земли, в том числе и в земной коре. Верхняя часть биосферы охватывает нижние слои атмосферы до высот 20—25 км. Высоко в воздухе могут жить только птицы и микроорганизмы. По наблюдениям натуралистов, случаи полета хищных птиц зарегистрированы над

вершинами Гималаев на высоте около 7540 м. Еще выше встречаются споры бактерий, которые могут жить при давлениях в тысячные доли гектопаскаля и температуре — 190°C. При изучении поверхности Земли оказалось, что живое вещество почти сплошной пеленой покрывает земной шар. С глубиной отмечается постепенное затухание жизни. Нижняя граница биосферы проводится на глубинах 16 км. В земной коре живут землеройные животные и насекомые (кроты, суслики, черви, жуки, муравьи и т. д.), широко распространены анаэробные (живущие без доступа свободного кислорода) бактерии. Известны случаи находки бактерий в водах нефтяных месторождений на глубинах 2500—3500 м. В океаносфере жизнь распространена повсеместно, включая и глубоководные впадины. По определению академика В. И. Вернадского, биосфера охватывает все области земной коры, которые на протяжении геологической истории Земли подвергались воздействию живого вещества.

Условия обитания организмов неодинаковы. Одни из них способны существовать при высоких температурах и давлениях, другие выдерживают отрицательные температуры и низкие давления. Наиболее высокой приспособительной способностью обладают бактерии и их споры. На основе экспериментальных данных установлено, что некоторые виды бактерий и их споры выживают после охлаждения до —250°C и живут после этого в течение 20 ч. В горячих источниках Камчатки, где температура около 82°C (а иногда и выше) живут бактерии и простейшие водоросли. Дрожжевые бактерии не теряют своей жизнеспособности при давлении 0,8 ГПа.

Общая масса живого вещества Земли около 36 млрд. т. Из них 29,9 млрд. т составляет биомасса океана и 6,5 млрд. т — биомасса суши. В океане масса животных примерно в 30 раз больше растений, на суше масса растений составляет 98—99%, а зоо-биомасса — 1—2%. Для поддержания жизни они ежегодно используют $59 \cdot 10^{10}$ т углекислого газа, $7 \cdot 10^{10}$ т воды, выделяют $43 \cdot 10^{10}$ т кислорода. Эти цифры свидетельствуют об активном влиянии органического мира на химический состав окружающей среды. Кислород, азот и углекислый газ атмосферы — продукты жизнедеятельности живых организмов. На огромную роль организмов в создании атмосферы, газового состава гидросферы и образовании концентраций химических элементов в земной коре впервые указал в своих работах академик В. И. Вернадский — основоположник новой отрасли геологических знаний — *биогеохимии*, изучающей роль организмов в жизни земной коры и биосферы. Основную массу живого вещества составляют кислород, вода, углекислый газ и азот. В небольших количествах содержатся сера, калий, фосфор, железо, иод, марганец, цинк и другие элементы — всего около 70 химических элементов. Особую роль в жизни органического вещества играют микроэлементы — химические элементы, содержание которых в живом организме не превышает 0,001%. К ним относятся медь, молибден, бром, цинк, уран и др.

Микроорганизмы и растения, усваивая из окружающей среды химические элементы и соли, способствуют образованию концентраций полезных ископаемых: руд железа, серы, фосфора. При их участии образовались керченские железные руды в Крыму, марганцевые руды Чиатури в Закавказье и др. Среди растений-концентраторов известны папоротники, хвощи, злаки. Диатомовые водоросли и радиолярии, усваивая из морской воды соединения кремния, строят из них свои скелеты и раковинки, из которых образуются *диатомиты* и *радиоляриты*. Кораллы, моллюски, известковые водоросли и многие другие морские организмы накапливают углекислый кальций, из которого формируется *мел*, *известняки*. Не менее важную роль в образовании горных пород играют и органические ткани животных и растений. При разложении тканей отмерших растений образуются *торф*, *уголь*. Водоросли, растения вместе с остатками животного происхождения согласно гипотезе акад. И. М. Губкина способствуют образованию в природе месторождений *природных газов* и *нефти*.

Некоторые виды растений чутко реагируют на избыток в породах тех или иных химических элементов. Их используют в качестве индикаторов при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. Так, астрагал — индикатор селена и урана (Колорадо, США), кагим — полиметаллических руд на Рудном Алтае, галмейная фиалка — индикатор цинковых месторождений.

Появление органического мира на Земле связано с процессами формирования первичных атмосферы и гидросферы. На ранней стадии геологического развития Земли в атмосфере и водной среде сложились благоприятные условия для образования углеводородов. Подобные процессы происходят во Вселенной и в настоящее время. Об этом свидетельствуют исследования атмосфер других планет Солнечной системы и присутствие органического вещества в составе метеоритов.

В процессе длительной эволюции шло постепенное усложнение состава и структуры углеводородов, закончившееся образованием живого белкового вещества. Первые признаки жизни на Земле почти не сохранились, так как горные породы со следами первых организмов подверглись сильному изменению. Хорошо сохранившиеся остатки древнего органического мира встречаются в слоях Земли, возраст которых не старше 570 млн. лет. Но это уже остатки сравнительно высокоразвитых животных и растений, таких, как синезеленые водоросли, черви, членистоногие и др.

По мере совершенствования методов исследования восполнялись недостающие звенья в цепи эволюции живых организмов. Палеонтологам удалось проследить пути эволюции в наиболее древних докембрийских отложениях. Архейские образования содержат остатки примитивных бактерий и одноклеточных водорослей, живших 3500—2600 млн. лет назад, а позднепротерозойские — морских водорослей и грибов (2600—570 млн. лет назад). По данным А. И. Опарина, первые организмы имели анаэробный (безкислородный) способ питания, так как кислород в ранней атмосфере

отсутствовал. Появление способности поглощать солнечный свет позволило первым организмам строить органическое вещество из углерода углекислоты атмосферы. С появлением процесса фотосинтеза стал выделяться свободный кислород и появились аэробные (кислородные) организмы с кислородным дыханием. В результате этой стадии эволюции сформировалось два типа организмов. Одни из них усваивали питательные вещества из неорганической среды, другие развивались за счет первых, т. е. использовали для своего питания органические соединения. Иными словами, произошло разделение организмов на мир животных и растений. Плотность расселения животного и растительного мира на Земле неодинакова. Биомасса растений всегда превышала биомассу животных. По подсчетам биологов, на суше на долю биомассы растений приходится 97—98%, и всего 1—3% составляет биомасса животных и микроорганизмов.

Закономерности развития органического мира Земли раскрывает эволюционное учение, основоположником которого является Ч. Дарвин. Эволюционное учение дополнялось и развивалось другими естествоиспытателями: Э. Геккелем, И. М. Сеченовым, В. О. Ковалевским, К. А. Тимирязевым, И. И. Мечниковым, И. В. Мичуриным, В. И. Вернадским и др.

Диалектический метод и материалистическое понимание природы позволили советским ученым объяснить возникновение и развитие жизни на Земле как закономерный процесс, являющийся составной частью развития Земли и Вселенной в целом.

Глава VII

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕМЛИ

Физические свойства Земли—следствие проявления свойств вещества внутренних и внешних геосфер планеты. К ним относятся сила тяжести, плотность, упругость, магнетизм, теплота, радиоактивные свойства.

Сила тяжести. Вокруг Земли существует поле тяготения, обусловленное ее массой. Это поле называется *гравитационным*. Свойства тяготения проявляются как у малых тел (атомы, молекулы), так и у больших (небесные тела). Чем больше масса тела, тем мощнее его гравитационное поле. У поверхности Земли среднее значение поля $9,8 \text{ м/с}^2$. С высотой напряженность его убывает, а на уровне Луны слабее, чем у поверхности Земли, почти в 4000 раз (К. А. Куликов, 1917). Теоретически гравитационное поле Земли распространяется до бесконечности. Ближе к поверхности Земли сила притяжения принимает несколько иной характер. Здесь проявляются силы, которые не только притягивают, но и отталкивают тела, находящиеся на поверхности Земли. Отталкивающая сила, называемая центробежной, обусловлена вращением Земли вокруг

своей оси. Равнодействующая двух сил—гравитационного притяжения и центробежной—называется *силой тяжести*. Сила тяжести способствует удержанию тел и предметов на поверхности Земли, а гравитационное поле удерживает на расстоянии спутник Земли Луну.

Изучение гравитационного поля на земной поверхности показало, что оно имеет сложную структуру, обусловленную неоднородностью вещества земной коры и мантии. Поэтому гравитационное поле делится на нормальное и аномальное. За опорный пункт нормального значения силы тяжести принято ее значение в Потсдаме (ГДР). Относительно этого пункта сделаны расчеты нормальных значений силы тяжести в других районах земного шара. Наблюдаемые в различных частях земной поверхности отклонения от нормальных значений называют *аномалиями силы тяжести* или *гравитационными аномалиями*. Последние обусловлены залеганием на глубине тяжелых или весьма легких руд и горных пород. Аномалии бывают *положительными* и *отрицательными*. Крупные положительные аномалии, фиксирующие «избыток масс», зарегистрированы над глубоководными впадинами в океанах, а более мелкие—в местах залегания железных, медных и им подобных тяжелых руд. Отрицательные аномалии приурочены к высокогорным областям материков и местам залегания относительно легких руд и горных пород.

Ускорение свободного падения уменьшается с высотой и возрастает с глубиной. В меридиональном направлении значение ее меняется от $9,77 \text{ м/с}^2$ на экваторе до $9,83 \text{ м/с}^2$ на полюсах.

Для измерения силы тяжести пользуются *маятниковыми приборами* и *гравиметрами*. Принцип действия первых основан на определении периода колебаний маятников, вторых—на компенсации массы груза прибора упругой силой пружины. Данные по измерению силы тяжести обобщаются на специальных *гравиметрических картах*, где изолиниями выделяют аномалии силы тяжести. Такими картами геологи пользуются при поисках и разведках месторождений полезных ископаемых.

Плотность. Она определяется отношением массы тела к его объему. В системе СИ измеряется в г/см^3 . Впервые плотность Земли была определена И. Ньютоном в 1736 г. Полученные им данные ($5\text{--}6 \text{ г/см}^3$) оказались близкими к современным. Средняя плотность Земли $5,527 \text{ г/см}^3$, она вычислена на основе измерений плотности ее оболочек комплексом геофизических методов (сейсмических, гравиметрических и др.). Согласно определениям плотности земной коры $1,3\text{--}2,8 \text{ г/см}^3$ в верхних слоях и до $3,3 \text{ г/см}^3$ в нижних; мантии—от $3,64$ до $9,4 \text{ г/см}^3$; ядра— $11,5\text{--}17,3 \text{ г/см}^3$. Более точно измеряется плотность горных пород и минералов. Для этого используется метод гидростатического взвешивания. Плотность внешних оболочек Земли намного ниже плотности вещества каменного тела Земли. Если учесть, что гидросфера в основном сложена водами океанов, то при нормальной солености (35 г/л) морской воды и температуре 0°C ее плотность равна $1,028 \text{ г/см}^3$. Плотность

газов в атмосфере приблизительно в тысячу раз ниже плотности воды в гидросфере.

Упругость. Это свойство тел оказывать сопротивление изменению их объема и формы под влиянием механических напряжений. После снятия напряжений упругие тела обычно восстанавливают первоначальную форму, а газы и жидкости—объем. Упругие свойства оболочек Земли определяются по скорости распространения в них сейсмических волн. Скорость (км/с) упругих волн во многом зависит от плотности и фазового состояния вещества. Чем плотнее вещество, тем быстрее в нем скорость волн.

Поперечные сейсмические волны, возникающие в результате реакции среды на внезапное изменение формы, обычно типичны для твердых тел. На границе с жидкой или газообразной средой они отражаются. Благодаря этой их особенности был сделан вывод о жидкой природе внешнего ядра Земли. Более полные сведения о внутреннем строении Земли дают *продольные сейсмические волны*, являющиеся следствием реакции среды на внезапное изменение объема. Если проследить за изменением их скорости, можно составить представление не только о плотности, но и о фазовом состоянии внутренних сфер Земли. В земной коре скорость сейсмических волн растет от 5,5 до 6,8 км/с, в мантии—от 8,1 до 13,6 км/с, на глубине 2900 км (граница ядра) скорость падает до 8,1 км/с, а затем вновь возрастает, достигая в центре 11,3 км/с. Об изменении фазового состояния вещества свидетельствует скачкообразное изменение скорости на границе земной коры с мантией (с 6,8 до 8,1 км/с) и мантии с ядром (с 11,6 до 8,1 км/с). Упругие волны широко используются для изучения строения земной коры, ее геологических структур, оказывают неоценимую помощь при поисках месторождений нефти, газа и рудных полезных ископаемых.

Магнитные свойства. Магнетизм—одно из наиболее интересных свойств Земли. Земля—колоссальный магнит, вокруг которого существует магнитное поле. Это поле, называемое *геомагнитным*, эквивалентно магнитному полю вокруг магнитного бруска длиной 4000 км и шириной 200 км, как бы расположенного внутри Земли. Ось такого диполя на пересечении с поверхностью Земли образует точки, называемые *геомагнитными полюсами*. Геомагнитная ось, проходящая через полюса, наклонена к оси вращения Земли под углом 11,5°. Обнаружить магнитное поле можно с помощью компаса. Как известно, магнитная стрелка компаса в окружении магнитных силовых линий всегда принимает строго определенное положение. Один ее конец бывает направлен на север, другой—на юг. Используя это свойство компаса, его применяют для ориентировки на местности, прокладки геологических маршрутов, воздушных и морских трасс.

Магнитное поле состоит из двух полусфер, образуемых опоясывающими земной шар магнитными силовыми линиями. С высотой оно ослабевает, а на расстоянии 70 тыс. км от Земли постепенно переходит в межпланетное пространство. Омываемое солнечной плазмой (солнечный ветер) магнитное поле образует *магнитосферу*

(рис. 17). Форма и размеры последней периодически меняются. Под воздействием солнечного ветра внешняя граница магнитосферы, обращенная к Солнцу, изгибается и приближается к поверхности Земли, в то время как на теневой стороне магнитосферы вытягивается в виде шлейфа на многие миллионы километров. Немалое влияние на магнитную оболочку оказывает и солнечная активность. Усиливающееся при появлении пятен на Солнце космическое излучение проникает в магнитосферу, вызывает магнитные бури, усиливает полярные сияния. *Магнитные бури* происходят внезапно, охватывая все пространство вокруг Земли. За 1—2 ч резко возрастает напряженность магнитного поля. Более слабые магнитные бури наблюдаются только несколько раз в месяц и нередко носят локальный характер. Они вызываются грозами, землетрясениями, извержениями вулканов. Во время магнитных бурь нарушается радиосвязь, возникают помехи в линиях кабельной и проволочной связи, иногда появляются полярные сияния.

Полярные сияния—это свечение верхних слоев атмосферы, вызванное воздействием на атмосферный воздух заряженных частиц высоких энергий. Свечение возникает на высотах 80—100 км. Кислород при воздействии на него частиц высоких энергий (электронов, протонов) дает зеленое и красное свечение, молекулярный азот на высотах 80—90 км—пурпурно-красное. Полярные сияния имеют вид гигантских светящихся дуг, напоминающих драпировки, обручи различного цвета. Чаще цвет бывает зеленовато-желтый, при увеличении яркости появляются богато окрашенные формы зеленого, красного, малинового, реже синего цвета. Увеличение силы свечения имеет прямую связь с энергией действующих на атмосферу заряженных частиц. Полярные сияния хорошо наблюдаются ночью и чаще ярче бывают в годы активного Солнца. Обычно полярные сияния концентрируются в иносфере в двух кольцевых зонах, расположенных вблизи южного и северного геомагнитных полюсов (авроральные овалы). Ширина зон сотни километров. Границы овалов при усилении солнечной активности могут иногда «сползать» в средние широты (широты Москвы).

Очень важной особенностью геомагнитного поля является его

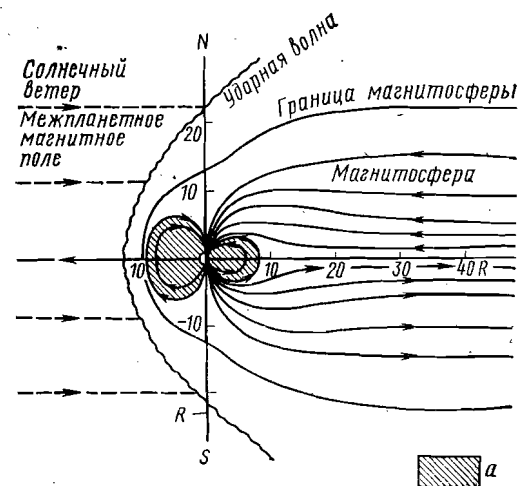


Рис. 17. Деформация магнитосферы под действием солнечного ветра (штриховкой показаны радиационные пояса)

способность задерживать потоки солнечной плазмы, не пропускать их к поверхности Земли. Удерживаемые в верхних слоях атмосферы заряженные частицы накапливаются и образуют *радиационный пояс* (на рис. 17 выделен штриховкой). Впервые он был открыт вторым советским искусственным спутником Земли. Позднее его детально исследовали не только советские космические аппараты, но и спутники, запущенные США, Канадой, Японией, Великобританией и другими странами (Вернов С. Н., 1979). Как показали исследования, потоки солнечной плазмы, достигающие Земли, захватываются ее магнитным полем и удерживаются в нем длительное время (иногда до 100 лет). Заряженные частицы, обладающие высокой энергией (миллиарды электрон-вольт), попав в геомагнитное поле, меняют траекторию и начинают вращаться вокруг Земли. При этом они совершают сложные движения: навиваются на силовые линии, движутся вдоль них из Северного полушария в Южное и обратно и одновременно дрейфуют вокруг Земли.

Радиационный пояс увеличивается в экваториальной части и убывает к полюсам. Внутренняя, ближайшая к Земле граница в экваториальной части удалена от поверхности Земли на высоту 600—1000 км, на широте 65° она снижается до 100 км. Внешняя граница на широте 65° сливается с внутренней. Последняя над экватором поднимается до высот 35—50 тыс. км. Границы области радиации в районах полюсов проектируются на земную поверхность в виде колец, располагающихся внутри зон полярных сияний. Внешняя часть радиационного пояса отличается более высокими зарядами частиц (электроны, протоны, ионы гелия и кислорода). Заряженные частицы, попав в геомагнитное поле, могут или усилить свою энергию, или, оказавшись в плотных слоях атмосферы, потерять ее.

Магнитосфера находится в постоянном взаимодействии с ионосферой и образует с ней единую электрическую систему. Солнечный ветер представляет смертельную опасность для органического мира Земли. Не будь у Земли магнитного поля, защищающего ее от солнечной радиации, наша планета превратилась бы в выжженную космическими лучами пустыню.

У нижних границ геомагнитное поле Земли усиливается и становится более стабильным. Оно характеризуется напряженностью, склонением и наклоном. Напряженность у поверхности Земли колеблется от 20 А/м у экватора до 55 А/м в районе полюсов, среднее значение ~40 А/м.

Магнитные склонения и наклоны определяют по магнитной стрелке. Магнитная стрелка, совмещаясь с магнитными силовыми линиями, отклоняется от географического меридиана. Угол, образуемый стрелкой компаса с северным направлением географического меридиана, называется *магнитным склонением*. Магнитное склонение бывает восточным и западным. В пределах обширной области, охватывающий акватории Индийского и Атлантического океанов, Африку и Западную Европу, *склонение западное*. На ос-

тальной части Земного шара *склонение восточное*. Линии, соединяющие точки с одинаковым магнитным склонением, называют *изогонами*.

Магнитная стрелка, установленная на горизонтальной оси, по мере движения от экватора к полюсам изменяет угол наклона от 0 до 90°. Угол, образуемый стрелкой компаса с горизонтальной плоскостью, называется *магнитным наклоном*, а линии, соединяющие точки с одинаковым магнитным наклоном, *изоклинами*. Изоклина, образованная нулевым значением магнитного наклона, является *магнитным экватором*. *Магнитные полюса*—точки, в которых магнитное склонение равно 90°. Магнитные полюса не совпадают с географическими. В северном полушарии расположен южный магнитный полюс, в южном—северный. Величина магнитного склонения и наклона, так же как и напряженность геомагнитного поля, может отклоняться от нормальных значений в зависимости от времени и местонахождения. Эти отклонения получили названия *магнитных аномалий*. Магнитные аномалии могут быть вызваны залеганием в земной коре магнитных пород и руд. Широко известна Курская магнитная аномалия (КМА), обусловленная залеганием на глубине 70 м и более высокомагнитных железистых кварцитов. Напряженность магнитного поля в районе КМА 160 А/м (почти в четыре раза выше нормального). Магнитное склонение меняется от 40 до 90°, а магнитное склонение—от 0 до 180°.

Более крупные региональные аномалии охватывают площади в тысячи квадратных километров, занимая иногда целые материки. В океанах магнитные аномалии образуют системы ориентированных в одном направлении полос. Магнитные аномалии открывают широкие возможности для изучения строения земной коры и мантии и поисков месторождений полезных ископаемых. Методы изучения земной коры, основанные на магнитных свойствах горных пород, получили название *магнитометрических*. С помощью специальных приборов *магнитометров*, применяемых при магниторазведке, были открыты месторождения железа, никеля, меди, нефти, газа и многих других полезных ископаемых.

Большое значение для науки о земле имеет *палеомагнитный метод*, основанный на изучении намагниченности горных пород и минералов разного возраста. Известно, что при образовании минералов их частички приобретают магнитную ориентировку в соответствии с существующим магнитным полем. Такая ориентировка частиц сохраняется на миллионы лет. Следовательно, по ориентировке намагниченных минералов можно судить о смене полярности геомагнитного поля в геологическом прошлом, об изменении положения материков относительно геомагнитных полюсов и т. д.

Происхождение геомагнитного поля пока еще неясно. Существующие гипотезы связывают магнетизм с разным моментом вращения ядра земли и покрывающей его мантии. Спутник Земли Луна таким свойством не обладает. Однако исследования на Луне и магнитные съемки с орбит искусственных спутников свидетель-

ствуют о наличии на Луне локальных магнитных полей размером в десятки и сотни километров.

Теплота Земли. Земля, как и другие планеты солнечной системы,—холодное космическое тело, температура поверхности которого зависит от внешнего тепла. Исследования показали, что 95% тепла поверхностного слоя Земли—это тепло, получаемое от Солнца (внешнее тепло), и только 5% приходится на внутреннее тепло Земли. Внутренние зоны Земли, как известно, за счет внутреннего тепла нагреты значительно больше, чем верхние слои.

Внешнее тепло поступает на поверхность Земли от Солнца (тепловое излучение звезд, достигающее поверхности Земли, ничтожно мало и поэтому во внимание не принимается) в виде солнечной радиации. Ежеминутно 1 см² земной поверхности получает 8,06 Дж тепла. Эту величину принято называть *солнечной постоянной*. Из общего количества тепла 5,27 · 10²¹ Дж, падающего на Землю в течение года, 37% отражается обратно в космическое пространство. Остальное тепло поглощается горными породами суши и водной поверхностью океанов. Среднегодовой нагрев поверхности равен 15°C. Тела различной плотности нагреваются неодинаково и по-разному передают тепло. Более плотные породы суши быстрее нагреваются и также быстро отдают тепло. Водная поверхность нагревается медленно и длительное время удерживает тепло.

Глубина проникновения солнечного тепла в недра Земли зависит от количества тепла, поступающего от Солнца, и от теплопроводности горных пород. В океанах внешнее тепло прогревает водную толщу на глубину 200 м, на суше породы пропускают тепло до глубины 40 м. Исключение составляют области многолетней мерзлоты, где горные породы, скованные льдом, постоянно находятся в мерзлом состоянии. Тепло, поступающее от Солнца, прогревает породы на небольшую глубину (единицы метров). В пределах слоя прогрева температура изменяется в течение суток и сезонов года в связи с разным количеством поступающего тепла. Суточные колебания температур на суше сказываются до глубины 1,5 м, сезонные—25—30 м и более. Амплитуды колебаний с глубиной уменьшаются. Область глубин, где температура практически остается постоянной и равна среднегодовой температуре района, называется *поясом постоянных температур*. В Москве пояс постоянных температур (4,2°C) проходит на глубине 20 м, в Париже—на глубине 28 м (11,83°C). Изменения температуры ниже пояса постоянных температур обусловлены внутренней теплотой Земли.

Повышение температур с глубиной происходит неравномерно. В скважине, пробуренной в районе Москвы на глубине 1630 м, температура на забое оказалась равной 41°C, а в шахте, пройденной в Донбассе, 56,3°C на глубине 1545 м. Наиболее высокие температуры зарегистрированы на территории США. В скважине «Бейден № 1», пробуренной в штате Оклахома, на глубине 9159 м температура была равна 220°C, а в скважине «Баер-Ренг—Фрио № 2»

(штат Техас) на глубине 5860 м она достигла 274°C. Температурный режим горных пород в недрах земной коры принято выражать геотермическими ступенью и градиентом. *Геотермическая ступень*—это глубина в метрах, на которую нужно опуститься в глыбу земной коры, чтобы температура горных пород повысилась на 1°C. Минимальные значения в областях вулканической деятельности геотермической ступени 2—3 м, на Северном Кавказе 12 м, а в районе Кривого Рога 112,5 м. Самая большая величина геотермической ступени 250 м. Числовые значения геотермической ступени непостоянны не только в разных широтах, но и на разных глубинах одной и той же точки района.

Таблица 5. Примеры средних геотермических градиентов для различных районов земного шара.

Местонахождение буровых скважин	Глубина, м	Средний геотермический градиент, °С
Африка, Витватерstrand	305	1,5
Япония, Эчиго	343	2,9
Австралия Южная	344	10,9
Калимантан, Сумаринда	387	6,3
СССР, Монче-Тундра	319	0,65

Геотермический градиент выражается количеством градусов, на которое повышается температура с глубиной через каждые 100 м (табл. 5). Значение геотермического градиента с глубиной может меняться. Так, при бурении Кольской сверхглубокой скважины по расчетам на глубине 7000 м ожидали температуру 60—70°C, а она оказалась равной 130°C. Повышенные значения теплового излучения могут быть связаны с магматическими очагами, с наличием радиоактивных руд и другими причинами. *Тепловые потоки* из недр Земли идут непрерывно, значение их определяется близостью источников тепла и теплопроводностью горных пород. По данным С. И. Субботина, тепловое излучение под материками немногим выше, чем под океанами при среднем значении для Земли 0,064 Вт/м². Максимальное излучение (0,33 Вт/м²) установлено под срединными океаническими хребтами, минимальное (0,046 Вт/м²) под глубоководными впадинами.

Высокое тепловое излучение, как правило, отмечается в областях вулканической деятельности. Исходит оно от огромных подземных резервуаров (очагов), заполненных огненно-жидким расплавом—*магмой*. Глубина залегания таких очагов неодинакова. У Мексиканских вулканов очаги магмы расположены на глубинах 40—100 км, у Камчатских—60 км. При извержении вулканов температура расплава на выходе достигает 1300°C, в самих очагах она, согласно расчетам, около 1500°C. Измерения тепловых потоков позволили установить, что температуры поверхности мантии от 150—1950°C (температура плавления оливина), на подавляющей

части площади 150—400°C. Температура в более глубоких сферах Земли во многом определяется составом вещества мантии и ядра. Наиболее высокие вычисленные температуры ядра 5000°C.

Излучаемая Землей тепловая энергия меньше солнечной в несколько тысяч раз. О ее происхождении существуют разные мнения, но большинство исследователей считают, что на глубинах имеются следующие источники тепла: радиоактивное тепло, выделяющееся при радиоактивном распаде элементов (генерируется в земной коре), остаточное тепло, выделившееся при дифференциации материи Земли, тепло гравитационное, образовавшееся при гравитационном адиабатическом сжатии и приливном трении, тепло химических реакций, происходящих в горных породах. Основные источники— радиоактивное и остаточное тепло.

Радиоактивные свойства пород. Ими обладают горные породы земной коры, содержащие такие радиоактивные элементы, как уран, радий, торий, калий, рубидий и др. В результате распада радиоактивных элементов образуются ядра качественно новых химических элементов. Так, в процессе распада урана и тория образуется свинец, рубидия—стронций, калия—аргон и т. д. Радиоактивный распад, как правило, сопровождается выделением тепла, которое в значительной мере определяет тепловой режим Земли: 1 г урана отдает $3,8 \cdot 10^3$ Дж, 1 г тория — $1,36 \cdot 10^3$ Дж тепла. Распространение радиоактивных элементов в земной коре неравномерно. Их больше содержится в верхних слоях земной коры и значительно меньше в нижних слоях и верхней мантии. По расчетам В. Г. Хлопина, радиоактивные элементы распространяются лишь до глубины 91 км. В связи с продолжающимся распадом содержание радиоактивных элементов в земной коре убывает. Если, как указывает В. Г. Хлопин, радиоактивный распад в настоящее время дает $1,68 \cdot 10^{18}$ Дж, то 3 млрд. лет назад он давал $9,54 \cdot 10^{18}$ Дж, или в пять раз больше. Наука, занимающаяся изучением радиоактивных свойств горных пород, называется *радиометрией*. С помощью радиометрических методов осуществляются поиски и разведка радиоактивных руд — важнейшего вида минерального сырья, используемого для производства атомной энергии.

Раздел III

ЗЕМНАЯ КОРА

Глава VIII

СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Земная кора—важнейший объект изучения геологии. В ней сосредоточены месторождения жизненно важных полезных ископаемых, здесь происходят геологические процессы, влияющие на все стороны жизни Земли. Границей земной коры сверху является поверхность Земли, снизу—породы мантии. Верхняя граница неровная, то воздымающаяся, то уходящая под воды океанов. Амплитуда колебаний отметок поверхности около 20 км. Нижняя граница как бы зеркально повторяет поверхность Земли. Под материками она глубоко вдается в мантию, под океанами приближается к поверхности Земли. Амплитуда колебаний отметок нижних границ (70 км) выше амплитуды колебаний земной поверхности.

Геофизические исследования позволили выделить в строении земной коры три слоя (рис. 18). Верхний, или наружный, слой носит название *осадочного*, так как сложен осадочными горными породами: песками, глинами, известняками и др. Распространен повсеместно. Минимальная его мощность (несколько метров) отмечается на суше, в районах выхода на поверхность древних кристаллических пород, максимальная—15 тыс. м—установлена в крайних участках Северного Ледовитого океана (Баренцево море). Средний слой—*гранитный*, названный так за сходство его плотности с плотностью магматических пород—гранитов. Залегает преимущественно под материками. Изучен лишь в верхней части, где сложен измененными осадочными и магматическими породами. Средняя плотность пород $2,7$ г/см³, мощность колеблется в пределах 0—20 км. Нижняя граница гранитного слоя впервые была установлена в 1925 г. австрийским геологом Б. Конрадом, по имени которого и получила название *поверхности Конрада*. Нижний слой земной коры—«базальтовый», названный за сходство с базальтами—магматическими породами, плотность которых близка к породам слоя. Как и осадочный слой, распространен повсеместно. Его мощность от 3 до 40 км, средняя мощность 15—25 км.

Особенности строения земной коры под континентами и океанами дали в свое время повод Б. Гутенбергу выделить два типа коры: континентальную и океаническую. Граница между ними не совпадает с границами суши и океана и проходит по дну океана на глубинах 200—3500 м. Между двумя типами коры существует

переходная зона, в которой чередуются участки континентальной и океанической коры.

Континентальная кора включает гранитный и сильно утолщенные осадочный и базальтовый слои, имеет значительную мощность—от 20 до 75 км (средняя мощность 42,5 км). Минимальная толщина коры наблюдается на стыке с океанической корой, максимальная—под горными хребтами (Тибет, Тянь-Шань, Памир и др.). Под крупными континентами кора гораздо толще, чем под более мелкими. Так, мощность коры под Азией—47 км, Африкой—42,5, Северной Америкой—42, Южной Америкой—41, Антарктидой—39

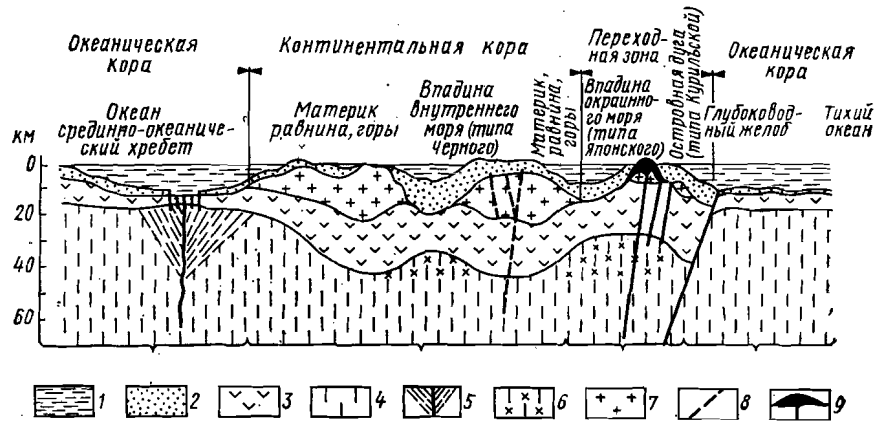


Рис. 18. Схема строения земной коры (по М. В. Муратову, 1975):

1—вода, 2—осадочные породы, 3—базальтовый слой, 4—мантия Земли, 5—участки мантии с пониженной плотностью, 6—участки мантии с повышенной плотностью, 7—гранито-метаморфический слой, 8—глубинные разломы, 9—вулканические конусы, магматические очаги и каналы

и Австралией—37 км. В пределах континентальной коры встречаются отдельные участки с типичной океанической корой (впадина внутреннего Черного моря). В то же время среди океанической коры встречаются острова, под которыми кора континентальная (Гренландия, Мадагаскар, Новая Зеландия).

Океаническая кора при малой мощности (5—20 км) имеет значительное распространение, состоит из двух слоев: осадочного и базальтового. Мощность первого от 0,1 до 3 км, второго—4—15 км. Бурение в океанах глубоководных скважин позволило уточнить данные геофизических исследований. В строении осадочного слоя в верхней части были выделены морские осадки, переходящие вглубь в нормальные осадочные горные породы: известняки, глины и др. В строении базальтового слоя также прослеживается двухъярусное строение: в верхней части залегают вулканические породы, представленные застывшими базальтовыми лавами (мощность 1—2 км), в нижней—магматические породы основного состава (базальты, габбро, анартозиты). Океаническая кора такого строения называется *нормальной*, она занимает значительную часть площади дна

океанов. В зоне гребней срединных океанических хребтов (рис. 19) распространена *аномальная океаническая кора*, в составе которой породы, подстилающие базальтовые лавы, отсутствуют и мощность осадочного слоя минимальная.

Мощность океанической коры, как правило, согласуется с рельефом дна—уменьшается в области впадин и утолщается в зоне поднятий. Чем больше площадь океана, тем толще кора под ним. Так в Тихом океане мощность коры 5—6 км, в местах подводных возвышений—10—15, в Атлантическом океане—от 5 до 18 км. На большей части дна Индийского океана толщина коры 5—10 км, а Северного Ледовитого океана—5—12 км. Максимальное увеличение мощности коры в Северном Ледовитом океане отмечено в районе подводных хребтов Менделеева и Ломоносова.

Между океанической и континентальной корой находится *переходная зона*. Детальное изучение стыков континентальной и океанической коры позволило выделить два типа сочленений: Тихоокеанский и Атлантический. У *Тихоокеанского типа* сочленения на стыках характерно сочетание молодых гор с островными дугами и глубоководными впадинами (Восточное побережье Советского Союза, где переходная зона начинается от хребта Джугджур и, включая впадину Охотского моря и островные дуги Курильских островов, заканчивается Курило-Камчатским глубоководным желобом). Переходная зона Тихоокеанского типа отличается высокой подвижностью и вулканической деятельностью. Гигантской кольцевой структурой она опоясывает весь Тихий океан.

У *Атлантического типа сочленения* нет молодых гор, окаймляющих материка; островные дуги и глубоководные желоба—редкое исключение, активные движения земной коры отсутствуют и нет вулканов. Переходная зона Атлантического типа присуща окра-

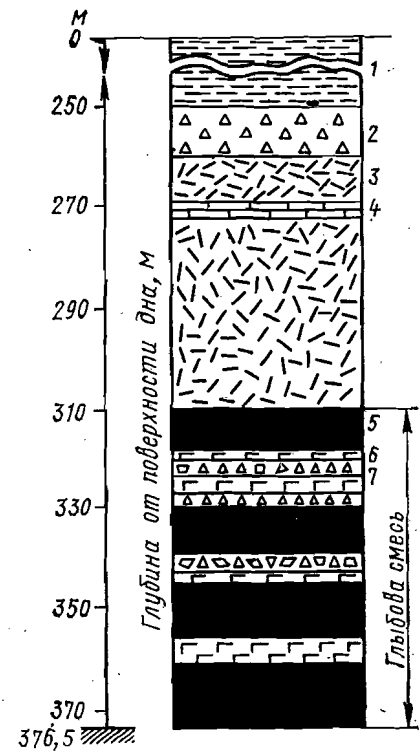


Рис. 19. Схематический разрез океанической коры в районе Атлантического срединно-океанического хребта (в 400 км юго-западнее Азорских островов) по данным бурения глубоководной скважины (по Л. В. Дмитриеву, 1975):

1—белый глубоководный ил, 2—базальты с вкраплениями плагиоклаза, 3—стекловатые базальты, 4—мелоподобные морские осадки, 5—серпентинизированные перидотиты, 6—оливиновые габбро-нориты, 7—брекчия перидотитов и габбро с цементом морских осадков

нам Атлантического, Индийского и Северного Ледовитого океанов. В северных морях переходная зона вынесена глубоко в море до уровня Земли Франца-Иосифа. В Атлантическом океане она проходит недалеко от берега (побережье Африки).

Континентальная кора по строению гораздо сложнее, чем океаническая, да и возраст установленных в ней горных пород пока значительно превышает возраст наиболее древних пород дна океанов. Все это говорит о том, что континентальная кора имеет более сложную историю развития, чем кора океаническая. Глубоко погруженные в мантию каменные глыбы материков как бы плавают среди молодых образований более тонкой океанической коры.

Химический состав геосфер Земли. Изучением химического состава Земли занимается *геохимия*. Помимо изучения химического состава Земли геохимия рассматривает поведение химических элементов в земной коре, их миграцию, способность к рассеянию и образованию концентраций. Наиболее сложная задача геохимии — изучение химизма глубоких сфер Земли. Вопрос об их химическом составе, как уже говорилось, решается с учетом метеоритных гипотез происхождения Земли, анализа скорости прохождения сейсмических волн и плотности оболочек. Увеличение плотности вещества с глубиной говорят о том, что ядро состоит из более тяжелых элементов, чем мантия. Ученые считают, что ядро состоит из железа и никеля, что соответствует составу наиболее тяжелых железных метеоритов. В составе мантии преобладает вещество более легких каменных и железокристаллических метеоритов, состоящих из окислов железа, магния, кремния, алюминия и кальция. Такое распределение легких камней вокруг тяжелых могло произойти в период формирования планеты Земля или в процессе дифференциации (расщепление) метеоритного вещества на тяжелую и легкую материю в процессе эволюции Земли. Представления о различном фазовом состоянии вещества глубинных оболочек основываются не только на изменении скорости сейсмических волн, но и на изменении с глубиной термодинамических условий (повышение с глубиной температуры и давления). Некоторые ученые считают, что в ядре земли, где господствуют температуры в тысячи градусов и давление в миллиарды паскалей, первоначальное вещество Земли потеряло кристаллическую структуру и благодаря разрушению электронных оболочек атомов перешло в металлизированное состояние, приведшее к сближению ядер элементов и, следовательно, к сильному повышению плотности вещества.

Более точную химическую характеристику вещества глубоких недр можно получить лишь непосредственными химическими исследованиями образцов горных пород. Такая возможность существует пока для изучения вещества земной коры, залегающего на глубинах до 20 км (обнажения горных пород в горах). О составе вещества верхней мантии Земли могут свидетельствовать образцы горных пород, поднятые научными экспедициями из глубоководных рифтов. Эти породы по плотности соответствуют веществу верхней мантии и состоят из окислов железа, магния и кремния. В настоя-

щее время наука располагает данными химических исследований образцов пород базальтовой оболочки Земли, полученных при бурении глубоководных скважин в океане. Эти породы, состав которых также близок к перидотитам, считают продуктом дифференциации вещества верхней мантии. Предполагается, что такая дифференциация возможна в слое пониженной плотности — астеносфере.

По поводу образования гранитной оболочки земной коры, состоящей из легких окислов кремния, алюминия, натрия, калия, существуют два мнения. Одни исследователи считают, что гранитная оболочка — продукт дифференциации вещества земной коры, другие связывают ее образование с последующим переплавлением ранее образованных осадочных горных пород.

Химический состав осадочного слоя несколько неоднороден. Среди преобладающих в породах легких окислов кремния и алюминия обнаружены окислы железа, магния, кальция, натрия, калия, в небольших количествах присутствуют более тяжелые химические элементы, попавшие в поверхностные слои вместе с продуктами глубинного магматического расплава.

Всего в земной коре встречается 92 элемента таблицы Д. И. Менделеева. Эволюция химических элементов связана с историей развития Земли. В процессе эволюции происходило усложнение строения их ядер и электронных оболочек. Из простых построению элементов (водород, гелий) формировались более сложные.

Таблица 6. Содержание наиболее распространенных в земной коре элементов (по А. П. Виноградову)

Элементы	Процент от общей массы	Элементы	Процент от общей массы
Кислород	47,2	Калий	2,6
Кремний	27,6	Магний	2,1
Алюминий	8,8	Водород	0,15
Железо	5,1	Все остальные	0,21
Кальций	3,6		
Натрий	2,64		

Химические элементы встречаются в земной коре в атомарном, ионизированном и молекулярном состояниях. Они образуют газы, жидкости и твердые тела. Процентное содержание элементов в земной коре варьирует в широких пределах. Одни из них (кислород, кремний, алюминий) встречаются в природе в больших количествах, другие в сотых, тысячных и более малых долях процента. Первую попытку подсчитать среднее содержание элементов в горных породах сделал в 1889 г. американский геохимик Ф. Кларк. Несколько позже этим вопросом занимались В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, А. П. Виноградов. Они уточнили цифры, полученные Ф. Кларком. По предложению А. Е. Ферсмана, среднее со-

держание элемента в земной коре стали называть *кларком* (табл. 6).

Из данных табл. 6 следует, что основная масса вещества земной коры (99,79%) состоит из девяти химических элементов: кислорода, кремния, алюминия, железа, кальция, натрия, калия, магния, водорода.

Химические элементы, образующие горные породы, называют *петрогенными*. К ним относятся в первую очередь наиболее распространенные элементы земной коры (O, Si, Fe, Ca, Mg, K, Na и др.). Элементы, содержание которых в земной коре превышает 0,1%, называют *микроэлементами*. Часть микроэлементов встречается в земной коре в рассеянном состоянии, но большинство из них образует минералы и руды.

Химический состав оболочек Земли непрерывно обновляется. Это объясняется *миграцией* (перемещением) химических элементов в составе газов, водных и твердых растворов. О миграции атомов элементов хорошо сказал А. Е. Ферсман: «... Среди природы самым подвижным, постоянно ищущим новых путей, является атом, первозданный кирпичик, из которого строятся самые замечательные постройки мира, который вечно не имеет покоя и равновесия, покорный основным законам природных процессов. Ищет, но не находит и не найдёт никогда, так как в природе нет покоя, а есть только вечная материя в вечном движении...»

Благодаря миграции элементов между оболочками земной коры осуществляется взаимный обмен веществом. Осуществляется он между разными участками земной коры, в том числе между океанами и континентами. Однако исследования химического состава земной коры континентального и океанического типов показали, что между ними имеются заметные различия. В континентальной земной коре выше, чем в океанической, содержание окислов кремния, натрия, калия и фосфора. В океаническом типе земной коры отмечается повышенное содержание окислов алюминия, кальция, магния, железа, титана, марганца.

Химический состав земной коры не может характеризовать состав земли в целом, так как наружная оболочка составляет всего лишь 1% ее массы. О химическом составе планеты можно судить главным образом по химическому составу ядра и мантии. По данным А. Е. Ферсмана, наиболее распространенными элементами Земли являются (в процентах массы): Fe — 39,76; O — 27,71; Si — 14,53; Mg — 8,69; Ni — 3,46; Ca — 2,32; Al — 1,79; S — 0,64, прочие элементы — 1,10. Химический состав Земли близок к составу метеоритов, в которых, как и в Земле, преобладают железо, кислород, магний, кремний. Близость химического состава Земли к другим планетам подтверждают исследования лунного грунта, доставленного на Землю советскими автоматическими станциями и американскими астронавтами. Как показали исследования, в составе лунных базальтов несколько выше содержание TiO_2 , FeO, MnO, CaO и Cr_2O_3 , а в земных базальтах SiO_2 , MgO, Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O .

Глава IX

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Химические элементы земной коры редко встречаются в самородном состоянии, чаще они образуют химические соединения, состоящие из двух или более химических элементов. Природные химические соединения (или отдельные элементы), обладающие определенными физическими и химическими свойствами, называются *минералами*. Из минералов состоят *горные породы* или минеральные агрегаты более или менее однородного состава, залегающие в виде самостоятельных тел.

Минералы

В природе минералы встречаются в твердом, реже в жидком и газообразном состоянии. Названия минералам даются или по месту его нахождения, или по химическому составу, ярко выраженным химическим свойствам, или по фамилии ученого, изучившего или открывшего его: Так, минерал оливин получил свое название за оливково-зеленый цвет, кальцит — за химический состав, вернадскит назван так в честь академика В. И. Вернадского. Всего в настоящее время известно около 2000 названий минералов, а вместе с разновидностями — 4000. Минералы рождаются в основном в недрах земной коры и меньше на поверхности Земли. Поэтому по происхождению их делят на *эндогенные* (греч. эндон — внутри), что означает изнутри или в недрах земной коры рожденные, и *экзогенные* — рожденные в условиях поверхности земли.

Эндогенные процессы минералообразования связаны главным образом с деятельностью *магмы* — огненно-жидким силикатным расплавом, образующимся в нижних частях земной коры или верхней мантии. Магма благодаря разности давлений способна внедряться в вышележащие слои. При этом она охлаждается и кристаллизуется, превращается в минералы и горные породы. Такие породы называют *магматическими*. В магме находятся газы, в составе которых преобладают пары воды. Газы кристаллизуются или вместе с расплавом, или покидая его, вызывают проявление *пневматолитовых* (образованных при участии газовой фазы) *процессов*, при которых образуются минералы за счет кристаллизации вещества из газов. Снижение температуры газов до 400—450°C может вызвать конденсацию водяных паров и образование горячих водных или гидротермальных растворов. Гидротермальные растворы довольно широко распространены в местах внедрения магмы. Процессы взаимодействия растворов с вмещающими породами приводят к формированию так называемой довольно многочисленной группы *гидротермальных* (греч. гидор — вода) минералов.

Экзогенные минералы образуются в осадках морей, рек, озер, поэтому их называют *осадочными*. Часть из них рождается на

суше при процессах окисления. Как магматические, так и осадочные минералы изменяются под воздействием высоких температур и давлений. Изменения выражаются в преобразовании химического состава, структуры, внешнего облика минерала. Такие процессы называются *метаморфическими*.

Твердые минералы имеют аморфную или кристаллическую структуру. Аморфные минералы образуются при быстрой кристаллизации вещества и состоят из хаотически расположенных частиц (атомов, ионов или молекул). Кристаллические структуры отличаются закономерным расположением частиц (по законам кристаллических решеток). Большинство минералов имеет кристаллическое строение. Условия образования минералов накладывают отпечаток на их внешнюю форму (морфологию).

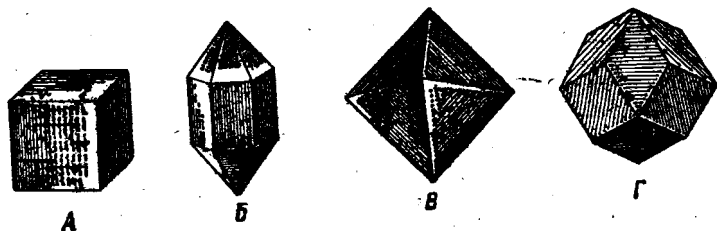


Рис. 20. Монокристаллы: А — куб каменной соли, Б — гексагональный кристалл кварца, В — октаэдр магнетита, Г — ромбический додекаэдр граната

Минералы могут быть представлены кристаллами, кристаллическими двойниками, натеками, корочками, вкрапленниками, зернистыми, игольчатыми, клееподобными массами.

Кристаллы — это твердые природные тела, имеющие вид многогранников: многогранных призм, пирамид, кубов и более сложных форм (рис. 20). При одновременном развитии на одном основании нескольких кристаллических зародышей формируются группы различно направленных кристаллов, называемых *друзами* (рис. 21, А). При быстром росте кристаллов в разных направлениях образуются *дендриты* (рис. 21, В) — кристаллы в виде веточек дерева (узоры льда, рисуемые морозом на стеклах окон, и др.).

Пустоты в минерале (горной породе), частично или полностью заполненные другим минеральным веществом (рис. 21, Г), называются *секрециями*. Минеральные стяжения в виде желваков почкообразной или шарообразной формы получили наименование *конкреций* (рис. 21, Б). Малые конкреции эллипсоидной или шаровидной формы и размером от доли миллиметра до 5—10 мм называют *оолитами*. Оолитовое сложение имеют некоторые железные руды, известняки.

При выпадении вещества из растворов образуются *натечные формы* в виде сросшихся почек, конусообразных вытянутых форм. Натечки сосулькообразной формы, растущие сверху вниз, именуют

сталактитами, растущие снизу вверх — *сталагмитами* (рис. 22, а, б). В виде нечетных образований встречаются малахит, гипс, арагонит.

Одной из распространенных форм минералов являются *вкрапленники* — отдельные точечные включения минералов в породе размером от долей миллиметра до нескольких сантиметров. Не менее распространены *минеральные массы* порошковатого, землистого, плотного и кристаллического сложения. Крайне разнообразны *минеральные агрегаты*. В зависимости от формы зерен они бывают *зернистыми, игольчатыми, чешуйчатыми* и др.

Физические свойства минералов. К физическим свойствам относят цвет, блеск, цвет черты, плотность, твердость, спайность, магнитность и некоторые другие. *Цвет* для многих минералов — важный диагностический признак. По зеленому цвету определяют малахит, красному — киноварь и т. д.

Способность минерала отражать свет называется *блеском*. Различают *алмазный, стеклянный, металлический, шелковистый, матовый, жирный* и другие виды блеска. Нередко при определении минерала пользуются *цветом черты* или *цветом порошка* минерала, остающихся на шероховатой поверхности фарфоровой пластинки.

Твердость — степень сопротивления минералов царапанию, резанию. Определяют ее по шкале Мооса (табл. 7). Каждый последующий минерал шкалы царапает предыдущие. В полевой практике пользуются шкалой заменителей: карандаш — твердость 1, ноготь — 2,5, медная монета — 3, гвоздь — 4, стекло — 5, напильник — 6.

Таблица 7. Шкала твердости Мооса

Минерал	Твердость по шкале Мооса	Абсолютная твердость Н, кг/мм ²	Минерал	Твердость по шкале Мооса	Абсолютная твердость Н, кг/мм ²
Тальк	1	2,4	Ортоклаз	6	795
Гипс	2	36	Кварц	7	1 120
Кальцит	3	109	Топаз	8	1 427
Флюорит	4	189	Корунд	9	2 060
Апатит	5	536	Алмаз	10	10 060

Плотность минералов колеблется от 1 до 23 г/см³. Способность минералов раскалываться по направлениям возможных граней кристалла с образованием ровных и гладких плоскостей называется *спайностью*. Выделяют несколько видов спайности. Чаще всего встречаются совершенная, весьма совершенная и несовершенная спайности. Способность минералов отклонять магнитную стрелку компаса называют *магнитными свойствами*.

При определении минералов обычно пользуются не всеми свойствами, а только наиболее ярко выраженными. Их принято называть *диагностическими*. Так, для магнетита Fe₃O₄ диагности-

ческими являются черный цвет, темная черта, высокая плотность, магнитные свойства.

Минералы объединяют в группы или классы. По наиболее простой классификации выделяют: 1) самородные элементы, 2) сернистые соединения, или сульфиды, 3) окислы (оксиды), 4) галогенные соединения, 5) силикаты, 6) бораты, 7) карбонаты, 8) нитраты, 9) фосфаты, арсенаты, ванадаты, 10) сульфаты, 11) вольфраматы, молибдаты. Ниже охарактеризованы основные представители наиболее распространенных классов минералов.

Самородные элементы. В самородном состоянии в природе встречается около 30 химических элементов. Самые распространенные из них сера, алмаз, графит, золото, платина.

Золото Au. Образуется из горячих водных (гидротермальных) растворов. В природе встречается в виде мелких неправильных зерен, дендритов, реже самородков массой до нескольких десятков килограммов. Обычно содержит примеси, цвет золотисто-желтый, блеск металлический. Твердость 2,5—3,0. Плотность 19,3—19,6. Обладает хорошей ковкостью. Золото — валютный и ювелирный металл.

Алмаз C. Добывается из пород вулканического происхождения (кимберлитов). Встречается в породе в виде мелких кристалликов (октаэдров) изометрического очертания. Масса крупных кристаллов от сотен до нескольких тысяч карат¹ (алмаз Коллиман — 3025 карат). Алмазы обычно бесцветны, прозрачны, иногда окрашены примесями в буровато-черный и другие цвета. Блеск сильный алмазный. Твердость 10. Плотность 3,5. Применяется как абразивный камень при обработке металлов и бурении скважин. Крупные, искусственно ограненные алмазы (бриллианты) — драгоценные камни.

Графит C. Отличается от алмаза структурой кристаллической решетки. В природе образуется из магмы и при метаморфизме растительных остатков. Встречается в виде вкрапленников и чешуйчатых агрегатов. Цвет черный до стально-серого. Блеск металлический. Твердость 1. Плотность 2,2. Спайность весьма совершенная. Жирный на ощупь. Широко используется в электротехнике (щетки, электроды), служит хорошим смазочным материалом.

Сульфиды. Это соединения химических элементов с серой. Большинство сульфидов образуется из гидротермальных растворов при температурах 50—400°C. Среди других минералов сульфиды выделяются пестротой окраски (желтые, красные, серые разных оттенков, синие, черные), легко окисляются в присутствии свободного кислорода и образуют окислы, карбонаты или сульфаты. Сульфиды широко используются в цветной металлургии.

Пирит F_2S_2 . Синоним серный колчедан. Образуется из магмы, гидротермальных растворов и при других процессах. Встречается в виде кристаллов кубической формы, вкрапленников, зернистых

¹ Карат — одна пятая часть грамма.

масс. Цвет соломенно-желтый. Блеск металлический. Твердость 6—6,5. Плотность 5. При окислении переходит в лимонит. Применяется для получения серной кислоты.

Халькопирит $CuFeS_2$. Синоним медный колчедан. Образуется подобно пириту при различных геологических процессах. Формы выделения: вкрапленники и сплошные кристаллически-зернистые массы. Цвет латунно-желтый. Блеск металлический. Твердость 3—4. Плотность 4,1—4,3. Цвет черты черный с зеленоватым оттенком. На поверхности минерала иногда наблюдается красноватая и зеленовато-синяя побежалость. Халькопирит — руда на медь.

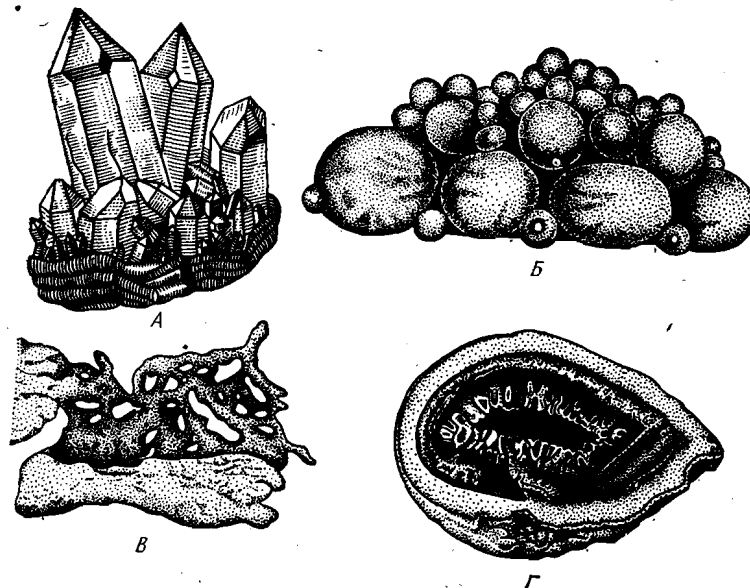


Рис. 21. Морфология минералов: А — друза кристаллов, Б — шарообразные конкреции фосфоритов, В — дендрит самородной меди, Г — секреции кварца и халцедона.

Галенит PbS . Синоним свинцовый блеск. В природе образуется преимущественно из гидротермальных растворов. Формы выделения: вкрапленники и кристаллически-зернистые массы. Нередки кристаллы кубической формы. Цвет свинцово-серый. Блеск металлический. Спайность совершенная. Твердость 2,5. Плотность 7,5. Галенит — руда на свинец.

Окислы. В земной коре распространены довольно широко и составляют 17% ее массы. Образуются преимущественно из магмы, гидротермальных растворов и при окислении или метаморфизме других минералов. Часть окислов образуется на поверхности земли, в бассейнах рек и морей. Применяются преимущественно в черной металлургии.

Магнетит Fe_3O_4 . Синоним магнитный железняк. Образуется из магмы, чаще при метаморфизме. Встречается в виде кристаллов,

вкрапленников и сплошных кристаллически-зернистых масс. Цвет железо-черный. Блеск полуметаллический. Твердость 5,5—6. Плотность 5. Черта черная. Легко определяется по магнитным свойствам. Магнетит — наиболее богатая руда на железо.

Гематит Fe_2O_3 . Синоним красный железняк. Образуется из гидротермальных растворов и при метаморфизме. Разновидность гематита — *мартит* образуется при окислении магнетита и сохраняет форму его кристаллов. Встречается в виде сплошных пятнистых масс и чешуйчатых агрегатов. Чешуйчатый гематит называют *железной* слюдой. Цвет железо-черный, при незначительном содержании воды вишнево-красный (гидрогематит). Черта вишнево-красная. Блеск полуметаллический или матовый. Твердость 5,5—6. Плотность 5. Определяется главным образом по цвету. Применяется, как и магнетит, для выплавки чугуна и стали.

Лимонит $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$. Синоним бурый железняк. Происхождение преимущественно осадочное. Встречается в виде порошковатых масс, конкреций (оолитов), секретий, натечных форм. Цвет от желтого до темно-бурого. Блеск матовый. Твердость 1—4. Плотность 2,7—4,3. Применяется как руда на железо.

Корунд Al_2O_3 . Один из весьма твердых минералов (твердость 9), серовато-синего и красного цвета, блеск стеклянный, плотность 4. Встречается в виде зернистых масс, боченковидных кристаллов, вкрапленников. Происхождение магматическое, метаморфическое. Применяется как абразивный камень. Широко известны прозрачные, красиво окрашенные разновидности корунда: красный — *рубин*, синий — *сапфир*. Используется в качестве драгоценных камней, при производстве часов.

Кварц SiO_2 . Происхождение магматическое, гидротермальное и метаморфическое. Имеет самые разнообразные формы выделений: монокристаллы, двойники, друзы, кристаллически-зернистые массы. Скрытокристаллический кварц называют *халцедоном*. Горный кварц бесцветен и прозрачен (*горный хрусталь*). Чаще встречаются белый или окрашенный примесями в розовый, желтый, зеленый и черный цвета кварц. Блеск стеклянный. Дает неровную, так называемую раковистую поверхность раскола. Твердость 7. Плотность 2,6. Кварц широко известен как породообразующий минерал. Он образует многие горные породы: пески, пес-

чаники, кварциты, граниты. В составе горных пород применяются в строительстве. Прозрачные, красиво окрашенные разновидности кварца используются в ювелирном деле.

Опал $SiO_2 \cdot nH_2O$. Минерал аморфный. Встречается в виде плотных клееподобных масс. Образуется из горячих и холодных водных растворов. Цвет белый, хрящевидный, прозрачно-голубой, редко зеленоватый и красный. Блеск стеклянный, иногда жирный. Твердость 5,5. Плотность 1,9—2,3. Опал образует кремнистые горные породы морского происхождения. Прозрачные опалы применяются в ювелирном деле.

Галоидные соединения. Это соли соляной, фтористой, иодистой и бромистой кислот. Образуются преимущественно в соленых озерах или из гидротермальных растворов. Наиболее распространены из галоидных соединений соли соляной кислоты (хлориды).

Галит $NaCl$. Синоним поваренная, или каменная, соль. Встречается в виде кристаллических и зернистых масс. Галит бывает бесцветным, белым или голубым. Примесями может быть окрашен в желтый, красноватый или бурый цвета. Твердость 2. Плотность 2,2. Вкус соленый. Применяется в химической и пищевой промышленности.

Сильвин KCl . Встречается вместе с галитом в виде кристаллически-зернистых и порошковатых масс. Бесцветен. Примеси окрашивают минерал в розовый и красный цвета. Блеск стеклянный. Твердость 1—2. Плотность 1,97—1,99. Вкус горько-соленый. Применяется в химической промышленности и сельском хозяйстве.

Флюорит CaF_2 (плавиковый шпат). Окраска непостоянная, бывает бесцветным, зеленым, синим, фиолетовым. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 4. Плотность 3,2. Встречается в виде кубических кристаллов, друз, кристаллически-зернистых масс. Образуется из гидротермальных растворов, иногда осадочным путем. Применяется в металлургии, оптике, химической промышленности.

Карбонаты. Эти соли угольной кислоты. Распространены преимущественно среди осадочных горных пород. Отличаются друг от друга по реакции с HCl . Образуют руды и карбонатные горные породы.

Кальцит $Ca[CO_3]$. Синоним известковый шпат. Происхождение осадочное, иногда гидротермальное. В природе встречается в виде монокристаллов, друз, натечных форм, кристаллически-зернистых масс. Бесцветные и прозрачные разновидности кальцита, обладающие высоким двупреломлением, называют *исландским шпатом*. Цвет белый, от примесей — розовый, желтый, темно-серый до черного. Спайность совершенная. Блеск стеклянный. Твердость 3. Плотность 2,7. Легко определяется по бурной реакции с соляной кислотой. Кальцит — важный породообразующий минерал. Он образует известняки, мел, мрамор. Применяется в строительстве для производства цемента и как флюс в металлургии. Исландский шпат используется в оптике.

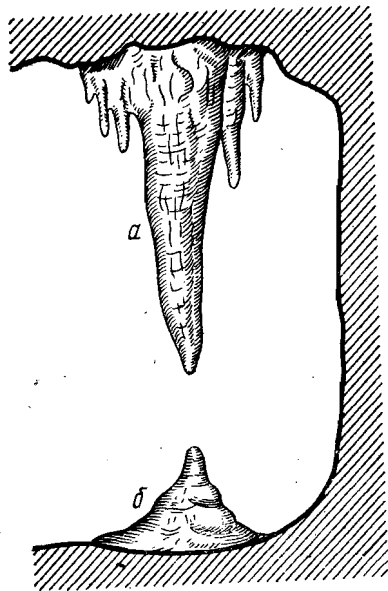


Рис. 22. Натечные формы:
а — сталактит, б — сталагмит

Доломит $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$. Происхождение осадочное, гидротермальное. Встречается в виде кристаллов, землистых, пористых и кристаллически-зернистых масс. Цвет белый, от примеси — желтый или бурый. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 3,5—4. Плотность 2,9. В отличие от кальцита с HCl реагирует в порошке. Является породообразующим минералом и образует породы одноименного названия. Применяется главным образом в строительстве, в качестве флюса в металлургии и для производства цемента.

Малахит $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$. Образуется при окислении сульфидов меди. Встречается в виде натечных форм и землистых масс. Цвет зеленый. Блеск стеклянный, матовый, иногда шелковистый. Определяется по натечным формам, зеленому цвету. Легко разлагается в HCl . Применяется для получения меди, производства различных поделок.

Сульфаты. Это соли серной кислоты, бывают водными и безводными соединениями. Образуются преимущественно при осадочных процессах.

Гипс $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Происхождение осадочное, реже гидротермальное. Формы выделения: монокристаллы, друзы, игольчатые, пластинчатые и тонкозернистые агрегаты. В кристаллах прозрачен и бесцветен. Цвет белый, от примесей окраска меняется и приобретает розовые, желтые и черные оттенки. Блеск стеклянный, шелковистый. Твердость 2. Плотность 2,3. Определяется по твердости (легко царапается ногтем). При дигидратации (обезвоживании) переходит в более плотный голубоватый минерал *ангидрит* $\text{Ca}[\text{SO}_4]$. Гипс — породообразующий минерал. Образует породы того же названия. Применяется для производства вяжущих веществ и в химической промышленности.

Фосфаты. Это соли фосфорной кислоты. Важнейший представитель — *апатит* $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$. Происхождение магматическое. Фосфаты кальция осадочного происхождения называют *фосфоритами*. Они образуются биохимическим путем и встречаются в виде конкреций светло-серого, бурого или черного цвета. Апатит встречается в виде кристаллов и сплошных зернистых масс. Цвет бледно-зеленый или голубоватый. Блеск стеклянный, в изломе жирный. Твердость 5. Плотность 3,2. Апатит и фосфорит применяются для производства фосфатных удобрений и получения фосфора.

Силикаты. На долю минералов этого класса приходится более 75% всех минералов земной коры. Они имеют сложный химический состав и преимущественно эндогенное происхождение. Многие из них — породообразующие минералы.

Оливин $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$. Происхождение магматическое. Встречается в виде зернистых масс. Цвет оливково-зеленый до черного. Блеск стеклянный. Твердость 6,5—7. Плотность 3,3—3,6. Под влиянием гидротермальных растворов изменяется и переходит в минерал *серпентин*.

Топаз $\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F}, \text{OH})_2$. Драгоценный камень. Встречается в виде кристаллов и вкраплений в пегматитах, гидротермальных кварцевых жилах. Прозрачен, цвет желтый, розовый, голубой, нередко бесцветен. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 8. Плотность 3,5.

Гранаты. Они имеют сложный катионный состав ($\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Al}, \text{Cr}$), который влияет на их свойства. Группа гранатов объединяет семь минералов. Из них наиболее распространены буровато-красный *альмадин*, красный — *пироп*, бледно-зеленый — *гроссуляр*. Происхождение гранатов может быть магматическим, метаморфическим и гидротермальным. Блеск стеклянный, в изломе жирный. Твердость 6,5—7,5. Плотность 3,5—4,2. Определяются по цвету и форме кристаллов. Применяются как абразивный материал и для производства гранатовой бумаги. Красиво окрашенные разновидности используются в ювелирном деле.

Пироксены. Известны как исключительно породообразующие минералы. Происхождение магматическое, реже метаморфическое. Встречаются в виде кристаллически-зернистых агрегатов. Наиболее характерные представители группы пироксенов — *авгит* и *диопсид*. В химическом отношении это известково-магнезиальные силикаты. Диопсид серый или зеленый. Авгит — черный, в отличие от диопсида содержит железо. Блеск у них стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 5,5—6. Плотность 3,1—3,6. Пироксены входят в состав магматических пород.

Амфиболы. Это известково-магнезиальные водосодержащие силикаты. Происхождение магматическое и метаморфическое. Представителем амфиболов является *роговая обманка*. Она встречается в породах в виде кристаллически-зернистых и шестоватых (разновидность игольчатых) агрегатов. Цвет черный. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 5,5—6. Плотность 3,1—3,3. Роговая обманка — породообразующий минерал.

Каолинит $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$. Происхождение осадочное. Образуется за счет химического разложения полевых шпатов. Встречается в виде землистых масс. Цвет белый, от примесей бывает желтый, бурый, зеленый, черный. Блеск матовый. Твердость 1. Плотность 2,6. На ощупь жирный. Во влажном состоянии пластичный. Каолинит — породообразующий минерал. Применяется в керамической промышленности для производства фарфора, фаянса, огнеупорных изделий.

Слюда. Минералы, способные расщепляться на тонкие и гибкие листочки, называют слюдами. Происхождение их магматическое, метаморфическое и гидротермальное. Встречаются в виде чешуйчатых и листовых (разновидности пластинчатых) агрегатов. Блеск стеклянный с перламутровым отливом. Спайность весьма совершенная. Твердость 2—3. Плотность 2,76—3,1. Наиболее характерные представители слюд — *биотит*, *флогопит*, *мусковит*. Биотит — железомagneзиальная слюда, цвет черный, флогопит — магнезиальная слюда, цвет бурый. Мусковит — высокоглиноземистая слюда, прозрачная, бесцветна, от примесей может иметь бу-

роватые оттенки. Слюды — породообразующие минералы. Используются (кроме биотита) в радиотехнике.

Тальк $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$. Минерал жирный на ощупь с весьма малой твердостью — 1. Цвет зеленый, светло-зеленый, светло-серый. Блеск матовый, перламутровый. Плотность 2,8. Образуется при гидротермальных процессах и метаморфизме оливина и доломита, применяется для производства огнеупоров, бумаги, в парфюмерии.

Полевые шпаты. Это наиболее распространенная группа породообразующих минералов. Они составляют около 50% массы земной коры. Происхождение магматическое, реже метаморфическое, образуют кристаллически-зернистые массы. По химическому составу полевые шпаты подразделяются на *калиевые полевые шпаты* и *натрокалиевые полевые шпаты*, или *плаггиоклазы*. Представитель калиевых полевых шпатов — минерал *ортоклаз* $K[AlSi_3O_8]$. Цвет серый, розовый или мясо-красный. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 6—6. Плотность 2,5—2,6. Применяется при производстве керамических изделий и стекла. Плаггиоклазы объединяют шесть минералов с одинаковой структурой и близким химическим составом: *альбит*, *олигоклаз*, *андезин*, *лабрадор*, *битовнит*, *анортит*. Каждый из этих минералов — изоморфная смесь альбита $Na[AlSi_3O_8]$ и анортита $Ca[Al_2Si_2O_8]$. Они очень сходны и определить, какой это минерал, можно только под микроскопом. Исключение составляет *лабрадор*, имеющий только синевато-зеленую окраску. Цвет остальных плаггиоклазов белый до темно-серого. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 6—6,5. Плотность 2,61—2,76. Плаггиоклазы — главные породообразующие минералы. Лабрадор используется в качестве облицовочного материала.

Горные породы

Горные породы состоят из одного (мрамор — из кальцита) или нескольких минералов (гранит — из полевых шпатов, кварца, слюды и иногда роговой обманки). В первом случае их называют *мономинеральными* (одноминеральными), во втором — *полиминеральными* (многоминеральными). Наука, занимающаяся изучением горных пород, называется *петрографией*. В настоящее время известно около 1000 видов различных горных пород.

Горные породы различаются по цвету, структуре, текстуре, минеральному составу и форме залегания.

Под *структурой* понимают особенности сложения горной породы, обусловленные размерами, формой и взаимоотношением минеральных зерен. *Текстура* характеризует относительное расположение и распределение составных частей породы. *Форма залегания* — форма объема, который занимает горная порода.

Минералы, образующие горные породы, называются *породообразующими*. Из 2000 известных минералов около 100 породообразующих. Среди них наиболее распространены полевые шпаты, кварц, пироксены, кальцит и некоторые другие.

Основные свойства и внешние признаки горной породы определяются в первую очередь условиями ее образования. Поэтому в петрографии принята классификация горных пород по их происхождению. Согласно этой классификации все горные породы подразделяются на *магматические*, *осадочные* и *метаморфические*. Основную массу земной коры составляют породы магматические (около 95% ее массы), и очень малый процент (около 5%) приходится на долю осадочных и метаморфических горных пород. Поверхность Земли на 75% сложена осадочными породами и на 25% — магматическими и метаморфическими породами.

Магматические породы. Образуются из магмы или лавы (излившаяся на поверхность магма). Породы, образовавшиеся из магмы в условиях глубин, называют *интрузивными*, в условиях поверхности — *эффузивными*. Внешне эффузивные породы от интрузивных можно отличить по структуре. Различия в структуре объясняются разными условиями кристаллизации. В недрах Земли образуются *полнокристаллические породы*. В зависимости от размеров зерен минералов различают следующие структуры: *крупнозернистая*, диаметр зерен свыше 5 мм, *среднезернистая* — 2—5 мм, *мелкозернистая* — менее 2 мм. Для эффузивных пород характерна *стекловатая* (напоминающая стекло), *скрытокристаллическая* (зерна минералов неразличимы невооруженным глазом) и особенно *порфировая структуры* (скрытокристаллическая масса, на фоне которой выделяются отдельные зерна минералов). Текстура магматических пород преимущественно массивная. Основные породообразующие минералы магматических пород — калиевые полевые шпаты, плаггиоклазы, нефелин, кварц, пироксены, амфиболы, слюды, оливин. В зависимости от процентного содержания в породах породообразующие минералы делят на *главные* (свыше 10%), *второстепенные* (3—10) и *аксессуарные* (редкие, менее 3%).

Наиболее распространенные формы залегания интрузивных пород — батолиты, штоки, лакколлиты, дайки, жилы (рис. 23). *Батолиты* — куполообразные тела огромных размеров — более 100 км². *Штоки* имеют ту же форму, что и батолиты, но их площадь менее 100 км². *Лакколлиты* — магматические тела грибообразной формы, образующиеся при проникновении магмы в межпластовые трещины и выдавливании вверх вышележащих пластов. Мощность лакколлитов может достигать 3000 м. *Дайки* — линейно вытянутые вертикальные или круто падающие магматические тела, образовавшиеся за счет заполнения магмой трещин с относительно параллельными стенками. Мощность даек колеблется от миллиметров до нескольких километров. *Жилы* — геологические тела, сложенные горными породами, заполнившими трещины. Жилы не выдержаны ни по мощности, ни по простиранию.

Для эффузивных пород характерные формы залегания — потоки, купола, покровы. *Потоки* — застывшие лавовые реки протяженностью до 80 км. *Купола* — погребенные или современные конуса вулканов. Высота куполов от сотен до первых тысяч метров. *Покровы* — плащеобразные тела, образующиеся при заполнении лавой площадей в сотни и тысячи квадратных километров.

Магматические породы классифицируются по химическому и минеральному составу. В основе химической классификации лежит содержание в породах окислов кремния. По процентному содержанию этих окислов магматические породы делят на *кислые* — SiO_2 — более 65%, *средние* — 52—65, *основные* — 45—52 и *ультраосновные* — менее 45%. Породы, богатые окислами калия и натрия, называют *щелочными*.

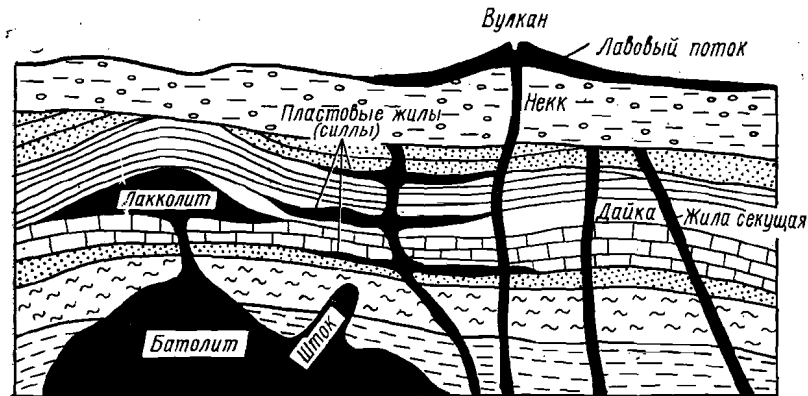


Рис. 23. Формы залегания магматических пород

Кислые породы. Они широко распространены в земной коре. На территории СССР их выходы составляют около 47% всех магматических пород. Кислые породы состоят из полевых шпатов (70%), кварца (25%), слюд и роговой обманки (5%).

Наиболее распространенными породами кислого состава являются интрузивные породы — *граниты*. Цвет их светло-серый, розовый или красный. По внешнему виду это массивные породы с мелко-, средне- или крупнозернистой структурой. Светлоокрашенные граниты, не содержащие цветных минералов, называют *алюскитами*. Жильные гранитные породы с зернами размером более 25 мм называют *пегматитами*. С пегматитами бывают связаны месторождения слюд и рудных полезных ископаемых (U, W, Mo, Sn и др.). Граниты залегают в форме батолитов, штоков, даек.

Средние породы. По минеральному составу они подразделяются на две группы: *группу диоритов* и *группу сиенитов*.

Группа сиенитов имеет много общего с кислыми породами. Отличаются они отсутствием кварца и повышенным содержанием роговой обманки (до 20%). Главными минералами группы являются *плаггиоклазы*, *калиевые полевые шпаты* и *роговая обманка*, второстепенными — *слюда*, *пироксены*, *кварц*. Интрузивные породы этой группы называются *сиенитами*. К группе сиенитов относится около 0,6% всех магматических пород. Цвет их такой же, как и гранитов, структура мелко-, средне- и крупнозернистая. По содержанию второстепенных минералов сиениты бывают биотитовыми и пироксеновыми. Форма залегания сиенитов — батолиты, штоки, дайки.

Породы группы диоритов состоят из плаггиоклазов (около 65%) и роговой обманки (35%). Из второстепенных минералов присутствуют калиевый полевой шпат, кварц, слюда и пироксены. Интрузивные породы этой группы — диориты, эффузивные — андезиты и порфириты.

Диориты светло-серого или зеленовато-серого цвета, структура мелкозернистая. По содержанию второстепенных минералов диориты бывают *биотитовыми*, *кварцевыми* и *пироксеновыми*. Присутствие в диоритах кварца и калиевого полевого шпата сближает породу с гранитами, а пироксенов — с основными породами (габбро). Диориты залегают в форме штоков, даек.

Андезиты — эффузивные аналоги диоритов. Цвет темно-серый до черного. По цвету они иногда трудно отличимы от основных эффузивных пород — базальтов. В этих случаях прибегают к микроскопическим методам определения. Структура — скрытокристаллическая и порфировая, текстура — пористая. Древние по возрасту андезиты с зеленоватыми оттенками и ярко выраженной порфировой структурой называют *порфиритами*. Порфировые зерна представлены светлыми плаггиоклазами. Форма залегания андезитов — потоки, купола; порфиритов — дайки, лакколиты.

Основные породы. Они также широко распространены, слагают глубокие части дна океанов и некоторые океанические острова. В виде небольших интрузий выходят на поверхность земли. Основной минеральный состав: *плаггиоклазы* — 55%, *пироксены* — 45%. Второстепенные минералы представлены *оливином*, *роговой обманкой*, *биотитом*. Глубинные породы основного состава называют габбро, излившиеся — базальтами, диабазами.

Габбро — темно-серые или зеленовато-серые интрузивные породы с средне- или крупнозернистой структурой. По содержанию второстепенных минералов габбро бывает *оливиновым*, *биотитовым*. Разности габбро, состоящие преимущественно из плаггиоклаза — лабрадора, называют *лабрадоритом*. Лабрадориты — ценный облицовочный материал.

Базальты среди основных пород пользуются наибольшим распространением. Цвет их темно-серый до черного. Структура скрытокристаллическая. Текстура массивная. Образуют мощные покровы площадью в десятки тысяч квадратных километров. Древние базальтовые породы с зеленоватыми оттенками называют *диаба-*

зами. Порфиновые выделения диабазов бывают представлены плагиоклазами и пироксенами. Диабазы залегают в форме даек и пластовых интрузий.

Ультраосновные породы. Встречаются на поверхности довольно редко и образуют массивы — небольшие батолиты и штоки. Состоят преимущественно из пироксенов и оливина. Как оливин, так и пироксен могут составлять до 100% всей массы породы. Второстепенные минералы представлены *плагиоклазом* и *роговой обманкой*. Наибольшим распространением в земной коре пользуются интрузивные ультраосновные породы: дуниты и перидотиты.

Дунит состоит почти целиком из оливина. Цвет темно-зеленый до черного. Структура мелко- и среднезернистая. Дунит, содержащий пироксены, называется *перидотитом*.

Щелочные породы. Распространены незначительно, на них приходится всего около 1% магматических пород. Главные представители щелочных пород — *нефелиновые сиениты* светлосерого, розового, зеленоватого до черного цвета. Структура разномелкозернистая. Текстура массивная. Залегают в форме батолитов, штоков.

Осадочные породы. Образуются из осадков, накапливаются на суше и дне океанов. Исходным материалом для их образования являются продукты разрушения горных пород различного происхождения (магматических, метаморфических и ранее образованных осадочных). Осадки бывают *механическими* (обломки) и *химическими*. Большую роль в образовании осадков играют остатки животного и растительного происхождения. Главнейшие породообразующие минералы осадочных пород — кварц, кальцит, каолинит, опал, гипс, слюда, реже глауконит, минералы железа и др. Соединения железа, обуглившиеся растительные остатки и цветные минералы окрашивают породы в желтый, бурый, розовый, красный, зеленый, серый, черный и другие цвета. Основные формы залегания осадочных пород — слой (пласт), линза и прослойка. *Слой (пласт)* — плитообразное тело, ограниченное параллельными плоскостями. *Линза* — небольшой пласт, выклинивающийся по краям. *Прослойка* — тонкий слой, залегающий в толще мощных пластов. Текстура осадочных пород обычно *слоистая*. *Слоистость* — чередование тонких слоев породы, отличающихся разной структурой, цветом, петрографическим составом. Из структур наиболее распространены *обломочные* (порода состоит из обломков), *пелитовые* (глиноподобные) и *кристаллически-зернистые* (состоящие из кристаллических зерен) структуры. Осадочные горные породы по условиям образования делятся на обломочные, химические и биохимические.

Обломочные породы. В зависимости от величины обломков они подразделяются на грубообломочные — диаметр обломков свыше 1 мм, песчаные — 0,05—1, пылеватые — 0,005—0,05 и глинистые — не более 0,005 мм. Обломки в породе могут быть сцементированы.

Грубообломочные породы, или псефиты, представлены валунами, галькой, гравием, конгломератом и брекчией. *Валуны* — окатанные обломки твердых горных пород диаметром от 100 до 1000 мм, а иногда и больше. Встречаются в районах деятельности ледников, на берегах морей и в долинах горных рек. *Галька* — окатанные обломки твердых горных пород и минералов от 10 до 100 мм в поперечнике. Галечниковые отложения распространены среди прибрежных морских и других осадков. *Гравий* — окатанные обломки минералов и горных пород диаметром от 1 до 10 мм. Гравийные отложения встречаются реже, чем песчаные. Валун, галька, гравий используются в строительстве как бутовый камень и для приготовления бетона. Сцементированные гравийно-галечниковые породы называются *конгломератами*. Они широко распространены среди древних морских отложений. В конгломератах встречаются промышленные концентрации золота и урана. Сцементированные неокатанные обломки образуют *брекцию*. Особого внимания заслуживают рудные брекчии, в цементе которых нередко присутствуют промышленные скопления руд меди, свинца, цинка и других металлов.

Песчаные породы, или псаммиты, включают пески и песчаники. *Пески* — рыхлые породы, состоящие из обломков твердых минералов, преимущественно кварца. В песках встречаются различные минеральные примеси, по которым выделяют разновидности песков. Пески бывают *глинистыми, карбонатными, слюдяными, глауконитовыми, ожелезненными* и т. д. Если пески состоят исключительно из кварца, их называют *кварцевыми*. Цвет песков бывает белым, желтым, бурым, красным, зеленым, темно-серым, черным. Структура в зависимости от крупности и подбора зерен бывает *равномерно-зернистой, разномелкозернистой, крупно-, средне и мелкозернистой*. Текстура преимущественно *слоистая*. В песках встречаются месторождения золота, платины, алмазов и других полезных ископаемых. Пески широко используются для производства стекла, силикатного кирпича, в качестве строительного материала. Сцементированные пески называются *песчаниками*. По минеральному составу и составу цемента песчаники бывают *кварцевыми, глинистыми, карбонатными, гипсовыми, железистыми, кремнистыми* и др. Цвет, структура и форма залегания песчаников такие же, как у песков. В составе цемента иногда присутствуют рудные минералы. Их используют как руду. Песчаники используются в строительстве как бутовый камень и для изготовления щебенки.

Пылеватые породы, или алевриты, включают алевриты и алевролиты. *Алевриты* — рыхлые породы, состоящие из мельчайших зерен кварца, полевого шпата, слюды, глауконита. Плотные сцементированные алевриты называют *алевролитами*. Цвет их зеленовато-серый, красноватый и др. Цементом для них служат глинистое вещество, карбонаты, окислы железа и кремния. Залегают алевриты в виде прослоев и пластов. Применяются в строительстве.

Глинистые породы широко распространены среди осадочных пород и составляют 50—60% их объема. К ним относятся *глины*. Они состоят из каолинита и других глинистых минералов. Минеральные примеси (окислы железа, обуглившиеся растительные остатки) окрашивают глины в желтый, бурый, красный, зеленый, темно-серый и черный цвета. Во влажном состоянии глины пластичны. При обжиге теряют пластичность и спекаются в каменную массу. Залегают в виде пластов, линз, прослоек. Применяются для производства фарфора, фаянса, керамических изделий, используются для производства огнеупорного кирпича (температура плавления до 1780°C).

Химические и биохимические породы. Образуются в водоемах при химическом осаждении минеральных веществ из истинных и коллоидных растворов. В осаждении нередко принимают участие микроорганизмы. В таких случаях породы называют *биохимическими*. Наиболее распространенными химическими породами являются соли, фосфориты, карбонатные и кремнистые породы.

Соли — отложения соленых озер или лагун, расположенных в условиях сухого и жаркого климата. К ним относят *каменную соль, сильвинит* (порода, состоящая из сильвина и галита), *гипс, ангидрит*. Залегают эти породы в виде пластов или линз, часто переслаивающихся друг с другом. Структура большей частью *кристаллически-зернистая*.

Фосфориты — типичные представители биохимических пород. Это песчано-глинистые или глинисто-карбонатные породы, сцементированные фосфатным цементом. Сложение их *зернистое, желваково-конкреционное* или *плотное однородное*. В составе фосфоритов встречаются зубы акул, содержащие до 65% фосфата кальция. Окраска фосфоритов серая, бурая или черная. Залегают в форме прослоек и пластов. Применяются для производства сельскохозяйственных удобрений.

Бокситы образуются в области жаркого и влажного климата при химическом разложении полевошпатовых горных пород. Цвет светло-серый, красный, бурый. Переотложенные бокситы бывают озерного или морского происхождения. По сложению это рыхлые пористые или плотные с оолитовой структурой породы. Применяются для производства алюминия.

Карбонатные и кремнистые породы — известняки, доломиты, мергель, мел, диатомиты, яшма. Карбонатные породы образуются в результате химического осаждения углекислого кальция и магния из истинных растворов в озерах и морях, а также из скелетных остатков организмов.

Известняки — по внешнему виду плотные или пористые породы светло-серого цвета, иногда окрашены примесями в светло-желтый, серый, темно-серый или другой цвет. Они бывают органического и химического происхождения. В зависимости от организмов, раковины которых слагают известняки, последние под-

разделяются на *коралловые, фораминиферовые* и т. д. Они залегают в виде пластов или линз. Применяются в качестве флюсов в металлургии, для получения извести, цемента.

Доломиты состоят из минерала того же названия. Залегают в форме пластов и линз. Очень похожи на известняки, от которых отличаются большой пористостью, реакцией с HCl (реагируют с кислотой в порошок). Применяются в металлургии, при производстве цемента.

Мел — белая землистая пористая порода. Состоит из известковых скорлупок морских водорослей кокколитофорид и мелких раковин фораминифер. В составе мела изредка встречаются крупные раковины моллюсков, морских ежей и других организмов. Мел применяется для изготовления извести, цемента, как побелочный материал.

Мергель — смешанная по составу порода. Состоит из мелкозернистого кальцита и глинистого материала. Распределение составных частей в породе равномерное. По внешнему виду это мягкая, реже твердая камневидная порода, окрашенная в белый, желтовато-серый или зеленовато-серый цвет. Применяется для изготовления цемента.

Кремнистые породы состоят из кремнистых раковин, скелетных остатков и хемогенного кремнезема. Основные минералы кремнистых пород — *опал* и *халцедон*.

Диатомиты — породы, состоящие из микроскопически мелких диатомовых водорослей (рис. 24). Цвет породы белый, сложение землистое. Очень высокая пористость делает породу настолько легкой, что она плавает в воде. Диатомиты применяются в качестве наполнителей и полировочного материала.

Яшма состоит из халцедона, кварца, реже опала. В качестве примесей в ней встречаются соединения железа, хлорит и органическое вещество. Примеси окрашивают яшмы в бурый, красный, зеленый и темно-серый цвета. Текстура яшм разнообразна. Наиболее распространены полосчатые, пятнистые и узорчатые тек-



Рис. 24. Диатомит под микроскопом

стуры. Яшма применяется как декоративный и облицовочный камень.

Метаморфические породы. Они образуются в глубоких зонах земной коры за счет изменения осадочных и магматических пород, поэтому их делят на *первичноосадочные* и *первичномагматические*. Главные минералы метаморфических пород — кварц, слюды, эпидот, хлорит, гранаты, полевой шпат, пироксены, кальцит и др. Структуры метаморфических пород частично унаследуются от первичных пород и являются *реликтовыми* (остаточными). Большинство структур возникает в процессе метаморфизма и является типично метаморфическим. Для них характерна чешуйчатость, волокнистость, скрытокристалличность. Из текстур распространены *массивная, гнейсовидная* и *сланцеватая*. Массивная текстура характеризуется однородным строением пород, гнейсовидная — обусловлена параллельно-линейным расположением зерен минералов (сланцеватая текстура и др.). Формы залегания метаморфических пород обычно соответствуют формам залегания осадочных и магматических пород. Наиболее известные метаморфические породы — скарны, сланцы, кварциты, мрамор, гнейсы.

Скарны образуются на контакте кислых и средних интрузий с химически активными вмещающими породами: карбонатными осадочными и полевошпатовыми магматическими. В процессе скарнообразования во вмещающих породах возникают различные минеральные ассоциации из кальцита, кварца, хлорита, эпидота, гранитов, пироксенов, амфиболов, из рудных — магнетита, халькопирита, пирита, галенита, золота и др. Скарны привлекают внимание геологов промышленными концентрациями железа, меди, свинца, цинка, золота, вольфрама и др.

Сланцы — породы различного минерального состава, образующиеся при метаморфизме как осадочных, так и магматических горных пород. Распространены слюдяные сланцы, состоящие из зерен кварца и слюды. Если в составе сланцев преобладает мусковит, их называют *мусковитовыми*, биотит — *биотитовыми*. *Тальковые сланцы* образуются при метаморфизме ультраосновных магматических пород. Состоят они из талька, кварца. Цвет желтый, зеленовато-серый, зеленый. Чистые тальковые сланцы применяются в качестве сырья для производства огнеупоров. *Хлоритовые сланцы* — зеленые до темно-зеленых сланцевые породы, состоящие преимущественно из хлорита и кварца. Образуются при метаморфизме основных магматических пород.

Кварциты — массивные кристаллические породы, состоящие из кварца. Образуются при метаморфизме кварцевых песков и песчаников. Чистые кварциты белого цвета, содержащие примеси — розового, красного, серого до темно-серого. Особое место среди разновидностей занимают *железистые кварциты*, состоящие из тонких прослоек кварца и железорудных минералов — магнетита, гематита, железной слюдки. Цвет пород черный, красноватый, темно-серый до черного. Железистые кварциты распространены

в СССР, в Скандинавии, Канаде и др. Они используются в качестве руд на железо.

Мрамор — полнокристаллическая порода, состоящая из кальцита и реже доломита. Мрамор образуется путем перекристаллизации карбонатных пород, известняков и доломитов. Примеси окислов железа, углистоого и других веществ окрашивают обычно белый мрамор в желтый, красный, темно-серый и другие цвета. Мрамор известен как облицовочный камень. Используется для скульптурных работ.

Гнейсы — породы довольно сложного минерального состава, образуются за счет метаморфизма как магматических, так и осадочных пород. Первичномагматические гнейсы называются *ортогнейсами*, а первичноосадочные — *парагнейсами*. Главные породообразующие минералы гнейсов — полевые шпаты, кварц, слюда. Второстепенные минералы — гранаты, пироксены, роговая обманка и др. Структура гнейсов — полнокристаллическая, мелкозернистая, крупнозернистая и порфиоровидная, текстура — гнейсовидная.

Глава X

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

История развития земной коры насчитывает около 3,5—4 млрд. лет. Это время в жизни Земли называют *геологическим*. Геологическое время определяют с помощью горных пород, слагающих земные слои. Каждому слою соответствует определенный отрезок времени, в течение которого шло его образование, поэтому длительность истории развития земной коры соответствует сумме времени, затраченного на образование всей толщи слоев, слагающих земную кору.

Возраст горных пород. Пути установления возраста горных пород различны. Вначале в практику вошли методы определения *приближенного*, или *относительного*, возраста, который лишь фиксирует последовательность образования горных пород относительно друг друга. Позже стали пользоваться *методами абсолютного летоисчисления*, позволяющими определять длительность формирования горных пород во времени.

Из методов определения относительного возраста известностью пользуются стратиграфический, петрографический и палеонтологический методы. *Стратиграфический метод* основан на изучении положения слоев горных пород в земной коре. Слои, которые по пространственному положению залегают выше рассматриваемых, считаются по времени образования более молодыми, чем подстилающие их породы. *Петрографическим методом* решается вопрос о возрасте путем сопоставления минерального состава, облика и условий образования пород, выходы которых пространственно удалены друг от друга. Сходство между породами дает повод счи-

тать их одновозрастными. Наиболее широко применяется в геологической практике *палеонтологический метод*, основанный на изучении ископаемых остатков вымерших организмов. Установлено, например, что в разновозрастных слоях осадочных горных пород встречаются разные комплексы остатков организмов, характеризующие развитие животного и растительного мира Земли в ту или иную геологическую эпоху. Сопоставление этих остатков дает возможность судить об относительном возрасте горных пород и составить представление о эволюции органического мира Земли. Методами относительного возраста пользуются обычно в комплексе для установления последовательности образования осадочных, метаморфических и некоторых магматических пород.

Метод абсолютного летосчисления возраста горных пород основан на использовании изотопов химических элементов. Иногда для более точного определения возраста используют скорость накопления осадка. Так изучение процессов осадконакопления в дельте Нила показало, что донные осадки накапливаются здесь со скоростью 1,5 мм/год. Следовательно, вся толща речных отложений в области устья накопилась за 12—13 тыс. лет. Аналогично был решен вопрос о возрасте ледниковых отложений под Ленинградом. *Ленточные глины*, которыми представлены эти отложения, сложены из множества слоев глины и тонкого песка. Установлено, что каждая пара таких слоев накапливалась в ледниковом озере в течение года. Подсчитав общее количество слоев, установили, что их возраст 16,5 тыс. лет.

Изотопный метод, вошедший в повседневную геологическую практику, основан на подсчете времени распада радиоактивных элементов, содержащихся в породах. Радиоактивные элементы, попавшие в породу при ее образовании, подвергаются самопроизвольному распаду, в процессе которого образуются качественно новые химические элементы с более устойчивой структурой: изотоп урана ^{238}U превращается в свинец ^{206}Pb , торий ^{232}Th — в ^{208}Pb , рубидий ^{87}Rb — в стронций ^{87}Sr , калий ^{40}K — в кальций ^{40}Ca и аргон ^{40}Ar , углерод ^{14}C — в азот ^{14}N . Время полураспада у этих элементов разное. У ^{238}U $4,53 \cdot 10^9$ лет, ^{232}Th — $13,9 \cdot 10^9$, ^{40}K — $1,3 \cdot 10^9$, ^{14}C — 5750 лет. В настоящее время разработаны и применяются в практике *свинцово-урано-ториевый, стронциевый, калий-аргоновый, радиоуглеродный методы*. Для определения возраста породы свинцово-урановым методом вначале выявляют в ней содержание урана и продуктов его распада (свинца и гелия). Полученные данные подставляют в формулу

$$A = \frac{n}{m \cdot 7,4 \cdot 10^{-9}},$$

где A — возраст породы в годах, m — содержание в породе урана в граммах; n — содержание свинца в граммах. Тот или иной метод дает возможность выяснить возраст в определенном интервале времени: радиоуглеродный метод — 2—6 тыс. лет, калий-аргоновый — более 100 тыс. лет, стронциевый — 5 млн. лет, свинцово-ура-

новый — 30 млн. лет и более. Применение того или иного метода зависит от поставленных задач. Радиоуглеродным методом пользуются для определения возраста археологических находок. Для горных пород наиболее употребителен калий-аргоновый метод, предложенный в 1942 г. советским ученым Э. К. Герлингом. Применение изотопных методов показало, что возраст наиболее древних пород Цейлона — 540 млн. лет. Наиболее древние породы обнаружены в Антарктиде. Их возраст около 4 млрд. лет. Калий-аргоновым методом установлен возраст ряда горных районов. Так, возраст складчатых сооружений Калифорнии 1700 млн. лет, горных массивов Казахстана, Алтая, Тянь-Шаня — 325 млн. лет.

Геохронология земной коры. *Геохронология земной коры* — подразделение геологического времени на более мелкие единицы времени. На основе изучения геологических этапов в истории Земли и эволюции ее органического мира разработана геохронологическая шкала. В первом варианте она была предложена во второй половине XIX в. и принята для общего пользования на второй сессии Международного геологического конгресса в 1881 г. Впоследствии шкала неоднократно дополнялась и изменялась. Современный вариант геохронологических подразделений приведен ниже (табл. 8). Каждому геохронологическому подразделению соответствует подразделение стратиграфическое — вещественное выражение отрезка относительного геологического времени. Такими подразделениями являются эратемы (группы), системы, отделы и т. д. Стратиграфические подразделения объединяются в *стратиграфическую шкалу*, показывающую последовательность стратиграфических подразделений осадочных, вулканических и метаморфических образований.

Согласно принятым в настоящее время геохронологическим подразделениям геологическое время делится на два неравнозначных *зоны* (лат. аеоп — длительный промежуток, или период, времени) — фанерозой и криптозой. *Криптозой* (греч. криптос — скрытый, тайный, зоз — жизнь) охватывает промежуток геологического времени в 3,5 млрд. лет. В течение этого времени сложились *базальтовая и гранитная оболочки* земной коры. Органические остатки в породах криптозоэ (за исключением верхних его толщ) отсутствуют. К *фанерозою* (греч. фанерос — явный) относят верхние толщи земной коры, охарактеризованные достоверными органическими остатками. Зоны подразделяются на *эры*. Первые две — *архейская и протерозойская* — входят в состав *криптозоэ*, последующие три — *палеозойская, мезозойская и кайнозойская* — в состав *фанерозоэ*. Эрам соответствуют единицы стратиграфической шкалы *эратемы* или группы, названия которых соответствуют названиям эр (*архейская, протерозойская, палеозойская, мезозойская, кайнозойская эратемы*). Архейская и протерозойская эратемы в связи с недостаточной изученностью отложений не имеют общепринятых стратиграфических подразделений (кроме местных) и нередко выделяются под общим названием *докембрия*. Эры фанерозоэ в связи с достаточно хорошей изученностью отло-

Таблица 8. Геохронологическая шкала

Эон	Эра (эратема, группа)	Период (система)	Эпоха (отдел)	Индекс	Цвет на геологической карте	Средняя продолжительность, млн. лет		
						период	возраст	
Фанерозой	Кайнозойская (кайнозой) KZ (Kz)*	Четвертичный Q	Современная Поздняя (верхний) Средняя (средний) Ранняя (нижний)	Q Q Q	Светло-серый	0,7	65±3	
		Неогеновый (неоген) N	Плиоцен (верхний) Миоцен (нижний)		Лимонно-желтый	25		
		Палеогеновый (палеоген) P (Pg)	Олигоцен (верхний) Эоцен (средний) Палеоцен (нижний)	P ₃ P ₂ P ₁	Желтый	41		67±3
	Мезозойская (мезозой) MZ (Mz)	Меловой (мел) K (Cr)	Поздняя (верхний) Ранняя (нижний)	K ₂ K ₁	Светло-зеленый	70	165±10	
		Юрский (юра) J	Поздняя (верхний) Средняя (средний) Ранняя (нижний)	J ₃ J ₂ J ₁	Синий	55—58		
		Триасовый (триас) T	Поздняя (верхний) Средняя (средний) Ранняя (нижний)	T ₃ T ₂ T ₁	Светло-фиолетовый	40—45		230±10

Продолжение табл. 8

Эон	Эра (эратема, группа)	Период (система)	Эпоха (отдел)	Индекс	Цвет на геологической карте	Средняя продолжительность, млн. лет	
						период	возраст
Криптозой (докембрий)	Палеозойская (палеозой) PZ (Pz)	Пермский (пермь) P	Поздняя (верхний) Ранняя (нижний)	P ₂ P ₁	Оранжевый	45	230±10
		Каменноугольный (карбон) C	Поздняя (верхний) Средняя (средний) Ранняя (нижний)	C ₃ C ₂ C ₁	Серый	65—70	
		Девонский (дево) D	Поздняя (верхний) Средняя (средний) Ранняя (нижний)	D ₂ D ₂ D ₁	Коричневый	55—60	
		Силурский (силур) S	Поздняя (верхний) Ранняя (нижний)	S ₂ S ₁	Коричневато-зеленый	35	
		Ордовикский (ордовик) O	Поздняя (верхний) Средняя (средний) Ранняя (нижний)	O ₃ O ₂ O ₁	Фишашково-зеленый	60—70	
		Кембрийский (кембрий) E (Cm)	Поздняя (верхний) Средняя (средний) Ранняя (нижний)	E ₃ E ₂ E ₁	Синевато-зеленый	70—80	
	Протерозойская (протерозой) PR (Pt)		Поздняя (верхний) (рифей) Средняя (средний) Ранняя (нижний)	PR ₃ PR ₂ PR ₁	Желтовато-розовый	570±30 2100±100	
Архейская (архей) AR (A)	Архейская группа не имеет общепринятых подразделений Подразделения имеют местное значение			Розовый	2700±100 1800 4600 ±200		

* В скобках приведены старые индексы.

жений делят на 12 периодов, в составе которых выделяют 33 эпохи.

Для сокращенного обозначения геохронологических подразделений приняты индексы. Эры и эратемы обозначаются двумя большими буквами (протерозой — PR), периоды и системы — одной (пермь — P), эпоха или отдел обозначаются цифрой у основания буквы, например K₂ (верхний мел). Обозначениями возраста, принятыми в геохронологической шкале, широко пользуются в геологической практике для составления геологических карт, разрезов и других геологических документов. Для удобства их чтения применяются цветные знаки, которыми окрашиваются выходы на земную поверхность горных пород того или иного стратиграфического подразделения. Например, отложения юрского возраста окрашиваются в голубой цвет, палеогенового — в желтый и т. д.

Для стратиграфического расчленения толщ горных пород по возрасту в геологии обычно пользуются палеонтологическими методами исследования, основанными на изучении ископаемых остатков вымерших организмов.

Краткая характеристика органического мира Земли. Руководящие ископаемые. Нам хорошо знаком современный органический мир. Но существовал ли он в геологическом прошлом? Этот вопрос длительное время служил предметом горячих споров. Религия утверждала, что живая и мертвая природа создана богом и создана относительно недавно (7—12 тыс. лет). Подобной точки зрения придерживались и идеалисты, приписывавшие появление жизни сверхъестественным силам. По-другому к этому вопросу подходят материалисты. Они рассматривают зарождение и развитие жизни на Земле как результат химической и биологической эволюции материи. Это подтверждают многочисленные находки в слоях Земли остатков ископаемых организмов. В древних слоях земной коры обнаружены остатки примитивно организованных животных и растений, таких, как водоросли, бактерии. В более молодых породах найдены остатки более высокоразвитых организмов: древесная растительность, земноводные, пресмыкающиеся, млекопитающие животные.

Степень сохранности и форма органических остатков самые разные. Наиболее распространены ядра и отпечатки. Ядра бывают внутренними и внешними. Внутренние ядра — каменные слепки внутренней полости раковин, образовавшиеся путем заполнения ее минеральным веществом. Внешние ядра отражают наружное строение раковины. Остатки древних организмов и следы их жизни называют *окаменелостями*. Их подразделяют на *ископаемую фауну* — остатки животного мира и *ископаемую флору* — остатки растительного мира. Длительность существования различных групп организмов была неодинаковой. Одни из них обитали на Земле долгое время, другие в силу слабой приспособленности к внешним условиям быстро вымирали. Вместо них появились новые формы организмов. Так происходило непрерывное обновление органического мира Земли.

Каждому слою горных пород соответствует свой, только присущий ему комплекс органических остатков. Такие организмы называются *руководящими ископаемыми*. Ими руководствуются при определении относительного возраста горных пород. Руководящие формы имеют ограниченное вертикальное и повсеместное горизонтальное распространение. Изучение современных и ископаемых организмов позволило составить представление об эволюции органического мира Земли. В эволюционной схеме ископаемые фауна и флора систематизированы по особенностям строения. Животный

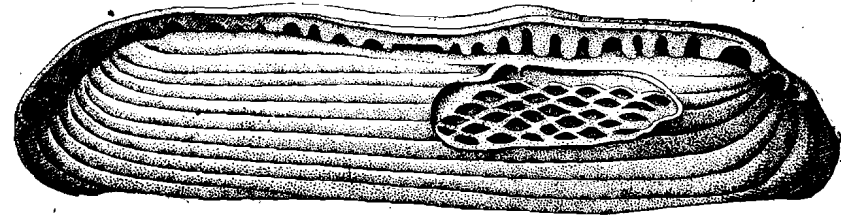


Рис. 25. Фузулина (сильно увеличена)

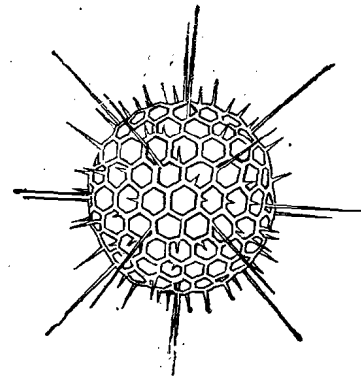


Рис. 26. Радиолярия (сильно увеличена)

мир подразделяется на следующие типы: простейшие, архециаты, губки, кишечнополостные, черви, членистоногие, моллюски, мшанки, плеченогие, иглокожие, полухордовые и хордовые; растительный мир — на бактерии, водоросли, риниофиты, плауновые, членистоветельные, папоротниковые, голосеменные, покрытосеменные. Каждый тип делится на классы, классы — на отряды, отряды — на семейства, семейства — на роды, роды — на виды. Вид — основная элементарная единица классификации. Название ископаемой фауны и флоры дается на латинском языке. Видовое название состоит из трех слов. Первое означает род, второе — вид, третье — фамилию исследователя (*Spirifer disjunctus Sowby*).

Животный мир. Наиболее просто устроенных одноклеточных животных объединяют в тип простейшие. В ископаемом состоянии встречаются формы простейших, которые имели скелет-

ные образования или раковины, и бесскелетные животные. Наиболее важное геологическое значение имеют *фораминиферы* и *радиолярии*. Раковины их обычно измеряются миллиметрами. Представителем фораминифер является фузулина (рис. 25). Раковинка фузулины по форме и размерам напоминает ячменное зерно, состоит из извести. Радиолярии в отличие от фораминифер имеют

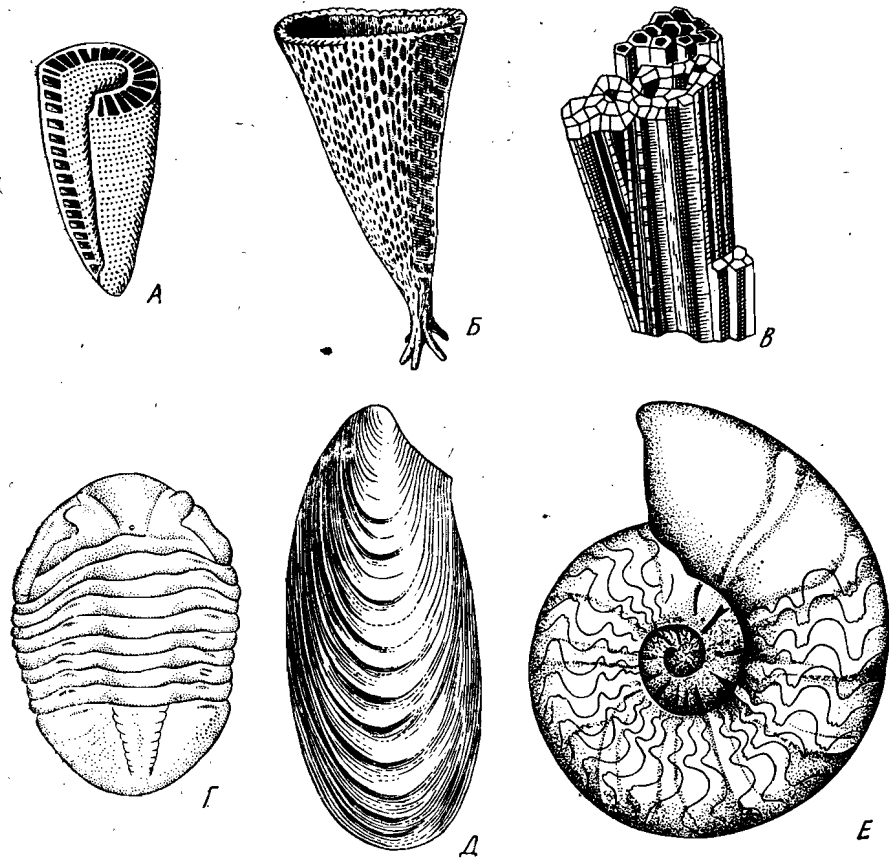


Рис. 27. Руководящие ископаемые: А — археоциат (кембрий), Б — вентрикулитес (мел), В — фавозитес (силур-пермь), Г — трилобит (ордовик), Д — иноцерамус (мел), Е — аммонит (триас)

кремнистый скелет. Скелет радиолярий бывает шарообразным, дискообразным, шлемовидным (рис. 26). Поверхность покрыта иглами и шипами.

Простейшие известны с докембрия. Некоторые их представители живут в современных морях. Как фораминиферы, так и радиолярии — породообразующие организмы.

Губки и *археоциаты* — примитивные многоклеточные организмы. Тело их имеет бакаловидную или чашеобразную форму. И те

и другие жили в морях и вели донный образ жизни. Археоциаты — руководящие ископаемые и породообразующие организмы кембрия (рис. 27, А). Кремнистая губка *вентрикулитес* (рис. 27, Б) характерна для мелового периода.

Кишечнополостные — дальнейшая ступень эволюции в мире животных. В отличие от предшествующих типов они уже имеют нервные клетки и мускульную систему. Характерные представители кишечнополостных — *кораллы*. Они живут в морях и ведут одиночный или колоннальный образ жизни. Тело особи коралла заключено в известковые трубочки — *кораллиты*. Одна из распространенных ископаемых форм кораллов — *фавозитес*. Колония этого животного по внешнему виду напоминает пчелиные соты (рис. 27, В). Кораллы известны с палеозоя. Большинство их представителей — важнейшие руководящие формы и породообразующие организмы. Из их построек состоят прибрежные рифы и некоторые острова в современных морях и океанах. В ископаемом состоянии встречаются коралловые известняки.

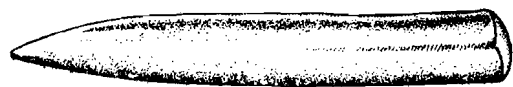
Черви не имеют сколько-либо существенного геологического значения, так как они часто не сохраняются в ископаемом состоянии.

Членистоногие — обширная группа беспозвоночных животных. Она включает несколько классов: *трилобиты*, *ракообразные*, *паукообразные*, *насекомые*, *многоножки*, *первичнотрахейные*. В ископаемом состоянии сохраняются плохо, за исключением трилобитов. Трилобиты жили в раннепалеозойских морях и вели донный образ жизни. Их тело заключено в хитиново-известковый панцирь (рис. 27, Г). Одна из руководящих форм трилобитов — *азафус*, живший в ордовике.

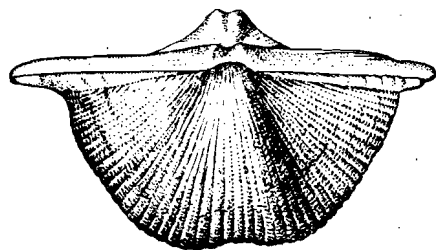
Моллюски — мягкотелые беспозвоночные животные, живущие преимущественно в морях. К ним относятся современные устрицы, осьминоги, улитки. У них уже есть нервная система, органы чувств, пищеварительная система, сердце, органы кровообращения. Большинство представителей этого типа имеют известковые раковины. По форме раковины и строению тела моллюски делятся на несколько классов: *двустворчатые моллюски*, *головногие*, *брюхоногие* и др.

Раковины *двустворчатых моллюсков* состоят из двух створок, соединяющихся между собой посредством замка — известковых выступов (зубов и ямок). Наружная поверхность раковин редко бывает гладкой, обычно она украшена концентрическими складками или радиальными ребрами. Двустворчатые моллюски имеют массу представителей среди древнего и современного животного мира. Из ископаемых форм юры и мела широко известен род *иноцерамус*. Раковины этих животных крупные, с концентрически-складчатой структурой (рис. 27, Д).

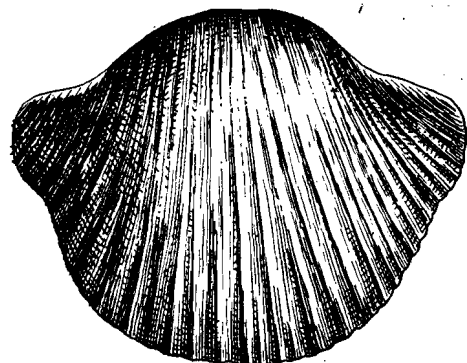
Головногие моллюски в зависимости от положения скелетных элементов делятся на *наружнораковинные* и *внутрираковинные*. Раковины первых обычно имеют вид согнутых, спирально закрученных и, значительно реже, прямых трубок, разделенных перегородками на ряд камер. Наиболее древняя руководящая форма



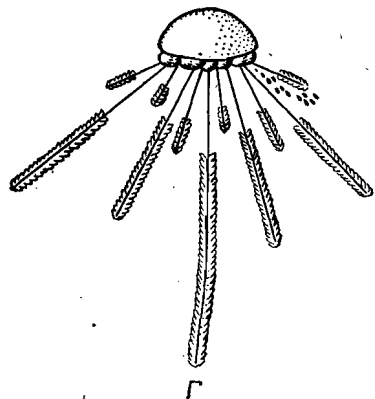
А



Б



В



Г

Рис. 28. Руководящие ископаемые: А — белемнит (мел), Б — спирифер (девон), В — продуктус (карбон), Г — колония граптолитов (ордовик)

из наружнораковинных — ортоцерас, живший в палеозое, более молодая мезозойская — *цератитес*. Раковина первой имеет вид конической трубочки со следами прямых перегородок, раковина второй спирально закручена с узорчатыми извилистыми линиями — следами прикрепления перегородок. Из внутреннераковинных руководящих ископаемых широко известны белемниты, которые в народе называют «чертовыми пальцами». Такое название им дали за сигарообразную удлинённую форму (рис. 28, А). Время жизни белемнитов юра — мел.

Брюхоногие моллюски отличаются спирально закрученными коническими раковинами с различной скульптурой в виде ребер, бугорков, шипов.

Следующий тип животных — *мшанки*. По внешнему виду они напоминают мох или лишайник. Скелет известковый. Мшанки жили колониями в морях и вели прикрепленный образ жизни. Среди осадочных пород встречаются известняки, состоящие целиком из известковых образований мшанок.

Из морских организмов, ведущих донный образ жизни, широко известны *плеченогие*. Мягкое их тело обычно заключено в двустворчатую

известковую раковину. В отличие от двустворчатых моллюсков раковины плеченогих состоят из симметричных, но разных створок. Одна из них более выпуклая, называется брюшной, другая более плоская, а иногда и вогнутая — спинной. Створки имеют хорошо развитые макушки и сочленяются с помощью мускулов или известковых выступов, называемых зубами. На рис. 28, Б, В показаны две наиболее распространенные палеозойские формы плеченогих — *продуктус* и *спирифер*. Продуктусы имеют крупные раковины с сильной выпуклой брюшной створкой и плоской или вогнутой спинной створкой. Поверхность раковины покрыта концентрическими складками, чередующимися с продольными ребрами. Спириферы отличаются более мелкими размерами, одинаковыми створками и сильно вытянутой замковой частью. Поверхность раковины покрыта радиальными ребрами.

Из *иглокожих* особенно интересны *морские лилии* и *морские ежи*. И те и другие имеют известковые панцири, состоящие из пластинок. У многих представителей на поверхности панциря иглы, отсюда и их название — иглокожие. Иглокожие известны с палеозоя. Некоторые виды иглокожих живут в современных морях.

К типу *полухордовых* относятся колониальные животные *граптолиты*. Они обитали в силурийских морях. Относятся к планктону. Колонии внешне напоминают маленькие веточки или нити, вдоль которых размещаются ячейки с отдельными особями (рис. 28, Г). В ископаемом состоянии встречаются в углистых и глинистых сланцах.

К типу *хордовых* относятся высокоразвитые животные — рыбы, птицы, земноводные, пресмыкающиеся, млекопитающие. У примитивных форм типа скелет выражен хрящевым стержнем — хордой (отсюда название типа), а у высокоорганизованных позвоночных животных — позвоночным столбом, состоящим из позвонков. Большинство хордовых обитало на суше, где условия захоронения плохие. Поэтому многие из них не сохранились в ископаемом состоянии.

Для позвоночных характерны сложноустроенные органы пищеварения, дыхания, кровеносной и нервной систем. Тело позвоночных обычно покрытой кожей, поверх которой нередко образуются роговые наросты в виде чешуй, перьев или волос. Позвоночные делятся на классы: рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, птицы и млекопитающие.

Рыбы известны с начала палеозоя. Первые их представители имели небольшие размеры и панцирь, состоящий из костных пластин (*панцирные рыбы*). Отпечатки панцирных рыб встречаются в породах девонского возраста. Наиболее часто в ископаемом состоянии встречаются *хрящевые* и *костные рыбы*. Из хрящевых рыб широко известны *акулы*. Хорошо сохранившиеся зубы этих животных можно встретить в отложениях, начиная с палеозойских и кончая современными. Костные рыбы отличаются большим разнообразием видов. К ним принадлежат подклассы *лучеперых*,

двоякодышащих и кистеперых рыб. Двоякодышащие и кистеперые были распространены в палеозое и редко встречаются в настоящее время. Ученые считают, что кистеперые рыбы — предки первых наземных (земноводных) животных. Лучеперые рыбы достигли расцвета в меловое время и продолжают жить в современных водоемах.

Земноводные — более высокоорганизованные животные, отличаются от выше рассмотренных высокой организацией строения и образом жизни. Как и рыбы, земноводные размножаются икрой,

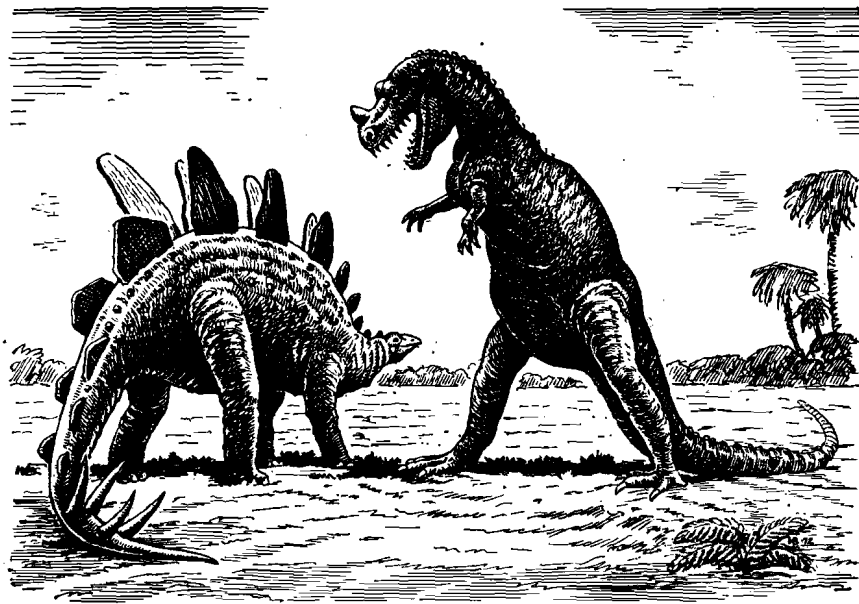


Рис. 29. Ящеры мелового периода: травоядный стегозавр со спинными щитками и хищный цератозавр

из которой выводятся личинки. Личинки развиваются в воде и дышат жабрами. Взрослые животные дышат легкими и живут на суше. Передвигаются земноводные с помощью двух пар конечностей. Имеют непостоянную температуру тела, соответствующую температуре окружающей среды. Один из наиболее древних ископаемых земноводных — *стегоцефалы* жили в верхнем палеозое. Современными представителями этого класса являются *лягушки, саламандры* и др.

Пресмыкающиеся появились в каменноугольном периоде. Размножаются яйцами (без личиночной стадии), которые откладывают на суше, имеют непостоянную температуру тела, хорошо развитые конечности, дышат легкими. Наибольшего расцвета достигли в мезозое, и к концу этой эры большинство их вымерло. Из

современной фауны к пресмыкающимся относятся *крокодилы, змеи, черепахи, ящерицы*. Мезозойские формы пресмыкающихся — *ящеры* нередко имели огромные размеры. Например, наземный ящер *диплодок* достигал в длину 30 м. По образу жизни ящеры подразделяют на *наземные, водные и летающие*. Среди наземных ящеров обитали как травоядные, так и хищные представители (рис. 29). Из водных ящеров заслуживает внимания *ихтиозавр* (рыбоящер). В отличие от других пресмыкающихся ихтиозавры были живородящими животными. К наиболее древним летающим ящерам относится *птеранодон*. Он имел перепончатые крылья, подобные крыльям летучей мыши, достигавшие 8 м. Последние летающие ящеры вымерли недавно. Предками пресмыкающихся являются земноводные.

Птицы появились в юрском периоде. Первые птицы имели большое сходство с пресмыкающимися. Так, у первой птицы *археоптерикса* крылья оканчивались тремя пальцами с когтями, туловище — длинным хвостом, подобным хвосту ящерицы, а во рту было два ряда острых зубов, характерных для хищных животных. Птицы относятся к числу теплокровных животных, имеющих постоянную температуру тела. Кости их полые. Наибольший расцвет птиц отмечен в кайнозое.

Млекопитающие — живородящие животные, выкармливающие детенышей молоком. Среди других классов типа хордовых выделяются высокой организацией. Температура их тела постоянная. Млекопитающие произошли от пресмыкающихся и появились в триасе. Расцвет млекопитающих наступил в кайнозое. По строению тела, конечностей, черепа и других элементов скелета класс млекопитающих делится на подклассы, отряды, семейства и роды. Наиболее многочисленным является *подкласс последовых*, куда входят такие отряды и семейства, как *копытные, хоботные, приматы* и др. К отряду приматов относятся *обезьяны и человек*.

Растения. По строению и развитию растения подразделяются на низшие и высшие. К низшим относят бактерии и водоросли, к высшим — *риниофиты, плауновые, членистостебельные, папоротниковые, голосеменные, покрытосеменные*. Высшие растения в отличие от одноклеточных и многоклеточных низших растений имеют корень, стебель и листья.

Бактерии — одноклеточные организмы, размножающиеся делением клетки. Способны жить и при высоких и при очень низких температурах. Их можно встретить в водах горячих источников и во льдах. Бактерии обитают как в кислородной (*аэробные бактерии*), так и бескислородной (*анаэробные бактерии*) среде. Они принимают участие в образовании различных руд и горных пород (сера, железные руды, фосфориты и др.). В ископаемом состоянии почти не сохраняются.

Водоросли — растения, обитающие в морях, озерах, реках. Геологическое значение из них имеют *синезеленые, диатомовые* и некоторые другие водоросли, минеральные скелеты которых представлены известковыми корочками и кремнистыми панцирями. Из

минеральных остатков этих водорослей состоят некоторые известняки и кремнистые породы — диатомиты. Водоросли известны с докембрия.

Риниофиты — первые наземные растения. Это были небольшие кусты с вильчато-ветвящимися стеблями, с плохо развитой корневой системой, без листьев. Появились риниофиты в кембрии и вымерли в девоне.

Плауновые — древовидные споровые растения. Имели довольно хорошо развитую корневую систему, высокий ствол и крону, состоящую из листьев. Ствол достигал 30 м высоты при толщине

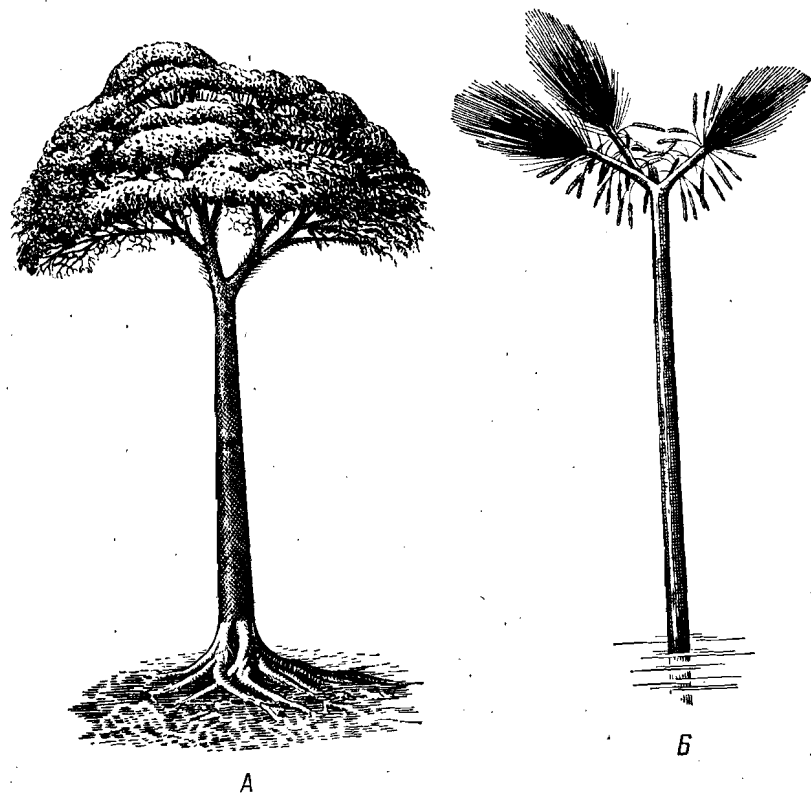


Рис. 30. Плауновые растения: А — лепидодендрон, Б — сигиллярия

1—2 м. Наиболее известные представители плауновых — *лепидодендроны* и *сигиллярии* (рис. 30). Стволы и кора этих деревьев встречаются часто среди угленосных отложений палеозоя (например, в Донбассе). Время жизни — карбон — пермь.

Членистостебельные в ископаемом состоянии представлены травянистыми древовидными растениями. Стебель растений обычно полый и членистый. Наибольшее распространение имели в палеозое.

Папоротниковые — споровые, травянистые или древовидные растения. Имели крупные перистые листья. Наиболее широко были распространены в палеозое и мезозое. Сохранились они и до нашего времени.

Голосеменные растения размножаются семенами. К ним относятся *кордаиты*, *гинкговые*, *саговые (цикадовые)*, *хвойные* и др. Кордаиты жили в палеозое, гинкговые и саговые — в мезозое. Хвойные появились в конце палеозоя и были широко представлены в мезозое и кайнозое. Современные представители хвойных — *кедр, ель, сосна*.

Покрытосеменные — наиболее высокоорганизованные растения. Произошли от голосеменных, появились в конце мелового периода. В ископаемом состоянии встречаются как травянистые, так и древовидные формы. Наибольшего расцвета достигли в кайнозое. Современные представители — *пальма, дуб, бук, береза, тополь* и др.

Геологическая история земной коры. Докембрий. Докембрийская история характеризует начальную стадию геологического развития Земли. Это наиболее длительная и мало изученная стадия, длившаяся свыше 3000 млн. лет. Докембрий охватывает *архейскую* и *протерозойскую эры*. Докембрийские породы, по которым восстанавливается докембрийская история Земли, в большинстве своем скрыты под толщей более молодых горных пород. Представлены они преимущественно породами *магматического и метаморфического происхождения* — *гранитами, гнейсами, сланцами, кварцитами и амфиболитами*. Метаморфические породы на 3/4 представлены первичноосадочными породами и по сравнению с магматическими пользуются более широким распространением. Из осадочных пород в верхних толщах докембрия распространены *конгломераты, песчаники, кристаллические известняки, доломиты*. В слабометаморфизованных породах нижнего протерозоя и рифея иногда встречаются остатки фораминифер, кишечнополостных, синезеленых водорослей и других организмов.

Довольно высоко развитый органический мир протерозоя говорит о том, что жизнь на Земле появилась или в архее, или еще раньше. Присутствие среди докембрийских образований многочисленных интрузий магматических пород и лав свидетельствует о проявлении в архее и протерозое интенсивного магматизма. Докембрийские породы, как правило, смяты в складки и разорваны трещинами. Движения земной коры, вызывавшие подобные нарушения, повторялись неоднократно, в результате чего строение земной коры стало сложным.

Изучение слабоизмененных осадочных пород рифея позволило восстановить физико-географическую обстановку на Земле в конце докембрия. Как показывают исследования, к концу докембрия были сформированы *Восточноевропейская, Североазиатская (Сибирская), Южноазиатская (Китайская), Североамериканская (Канадская), Индостанская, Австралийская, Африканская, Южноамериканская и Восточноантарктическая платформы*¹ (рис. 31).

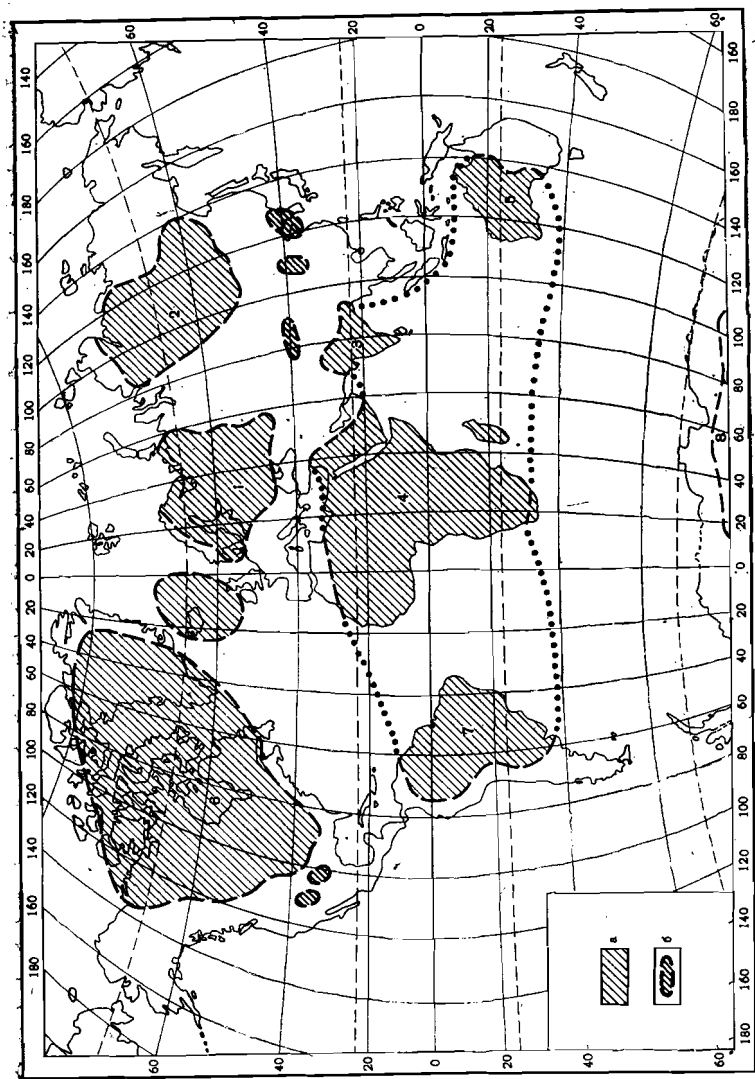


Рис. 31. Тектоническая схема земного шара в конце докембрия.

а — докембрийские платформы, б — срединные массивы, 1 — Восточноевропейская (Русская) платформа, 2 — Североамериканская (Сибирская), 3 — Индостанская, 4 — Африканская, 5 — Австралийская, 6 — Североамериканская (Канадская), 7 — Южноамериканская (Бразильская), 8 — Восточноазиатская платформа

Последние пять платформ были объединены в огромный материк *Гондвану*. Наряду с участками земной коры со спокойным режимом были и другие, на которых проявлялись вулканическая деятельность, землетрясения и горообразовательные движения.

Докембрий таит еще много неразгаданного, но уже сейчас ученые полагают, что в его отложениях сосредоточено около 70% всех запасов хромитов, 70% железа, 60% меди и марганца, 70% никеля, 90% золота и кобальта, 50% урана.

Палеозой. Он насчитывает около 340 млн. лет. Различия в фауне, петрографическом составе и другие признаки позволили разделить палеозойскую группу пород на шесть систем: *кембрийскую, ордовикскую, силурийскую, девонскую, каменноугольную и пермскую*. В палеозойскую эру (греч. палеос — древний) произошли большие перемены на Земле. Незнаваемо изменились органический мир, рельеф, климат. Параллельно с расцветом морских организмов на суше появились наземные животные, вначале земноводные, затем пресмыкающиеся. Довольно сильно изменился и растительный мир. Появившиеся вначале палеозоя плауновые, членистостебельные и папоротники достигли большого расцвета в позднем палеозое. Они послужили исходным материалом для образования многочисленных месторождений угля. Палеозойского возраста угли Донбасса, Кузбасса, Караганды, Подмосковного и других бассейнов.

Изменения рельефа были вызваны движениями земной коры. Горообразовательные процессы раннего палеозоя способствовали образованию гор Исландии, Великобритании, Скандинавии, Казахстана, Саян, горообразовательные движения второй половины палеозоя — формированию горных сооружений Урала, Южного Тянь-Шаня, Алтая, Западной Сибири, Донбасса, Аппалачей, Австралийских Кордильер. Впоследствии некоторые из них были разрушены геологическими процессами (горы Западной Сибири, Казахстана, Южного Урала). Колебательные движения земной коры вызывали неоднократные поднятия и погружения докембрийских платформ и перемещения береговой линии моря.

Изменения в соотношении суши и моря оказали серьезное влияние на климат палеозоя. В карбоне на большинстве платформ Северного полушария климат был теплым и влажным, а в перми сухим и жарким. Это подтверждают многочисленные месторождения угля, открытые среди верхнепалеозойских отложений. В Южном полушарии в это время климат был очень холодным. Здесь было несколько центров оледенения. Ледниковые отложения, подтверждающие распространение ледников, обнаружены в южных районах Африки, Южной Америки, Австралии.

Палеозойские породы богаты полезными ископаемыми. С ними связаны месторождения нефти и газа Сибири, Поволжья, Белоруссии, угли Донбасса, Рура, Уэльса, Кузбасса, Силезии, а так-

¹ Платформа — жесткий участок земной коры, в пределах которого отмечаются слабые движения и почти отсутствует вулканическая деятельность.

же месторождения солей, фосфоритов, бокситов. Внедрение интрузий магматических пород обусловило образование руд черных, цветных, редких и благородных металлов.

Мезозой. Мезозойская эра (греч. мезос — средний), в течение которой сформировалась мезозойская группа пород, продолжалась 173 млн. лет. По органическим остаткам мезозойская группа делится на три системы: *триасовую, юрскую и меловую*. Как показывают ископаемые остатки, органический мир Земли в мезозое сильно изменился. К началу эры многие палеозойские животные и растения (трилобиты, палеозойские иглокожие, кораллы и др.) вымерли, на смену им пришли головоногие и двусторчатые моллюски, мезозойские ящеры, птицы, а из растений — голосеменные. Появились новые, ранее неизвестные представители иглокожих, фораминифер, рыб, брюхоногих моллюсков. Жизнь на суше расширила свои границы за счет развития пресмыкающихся и птиц. Пресмыкающиеся обитали на суше и в воде. Лесные массивы мезозойских континентов состояли преимущественно из голосеменных растений, в меловом периоде к ним присоединились покрытосеменные.

Эволюция органического мира тесно связана с движениями земной коры и изменениями климатических условий. Горообразовательные процессы в мезозое развивались в области Тихоокеанского кольца и завершились образованием хребтов и целых горных систем (хребты *Верхоянский, Черского, Чукотский, Джуг-Джур, и Сихотэ-Алинь* в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, *Скалистые горы* в Северной Америке, горы Восточного Китая и Индокитая).

В начале мезозоя произошло разделение Гондваны на пять частей: *Австралийскую, Индоостанскую, Африканскую, Бразильскую и Антарктиду*. В северном полушарии в это время обособились *Североамериканский континент* и *Евразия*. Одновременно были заложены гигантские впадины *Индийского, Атлантического* и *Северного Ледовитого океанов*.

Климат в начале мезозоя в большинстве районов северного полушария оставался теплым и влажным, о чем говорят угленосные отложения на Сибирской платформе, в Индокитае и некоторых других районах. Мезозойский возраст имеют угольные месторождения Черемховского, Канского, Ленского и некоторых других угольных бассейнов, месторождения нефти и газа Западной Сибири и полуострова Мангышлак. В юрских отложениях разведаны фосфориты, сера, месторождения строительных материалов и цементного сырья. С интрузивными породами мезозоя связаны месторождения золота, цинка, свинца, олова и других металлов.

Кайнозой. Кайнозойская эра (греч. кайнос — новый) — эра новой жизни. Ее продолжительность последние 67 млн. лет. Кайнозойская группа пород подразделяется на три системы: *палеогеновую, неогеновую и четвертичную*. Отложения этих систем, покрывающие дно современных морей, океанов и континенты, со-

держат многочисленные органические остатки. Органический мир кайнозоя характеризуется появлением новых форм животных и растений и увеличением количества видов. В кайнозойских морях были широко распространены двусторчатые и брюхоногие моллюски, простейшие, рыбы. На суше на смену почти полностью вымершим пресмыкающимся пришли млекопитающие. В палеогене и неогене среди млекопитающих появляются хоботные, лошадиные, грызуны и насекомоядные и в конце неогена — человекообразные обезьяны. Самый молодой четвертичный период, насчитывающий около миллиона лет, ознаменовался появлением человека.

Растительный мир кайнозоя характеризуется расцветом покрытосеменных растений. Наряду с ними продолжали развиваться голосеменные, папоротники, мхи и водоросли.

В кайнозое были сформированы такие горные сооружения, как *Альпы, Балканы, Карпаты, Кавказ и Памиро-Алай, Гималаи, Анды*. Появились *Корякский* и *Камчатский горные хребты*. О продолжающихся процессах горообразования свидетельствуют современные вулканизм, землетрясения и глыбовые поднятия. Движения земной коры вызвали образование в Африке глубоких трещин (разломов), на месте которых образовались впоследствии озера и внутренние моря (*Красное море, африканские озера Киву, Танганьика* и др.). В конце кайнозоя произошли климатические изменения в Северном полушарии; в неогене началось похолодание, охватившее в четвертичном периоде северные районы Европы, Азии, Северной Америки. Началось оледенение этих областей, центрами оледенения были Канадский щит, Гренландия, Новая Земля, Скандинавские горы, Полярный Урал. Потепление в конце позднечетвертичной и в начале современной эпохи вызвало таяние ледников и постепенное формирование современных климатических условий. Ледники оставили огромное количество обломков (морены) в виде валунов, гравия, песка, ленточных глин и суглинков.

Глава XI

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Взаимосвязь и взаимодействие геосфер Земли. Все явления и процессы, происходящие во Вселенной, неразрывно связаны между собой. Взаимосвязана с окружающим миром и планета Земля. Бесперывно на ее поверхность из космоса поступает поток материи в виде космического излучения, солнечной радиации и метеоритного вещества. Земля через верхние слои атмосферы излучает в межпланетное пространство ионизированные газы.

Тесная взаимосвязь существует и между оболочками Земли. Взаимодействие геосфер Земли состоит во взаимном обмене веществом и взаимном влиянии динамики их сред. Так, движение

воздушных масс атмосферы влияет на движение воды в гидросфере (образование волн), вызывает разрушение горных пород на суше. Вещество верхней мантии в огненно-жидком состоянии проникает в земную кору и осуществляет тем самым обмен веществом между мантией и земной корой. Каждая из оболочек Земли в какой-то мере обуславливает существование и жизнедеятельность другой. Биосфера поставляет в атмосферу, например, кислород, гидросфера — водяные пары. Атмосфера, в свою очередь, защищает от палящих лучей Солнца органический мир и гидросферу Земли, удерживает испарившуюся с поверхности влагу и в виде атмосферных осадков возвращает ее Земле. Водная и воздушная оболочки обуславливают существование органического мира. Формы взаимосвязи и взаимодействия геосфер Земли крайне разнообразны. Взаимообусловленность и взаимодействие оболочек Земли подтверждают основные положения диалектического материализма о единстве материального мира, о взаимной связи и взаимной обусловленности процессов и явлений в природе, о движении материи и переходе ее из одного состояния в другое.

Геологические процессы и их направленность. Взаимодействие геосфер Земли проявляется в таких процессах, как разрушение горных пород и образование осадков, извержение из недр глубинного вещества и перемещение на глубину материала, накопившегося на поверхности Земли, и т. д. Все эти процессы в конечном счете меняют лик Земли и способствуют образованию новых слоев земной коры. Природные процессы, обуславливающие формирование и развитие земной коры, принято называть *геологическими*. К ним относят выветривание, деятельность рек, озер, морей, землетрясения, вулканизм и др. Движущая сила этих процессов — солнечное тепло, тепло недр Земли и ее гравитационная энергия. В зависимости от источника энергии геологические процессы делят на *экзогенные* (извне рожденные) и *эндогенные* (изнутри рожденные). Первые протекают в слоях, близких к поверхности Земли, и непосредственно на ее поверхности, вторые — в недрах земной коры.

Экзогенные геологические процессы — это процессы взаимодействия земной коры с внешними геосферами Земли. Действуя на горные породы суши, экзогенные процессы разрушают их. Большое участие в разрушении принимают ветер, вода, лед и другие факторы. В результате разрушительной работы суша ежегодно понижается на 0,09 мм, или на 9 см в тысячелетие. О размерах разрушения судят по количеству продуктов разрушения, поступающих с суши в море. Если бы на земном шаре протекали только процессы разрушения, то континенты, средняя высота которых 875 м, были бы выровнены до уровня водной поверхности океанов через 9,7 млн. лет.

Океаническое дно выравнивается путем заполнения морских впадин осадками, приносимыми с суши. В их транспортировке принимают участие гравитационные силы, ветер и вода. Процесс осадконакопления идет намного медленнее, чем разрушение суши,

так как площадь, занимаемая морями и океанами, намного больше площади суши. Скорость накопления осадков меняется по мере удаления от берега. В области мелководья она достигает 60 мм, а в глубоководных частях океана понижается до 1 мм в тысячелетие. Хотя скорость накопления осадков очень мала, за длительный промежуток времени накапливаются значительные по мощности толщи осадков. При скорости накопления осадков 10 мм в тысячелетие за 100 млн. лет может образоваться километровая толща осадочных горных пород. Учитывая сказанное выше, можно сделать вывод об общей направленности экзогенных процессов. Экзогенные процессы ведут к сглаживанию поверхности суши и выравниванию океанического дна. Иная направленность эндогенных геологических процессов. Они создают значительные неровности рельефа, вызывают образование гор, вулканических конусов, котловин и океанических впадин. Ведущую роль в эндогенных процессах играют тектонические движения. Они могут быть медленными колебательными движениями, сопровождаемыми плавными поднятиями или погружениями земной поверхности, быстрыми, почти молниеносными, вызывающими перемещение целых блоков земной коры, с одновременным образованием глубоких трещин, провалов или поднятий. В процессе таких движений участки суши могут стать дном моря, и наоборот. Немаловажную роль из эндогенных процессов играет магматизм, вызывающий при внедрении в земную кору магмы образование интрузий магматических пород, возникновение на поверхности Земли вулканов. К эндогенным процессам относят и метаморфизм — воздействие высоких давлений, температур, горячих газов и растворов на ранее образованные горные породы. Метаморфизм вызывает коренное преобразование ранее сформировавшихся осадочных и магматических пород, превращает их в качественно новые метаморфические породы.

Эндогенные и экзогенные геологические процессы — яркий пример проявления одного из основных законов диалектического материализма — борьбы противоположностей: первые создают на поверхности Земли неровности рельефа, вторые — разрушают их. В то же время эти процессы взаимосвязаны и взаимообусловлены: рост положительных форм рельефа (вулканических конусов, горных массивов и др.) обостряет и усиливает экзогенные процессы. По мере выравнивания рельефа экзогенные процессы затухают. Перемещение значительных масс горных пород из одних участков земной поверхности в другие может привести к нарушению равновесия в распределении вещества в земной коре и тем самым способствовать проявлению активных тектонических движений. Скорость и масштабы действия геологических процессов периодически меняются во времени и пространстве.

Раздел IV

ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Источниками энергии экзогенных геологических процессов, как уже упоминалось, служат тепловая энергия Солнца и силы гравитации, а основными движущими факторами — тепло, вода, ветер, лед, организмы, сила тяжести. В зависимости от факторов и среды, в которой проявляются экзогенные процессы, их подразделяют на процессы *выветривания, денудации, осадконакопления и диагенеза*.

Ведущую роль в экзогенных процессах играет денудация (лат. денударе — обнажать) — совокупность процессов разрушения горных пород, в которых помимо выветривания участвуют ветер, вода рек и другие экзогенные факторы. Денудация сопровождается перемещением обломков, происходящим под действием гравитационных сил, ветра, воды, льда (агенты денудации). В зависимости от физико-географических условий агенты денудации могут действовать в совокупности или порознь, поэтому выделяют геологическую деятельность ветра, текучих и подземных вод, ледников, озер и болот, морей и океанов.

Денудационные процессы расчленяют, а затем сглаживают рельеф суши, понижая его. На равнинах они создают овраги и речные долины, разрушают горные системы и превращают их в холмистые равнины. Примером может служить Казахстан, превращающийся из горной страны в холмистую. В денудации морского дна участвуют морские течения и ветровые волны. Волны разрушают берега и уносят продукты разрушения в глубь моря. Поверхностные и придонные течения способствуют перемещению осадков из области мелководья в более глубокие части морского дна. В перемещении осадков участвуют подводные оползни и мутьевые потоки.

В денудационном процессе можно выделить стадию разрушения горных пород и стадию переноса (транспортировки) продуктов разрушения. Заканчивается процесс *седиментацией* (осадконакоплением, лат. седиментум — осадок). Каждая из стадий имеет свои особенности, определяемые природными факторами, интенсивность проявления которых находится в прямой зависимости от рельефа местности, физико-химических свойств горных пород и климатических условий. Так, размывающая деятельность текучих вод активней проявляется в высокогорных областях, ветровая деятельность — в сухом и жарком климате, осадконакопление интенсивнее там, где во всей полноте проявляются силы гравитации.

Процессы *диагенеза* — перерождения или преобразования осадка в породу — выражаются в его уплотнении, цементации, обезво-

живании, а иногда и перекристаллизации. В итоге из рыхлой массы осадка образуется осадочная горная порода: из ила образуется глина, из карбонатного осадка — известняк и т. д. Процессы осадконакопления продолжают формировать новые толщи осадочных горных пород.

Глава XII

Выветривание горных пород

Выветриванием называются процессы физического разрушения и химического разложения минералов и горных пород под воздействием солнечного тепла, воды, атмосферных газов и организмов. Выветривание бывает *физическим* и *химическим*. Оба вида выветривания взаимосвязаны и протекают одновременно. Преобладание того или иного вида выветривания зависит от климатических условий.

Физическое выветривание. Оно проявляется в механическом разрушении минералов и горных пород. Основной причиной разрушения является солнечное тепло, сопутствующими — вода, ветер, организмы. Неравномерное поступление солнечного тепла в разные времена года и суток обуславливает периодическое нагревание и охлаждение горных пород. Колебание температуры сопровождается многократным изменением объема зерен минералов, вызывающим объемные деформации. В результате появляются сначала мелкие, а затем крупные трещины. Объемные деформации зависят от *коэффициента объемного расширения*¹ минералов, который определяется их составом и физическими свойствами. У кварца, например, он равен 0,00031, полевого шпата (ортоклаза) — 0,00017. Постепенно трещины все глубже проникают в горную породу. Этому способствуют также вода и корни растений. Вода при замерзании увеличивается в объеме до 9%. При этом она с силой до 87 МПа² давит на стенки трещин и расширяет последние. В полярных областях, где лед выполняет основную роль в разрушении горных пород, выветривание называют *морозным*. Растения расширяют трещины своими корнями, глубоко проникающими в горные породы (рис. 32). Одной из причин образования трещин является периодическое увлажнение горных пород дождевыми водами. При многократном намокании и высыхании силы сцепления между частичками породы уменьшаются и она распадается на части или обломки. Быстрее растрескиваются породы хрупкие, крупнозернистые, состоящие из минералов разной окрас-

¹ Коэффициент объемного расширения численно равен приросту объема при нагревании на 1°C, если при 0°C объем был равен единице.

² 1 МПа (мегапаскаль) = 1 000 000 Па.

ки. Медленнее разрушаются породы вязкие, мелкозернистые, сложенные светлоокрашенными минералами.

Немаловажную роль в процессах физического выветривания играют климатические условия. В резкоконтинентальном, арктическом и аридном климате разрушение протекает более интенсивно, чем в умеренном климате, что связано с более резкими колебаниями температур в дневное и ночное время. Например, в пустынях летом поверхность Земли нагревается до 70°C , а ночью столбик термометра опускается до 0. Обнаженные, не покрытые растительностью склоны разрушаются быстрее, чем участки, покрытые растениями.



Рис. 32. Участие растений в процессах физического выветривания (фото М. Ф. Ивановой)

В процессе выветривания монолитные породы становятся трещиноватыми и покрываются обломками (рис. 33). Устойчивость обломков на склонах определяется углом естественного откоса (наклон, при котором рыхлый материал способен удерживаться на склоне). Для разных пород он колеблется от 27 до 37° . На угол естественного откоса оказывает влияние не только состав пород, но и размеры, форма обломков, степень насыщения их водой. Обрушение обломков с крутых склонов может быть вызвано колебаниями воздуха при грозе, криком, выстрелом и особенно землетрясениями. Падая, обломки дробятся и накапливаются у подножия склонов. На рис. 34 показано разрушение береговых пород морозным выветриванием с образованием конусов осыпания. По предложению Ю. А. Билибина, такие продукты выветривания стали называть *коллювием* (лат. коллювио — скопление). При разрушении скальных пород коллювий обычно состоит из несортированных остроугольных обломков разной величины и формы.

Скопление обломков, оставшихся на месте разрушения, называют *каменными россыпями*. Иногда обломки со склонов сносятся дождевыми водами (плоскостной смыв). Смещенный таким образом материал называют *делювием*. Перемещение обломков со склонов бывает медленным и быстрым, а иногда и катастрофическим. Массовое падение обломков со склона называют *обвалом*. Причинами обвала могут быть землетрясения, снежные лавины, ливни, ураганы и др. Объем обвалившейся каменной массы

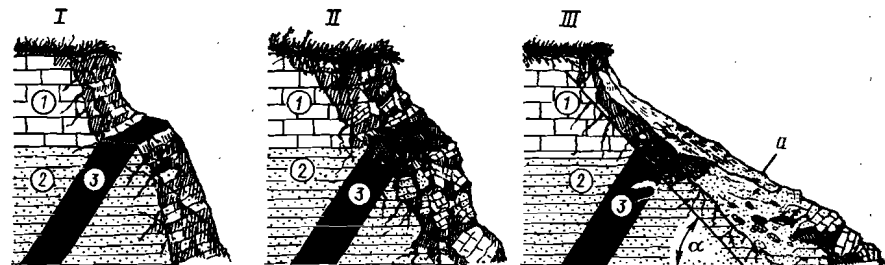


Рис. 33. Физическое выветривание горных пород: I — начало выветривания, II — развитие трещин и образование обломков, III — обрушение пород: 1 — известняки, 2 — песчаники, 3 — рудная жила, а — коллювий, α — угол естественного откоса



Рис. 34. Конусы осыпания, образующиеся в процессе морозного выветривания (Шпицберген)

может достигать нескольких миллионов кубических метров. Известны случаи, когда под обломками камней оказывались погребенными населенные пункты вместе с жителями. В VI в. в Италии в результате обвала горы Ровинаццо был засыпан город Валаейя. В 1964 г. в Средней Азии в долину реки Зеравшан рухнула часть горы Дариворз объемом 15 млн. м³. Образовавшаяся при этом плотина высотой 250 м и шириной 600 м преградила путь водам реки Зеравшан. Скопившаяся выше запруды вода создала угрозу затопления сельскохозяйственных районов. И только своевременно принятые меры предотвратили эту опасность. С целью предупреждения обвалов цементируют наиболее опасные трещины или заблаговременно обрушивают слабоустойчивые горные породы.

Осыпи и обвалы особенно многочисленны в горных районах, на обрывистых берегах рек и морей. Разрушая горы и береговые склоны, физическое выветривание тем самым принимает активное участие в изменении рельефа суши.

Химическое выветривание. Это процесс химического преобразования минералов и горных пород под влиянием экзогенных факторов: дождевых, талых вод, атмосферных газов, органических кислот. Поверхностные воды и содержащиеся в них химические соединения, просачиваясь в горные породы, вызывают в них растворение, окисление, гидролиз, гидратацию минералов. По мере просачивания вода постепенно теряет химически активные вещества (кислород, углекислый газ, органические кислоты) и обогащается качественно новыми химическими соединениями. Обогащенные солями кальция, магния, натрия, калия, железа и другими химическими соединениями атмосферные воды пополняют грунтовые воды. В итоге в местах фильтрации атмосферных вод появляется зона химически измененных горных пород.

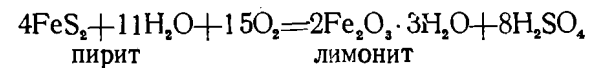
Интенсивность химического выветривания зависит от многих причин, главными из которых являются рельеф местности, климатические условия, химические свойства горных пород и длительность воздействия на породы атмосферных агентов. Благоприятен для химического выветривания равнинный слаборасчлененный рельеф. В условиях теплого и влажного климата химическое выветривание идет до полного разложения первичных продуктов, в холодном климате происходит лишь частичное изменение минералов. Рассмотрим наиболее распространенные процессы химического выветривания.

Растворение. Оно зависит от минералогического состава горных пород, химической активности воды и природно-климатических условий. Легко растворяются обычно галоиды, сульфаты и некоторые карбонаты. Большую роль играет химическая активность воды, зависящая главным образом от содержания ионов Н⁺ и ОН⁻. Так называемые *кислые растворы*, обогащенные ионами Н⁺, способны растворять соединения кальция, магния, натрия, железа, щелочные растворы, обогащенные ионами ОН⁻, растворяют более труднорастворимые соединения, в том числе и кварц.

Растворяющая способность природных вод усиливается в условиях теплого и влажного климата.

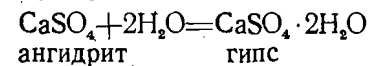
Процесс растворения, сопровождаемый выносом из горных пород легкорастворимых химических соединений, называется *выщелачиванием*. Выщелачивание сопровождается образованием в породе пор и пустот. Примером может служить выщелачивание из доломитов легкорастворимых зерен кальцита, приводящее к появлению в породе мелких пустот, или каверн.

Окисление. Оно затрагивает химически активные минералы и горные породы, широко развито в области распространения сульфидных руд, в составе которых присутствуют пирит, халькопирит, галенит и другие минералы. Важным окислителем является содержащийся в воде кислород, восстановителем — углекислый газ. В процессе окисления образуются качественно новые химические соединения типа окислов, карбонатов или сульфатов, более устойчивые в условиях поверхности Земли. Характерен процесс окисления пирита:



В процессе окисления образуются качественно новые соединения: буровато-желтый минерал лимонит и серная кислота. Лимонит занимает место пирита, а серная кислота уносится циркулирующими растворами. *Зоны окисления* выделяются на фоне первичных руд окраской. Так, в черных магнетитовых породах зона окисления имеет красноватый или бурый цвет.

Гидратация (водонасыщение). Она характерна для безводных минералов, например ангидрита. Поглощая воду, ангидрит превращается в водный сульфат кальция — гипс:

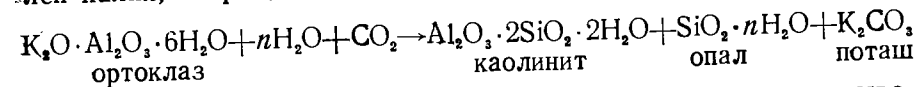


Насыщение водой сопровождается перестройкой кристаллической решетки минерала и увеличением его объема. Гипс по сравнению с ангидритом увеличивается в объеме на 33%. Процесс гидратаций нередко сопровождается развитием трещиноватости.

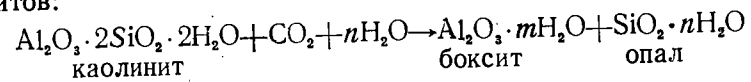
Гидролиз. Водные растворы не только насыщают минералы водой, но и вызывают их химическое разложение, сопровождающееся растворением и обменом веществ. Этот процесс называется *гидролизом*. Он приводит к разрушению кристаллических решеток одних минералов и образованию других, новых химических соединений. В природе гидролиз наиболее ярко выражен у силикатов. Минералы этого класса, образовавшиеся в условиях высоких температур и давлений, на поверхности Земли в присутствии воды и углекислоты распадаются на составные части (компоненты) и в процессе обмена образуют новые химические соединения. Одни из этих соединений легко переходят в раствор и выносятся из зоны выветривания, другие остаются на месте, образуя остаточные продукты. К легкорастворимым относятся кислые и угле-

кислые соли натрия, калия, кальция, магния. К труднорастворимым — водные окислы кремния, алюминия, железа.

Одним из характерных примеров гидролиза является *каолинизация* полевых шпатов, составляющих чуть ли не половину всех минералов земной коры. Твердые зерна полевых шпатов в присутствии воды и углекислого газа разлагаются с образованием землистого каолинита, аморфного опала и легкорастворимых солей калия, натрия, кальция. Процесс гидролиза идет по схеме



В зоне умеренного климата гидролиз полевых шпатов называют по конечному продукту *каолиновым выветриванием*. В странах с тропическим климатом разложение алюмосиликатов идет более глубоко — до образования водных окислов алюминия — бокситов:



Продукты химического выветривания зоны жаркого и влажного климата помимо окислов алюминия включают значительную часть каолинита и окислов железа. Последние окрашивают породу в кирпично-красный цвет. Эта каменистая или землистого сложения порода называется *латеритом* (лат. later — строительный кирпич сырец). Она характеризует *латеритный тип выветривания*. Как латериты, так и каолиновые глины с глубиной переходят в неизмененную (материнскую) породу, из которой они образовались. Оставшиеся на месте своего образования продукты выветривания называют *элювием* (лат. eluvio — вымывать). Остаточные продукты выветривания сохраняют все особенности сложения материнской породы, ее форму залегания и текстуру. В строении элювия наблюдается вертикальная зональность. Верхние слои обычно содержат продукты физического выветривания и изменены значительно сильнее, чем нижние.

Химическое выветривание происходит не только на суше, но и под водой. Подводное выветривание в отличие от наземного называют *гальмиролизом* (греч. гальмирос — соленый, лисис — распад). Подводное выветривание происходит в условиях водной среды при недостатке свободного кислорода и углекислого газа. Выветриванию подвергаются попавшие на дно продукты вулканических извержений, метеоритная пыль и другие вещества. В процессе разложения они превращаются в гидроокислы железа, минералы глин и другие химические соединения. В процессе подводного выветривания образуются красные глубоководные глины, глины бентонитовые, конкреции железа и марганца.

Продукты выветривания, сложенные элювием и образованиями, утратившими признаки элювия в результате частичного вертикального перемещения, называют *корой выветривания*. Выделяют коры выветривания, состоящие преимущественно из продуктов

физического разрушения, и коры, образованные продуктами химического выветривания. В зависимости от минерального состава конечных продуктов выветривания выделяют несколько типов кор выветривания: каолиновую, латеритную, нонtronитовую, окисленных руд и др.

Каолиновая кора выветривания развивается преимущественно на гранитах. В строении ее заметна зональность. Над свежими неизмененными гранитами обычно залегают слабокаолинизированные, трещиноватые граниты, переходящие выше в глинистую массу, сложенную каолинитом и гидрослюдами (слюдоподобные минералы, образующиеся при разложении слюд). В верхней части разреза породы сложены белым каолинитом, зернами кварца, неразложившимися зернами полевых шпатов и чешуйками слюд. Подобная кора выветривания развита на гранитных массивах Урала и в других районах.

Латеритная кора выветривания встречается в районах с влажным тропическим климатом, развивается она преимущественно на щелочных и основных магматических породах, сложена гидроокислами железа и алюминия, имеет кирпично-красный цвет. Латеритные породы, обогащенные окислами алюминия, называют *бокситам*. Кора выветривания латеритного типа известна на территории Африки, Южной Америки, Австралии и в других районах.

Коры выветривания привлекают внимание геологов полезными ископаемыми: с корой выветривания гранитов нередко связаны месторождения глин, используемых в керамической промышленности, с основными и ультраосновными породами — месторождения никеля и кобальта. Обогащенные окислами алюминия латериты применяются для выплавки алюминия и т. д.

Геологические результаты выветривания. Процессами выветривания охвачена вся поверхность Земли. Более ярко они выражены на суше, на высокоподнятых участках рельефа и в областях с жарким и влажным климатом. Огромные скопления делювия и коллювия наблюдаются в горных районах и у обрывистых берегов рек и морей.

Активные зоны химического выветривания приурочены, как правило, к районам с теплым и влажным климатом. Мощные современные коры выветривания формируются в ряде стран Южной Америки, Африки, Австралии, Азии. Будучи продуктами разрушения магматических, метаморфических и ранее образованных осадочных горных пород, они сами служат исходным материалом для образования качественно новых обломочных горных пород, таких, как галечники, гравий, песок и др. В составе современных и древних кор выветривания выявлены многочисленные месторождения глин, бокситов, железных, никелевых, марганцевых руд, россыпные месторождения алмазов, золота, платины. Выветривание месторождений сульфидных руд приводит к образованию мощных зон окисления.

Процессы почвообразования и почвенные зоны СССР. Орга-

нический мир Земли находится в постоянном контакте с горными породами. Представители животного мира (черви, муравьи, термиты, суслики, кроты) участвуют в рыхлении горных пород. Растения усваивают из них жизненно необходимые соединения железа, кальция, магния, фосфора, серы, алюминия и др. Корни растений также способствуют разрушению горных пород. Отмирая, растения поставляют в горные породы органические кислоты и перегной. Так постепенно поверхностный слой суши превращается в почву.

Почвой называют поверхностный слой земной коры, обладающий плодородием. Изучением почв занимается наука *почвоведение*. Ее основоположником является выдающийся русский ученый В. В. Докучаев. Исследование показало, что помимо *первичных минералов* (кварца, полевых шпатов, слюды и др.) почвы содержат продукты химического выветривания (каолинит и др.), органические кислоты, перегной или гумус (лат. гумус — земля). Гумус — аморфное органическое вещество бурого или черного цвета, придающее темный цвет почвам. Он состоит из белков, жиров, углеводов, смолы, воска и других продуктов распада органических тканей. Значительную роль в процессах почвообразования играют органические кислоты.

Почвы образуются на любых по составу и сложению горных породах. Сначала на породе поселяются бактерии, лишайники, мхи. Разлагая минералы и насыщая их органическим веществом, простейшие организмы готовят почву для более высокоорганизованных растений типа кустарников, древесной растительности. В строении почвенного слоя выделяют несколько генетических горизонтов. Верхний, элювиальный горизонт характеризуется преимущественным вымыванием веществ, которые накапливаются в следующем — иллювиальном горизонте. Почвенный слой постепенно переходит в материнскую горную породу. Почвы различных климатических зон различаются по составу, цвету, мощности. Выделяется около 30 генетических типов почв. Ниже кратко охарактеризованы главнейшие из них.

Почвы тундры и лесотундры развиты вдоль побережья Северного Ледовитого океана и занимают 7,6% площади СССР. Климат, в условиях которого формируются тундровые почвы, отличается низкими среднегодовыми температурами (от $-0,2$ до -14°C) и относительно невысоким количеством атмосферных осадков (200—300 мм/год). Неблагоприятное влияние на формирование почвы оказывает вечная мерзлота, залегающая в основании почвенного слоя. В короткий теплый период (два-три месяца) растительные остатки не успевают полностью разложиться, поэтому почвы тундры и лесотундры содержат незначительное количество гумуса. Почвенный профиль начинается слоем неразложившихся растительных остатков. Мощность слоя не превышает 20—30 см.

Лесные почвы широко развиты в северных районах СССР, где размещены массивы тайги и смешанных лесов. Формирование лесных почв происходит в условиях умеренного континентального

климата со среднегодовыми температурами $0,8-7^{\circ}\text{C}$, при среднегодовом количестве осадков 500—600 мм/год. Изобилие растительных остатков, состоящих из опавших листьев, хвойных иголок и сучьев, способствует образованию довольно плотной лесной подстилки, под которой формируются *подзолистые почвы*. Эти почвы занимают свыше 50% территории СССР.

Почвы луговой степи широко известны под названием *черноземов*. Развиты они в центральных и южных районах европейской части СССР, на юге Западно-Сибирской низменности и занимают 8,6% площади СССР. Это почти половина (48%) всей площади черноземов мира. Черноземные почвы обладают высоким плодородием. Формируются они в условиях теплого умеренного климата со среднегодовыми температурами $0-10^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество атмосферных осадков на юге черноземной зоны около 800 мм, на севере — 500 мм. Количество испаряемой почвами влаги соответствует количеству выпадающих атмосферных осадков. По всей мощности почвенного слоя происходит накопление минеральных и органических веществ. Образующийся при неполном разложении растительных остатков гумус насыщает почвенный слой и придает ему черный цвет. Количество гумуса в этих почвах достигает 20%. Мощность гумусового горизонта увеличивается с запада на восток с 25 до 160 см.

Почвы сухих степей и пустынь распространены в Нижнем Поволжье, Казахстане, Алтае. Сухими степи называют потому, что часто дующие ветры сушеют и без того слабо смачиваемую влагой почву. Атмосферные осадки (200—300 мм/год) не компенсируют испарение влаги, достигающее 1000 мм/год. В связи с недостаточной влажностью интенсивность разложения органических остатков по сравнению с луговой степью уменьшается, содержание гумуса в почвах падает до 5%. Почвы имеют каштановый цвет, поэтому называются *каштановыми*.

Засушливый климат Средней Азии еще меньше благоприятствует образованию почв. Сильная жара и высокое испарение, достигающее 1500 мм/год, сильно иссушают поверхность и создают благоприятные условия для образования пустынных и полупустынных почв. Среднегодовые температуры этой зоны $13-17^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков 100—150 мм/год. Слаборазвитый растительный покров не способен удержать рыхлые частицы почв, поэтому ветер свободно разрушает и перемещает маломощный почвенный слой. Почвы пустынь серого цвета (сероземы) содержат гумуса до 1,5%. Мощность почв в ряде случаев 10—16 см. Там, где к почвенному слою близко подходят подземные воды, богатые минеральными солями, испарение воды вызывает засоление почв. Почвы, насыщенные солями, называют *солончаками*. Если засоление распространено в приповерхностном слое — на глубине 20—50 см, почву называют *солонцом*.

Почвы субтропической зоны развиты в Крыму и на Кавказе. Формируются они в условиях теплого субтропического климата со среднегодовыми температурами $13,5-14,5^{\circ}\text{C}$ и количеством ат-

мосферных осадков до 3000 мм/год. Высокая влажность и теплый климат способствуют интенсивному химическому выветриванию минералов, поэтому почвы этой зоны обогащены окислами алюминия и железа. Последние окрашивают почвы в красный цвет и их называют *красноземами*. На них выращивают цитрусовые (мандарины, лимоны и др.).

Ископаемые почвы встречаются на небольшой глубине в четвертичных и более древних отложениях. Среди горных пород они выделяются насыщенностью гумусом.

Глава XIII

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВЕТРА

Поверхность земного шара непрерывно омывается потоками воздуха. Перемещаясь из одних районов в другие, воздушные массы совершают определенную работу: на море образуют волны, на суше разрушают горные породы, выдувают из них пылеватые частицы. Работа ветра зависит от его скорости. Особенно велика скорость ураганных ветров и вихрей, достигающая сотен километров в час. Вихри благодаря восходящему вращению воздуха по спирали всасывают песок, камни, иногда деревья, рыбу, лягушек и даже людей. Известны случаи, когда вихри вырывали подземные клады и поднимали в воздух их содержимое. Через несколько минут или часов вихри распадаются и поднятые вверх предметы падают на Землю. В истории отмечены случаи выпадения дождей из серебряных монет (Воронежская область, 1944), лягушек (Франция, 1914). При скорости 20 м/с ветер переносит песок и гравий, 30 м/с — с корнями вырывает деревья и переносит мелкие камни. Ураганные ветры и вихри поднимают огромные массы пыли и переносят их на значительное расстояние.

Геологическая деятельность ветра проявляется в различных климатических зонах. Наиболее благоприятные для ее проявления области с сухим и жарким климатом. Ветер свободно разрушает высушенные, не скрепленные растительностью почвы и грунты, переносит пыль и песок и, ослабевая, отлагает их. Геологическую деятельность ветра и связанные с ней отложения называют *эоловыми* (греч. эол — бог ветра).

Разрушительная работа ветра. Ветер выдувает пылеватые частицы и песчинки из продуктов физического выветривания и рыхлых, слабоцементированных пород. Песчинки, подхваченные ветром, коррадируют (стачивают) скальные породы. Разрушение горных пород выдуванием называют *ветровой эрозией* или *дефляцией* (лат. дефляцио — выдувание), а механическую обработку пород песчаниками — *корразией* (лат. корразио — обтачивание). Дефляция систематически проявляется в сухих степях, пустынях и горных районах. На возвышенных местах ветер нередко выдувает глубокие котловины, так называемые *котлы выдувания*. В пустыне Сахара удлиненные безводные котловины называют *ваадями*. Отличительная их особенность — непостоянная глубина

и ширина. В Средней Азии, Китае понижения, образованные ветром, имеют вид борозд, котловин, каньонов, глубина которых достигает 30 м и более. Интенсивность дефляции усиливается при длительных ураганных ветрах — *суховейях*. В пустынях суховей — явление довольно частое. По данным Д. В. Наливкина, в Средней Азии с 1951 по 1955 г. прошли 3882 бури. Во время одной из них на Украине (1960) в воздух на высоту до 2 км было поднято около 25 км³ почвы. Д. В. Наливкин классифицирует бури по составу и цвету пыли на черные, красные и белые. Черные бури несут чернозем. От этого воздух вокруг теряет свою прозрачность, наступает темнота. Бури продолжаются недели, иногда месяцы. В 1969 г. черная буря на Дону и Кубани (скорость 30—40 м/с) выдула почву вместе с посевами озимых и намела у препятствий (ограды,



Рис. 35. Грибовидная форма эолового рельефа (фото М. Ф. Ивановой)

дома, лесополосы) земляные валы. В Ростовской области снежно-земляные валы достигали 2 м высоты при ширине 25—45 м. Ураганный ветер был настолько сильным, что на западном берегу Азовского моря воды вышли за пределы берега и затопили более 500 м береговой полосы. Черные бури известны на территории Западной Европы, США.

Красные бури типичны для пустынь. Вместе с пылью они переносят и песок. Наблюдаются в пустынях Африки, Австралии. Белые бури — явление сравнительно редкое, характерное для районов распространения солончаковых и загипсованных почв (Приаралье, побережье Каспийского моря).

Ветровая эрозия почв наносит значительный ущерб сельскому хозяйству, сокращает посевные площади и разрушает постройки.

Для борьбы с ветровой эрозией создаются лесонасаждения, проводятся почвоукрепляющие мероприятия.

Корразия, как правило, сопутствует дефляции. Она проявляется преимущественно в окрестностях гор и пустынь. Песчинки, поднимаемые ветром на высоту 2—3 м, ударяются о скальные породы, разрушают их, сглаживают и обтачивают поверхность скал. В результате длительного воздействия ветра выступы скал принимают столбообразную или грибообразную форму (рис. 35). Камни, подточенные снизу, превращаются в качающиеся скалы. Вихревые ветры, подхватывая песчинки, оказывают сверлящее действие на породы. В результате в породах образуются *сотовые формы рельефа, ниши выдувания* (рис. 36), *золотые пещеры*. Та-



Рис. 36. Ниши выдувания в гранит-порфирах горы Кум-Газы (фото М. Ф. Ивановой)

кие формы встречаются в предгорьях Тянь-Шаня, Кавказа, Крыма. В. А. Обручев во время поездки в 1906 г. в Восточный Казахстан и Джунгарию у подножия горы Караарат открыл настоящий золотой город, состоящий из причудливых скал, обточенных ветром. Одни из них имели вид башен, другие—замков или памятников.

Транспортирующая деятельность ветра. Перенос продуктов разрушения, как уже отмечалось, во многом зависит от скорости ветра и силы восходящего потока воздуха. Умеренный ветер (6 м/с) переносит песчинки диаметром до 0,25 мм, штормовой ветер (20 м/с) — до 5 мм, ураганные ветры (свыше 30 м/с) поднимают камни 3—4 см в поперечнике, а в отдельных случаях и до 8 см. Крупные обломки и песчинки переносятся ветром волочением или на небольшой высоте (2—3 м) на расстояние от десят-

ков метров до нескольких километров, за длительный промежуток времени оно увеличивается до сотен километров. Изучение песков в пустыне Каракумы показало, что от места своего первоначального нахождения они переместились на 500—800 км (Серпухов В. И. и др., 1976).

Пылеватые частицы ветер поднимает на высоту 2—3 тыс. м и легко переносит их на расстояния, измеряемые тысячами километров. Известны случаи, когда пыль, поднятая в Африке, выпадала на территории Европы. В 1903 г. на территории Западной Европы выпало около 700 тыс. т африканской пыли. Осаждаясь, пыль покрывает площади в сотни тысяч квадратных километров.

Золотые отложения. Они представлены в основном пылеватым материалом и песком. Главные районы накопления песка — пустыни и (в меньшей мере) берега рек и морей. Пыль осаждаётся у естественных препятствий, которыми служат горные хребты и лесные массивы. Вместе с золотой пылью иногда осаждаётся вулканический пепел, выброшенный в атмосферу при вулканических извержениях. Пыль, осаждающаяся на поверхность океанов, опускается на дно и смешивается с морскими осадками. Много пыли осаждаётся на склонах гор и в предгорьях. В горных районах Тянь-Шаня, Тибета и Куньлуня отложения пыли установлены на высоте свыше 3 тыс. м.

Из пыли образуется рыхлая пористая порода *лэсс*. Цвет породы желтовато-серый или палевый, состоит она из обломков кварца, глинистых частиц и кальцита. Размер обломков от 0,01 до 0,05 мм. Лэсс известен в Китае, в СССР — в Средней Азии, на Украине, во многих местах Западной Европы, Западных штатах Америки. В Китае его мощность достигает 170 м и более. Существует несколько гипотез происхождения лэсса: *делювиальная*, *почвенно-элювиальная*, *золотая* и др. Сторонники почвенно-элювиальной гипотезы (Л. С. Берг и др.) рассматривают лэсс как продукт биохимического выветривания, делювиальной (А. П. Павлов) — как отложения, накопившиеся при смыве дождевыми водами продуктов выветривания. Наибольшим признанием пользуется гипотеза золотого происхождения лэсса (В. А. Обручев, И. В. Мушкетов, Ф. П. Рихтгофен).

В природе широко распространены лэссовидные породы, суглинки, например, покрывают значительные площади на Украине, лэссовые почвы типичны для Средней Азии. Почвы, образующиеся на лэссах и лэссовидных породах, обладают высоким плодородием.

Золотые пески встречаются по берегам рек, морей и на обширных пространствах пустынь. Одна из распространенных форм песчаного рельефа—*дюны*—песчаные холмы, образующиеся при воздействии ветра на незакрепленный растениями песок. Различают дюны приморские, приречные и материковые. *Морские дюны* формируются на берегах морей, где господствующие ветры дуют в направлении берега (рис. 37,А). Выносимый с пляжа песок задерживается у препятствий (неровностей рельефа, де-

ревьев и др.), накапливается в виде холмов. Сливаясь, холмы образуют песчаные валы или гряды. Если на пути дюны отсутствуют преграды, она перемещается в глубь материка. По мере перемещения первой гряды на ее месте возникает вторая, затем третья и т. д. Так образуется несколько дюнных гряд.

Скорость перемещения песка колеблется от нескольких сантиметров до 20 м и более в год. В плане дюны имеют дугообразную или параболическую форму. Наветренный склон их обычно пологий (5—12°), подветренный крутой (30—33°) и несколько выпуклый. Высота морских дюн достигает 30 м и в исключительных случаях — 100 м. Морские дюны известны на побережье Северного Ледовитого океана, Балтийского моря (Калининградская область, Латвия).

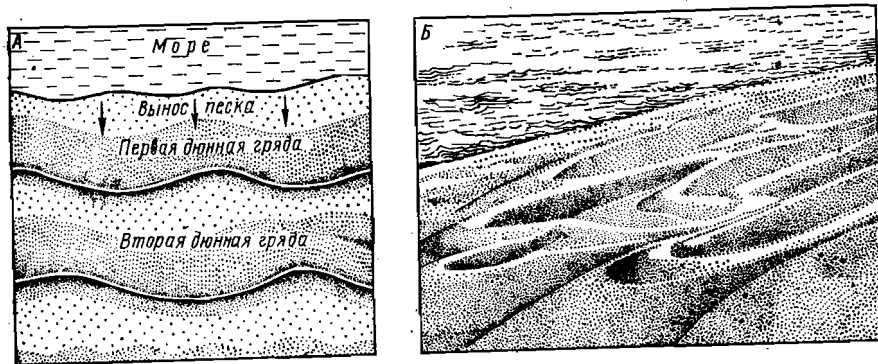


Рис. 37. Формы эолового рельефа: А — дюны, Б — барханы (по Мильничуку и Н. С. Арабаджи, 1979)

Речные дюны образуются на песчаных отмелях и в поймах рек. Высота их 5—10 м, редко 20—30 м. Дюны встречаются на берегах многих рек (Днепр, Дон, Лена и др.). Движущиеся дюны приносят вред, засыпая сельскохозяйственные поля и населенные пункты. Чтобы остановить их движение, устраивают преграды в виде лесополос или закрепляют пески растительностью.

Пустыни. Это территории с крайне засушливым континентальным климатом в умеренных, субтропических и тропических широтах. Обычно количество атмосферных осадков не превышает 200 мм в год. Резкие колебания температур (0—70°C) активизируют физическое выветривание и способствуют возникновению ураганных ветров. Сухой горячий ветер — шквал с песчаной бурей, нередко с грозой, в пустынях Аравии и Сахаре называется *самумом*. Местный юго-западный очень пыльный ветер, дующий в Каракумах, получил наименование *афганца*. Горячие массы воздуха разрушают скалы и горные поднятия, переносят и накапливают пыль, песок и обломки горных пород. Огромные площади, подверженные постоянному воздействию ветра и покрытые золовыми отложениями, называют *пустынями*. По происхождению

пустыни бывают *дифляционными* и *аккумулятивными*, по составу осадков — *каменистыми*, *песчаными* и *глинистыми*.

Каменные пустыни — равнины, покрытые щебнем, гравием или галечником. Образуются на месте возвышенностей и предгорий, подвергшихся дефляционной и корразионной обработке. Могут встречаться в комбинации с песчаными и глинистыми пустынями. К каменным пустыням относятся Калахари (Африка), Бетпак-Дала (СССР), каменные пустыни Чили, Австралии.

Песчаные пустыни — площади, покрытые огромным количеством песка, встречаются как на равнинах, так и в горных районах (Памир). Довольно широко распространены. С самолета имеют вид огромного песчаного моря, покрытого песчаными волнами. Песчаный материал поступает в пустыню с ее окраин, где идет разрушение горных пород, выдувается из пойм рек, откладывается речными водами. Песок движется в направлении господствующих ветров. Гонимый ветром песок задерживается около препятствий и образует формы аккумулятивного рельефа — кучевые пески, барханы, грядовые пески.

Кучевые пески — холмы неправильной формы, образующиеся вокруг отдельных камней, деревьев или других предметов. Высота холмов от 1 до 12 м, встречаются на окраинах пустынь.

Барханы (тюркское название) имеют вид конически вытянутых или серповидных холмистых форм (рис. 37, Б). Наветренный склон бархана обычно пологий (10—15°), подветренный более крутой (32—33°). Высота колеблется в пределах 1—15 м, иногда 20—30 м. Отдельные барханы встречаются редко. Чаще они объединяются в линейно-вытянутые барханные цепи или гряды, высота которых обычно выше, чем отдельных барханов, и достигает 100 м при ширине 800—1600 м. Протяженность гряд от 3 до 20 км. Расстояние между гребнями параллельных гряд 1,5—3,5 км. Барханные цепи вытянуты в направлении, перпендикулярном господствующим ветрам. Скорость передвижения барханов 30—40 м/год, барханных гряд — намного меньше.

Грядообразные валы — одна из наиболее крупных форм песчаного рельефа. Они симметричны в сечении и вытянуты в направлении движения ветра. Их высота 10—60 м, максимум 200 м, протяженность — десятки и сотни километров. Песчаные гряды разделены между собой ложбинами. Смерчи, часто наблюдающиеся в пустынях, делают их поверхность ячеистой (*грядово-ячеистый рельеф*).

Из мелких форм на поверхности песка наблюдается *золовая рябь*.

Песок пустынь более или менее однороден по составу и сложен обломками минералов размером не более 0,25 мм. Песчинки представлены главным образом кварцем (до 98% состава). Лишь незначительную часть составляют глинистые частицы (5—12%), чешуйки слюды, полевого шпата, пироксенов. В разрезе золовых отложений наблюдается нечетная, *косая*, меняющая свое направление *слоистость*. Песчаные пустыни имеются в Африке, Цент-

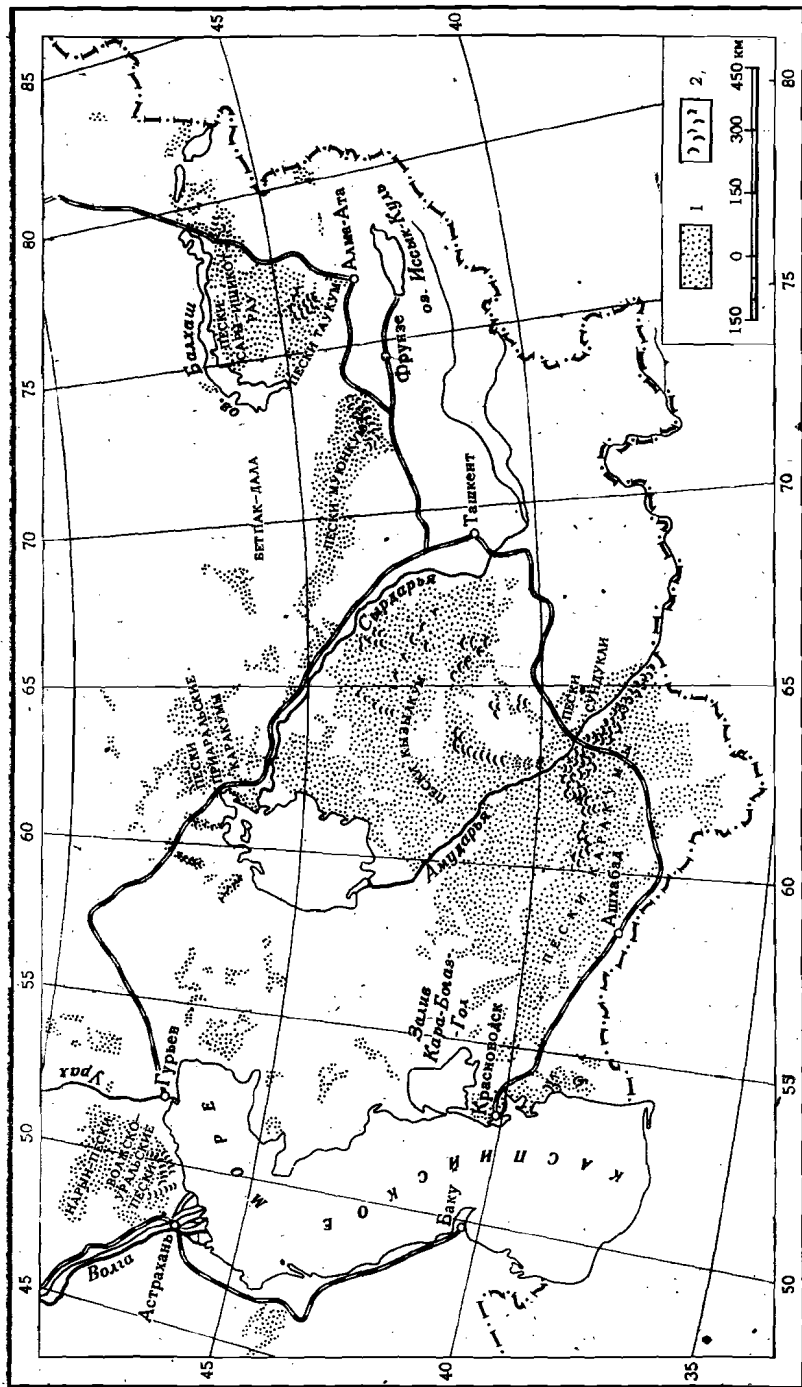


Рис. 38. Песчаные массивные пустыни и полупустыни в СССР:
1 — закрепленные пески, 2 — подвижные пески

ральной Азии, Южной Америке и других районах земного шара. В Советском Союзе пески пустынь (рис. 38) занимают 800 тыс. км² (пески Каракумов, Кызылкумов, Мууюкумов, Сарыишикотрау в Средней Азии).

Глинистые пустыни — располагаются в краевых, реже центральных частях песчаных или каменистых пустынь. Образуются при участии редких, но сильных дождей, вымывающих из песков глинистый материал и накапливающих его в понижениях рельефа. Этот материал отстаетается во временно образующихся мелководных водоемах. Осевшая глинистая масса, высыхая, превращается в глинистую корку, разбитую многочисленными трещинами (трещины высыхания). В Средней Азии такие глинистые поля называют *такырами* (Туркменское название плоских глиняных равнин). Обширные глинистые поля встречаются в пустыне Сахара, в Калифорнии (США), в пустыне Бетпак-Дала (СССР).

Встречаются так называемые *солончаковые пустыни* (Устюрт, побережье Каспийского и Аральского морей и др.).

Все типы пустынь нередко наблюдаются на одной равнине. Так, значительная часть площади пустыни Сахара покрыта щебнем, гравием, галечником, одна шестая часть — песком, встречаются и глинистые поля. Такла-Макан (Китай) — песчаная пустыня, но в краевых частях ее широко представлены каменистые и глинистые пустыни.

Границы пустынь не остаются постоянными. Пески, гонимые сухими ветрами, наступают на окружающие равнины, все засыпая на своем пути. Остановить движение песков можно с помощью растений, которые скрепляют своими корнями песчинки и не дают им возможности двигаться. В Советском Союзе борьба с движущимися песками проводится в широком масштабе. Вдоль границ пустынь насаждают саксаул, особые виды сосны и засухоустойчивых трав. Уже выращен заслон суховеям, несущим пески Кызылкумов в цветущие долины Ферганы и Зеравшана. Заключается строительство тысячекилометрового Каракумского канала, вдоль трассы которого быстро возрождается жизнь, создаются хлопководческие совхозы, насаждаются сады, выращиваются богатые урожаи овощей, строятся животноводческие фермы.

Геологические результаты деятельности ветра. Они широко проявляются на суше в области пустынь и сухих степей. Периодически активизируются в районах, охваченных засухой. Ветровая эрозия разрушает почвенный слой, ветер переносит огромные массы обломков из одних районов земного шара в другие, способствует образованию качественно новых осадочных пород: лёсса, золовых песков, глин. В процессе разрушения и осадконакопления формируются новые дефляционные и аккумулятивные формы рельефа. На лёссах формируются плодородные лёссовые почвы, золовые пески используются в качестве строительного материала, сырья для производства силикатного кирпича.

Текущими, или поверхностными, водами называют воды суши, стекающие по ее поверхности в озера, моря, океаны. Различают временные и постоянно действующие водные потоки, питающиеся атмосферными осадками, талыми снеговыми и ледниковыми водами, подземными водами. Основным источником питания водотоков — атмосферные осадки. Ежегодно на поверхность Земли в виде дождя и снега выпадает до 500 тыс. км³ воды. Из этого количества 99,3 тыс. км³ воды приходится на сушу, остальные — на океаны. Большая часть воды (63 тыс. км³) испаряется и поступает вновь в атмосферу, а меньшая часть (36,3 тыс. км³) вовлекается в поверхностный сток или просачивается в почву. Атмосферные осадки на поверхности суши производят определенную геологическую работу, выражающуюся в *плоскостном смыве* и *линейном размыве*. При плоскостном смыве вода, сплошной пленкой покрывающая земную поверхность, смывает с пологих склонов слабо закрепленные обломки горных пород, перемещает их к подножию склонов, где они накапливаются в виде делювия. При выпадении сильных дождей или таянии снега и льда образуются водные потоки. Устремляясь вниз, вода заполняет линейно-вытянутые понижения (тропы, складки местности и др.). Водный поток, размывая горные породы, углубляет понижение. Линейный размыв называют *эрозией* (лат. *erosio* — размывание, разъедание). Различают эрозию *донную*, или *глубинную*, направленную в глубь земли, и эрозию *боковую*, разрушающую стенки понижения. Все виды размыва протекают обычно одновременно. Одни из них преобладают на одной стадии, другие — на другой стадии развития понижения. Временные водные потоки формируют на равнинах и в горных районах овраги, постоянно действующие водные потоки (реки) — речные долины.

Образование оврагов. Овраги образуются на равнинах, склонах гор, берегах рек и морей, т. е. везде, где динамика водного потока приобретает разрушительную силу. Начинается образование оврага с появления *рытвины* (рис 39), направленной вниз по склону. Год от года рытвина удлиняется, углубляется, расширяется и превращается в овраг. У оврага выделяют: начало оврага — *исток*, или *верховье*, место впадения оврага в более глубокое понижение — *устье* и боковые ответвления — *отвершки*. Длина оврага увеличивается ежегодно на единицы, а то и на десятки метров. Интенсивное углубление оврага происходит в начальную стадию развития, или *стадию молодости*. В этот период овраги бывают узкими, с обрывистыми склонами и глубоким порогом в верховье, называемым *вершинным перепадом*. Углубление оврага в разных его участках идет неравномерно: ближе к устью глубина его больше, чем у истоков, так как по мере при-

ближения к устью динамика водного потока возрастает за счет впадения в него боковых водных потоков. Профиль дна оврага имеет вид кривой, которая называется *продольным профилем русла*. Продольный профиль, выработанный в результате длительного размыва при стабильном базисе эрозии, называется *профилем равновесия*. Последний является пределом развития оврага на глубину. В устье оврага размыв на глубину ограничивает *базис эрозии*, или поверхность, на уровне которой водный поток теряет свою силу. Базисом эрозии для оврагов служит водоем (уровень реки, моря или другого водного бассейна), в который впадает овраг. По мере выработки профиля равновесия начинает преобладать боковая эрозия. Овраг вступает в следующую стадию развития — *стадию зрелости*. Овраг расширяется, склоны его выглаживаются, процессы эрозии затухают, и овраг превращается в *балку* (старый, с заросшими растительностью склонами овраг). Конечная крутизна склонов зависит от состава горных пород, в которые врезан овраг. Так, в песчано-глинистых породах склоны оврагов более пологие, чем в известняках. Протяженность оврагов достигает иногда нескольких десятков километров. Сложно разветвленная сеть оврагов, оперяющая долины рек, склоны гор, берега морей, образует *овражно-балочный рельеф*. Овраги и балки широко развиты в европейской части СССР, на территории Сибири, Дальнего Востока.

Рост оврагов приводит к сокращению пахотных земель, разрушению дорог, территорий, занятых населенными пунктами. Поэтому с оврагами ведется борьба, направленная прежде всего на прекращение эрозии в развивающихся оврагах. С этой целью на дне оврагов устраивается каскад искусственных преград (плетеных заборов, бетонных стенок), служащих местными базисами эрозии. Для предупреждения бокового размыва на склонах оврагов создаются лесные полосы, уступы, препятствующие размыву. История рождения многих рек начинается с развития оврагов, на



Рис. 39. Начальные стадии развития оврага: А — рытвины, Б — молодой растущий овраг

дне которых за счет вскрытия подземных вод появляются постоянно действующие водные потоки.

Временные горные потоки. Они появляются в сухих долинах гор в период выпадения сильных дождей или при таянии ледников, вызванном неожиданным потеплением. В период отсутствия воды в горных долинах накапливается огромное количество продуктов физического выветривания в виде обломков разных размеров: от пылеватых частиц до глыб в несколько метров в попереч-

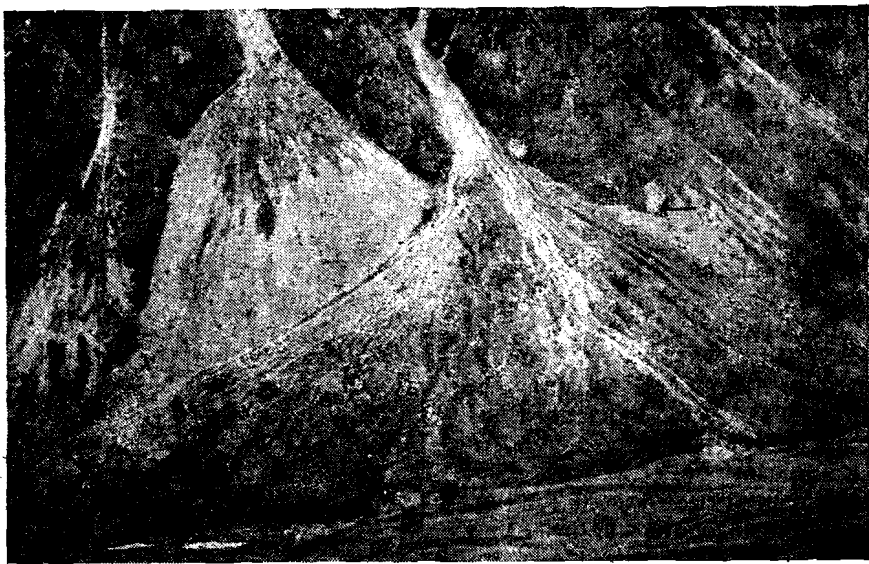


Рис. 40. Конус выноса временного горного потока

нике. Во время ливней или внезапного таяния снега в горах в таких долинах образуются кратковременные, но мощные водные потоки, которые насыщают обломочную массу водой, разжижают ее и превращают в грязь. 75% всей грязевой массы приходится на обломки и только 25% объема приходится на воду. Благодаря крутому уклону дна грязевая масса приходит в движение. Так возникают грязевые потоки — *сели* (араб. селъ — бурный поток), или *муры*. Селевые потоки несут десятки и сотни тысяч кубических метров пород. Скорость их 10—15 км/ч. По мере движения скорость потока нарастает и он сметает все на своем пути. Выйдя к подножию склонов, селевые потоки разливаются, несомый ими обломочный материал осаждается, образуются *конусы выноса* (рис. 40). Отложения селевых потоков называют *пролювием* (лат. пролювий — промываю).

Пролювий состоит из разновеликих остроугольных обломков пород, перемешанных с песчано-глинистым материалом. В пролю-

вии встречаются глыбы размером до 80 м³ и более. Он накапливается не только у склонов гор, но и в устьевой части оврагов.

Селевые потоки вызывают большие разрушения в экономических освоенных районах. Они сметают на своем пути мосты, плотины, разрушают населенные пункты, покрывают камнями пастбища, сады. В 1921 г. селевой поток ворвался в г. Алма-Ату и заградил улицы потоками грязи и камней. В 1963 г. селевой поток, спустившийся со склонов Заилийского Алатау, уничтожил красивейшее озеро Иссык и нанес ущерб городу того же названия. Селевые потоки часто проявляются в горах Швейцарии, Италии, Франции, Индии, в Советском Союзе — на Кавказе, Тянь-Шане и в других горных районах. В нашей стране с целью предотвращения стихийных бедствий, вызываемых селевыми потоками, на их пути устраивается противоселевая защита, строятся плотины, насыпаются дамбы и другие препятствия. Благодаря противоселевой защите в настоящее время устранена угроза проникновения селей в г. Алма-Ату и его окрестности.

Реки. Это постоянно действующие водные потоки, поэтому их геологическая деятельность неизмеримо больше, чем временных потоков. Разветвленная сеть рек покрывает все континенты и даже океанические острова. Только на территории СССР их более миллиона. Каждая из рек образует *речную систему* (рис. 41), в которую кроме основной водной артерии входят многочисленные притоки. Речные системы разделены высокоподнятыми участками суши, называемыми *водоразделами*. Площадь, с которой река и ее притоки получают воду, называется *водосборным бассейном*. К самым крупным в мире речным системам относятся: Амазонка (7,05 млн. км²), Конго (Заир, 3,69 млн. км²), Обь (3,35 млн. км²), Миссисипи (3,25 млн. км²). Площадь водосборного бассейна Волги 1,46 млн. км². Протяженность водных артерий измеряется сотнями и тысячами километров. Наибольшую длину имеют реки: Амазонка — 6480 км, Нил — 6450, из рек Советского Союза — Лена — 4320, Волга — 3690, Обь — 2300 км.

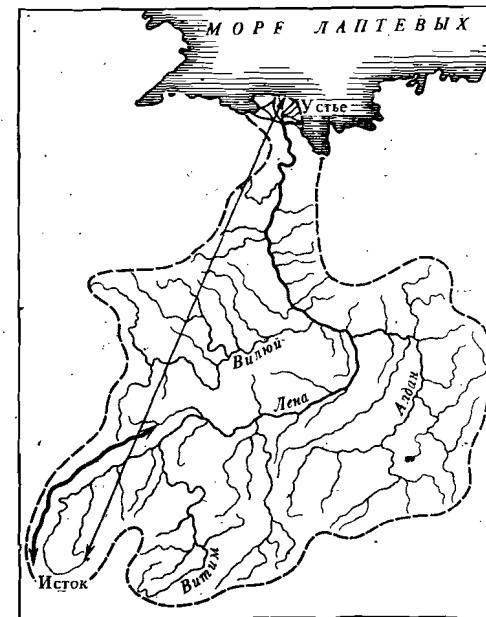


Рис. 41. Речная система р. Лены и ее водосборный бассейн

Реки питают атмосферные осадки, талые и подземные воды. Например, реки Средней Азии — Амударья и Сырдарья — питают воды, образующиеся при таянии горных ледников, реки Дальнего Востока пополняют свой запас на 80% дождевыми водами и на 20% талыми водами. Реки европейской части СССР — Волга, Дон, Днепр и др. в качестве постоянного источника питания используют подземные воды, атмосферные осадки и талые воды. Подземные воды в разной степени участвуют в питании почти всех рек.

Каждая река начинается с истока и заканчивается устьем — местом впадения реки в другую водную артерию или водный бас-

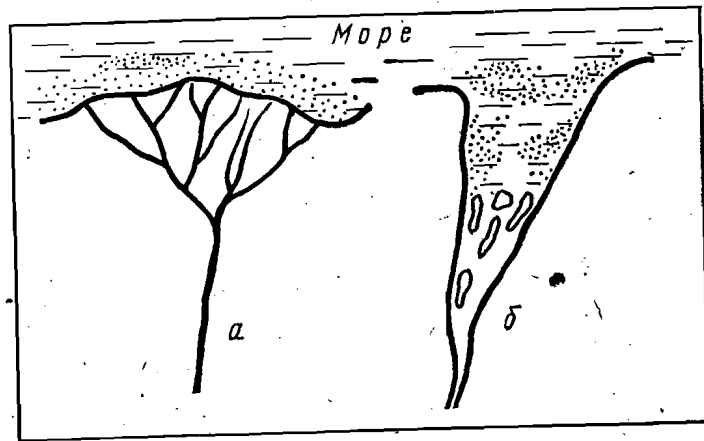


Рис. 42. Типы устьев рек:
а — дельта, б — эстуарий

сейн (рис. 41). По строению различают два типа устьев — дельты и эстуарии (рис. 42). Дельты (название происходит от греческой буквы Δ, форма которой соответствует форме устья в плане) наблюдаются у рек, которые приносят в устье большое количество продуктов разрушения в виде песка и ила. Дно моря в месте впадения реки быстро мелет и становится сушей. Во время разлива водные струи промывают многочисленные ветвящиеся рукава. Примером дельты могут служить устья рек Волги и Лены. Площадь дельты Лены 45 000 км², Волги 18 000, Миссисипи 150 000 км². Скорость наступления дельт на море измеряется десятками, а иногда и сотнями метров в год. Так, дельта реки Сырдарья ежегодно увеличивается на 108 м, Волги — на 170 м. Город Адрия, построенный в устье реки По, когда-то был морским портом. Об этом свидетельствуют сохранившиеся портовые постройки. В связи с наступлением дельты По на море город сейчас находится на расстоянии 22,5 км от моря.

Эстуарий (лат. экстуариум — берег, заливаемый приливом) — воронкообразный залив, образующийся при затоплении и расширении устья реки. Эстуарии характерны для рек, устья которых подвергаются действию приливно-отливных волн, уносящих в глу-

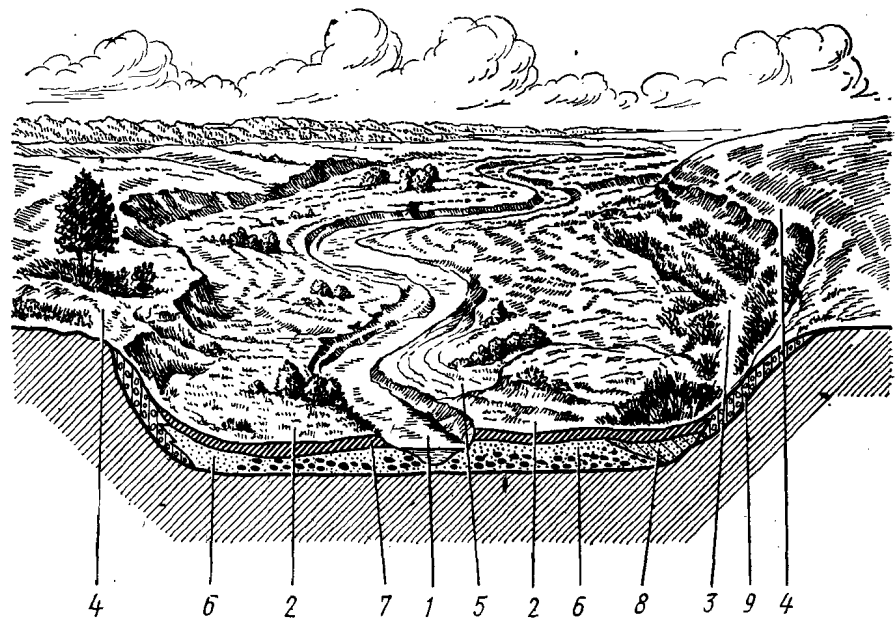


Рис. 43. Схема строения долины равнинной реки (рис. Н. Н. Костенко):
1 — русло, 2 — пойма реки, 3 — зарастающая старица, 4 — надпойменная терраса, 5 — береговые валы, 6 — русловый аллювий, 7 — пойменный аллювий, 8 — старичный аллювий, 9 — дельтовый

объясняется неодинаковым размывом склонов. Одна из причин асимметричности склонов — сила Кориолиса. Согласно закону Кориолиса (закон Беря-Бобинэ) «...всякое тело, движущееся горизонтально у поверхности Земли, независимо от направления движения отклоняется в Северном полушарии вправо, а в Южном — влево, вследствие вращения Земли с запада на восток» (Геологический словарь. М., 1978, т. 1, с. 247). Поэтому у рек Северного полушария, текущих на север, размываются правые берега, у рек Южного полушария — левые.

В поперечном сечении долины выделяют следующие геоморфологические элементы: террасы, пойму и русло (рис. 43). Руслом называют часть долины, постоянно заполненную водой. Русла бы-

вают прямолинейными и извилистыми, узкими и широкими, мелководными и глубокими. В процессе развития рек русла из прямолинейных становятся извилистыми, затем вновь выпрямляются, перемещаясь на новое место. Перемещение происходит следующим образом (рис. 44). При обрушении берегов вода, встречая на своем пути препятствие, отражается от него и устремляется к противоположному берегу и подмывает его. При этом у противоположного берега, где движение потока ослабевает, происходит заиливание и образование песчаной отмели. Движение водного потока по искривленному руслу от одного берега к другому постепенно делает русло еще более извилистым, способствует образованию излучин, или меандр (от названия реки Меандр в Малой Азии). Со временем меандры отделяются от основного русла. Происходит это в период разливов, когда вода выходит из берегов, прорезает перемычки излучин и отделяет меандры от общего русла. Отделившиеся части русел превращаются в старицы (старые, отмершие части русел). Меандры и старицы широко встречаются в долинах равнинных рек — Дона, Днепра, Волги и др. Перемещения русел способствуют формированию поймы реки.



Рис. 44. Изменение морфологии русла реки, сопровождаемое образованием меандр и стариц

ется водой. Поверхность пойм речными осадками. При углублении и смещении русла старая пойма размывается и на более низком уровне формируется новая пойма (при понижении базиса эрозии и др.). От старой поймы остаются ступенеобразные уступы, вытянутые вдоль склонов. Такие уступы называют *террасами* (рис. 45). Они могут располагаться в несколько ярусов. Счет террас ведут от современной поймы — первая надпойменная, вторая надпойменная терраса

и т. д. Самая высокая терраса — самая древняя по возрасту. У равнинных рек может быть до пяти, у горных — до 15 террас. Различают террасы *цокольные*, *эрозионные*, *аккумулятивные*. Террасы, сложенные коренными породами, называются *эрозионными*, сложенные наносами — *аккумулятивными*. Террасы, нижняя часть которых состоит из коренных пород, а верхняя из наносов, называются *цокольными*. При погружении суши ранее образованные террасы могут оказаться под слоем осадков. Такие террасы называются *погребенными*.

Поймой называют часть долины реки, которая в период разливов затопляется обычно ровная, покрытая

обычно бывают широкими и сравнительно неглубокими, U-образной формы. Долины горных рек глубоко врезаны, V-образной формы, имеют вид *ущелий* или *каньонов* (рис. 46). Одной из наиболее узких и глубоких долин в СССР является ущелье р. Сулак на Кавказе, глубина которого около 1 км, а ширина у основания около 10 м. Самой глубокой в мире считается долина реки Колорадо в США. Ее глубина около 2 км. Ширина равнинных рек достигает десятков километров (Волга, Дон, Днепр и др.). Возраст многих рек измеряется тысячами и миллионами лет. В развитии реки выделяют три стадии: юности, зрелости и старости. В *стадию юности* русла рек глубоко врезаны, берега обрывисты, преобладает донная эрозия (большинство современных горных рек). В *стадию зрелости* донная эрозия затухает, но активизируется боковая эрозия, поэтому русла широкие, полноводные, вырабатывается пойма. В *стадию старости* русла мелководные, скорость течения воды небольшая, в широких поймах наблюдаются меандры и старицы. Ширина долин во много раз превышает ширину пойм. На развитие рек большое влияние оказывают движения земной коры. При восходящих движениях участков суши возобновляется донная эрозия, русла рек врезаются глубже, вскрываются новые водоносные горизонты, становятся полноводнее. Этот процесс, получивший название *омоложения рек*, продолжается до тех пор, пока река не выработает новый профиль равновесия. Омоложение может наблюдаться не на всем протяжении реки, а лишь на отдельных ее участках. При нисходящих движениях земной коры *базис эрозии* повышается, поэтому процессы эрозии замедляются и усиливается отложение осадков. Река быстро стареет.

Большую роль в жизни реки играет их режим: количество воды, скорость течения, положение уровня. Количество воды, про-

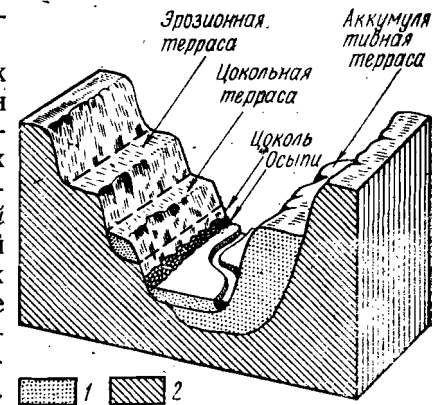


Рис. 45. Типы надпойменных террас: 1 — аллювий, 2 — коренные породы

текающее через данное поперечное сечение русла в единицу времени, составляет *расход реки*. Расход воды в течение года называют *годовым стоком*. Реки Советского Союза ежегодно сбрасывают в моря около 4000 км³ воды. Самый большой сток у реки Амазонки, выносящей в море около 3160 км³ воды в год. Расход воды меняется от сезона к сезону. Он повышается в период таяния снегов и выпадения осадков и уменьшается в засушливый период года. Крат-



Рис. 46. Каньонобразный тип долины

ковременное повышение уровня и расхода воды в реке вследствие таяния снега и льда называют *половодьями*, а при выпадении осадков — *паводками*. Паводки часто наблюдаются на реках Южной Америки, Индии, Юго-Восточной Азии; половодья — на реках Северного полушария. На равнинных реках уровень воды во время разливов поднимается максимум до 10 м, у горных рек — до 30 м. В отдельные годы разливы принимают катастрофические размеры, реки разливаются на десятки тысяч квадратных километров, затопливая сельскохозяйственные поля, населенные пункты, промышленные предприятия. Наводнения наносят большой экономический ущерб, нередко сопровождаются человеческими жертвами. В нашей стране сток большинства рек зарегулирован, построены плотины и водохранилища с помощью которых регулируется расход воды. В засушливый период года уровень воды в реках пони-

жается до минимума. Самое низкое положение уровня воды в реках называют *меженью*.

Скорость течения воды в реках зависит от притока воды и уклона дна. У равнинных рек средняя скорость течения 0,1—0,7 м/с, в период паводков и половодий до 1,6 м/с. У горных рек она достигает 8 м/с. Скорость течения неодинакова и на разных участках русла. В более глубоких и узких частях русла течение обычно быстрее, чем на мелководных и широких участках.

Реки совершают большую геологическую работу: эрозионную, транспортирующую и аккумулятивную.

Эрозионная работа рек. Она начинается с момента образования водного потока. Молодая река на своем пути, обрастая притоками, преодолевает различного рода препятствия в виде горных поднятий, скальных выступов, трещин, обрывистых склонов. На всем протяжении реки происходит размыв горных пород, скорость и глубина которого зависят от целого ряда причин: скорости водного потока, уклона дна, состава горных пород. Иногда размыв усиливается на одних участках русла и ослабевает на других. У горных рек, где уклон дна достигает 100 м и более на 100 км длины русла, скорость течения воды велика и сильно развита донная эрозия. Мощный водный поток, превращенный в грозную силу после ливневых дождей, легко размывает рыхлые породы (глины, пески и др.), прорезает каньоны и ущелья в кристаллических породах (известняках, сланцах, гранитах).

У равнинных рек уклон дна более пологий и эрозионная работа выражена слабее. Неоднородные по составу горные породы способствуют образованию неровностей в русле реки. Мелководные каменистые или скалистые участки в русле реки, образуемые выходами плотных пород, называют *порогами*. Около порогов часто сооружаются гидроэлектростанции, использующие значительный местный перепад реки. На порогах Днепра и Ангары построены известные в Союзе Днепровская и Братская гидроэлектростанции. В участках обрывистых склонов возникает почти отвесный сброс воды и образуются *водопады*. (рис. 47, А). Ширина водопадов измеряется десятками, а иногда и тысячами метров. Наиболее широкий водопад Ингасу в Южной Америке (2700 м). Наиболее высоким считается водопад Йосемитского Национального парка в Северной Америке (792 м). Вода, падающая с большой высоты и содержащая обломки горных пород, высверливает на дне глубокие ямы, или *исполиновые котлы* (рис. 47, Б). На реке Дунай, например, встречаются котлы глубиной 30—50 м.

Углубление дна потока продолжается до тех пор, пока не сформируется продольный профиль равновесия. Формирование профиля равновесия обычно начинается у устья и постепенно перемещается к истоку реки. Поэтому разные отрезки русла находятся на разных стадиях развития. Одновременно с углублением долин рек осуществляется и боковая эрозия, направленная на их расширение. В стадию юности реки имеют V-образную форму сечения долин, в стадию зрелости — U-образную. В расширении долин и

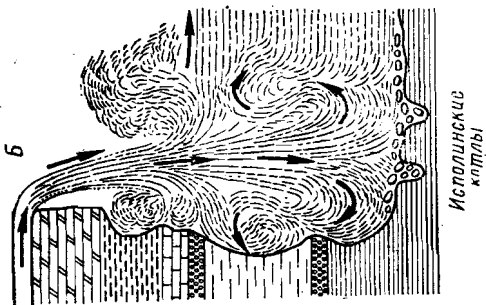


Рис. 47. Ниагарский водопад.

А — общий вид, Б — профильный разрез (по А. Холмсу)



выполаживании их склонов большое участие принимают физическое выветривание и площадной смыв, доставляющие в пойменную часть долины большое количество обломков (коллювия и делювия). При неоднократной активизации донной эрозии, обусловленной движениями земной коры, формируются *эрозионные террасы*. Количество таких террас соответствует количеству этапов омоложения реки.

Развитие боковой эрозии в параллельно текущих или сближенных руслах соседних рек ведет к разрушению водоразделов. Этот процесс может завершиться слиянием русел. Воды реки, долина которой расположена выше, устремляются в реку, расположенную ниже. Такое явление получило название *перехвата* или *обезглавливания рек*. Примером перехвата может служить левый приток Терека, впадающий в Каспийское море, перехвативший у реки Кумы, впадающей в то же море, ее приток Малку.

Перенос и отложение осадков. Реки играют большую роль в перераспределении вещества на поверхности Земли. Они несут с гор на равнины, а оттуда в море огромное количество обломков. Значительная часть вещества переносится водами в *растворенном состоянии* в виде коллоидных и истинных растворов. Коллоидные растворы несут соединения железа, алюминия, марганца, кремния, истинные — соли натрия, калия, кальция, магния и другие соединения. Количественное соотношение коллоидных и истинных растворов неодинаково. В коллоидном состоянии переносится незначительная часть вещества, основная масса веществ переносится в виде собственных растворов. Изучение речных вод показало, что реки засушливых областей более богаты солями, чем реки областей с влажным климатом. Так, минерализация воды в реках, впадающих в Каспийское море, и в реках Казахстана достигает иногда 19 г/л, содержание солей в реках умеренных широт не превышает 500 мг/л. Реки ежегодно переносят в растворенном состоянии миллионы тонн вещества. Этот сток называется *химическим*. У рек Советского Союза он составляет 374 млн. т в год. По данным О. А. Алекина, река Дон в составе растворов ежегодно переносит 6,2 млн. т вещества, Днепр — 8,13, Амударья — 17,7, Енисей — 30, Волга — 46,5 млн. т.

Количество обломочного материала, переносимого реками, намного превышает количество растворенного вещества. Перемещение водным потоком минеральных и органических веществ в виде твердых частиц (ил, песок, галька) или растворов называется *твердым стоком*. Твердый сток у реки Лены составляет около 11 млн. т, Оби — 12,9, Дона — 14, Волги — 43, Нила — 125, Миссисипи — 400, Хуанхе — 1380 млн. т. Реки Советского Союза выносят 4 723 млн. т веществ. В целом реки суши сносят ежегодно в моря и океаны около 6 млрд. м³ пород. Обломки пород перемещаются волочением, во взвешенном состоянии или перекатыванием по дну. В процессе транспортировки минералы и горные породы малой твердости истираются в порошок, твердые окатываются, принимают овальные очертания. Так, щебенка, глыбы гранитов и других

твердых пород при длительном перекачивании по дну превращаются в гальку и валуны.

Величина переносимых водой обломков зависит от скорости течения. Установлено, что при скорости водного потока 0,3 м/с во взвешенном состоянии перемещаются мелкие песчинки размером до 0,05 мм, 0,7—1 м/с — гравий до 10 мм, 2 м/с — галька до 10 см. В одних и тех же участках русла крупность переносимых частиц в разные сезоны года меняется в связи с изменением режима реки. В весенний период бурное течение равнинных рек Северного полушария способно переносить гравий и даже гальку, в летний период водный поток несет только взмученные иловато-песчаные частицы. По мере убывания энергии потока на дно начинают осаждаться вначале крупные частицы, затем мелкие. Так осуществляется сортировка обломочного материала, отлагаемого реками. Разделение обломков происходит не только по крупности, но и по плотности. Поэтому вместе с крупными обломками пород малой плотности могут встречаться мелкие зерна тяжелых минералов. Процесс *механической дифференциации* вещества широко осуществляется не только в руслах рек, но и на дне озер и морей (рис. 48). Значительная часть переносимых реками обломков поступает в озера или моря, и лишь небольшое их количество осаждается в долинах рек.

Осадки, отлагаемые реками, называют *аллювием* (лат. alluvio — нанос, намыв). Аллювиальные отложения накапливаются в руслах, поймах, дельтах, старицах, слагают террасы. Процессы аккумуляции (накопления) речных осадков осуществляются в зрелую стадию развития реки и достигают максимума в стадию старения. *Русловый аллювий* горных рек сложен в основном валунно-галечниковыми отложениями, у равнинных рек — гравием, песком, илом. Степень окатанности зависит от дальности переноса. В русловых отложениях нередко наблюдается слоистость, обусловленная изменением режима водного потока. Слойки глины чередуются со слоями мелкого и крупного песка. Слоистость бывает *горизонтальной и косой*. Мощность руслового аллювия у ряда рек достигает десятков метров.

В основании аллювиальной толщи наблюдаются обычно гравийно-галечниковые отложения, переходящие выше в слоистые пески. Разрез завершается глинистыми осадками. Смена осадков характеризует как стадии развития реки, так и изменение ее режима.

При накоплении руслового аллювия возникают мелкие аккумулятивные формы рельефа: песчаные волны, прирусловый вал, песчаные отмели, пляжи, острова. *Песчаные волны* появляются на дне при изменении режима реки. На дне Волги высота таких волн измеряется от нескольких сантиметров до 1,5 м при длине 30—50 м. Если на дне реки встречаются препятствия (камни, затонувшие стволы деревьев), вокруг них намывается песок, который со временем может подняться над уровнем воды и дать начало *песчаному острову*. Вдоль берегов река намывает *прирусловые валы* высотой от десятков сантиметров до 6 м (река Миссисипи). Во вре-

мя разлива валы размываются. У пологих берегов при замедленном течении воды намываются *песчаные отмели*, которые, разрастаясь, превращаются в *пляжи*. Пляжи впоследствии сливаются и на их месте образуется *пойма*.

Формирование *пойменного аллювия* происходит главным образом в период разлива, когда из паводковых вод на русловые отложения осаждается тонкий песчаный и илистый материал (равнинные реки). В пределах стариц, развитых в поймах старых рек, накапливается *старичный аллювий*, состоящий из темных органических илов, смешанных с пойменными песчано-суглинистыми осадками. В заболоченных старицах накапливаются отложения торфа. Старичный аллювий залегает в виде линз среди пойменного аллювия.

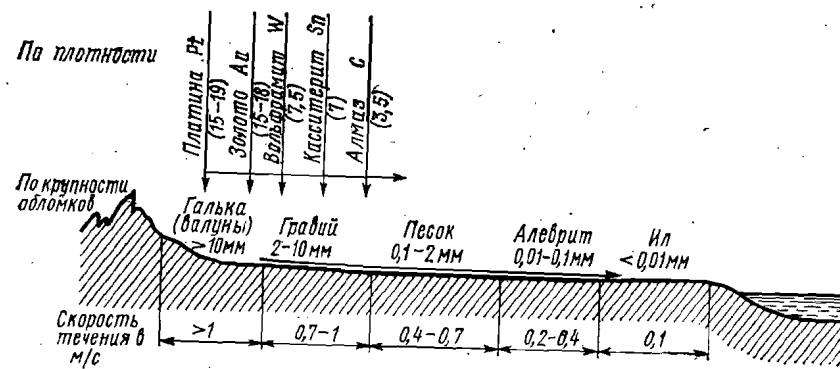


Рис. 48. Схема механической дифференциации осадков

Большое площадное распространение (десятки тысяч квадратных километров) имеет *дельтовый аллювий*. Мощность его значительна, у крупных рек до нескольких сотен метров. В строении дельтового аллювия принимают участие осадки обломочные, химические и органические. В строении аккумулятивных и частично цокольных террас участвует *аллювий террас*. В состав его входят русловые и пойменные отложения.

Геологическое и народнохозяйственное значение рек. Текучие воды — один из важнейших геологических факторов экзогенных процессов — играют большую роль в изменении и формировании рельефа суши, образовании осадочных горных пород и месторождений полезных ископаемых. На равнинах временные и постоянные водные потоки образуют густую сеть речных долин, оврагов и балок. В горных районах текучие воды, расчлняя рельеф, постепенно сглаживают поднятия, превращают их в холмы. В результате на месте горных сооружений образуются холмистые равнины — *пенеплены* (лат. reperlain — почти равнина). Типичный пенеплен — Казахстан.

Эрозионная работа поверхностных вод ежегодно понижает поверхность суши. На равнинах скорость понижения в среднем равна 0,001 мм/год, в горных районах — 0,5 мм/год. Продукты размыва горных пород, отлагаемые реками в долинах или переносимые ими в моря или озера, служат исходным материалом для образования таких осадочных пород, как глина, песок, гравий, галька и др. Отлагаемые реками осадки могут быть обогащены промышленно ценными минералами: золотом, платиной, алмазами, титаном, вольфрамом, оловом и др. Осадки, обогащенные промышленно ценными минералами, называют *россыпями*. На россыпные месторождения приходится около 25% мировой добычи золота, 95% всех африканских алмазов. В Советском Союзе россыпные месторождения золота известны на Колыме, Алдане, платины на Урале. В аллювиальных отложениях древних дельт известны месторождения железных руд, угля, нефти, газа и других полезных ископаемых.

Огромное народнохозяйственное значение имеют и сами водные артерии, используемые для судоходства, в качестве баз отдыха, для разведения рыбы, водоснабжения и орошения. Реки — неисчерпаемые источники энергии. За последние десятилетия на территории СССР построены десятки мощных гидроэлектростанций. Среди них Куйбышевская на Волге, Братская на Ангаре, Нурекская в Средней Азии, Саяно-Шушенская в Сибири и др. Огромное значение рек в жизни людей поставило на повестку дня вопрос об их охране от загрязнения и преждевременного старения.

Глава XV

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Подземными называют воды, находящиеся в горных породах. Они входят в состав минералов, заполняют поры и трещины в горных породах. По подсчетам М. И. Львовича и Ф. А. Макаренко, в верхнем пятикилометровом слое земной коры сосредоточено около 60 млн. км³ воды, или 4,12% всего объема гидросферы. В глубоких зонах земной коры вода большей частью сильно нагрета и минерализована, в верхних слоях преобладают холодные пресные воды. В сильно охлажденных грунтах суши Северного полушария вода находится в твердом состоянии.

Подземные воды способны перемещаться из одних участков суши в другие как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Вертикальные перемещения бывают как нисходящими, так и восходящими. В первом случае они опускаются на глубину под действием сил гравитации, во втором — под влиянием высокого давления недр. Выходы подземных вод на дневную поверхность называются *источниками*. Подземные воды осуществля-

ют растворение, перенос и отложение минерального вещества. Изучением подземных вод занимается наука *гидрогеология*.

Вода встречается в горных породах в твердом, жидком и парообразном состояниях. В виде льда она присутствует в породах в тех районах земного шара, где среднегодовые температуры ниже нуля градусов. Водяные пары насыщают породы в областях с аридным климатом. В основном вода находится в земной коре в жидком состоянии. Различают несколько видов воды в горных породах.

Кристаллизационная вода — входит в состав кристаллических решеток минералов. Примерами могут служить гипс $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, лимонит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Существенной роли в геологической работе подземных вод не играет.

Гигроскопическая вода — присутствует в слабовлажных породах, облекая тонким (молекулярным) слоем зерна минералов. Образуется путем осаждения водяных паров из почвенного воздуха и удаляется только нагреванием.

Пленочная вода — образует на зернах минералов тонкую пленку, способную перемещаться под действием молекулярных сил.

Капиллярная вода — заполняет мелкие поры размером до 1 мм. Удерживается в них силами поверхностного натяжения. Так же как и пленочная вода, при сильном испарении перемещается из нижележащих горизонтов в вышележащие. Капиллярные воды содержатся в тонкопористых породах, таких, как глины, суглинки, супеси.

Гравитационная вода — заполняет крупные поры (более 1 мм). Она способна перемещаться под действием силы тяжести (гравитации) из вышележащих горизонтов в нижележащие. В отличие от предшествующих типов вод ее называют свободной. Гравитационная вода играет исключительно важную роль в подземном стоке воды.

По происхождению подземные воды делят на инфильтрационные, седиментационные, конденсационные и магматогенные.

Инфильтрационные воды образуются при инфильтрации (просачивании) в почву атмосферных осадков и других поверхностных вод. Они играют наиболее существенную роль в подземном стоке и круговороте воды в природе.

Седиментационные воды — это воды, накапливающиеся в осадках на дне водоемов. К этому же типу относят остаточные воды, сохранившиеся на месте существовавших когда-то морских бассейнов.

Конденсационные воды образуются при конденсации водяных паров в почвах. Имеют подчиненное значение. Исключение составляют конденсационные воды зоны пустынь, где им отводится основная роль в пополнении подземных вод.

Магматогенные воды — воды глубинного магматического происхождения. Их выделил в 1902 г. Э. Зюсс. Он назвал их *ювенильными* (лат. *juvencilis* — юный). По представлению геологов, магматогенные воды образуются из охлажденных паров магмы. Советские гидрогеологи Ф. А. Макаренко и А. М. Овчинников считают,

что в чистом виде ювенильные воды не встречаются, так как они смещиваются с другими видами воды.

Гидрогеологические свойства горных пород. Способность горных пород поглощать и удерживать воду называется *влагоемкостью*. Влагоемкость определяется объемом пустот породы или ее пористостью. Пористость определяют в процентах по формуле

$$n = \frac{V_n}{V} \cdot 100\%,$$

где n — процент пористости, V_n — объем пор исследуемого образца, V — объем образца. Определения показали, что у песчаников пористость в среднем 25—30%, у сортированных песков 40—45, пемзы и туфов 50—60%.

Породы, пропускающие воду, называются *водопроницаемыми*. Водопроницаемость зависит от размеров пор и пустот и характеризуется коэффициентом фильтрации. *Коэффициент фильтрации* — скорость просачивания воды при уклоне подземного стока 45°. У пород с высокой водопроницаемостью (галечник, гравий, грубозернистый песок) он превышает 10 м/сут, у слабоводопроницаемых пород (супеси, суглинки) 0,01—0,001 м/сут. Породы с низким коэффициентом фильтрации (ниже 0,001 м/сут) считаются *водонепроницаемыми* или *водоупорными*. Водопроницаемые породы обладают способностью отдавать воду — *водоотдачей*. Водоотдача характеризуется коэффициентом, который определяется как отношение объема участвующей в стоке воды к объему породы. Чем больше размеры пор, тем выше *коэффициент водоотдачи*.

Вышеперечисленные гидрогеологические свойства горных пород оказывают существенное влияние на образование подземных вод, их динамику, режим и эксплуатационные свойства.

Строение водоносного горизонта. Осадочные толщи, с которыми связаны основные запасы подземных вод, сложены переслаивающимися пачками водопроницаемых и водонепроницаемых горных пород. Под влиянием силы тяжести атмосферные осадки и поверхностные воды постепенно просачиваются в нижележащие слои и скапливаются на первом водоупоре. Так образуется *водоносный горизонт*.

В строении любого водоносного горизонта выделяют следующие элементы: *ложе*, или *водоупор*, *водоносный слой* (горизонт) и *зеркало*, или *уровень грунтовых вод* (рис. 49). Кратчайшее расстояние между водоупором и зеркалом называют *мощностью водоносного горизонта*. Положение ложа водоносного слоя в пространстве может быть горизонтальным, наклонным и изогнутым (синклинальным). Участок земной поверхности, с которого водоносный горизонт пополняет водой свои запасы, называется *областью питания*. Если водоносный горизонт вскрывается оврагом, речной долиной или другим естественным понижением, подземные воды выходят на поверхность. Область истечения называется *областью разгрузки* или *дренирования*, а точки или места выхода воды —

источниками или *родниками*. В зоне разгрузки зеркало водоносного горизонта искривляется, приобретает изогнутую или воронкообразную форму.

При наличии области разгрузки воды перемещаются в сторону понижения, вскрывшего водоносный горизонт. Скорость движения воды измеряется в метрах в сутки и колеблется от доли метра до 100 м/сут. В мелкопористых породах (мелкозернистые пески) скорость движения воды 1—5 м/сут, в крупнозернистых (галечниках) — от нескольких десятков до 100 м/сут.

В пределах одного участка может быть не один, а несколько водоносных горизонтов, отделенных друг от друга водоупорными слоями. Чем глубже залегают подземные воды, тем выше их температура, старше возраст и выше минерализация. В 1965 г. на Северном Кавказе недалеко от Моздока была пробурена скважина глубиной 5500 м. Температура воды на забое составила 160°C, минерализация 147 г/л, давление в условиях пласта 83 МПа.

Классификация подземных вод и их типы. По условиям залегания подземные воды подразделяют на почвенные, верховодку, грунтовые и межпластовые.

Почвенные воды заполняют поры в почвах. Это гигроскопические или капиллярные воды. Они находятся в прямой зависимости от климатических условий района (температуры, количества атмосферных осадков), не имеют водоупора и занимают как бы «висячее» положение в слое водопроницаемых пород. Почвенные воды обеспечивают влагой растения.

Верховодка — самый верхний водоносный слой (см. рис. 49). Воды верховодки скапливаются на небольших линзах водонепроницаемых или слабопроницаемых пород. Водоносный слой имеет небольшую мощность (1—2 м) и ограничен в пространстве. В засушливое время года количество воды в верховодке резко уменьшается вплоть до полного исчезновения.

Грунтовые воды — это первый от поверхности водоносный горизонт, отличающийся от верховодки значительным распространением. Глубина залегания — от сантиметров до десятков метров. Питание осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод. Слои горных пород, через которые происходит просачивание воды с поверхности, называют *зоной аэрации* (инфильтрации). В ее основании расположена *зона насыще-*

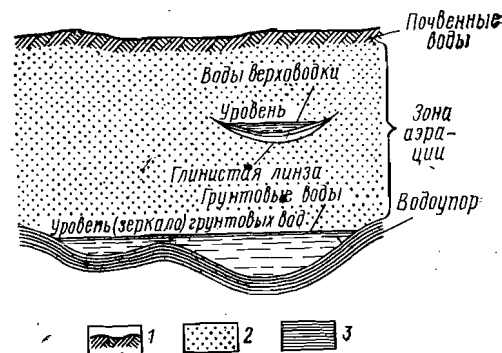


Рис. 49. Схема залегания почвенной воды, верховодки и грунтовой воды (по В. С. Мильничуку и М. С. Арабаджи, 1979):

1 — почва, 2 — песок, 3 — глина

ния (водопроницаемые породы, наполненные водой). Уровень грунтовых вод непостоянен. Он зависит от климатических и погодных условий: повышается в дождливое время года и понижается в засушливое. Движущиеся грунтовые воды называют *грунтовыми потоками*. Грунтовые воды используются для питьевых целей.

Межпластовые воды заключены между двумя водоупорами, один из которых подстилает водоносный горизонт, другой перекрывает. Питание осуществляется за счет атмосферных осадков и воды из вышележащих водоносных горизонтов. По характеру напора эти воды делятся на *безнапорные* и *напорные*. Напорные воды инфильтрационного происхождения называют *артезианскими*



Рис. 50. Схема артезианского бассейна:

1 — глинистые породы, 2 — водоносные пески, 3 — известняки, Ф — фонтанирующая скважина

(от названия провинции во Франции Артезия). Они большей частью приурочены к синклиналино залегающим (изогнутым книзу) слоям, имеют два уровня (рис. 50), расположенных по типу сообщающихся сосудов. Такие уровни называют *пьезометрическими*. Скважины, вскрывшие артезианские воды ниже пьезометрического уровня, как правило, фонтанируют. Структуры, включающие несколько горизонтов артезианских вод, называют *артезианскими бассейнами*. Площадь артезианских бассейнов — десятки и сотни тысяч квадратных километров, а глубина залегания — десятки и тысячи метров. Площадь известного Московского артезианского бассейна 300 тыс. км². Он снабжает питьевой водой города и села Московской, Калининской, Смоленской и других областей. Площадь Днепровско-Донецкого артезианского бассейна 350 тыс. км². Крупнейшим в мире является Западно-Сибирский артезианский бассейн площадью 3 млн. км².

Перечисленные типы подземных вод по характеру заполнения пустот являются *поровыми*, так как заполняют поры в слоях осадочных пород. К трещинам горных пород приурочены трещинные подземные воды (жильные). Трещины бывают разного размера и происхождения. Заполняются они водами инфильтрационного и магматогенного происхождения. Трещинные воды встречаются в скальных породах, обладают большим водопритоком — 20—

500 м³/ч. В пределах территории СССР известны в кристаллических породах европейской части СССР, Крыма, Кавказа и в других районах.

Источники — естественные выходы подземных вод на земную поверхность — образуются на склонах понижений, вскрывших водоносные горизонты: на берегах рек, морей, склонах гор, оврагов. По направлению течения воды они подразделяются на нисходящие и восходящие. Нисходящие источники характерны для выхода вод верховодки, грунтовых вод, восходящие — для межпластовых, главным образом артезианских вод. По температуре их делят на холодные и горячие (термальные), по степени минерализации — пресные и минеральные. Количество воды, изливаемое источником в единицу времени, называется *дебитом*.

Физические свойства и химический состав подземных вод. К физическим свойствам относятся цвет, прозрачность, запах, вкус и температура воды. Подземные воды бесцветны. Только при наличии некоторых примесей они имеют желтый, красный, зеленый или иной цвет. Желтый и красноватый оттенки воде придает окисные соединения железа, зеленовато-голубой — закисные соединения железа и сероводород, серый — взвешанные минеральные частицы. Вкус подземных вод зависит от растворенных в воде солей: если вода содержит NaCl, она имеет соленый вкус, KCl — горько-соленый и т. д. Подземные воды обычно не имеют запаха. Воды, содержащие сероводород, имеют запах тухлых яиц, органические вещества придают воде болотистый запах. Температура подземных вод изменяется от 10 до 400°C. Низкие температуры характерны для подземных вод вечно мерзлых грунтов северных широт, высокие — для вод вулканических областей и глубоких водоносных горизонтов. В зависимости от температуры подземные воды подразделяются на *холодные* (ниже 20°C), *теплые* (20—37°C), *горячие* (37—42°C) и *термальные* (больше 42°C). Воды бесцветные, прозрачные, холодные, без запаха и приятные на вкус используются для водоснабжения населения.

Химический состав подземных вод значительно колеблется под влиянием климатических факторов. О. К. Ланге в зависимости от климата выделил на территории СССР следующие провинции распространения подземных вод: 1) провинция многолетней мерзлоты (восточная половина территории СССР); 2) провинция с высокой влажностью воздуха (европейская часть СССР, Западно-Сибирская низменность); 3) провинция с высокой сухостью воздуха (Средняя Азия, Казахстан). В первых двух провинциях широко распространены пресные воды. В провинции с высокой сухостью воздуха воды наиболее минерализованные. О. К. Ланге и В. С. Ильин указывают на закономерное повышение минерализации вод с севера на юг. Воды, не подчиняющиеся такой закономерности, получили название *азональных*.

Подземные воды влажного климата относительно бедны солями. Для них характерны соли кальция и магния. По мере продвижения на юг, особенно в районы аридного климата (сухие степи,

пустыни), меняется ионный состав вод. На смену карбонатным водам приходят воды, насыщенные хлоридами и сульфатами, увеличивается концентрация солей.

Помимо климата на химический состав подземных вод оказывает влияние минеральный состав горных пород, с которыми они соприкасаются. Из почв инфильтрационные воды вымывают органические вещества и образующиеся при их разложении сероводород, углеводород и др. Кальций и магний попадают в подземные воды при растворении кальцита, гипса; натрий и калий — поваренной и калийной солей. В составе подземных вод установлено около 60 химических элементов. Большинство элементов находится в растворе в ионизированном состоянии. Из катионов чаще встречаются H^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , из анионов — OH^- , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} . В коллоидных растворах распространены SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Кроме того, в растворенном состоянии в воде присутствуют газы: CO_2 , O_2 , H_2 , CH_4 , H_2S и др.

От химического состава воды зависит ее растворяющая способность. Концентрация в воде водородных ионов (рН среды) определяет реакцию среды: рН < 7 — кислая, рН = 7 — нейтральная, рН > 7 — щелочная. В кислой среде хорошо растворяются и выносятся многие соединения, в том числе и труднорастворимые соли железа, в щелочной среде растворяется труднорастворимый кварц, соединения железа выпадают в осадок и накапливаются. Содержание в подземных водах хлористого натрия повышает растворимость известняков в три раза. Чтобы определить содержание в воде солей, ее выпаривают, полученный при температуре 105—110°C сухой минеральный остаток взвешивают и определяют содержание солей в граммах на литр воды.

По степени минерализации В. И. Вернадский разделил подземные воды на *пресные* — содержание солей до 1 г/л, *солончатые* — 1—10, *солёные* — 10—50; *рассолы* — свыше 50 г/л (до 550 г/л).

По преобладающему аниону О. В. Алекин выделяет воды *гидрокарбонатные* и *карбонатные* (анионы HCO_3^- и CO_3^{2-}), *сульфатные* (SO_4^{2-}), *хлоридные* (Cl^-). Химический состав, так же как и физические свойства, определяют области применения подземных вод. Для питьевых целей используются пресные гидрокарбонатные и карбонатные воды с жесткостью¹ 3—7 мг-экв. Высокоминерализованные воды применяются для получения иода, брома, поваренной соли и калийных солей. Широкой известностью пользуются минеральные воды, применяемые для лечебных целей.

Минеральные воды. Все воды в той или иной степени минерализованы, т. е. содержат в своем составе растворенные соли и газы,

¹ Жесткими называют воды, содержащие Са и Mg. За единицу жесткости принимают миллиграмм-эквивалент (мг-экв), соответствующий 20,04 мг/л Ca^{2+} или 12,6 мг/л Mg^{2+} . Жесткость воды колеблется от единиц до нескольких десятков миллиграмм-эквивалентов.

однако к числу *минеральных* относятся только те из них, которые обладают бальнеологическими (лечебными) свойствами. Минеральные воды разнообразны по ионному составу, температуре, составу газов и происхождению. Из ионов наиболее ценными для лечебных целей являются железо, мышьяк, иод, бром. Степень минерализации может быть различной. Минеральные воды, содержащие минеральных веществ больше 15 г/л, считаются *слабоминерализованными*, их используют для питьевых целей. Среди них широкой известностью пользуются углекислые воды Кавказа: «Боржоми», «Нарзан», «Ессентуки», «Арзни» и др.

По биологически активным компонентам выделяют воды *углекислые*, *сероводородные*, *железистые*, *бромные*, *иодные*, *кремнистые* и др. Воды, не содержащие специфических компонентов, разделяют по ионному составу на *хлоридно-натриевые*, *сульфатно-кальциевые* и др. Классификация минеральных вод по бальнеологическим свойствам разработана В. В. Ивановым и Г. А. Невраевым. Высокоминерализованные воды (250 г/л и более) используются для лечебных ванн. Высокими целебными свойствами обладают минеральные воды, насыщенные газами. По составу газов их делят на метановые (CH_4), сероводородные (H_2S), углекислые (CO_2), радоновые (Rn).

Метановые воды генетически связаны с нефтеносными и битуминозными осадочными породами. Для них характерно высокое содержание хлора, иода, брома, аммония. Высокотемпературные метановые воды распространены в Краснодарском крае (Майкоп), на Керченском полуострове, в Западной Сибири и в других районах. Западносибирские метановые воды приурочены к артезианскому бассейну.

Сероводородные воды генетически связаны с битуминозными, нефтеносными и торфосодержащими породами. Не исключается возможность связи некоторых месторождений сероводородных вод с интрузиями магматических пород. Лечебное значение имеют воды, в которых сероводорода не менее 10 мг/л. Наиболее высокие концентрации сероводорода имеют воды таких крупнейших курортов, как Талги в Дагестане (560 мг/л), Мацеста в районе Сочи (400 мг/л). Сероводородные воды с меньшей концентрацией известны в Куйбышевской области (Сергиевские минеральные воды), Латвийской ССР (Кемери), в Западной Украине, Тульской области и других районах.

Углекислые воды А. М. Овчинников относит к водам метаморфического типа, связывает начало их образования с магматической деятельностью. На Кавказе область распространения углекислых вод приурочена к районам недавно потухших вулканов — Эльбруса и Казбека. По представлениям советских гидрогеологов А. Н. Огильши, И. Н. Славянова, А. М. Овчинникова, питание водоносных горизонтов минеральных вод осуществляется на склонах Кавказского хребта. По мере движения вдоль склонов воды обогащаются минеральными солями и газами. Последние поступают в водоносные горизонты из глубин по тектоническим тре-

щинам. К углекислым водам относят нарзаны Кисловодска, горячие воды Карловых Вар и др.

Радоновые воды насыщены тяжелым радиоактивным газом радоном (радоновые) или содержат соли радия и его эманации (радиевые). Образуются при инфильтрации поверхностных вод через породы, обогащенные радием или ураном. Концентрация газа в водах достигает 10^{-11} г/л. Большой известностью пользуются радоновые воды Пятигорска, Цхалтубо. Следует упомянуть также воды курорта Белокуриха на Алтае, а из зарубежных — Яхимова (Чехословакия) и Бромбаха (ГДР).

Термальные воды. Эти воды характеризуются высокими температурами, достигающими десятков градусов. Термальными иногда называют и перегретые воды, температура которых достигает сотен градусов. Как термальные, так и перегретые воды играют значительную роль в распределении глубинного тепла земной коры. Они несут его к поверхности Земли. Источником тепла для термальных вод служат вулканические зоны и тепловые потоки, идущие из глубин Земли. В зависимости от источника тепла И. Г. Киссин выделяет термальные воды вулканических и невулканических областей. К *термальным водам вулканических областей* относятся воды Камчатки, Курильских островов, Кавказа и др. В глубоких зонах это типично перегретые воды, температура которых может достигать 374°C ¹. По мере приближения к поверхности температура вод понижается до нескольких десятков градусов. На Камчатке в долине реки Паужетки обнаружены выходы термальных источников. Температура этих вод на глубине 1 м $80-100^{\circ}\text{C}$, на глубине 250 м — 200°C . Давление воды на выходе $0,58-0,68$ МПа, минерализация $2,5-3,4$ г/л. Паужетские термальные воды содержат кремнезем, борную кислоту, углекислый газ, сероводород. На базе этих вод построена геотермическая электростанция мощностью 5 тыс. кВт.

Многочисленны выходы парогидротерм (горячих пара и воды) на Курилах. Известностью пользуются выбросы горячего пара и воды в районе Горячего пляжа, расположенного в 7 км от города Южно-Курильска. Температура воды здесь на глубине 80 м достигает 187°C .

В 1961 г. группа ученых АН СССР, исследуя Эльбрус (Кавказ), обнаружила среди снегов и льда, покрывающих вершину этой горы, выходы горячих вулканических газов. Вокруг выходов нет снега и температура воздуха около 18°C . Эти наблюдения позволили ученым сделать вывод о наличии в районе Приэльбрусья запасов перегретых вод и пара. Термальные источники вулканического происхождения известны в Италии, Новой Зеландии, Индонезии и др.

Термальные воды невулканических областей известны в Запад-

¹ 374°C является критической температурой воды, при которой теряется различие физических свойств жидкости и пара.

ной Сибири, Казахстане, Средней Азии, Ставрополе, Дагестане. В 1960 г. в Ставрополе при бурении скважин на нефть в районе Буденовска с глубины 3,5 км ударил фонтан горячей воды с температурой 120°C (на забое 159°C) и давлением на выходе $0,49$ МПа, дебит 445 м³/сут, минерализация 97 г/л. Весьма большой приток воды (70 тыс. м³/сут) зарегистрирован в одной из скважин в Дагестане, а высокое давление $7,5$ МПа — в скважине, пробуренной в районе Георгиевска (Ставропольский край).

В Западной Сибири термальные воды приурочены к артезианскому бассейну. В районах Омска, Тобольска вскрыты термальные воды с температурой на выходе $35-70^{\circ}\text{C}$ и дебитом до 1000 м³/сут, минерализация $1-20$ г/л. Общие запасы термальных вод Западной Сибири оцениваются в 25 млн. м³/сут. Термальные воды — один из важнейших источников тепловой энергии.

Воды нефтяных и газовых месторождений. Они располагаются в пределах нефтяных залежей, могут подпирать их снизу, занимать промежутки между нефтяными пластами или располагаться выше их (рис. 57). Подземные воды нефтяных месторождений по степени минерализации иногда близки к минеральным, по температурам некоторые из них могут быть отнесены к термальным. По химическому составу они относятся к типу хлоридных, кальциевых, реже гидрокарбонатных, натриевых, содержат повышенное количество брома, иода. В них отсутствуют сульфаты, но часто присутствует сероводород. Изучение подземных вод нефтяных и газовых месторождений имеет большое значение при оценке перспектив нефтегазоносности района, а также для практического их использования в народном хозяйстве.

Подземные воды области многолетней мерзлоты. Многолетней, или вечной, мерзлотой называют участки земной коры, где подземные воды многие годы находятся в мерзлом состоянии. Многолетняя мерзлота встречается в областях с маломощным снежным покровом и среднегодовой температурой ниже 0° (от -2 до -17°C). Длительные отрицательные температуры способствуют глубокому промерзанию почв и грунтов. Промерзание грунтов может быть сезонным и многолетним. При сезонном промерзании грунты в теплый период оттаивают, а в холодный вновь промерзают. Там, где низкие температуры удерживаются длительное время (Западная и Восточная Сибирь), грунты пребывают в мерзлом состоянии многие годы (до тысяч и десятков тысяч лет). Мощ-

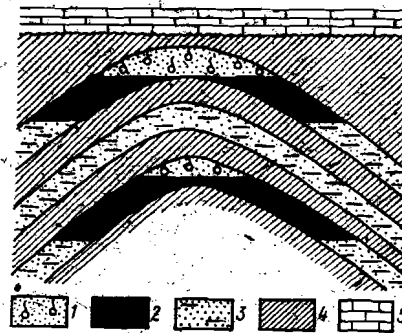


Рис. 51. Геологический разрез нефтяного месторождения:
1 — газонасыщенный песчаник, 2 — нефтенасыщенный песчаник, 3 — водонасыщенный песчаник, 4 — непроницаемые породы, 5 — известняк

ность мерзлых грунтов колеблется от десятков сантиметров до 700 м и более.

Наука, изучающая многолетнюю мерзлоту, называется *мерзловедением*. Основоположителем мерзловедения является известный русский ученый М. И. Сумгин.

Многолетняя мерзлота распространена в Северной полушарии на площади 147,2 млн. км², или 24% суши. Она занимает значительную часть территории СССР, Монголии, Китая, Аляски и Канады. По данным Н. И. Гульневой, 49,7% площади СССР относит-

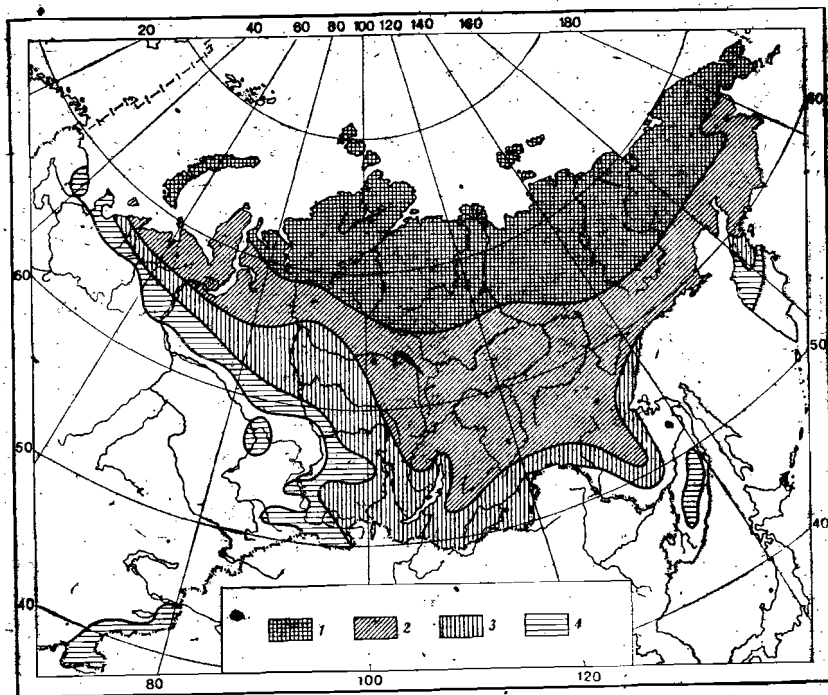


Рис. 52: Распространение многолетней мерзлоты на территории СССР: 1 — сплошная, 2 — с таликами грунтами, 3 — с преобладанием таликов, 4 — островного характера

ся к области многолетней мерзлоты (рис. 52). Границы области многолетней мерзлоты не остаются постоянными: 8—10 тыс. лет назад многолетняя мерзлота распространялась значительно южнее — до 45—50° с. ш. Современная граница сместилась к востоку и проходит по линии Архангельск — Иркутск. Таким образом, в настоящее время отмечается некоторое сокращение площади многолетней мерзлоты.

В южных районах Сибири и Дальнего Востока многолетняя мерзлота имеет островной характер. Острова мерзлоты встречаются и в отдельных районах Памира и Тянь-Шаня.

Периодически верхний слой земной коры оттаивает, а зимой промерзает вновь. Этот слой называется *деятельным*, его глубина от нескольких сантиметров до 5 м. Ниже деятельного слоя залегают мерзлые породы, в порах и трещинах которых содержатся кристаллики и жилки льда. В обломочных породах лед играет роль цементирующего вещества. Нередко среди горных пород залегают прослойки, линзы, жилы или пласты чистого льда. Мощность пластов в отдельных случаях достигает 50 м. Незамерзающие в течение холодного времени года участки грунтов в области распространения вечной мерзлоты называются *таликами*. Они встречаются под реками, крупными озерами, воды которых длительное время удерживают солнечное тепло. Талики обнаружены под Енисеем, Леной, Колымой и другими реками Сибири и Дальнего Востока. Появление таликов связывают и с другими причинами: подтоком снизу теплых вод, окислительно-восстановительными процессами в горных породах, сопровождающимися выделением тепла, и др. Мощность таликов колеблется от единиц до десятков метров (в бассейне реки Колымы 3—10 м). Талики деятельного слоя вызывают просадку грунтов, поэтому они опасны для строительства наземных сооружений. Многолетние талики нередко используются в целях водоснабжения.

С областью многолетней мерзлоты связаны и такие явления, как *наледы* — ледяные тела в форме наплывин, куполов или других тел, образующихся в местах разгрузки подземных вод деятельного слоя. Находящиеся под давлением подземные воды могут или перемещаться вдоль водоупора, или, преодолевая сопротивление вышележащих грунтов, изливаться на поверхность. Замерзая, они образуют наплывины. Излияние происходит в участках наименьшей мощности покрывающего слоя или в местах расположения горных выработок (ям, канав, траншей).

Наледи бывают *наземными*, *речными* и *подземными*. Наземные наледы могут появиться в самых неожиданных местах. Речные наледы появляются в руслах рек. При замерзании воды в реках толщина слоя льда уменьшает живое сечение русла и вода приобретает напор. В местах наименьшего сопротивления (чаще всего у берегов или у трещин) вода устремляется на поверхность. При излиянии она замерзает и образует огромные ледяные наплывы, возвышающиеся над поверхностью реки на 3—4 м. Площадь таких наледей может достигать нескольких квадратных километров. Речные наледы могут разрушать мосты, плотины. Подземные наледы возникают при внедрении воды в межпластовые трещины и горные выработки. Давление подземных вод бывает настолько высоким, что вызывает вспучивание почв и грунтов. В результате на поверхности Земли появляются холмы, внутри которых образуется ледяное ядро, называемое *гидролакколитом*.

В летний период наледы стают. А на месте гидролакколитов происходит оседание грунтов, возникают углубления блюдцевидной или воронкообразной формы. Крупные гидролакколиты су-

шествуют много лет. Высота их достигает 20 м. В зоне тундры с гидролакколитами связаны бугристые формы рельефа.

Подземные воды области многолетней мерзлоты могут залегать на мерзлотных породах, внутри них и под ними. В соответствии с таким расположением Н. И. Толстихин делит их на надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные.

Надмерзлотные воды приурочены к деятельному слою или таликам. Питание их осуществляется за счет атмосферных осадков, поверхностных вод и притока воды из нижележащих водоносных горизонтов. В теплый период эти воды не обладают напором, но при наступлении морозов почвы и грунт, промерзая, сдавливают водоносный горизонт. Прорываясь на поверхность, вода быстро замерзает, образуя наледь. Зимой надмерзлотные воды промерзают частично или полностью. Мощность водоносного горизонта меньше или соответствует мощности деятельного слоя. Надмерзлотные воды играют незначительную роль в водоснабжении. Они используются лишь в теплый период времени для местных нужд (водоснабжение деревень, поселков, мелких промышленных предприятий).

Межмерзлотные воды залегают в мерзлотном слое пород в виде линз, пластов или приурочены к трещинам, обладают напором и при вскрытии иногда фонтанируют. Высота выброса водяного столба достигает 15 м. Сезонные колебания температур никакого влияния на этот тип воды не оказывают. Так как они располагаются в мерзлотном слое пород, температура их наиболее низкая. Для пресных вод она близка к 0, для минерализованных — ниже нуля, иногда до -36°C (переохлажденные воды). Как отмечает Н. И. Толстихин, такие воды остаются в жидком состоянии благодаря высокой концентрации солей. Наличие и циркуляция в породах переохлажденных вод могут служить одной из причин промерзания этих пород.

Подмерзлотные воды залегают ниже толщи многолетней мерзлоты, на глубине от нескольких метров на юге до 600 м на севере. Они мало отличаются от подземных вод, распространенных вне зоны многолетней мерзлоты. Питание их осуществляется за счет инфильтрации надмерзлотных и межмерзлотных вод. Область разгрузки подмерзлотных вод служат озера, русла рек. Минерализация вод незначительная, но встречаются и высокоминерализованные воды с концентрацией солей до 190 г/л. Температура их на контакте с мерзлотой от -2 до -10°C . Такие воды обнаружены на Арктических островах. Подмерзлотные воды благодаря напору, довольно устойчивому режиму и высоким запасам наиболее благоприятны для эксплуатации.

Подземные воды области многолетней мерзлоты отличаются малой подвижностью и слабо участвуют в круговороте воды в природе. В ископаемых льдах встречаются находки хорошо сохранившихся туш мамонтов и других животных, живших в недалеком геологическом прошлом.

Условия многолетней мерзлоты сдерживают темп освоения природных богатств Сибири и Дальнего Востока. Основной помехой являются талики и наледи, вызывающие разрушение инженерных сооружений. В нашей стране уделяется огромное внимание вопросам инженерного строительства в условиях многолетней мерзлоты. Уже сейчас решены проблемы строительства мощных гидроэлектростанций (Братская, Усть-Илимская и др.), строительства городов с многоэтажными зданиями (Норильск). Решаются вопросы строительства автомобильных и железных дорог.

Разрушительная работа подземных вод. Подземные воды выполняют определенную геологическую работу. Они растворяют горные породы, подмывают склоны, переносят растворенные вещества из одних участков земной коры в другие и отлагают их в порах и пустотах горных пород. Наиболее распространены карстовые и суффозионные процессы.

Карст. Слово «карст» заимствовано от названия известнякового плато Карст, расположенного на берегу Адриатического моря в северо-западной части Югославии. Карстовые процессы развиваются в растворимых горных породах (каменная соль, известняки, доломиты, гипс, мел) и связаны с химическим их растворением. В процессе растворения в породах образуются различной формы пустоты, получившие название *карстовых*. Благоприятствуют развитию карста трещиноватость пород, понижения в рельефе местности, большое количество атмосферных осадков. Скорость растворения зависит и от минерализации воды, ее температуры. Пресные воды обладают меньшей растворяющей способностью, чем воды минерализованные. В химически чистой воде растворяется всего 11,5 мг/л углекислого кальция, при содержании в водах 2, 4 мг/л CO_2 растворяется 102 мг/л, при 25 мг/л углекислого кальция — 227 мг/л CO_2 . По мере растворения пород трещины расширяются, в массивах пород возникают пустоты, а на поверхности земли появляются различной формы понижения.

Различают карст *наземный*, или *открытый*, и карст *подземный*, или *закрытый* (рис. 53). В образовании наземного карста принимают участие как подземные, так и поверхностные воды. Под влиянием размывающего и выщелачивающего действия поверхностных вод на поверхности образуются канавы или борозды, разделенные гребнями. Понижения между гребнями называются *каррами*, их глубина от нескольких сантиметров до 2 м, а иногда и более. При разработке трещин на глубину воды образуют в породах кольцевого сечения колодцы, или *поноры*, поглощающие воду и отводящие ее в глубину карстового массива. Поноры бывают вертикальными и наклонными. Со временем вода расширяет у поверхности выходное отверстие понора и превращает его в *карстовую воронку*. Карстовые воронки — наиболее распространенные формы карстового рельефа, их диаметр колеблется от долей метра до 50 м (редко до 300 м), глубина от единиц до 15—20 м. На закарстованной площади на 1 км² поверхности иногда приходится до 80 карстовых воронок и более.

Поверхностные воды намывают в карстовые пустоты песок, глину и постепенно заполняют ими кольцевой канал. На месте карстовых воронок со временем могут образоваться *карстовые озера*. Многочисленные карстовые понижения, сливаясь между собой, образуют крупные и довольно глубокие карстовые котловины, называемые *полями*. Поля занимают десятки и сотни квадратных километров. Площадь крупнейшего из них 379 км² (Ливаньско поле в Югославии).

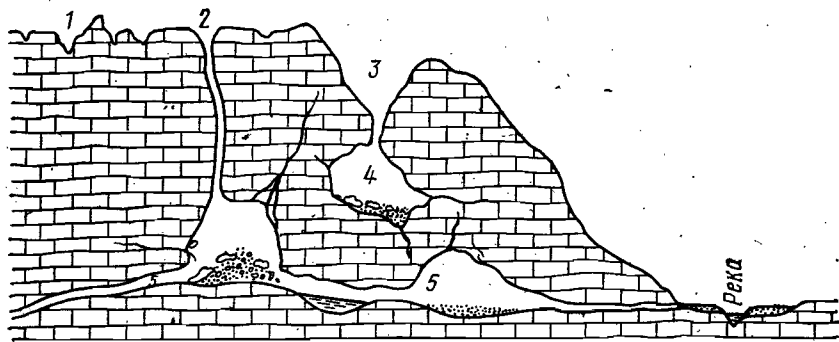


Рис. 53. Схематическое изображение форм карста:

1 — карры, 2 — понор, 3 — карстовая воронка, 4 — карстовая полость, 5 — пещера

Подземный карст является продолжением наземного. Нижняя граница его распространения определяется абсолютной отметкой места выхода подземных вод на поверхность. Глубина распространения подземного карста на равнинах достигает десятков метров, в горных районах — сотен и тысяч метров. К формам подземного карста относятся карстовые полости и карстовые пещеры. *Карстовые полости* — неправильной формы пустоты, образующиеся в результате подземного выщелачивания легкорастворимых пород. В Гуковском и Шахтинском районах Донбасса горными работами были вскрыты подземные пустоты высотой до 6 м, шириной 9—30 м, длиной — десятки метров. Кровля карстовой полости может обрушиться, и тогда на поверхности Земли образуется провальная воронка. В июле 1972 г. посредине деревни Расстригино Владимирской области образовалась провальная воронка, в которую опустился до самой крыши одноэтажный дом. На участке провала буровыми скважинами были вскрыты два этажа карстовых полостей, заполненных обломками известняка и гипса. Подобным образом возник провал на горе Машук в районе Пятигорска.

Наиболее распространенной формой подземного карста являются *карстовые пещеры* — сложнопереплетающиеся пустоты линейно вытянутой формы. В их образовании принимают участие карстовые воды и подземные реки. В пещерах наряду с растворением

имеет место и механический размыв горных пород. Они имеют вид ходов или туннелей, то сужающихся до узких расщелин, то расширяющихся до просторных залов.

В местах расширения пещер водооток нередко образует подземные озера, длина которых может достигать 200 м и более. В Красной пещере в Крыму длина озер в подземных залах 100—150 м. В этой же пещере имеются водопады высотой до 15 м.

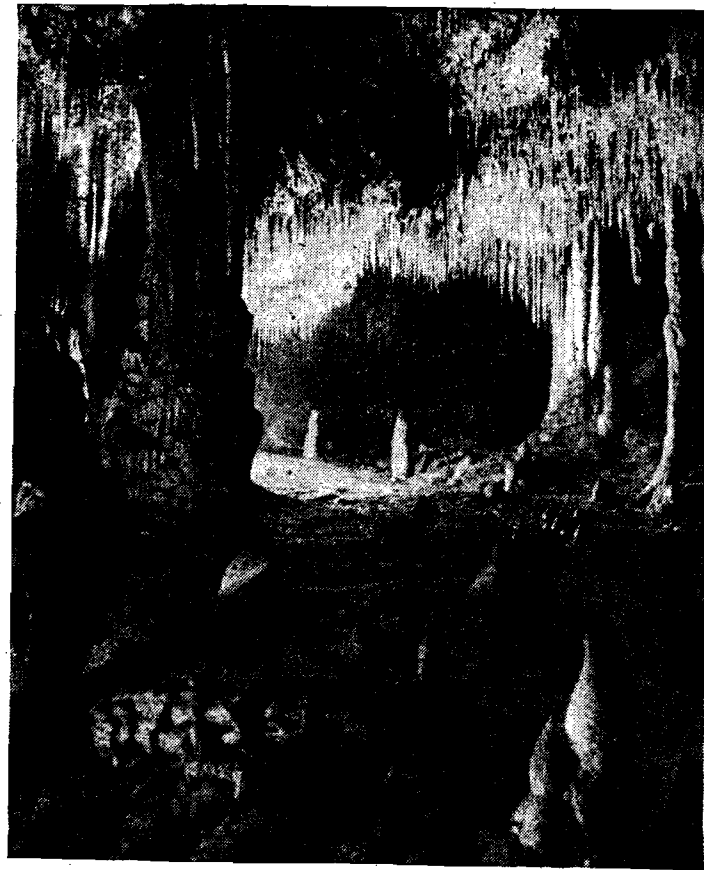


Рис. 54. Сталактиты и сталагмиты (по М. Ф. Ивановой, 1974)

Самое крупное в СССР подземное озеро расположено в Кунгурской пещере (Урал). Площадь его 1300 м². Протяженность пещер — десятки и сотни километров, глубина — до тысячи метров и более. Наиболее длинной считается Мамонтова пещера (США), ее протяженность 252,5 км, в СССР самая длинная Оптимистическая пещера на Украине — 109,3 км. Самая глубокая пещера Берже (Франция) — 1171 м. В СССР наиболее глубокой считается

пещера Килси в Узбекистане, ее глубина 1030 м. Пещеры иногда образуют несколько этажей. Большое количество пещер выявлено в США — около 11 тыс., в Италии — 8379, Югославии — 5300.

Подземные воды, проникая в пещеры, стекают по их стенкам. Содержащиеся в них минеральные вещества при испарении воды кристаллизуются, образуя натёчные формы кальцита, гипса, галита. Натёчные формы имеют вид сосулек, почковидных образований, колонн, бахромы и т. д. Наиболее распространенными из них являются *сталактиты* и *сталагмиты* (рис. 54). Сталактит — минеральное натечное образование, в виде сосульки нарастающее на потолках пещеры сверху вниз. Сталагмит — натёчное образование, возникающее на дне пещер при испарении капающей сверху минерализованной воды. Натёчные минеральные образования пещер состоят из минералов, слагающих окружающие породы: арагонита, кальцита, гипса, галита, иногда льда.

Натёчные образования из льда встречаются в пещерах, расположенных в области многолетней мерзлоты, где окружающие породы имеют температуру ниже 0°C. Примером такой пещеры может служить Кунгурская пещера на Урале (рис. 55).

Суффозия. Процесс выщелачивания солей (хлоридных, карбонатных и др.) из почвы и вымывания из горных пород глинистых частиц и тонкопесчаного материала, сопровождающийся образованием провалов, называется *суффозией* (лат. *suffosio* — подкапывание). В результате вымывания могут возникнуть воронкообразные понижения рельефа — *суффозионный карст*. Суффозия активно проявляется в период выпадения дождей в местах, где большая скорость фильтрации вод сопровождается растворением минералов. Действуя на песчаники с легкорастворимым цементом, подземные воды вначале выносят цемент, а затем механически выносят обломки. Подземные воды влияют на физические свойства рыхлых пород. Глины разбухают и увеличиваются в объеме, тонкие пески при водонасыщении превращаются в *пльвуны*. Пльвуны обладают высокой текучестью, поэтому они создают трудности при бурении скважин и проходке горных выработок, вызывают их затопление. Если пльвун уходит в трещины, на его месте возникают пустоты, следовательно, создаются условия для просадки.

Оползни. Отрыв и смещение вдоль крутых склонов значительных масс горных пород под влиянием силы тяжести называются *оползнями*. Причинами оползней могут быть избыточное увлажнение горных пород дождевыми или тальными водами, подмыв берега морским прибоем, техногенная деятельность человека.

Строительство вблизи склонов инженерно-технических сооружений утяжеляет склоны и способствует их оползанию. Вода, проникая в горные породы, нередко изменяет структуру грунтов, способствует уменьшению силы сцепления между частицами. Это также может привести к нарушению равновесия залегания пород. Сдвигающие усилия, преодолевая сопротивление сил сцепления, приводят массив в движение. Явными признаками начала образования оползня являются трещины вдоль склонов, искривление де-

ревьев («пьяный лес»). Движение оползней ускоряют толчки, возникающие при движении поездов, взрывы и особенно землетрясения.

Скорость перемещения пород может быть различной. Иногда оползающая масса пород сползает месяцами и даже годами, а иногда смещение происходит в течение нескольких часов или минут. Быстрое смещение оползней неоднократно наблюдалось на берегах Волги и Черного моря. В районе Волгограда в 1941 г. оползень массой в 150 тыс. м³ переместился в Волгу в течение 30—40 мин.

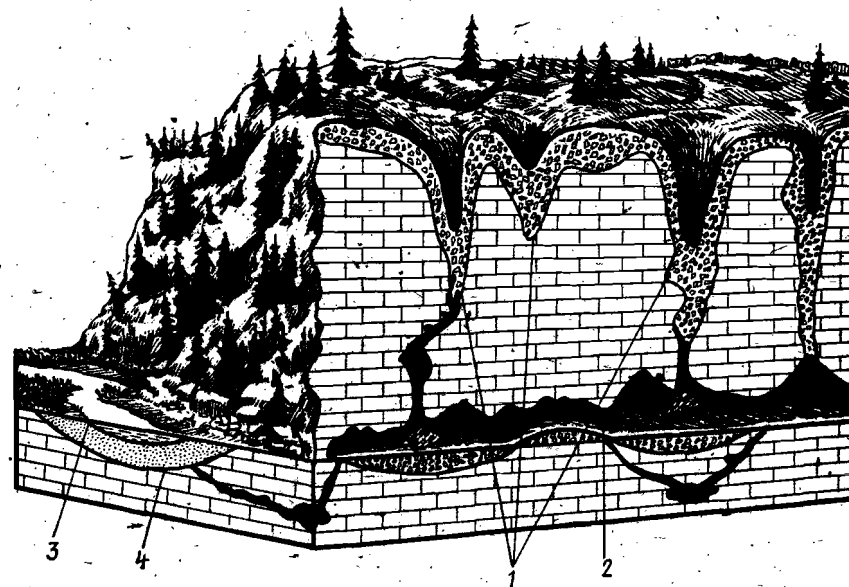


Рис. 55. Схема Кунгурской пещеры:

1 — карстовые воронки, 2 — карстовая пещера, 3 — река, 4 — область питания реки карстовыми водами

Оползшую массу пород называют *оползевым телом* (рис. 56), поверхность скольжения — *плоскостью скольжения*. Крутизна плоскости скольжения бывает до 45° и более (у подводных оползней 5° и более). Верхняя часть оползневого тела (*голова оползня*) обращена к склону, она оканчивается *оползневой ступенью*. Нижняя часть, обращенная к подножию склона, называется *языком оползня*. Плоскостей скольжения может быть несколько, поэтому различают оползни *однорусные* (одна плоскость скольжения) и *многорусные* (несколько плоскостей скольжения). Поверхность скольжения обычно совпадает с поверхностью водоупора или нижней границей трещиноватости пород. Смещение грунта может происходить блоками (*блоковые оползни*) или в виде потоков — *оплывин*. Последние образуются при сильном размягчении дождевыми или

талыми водами пластичных песчано-глинистых пород. Мощность оплывающего слоя небольшая — до 1 м.

Оползни наносят большой вред. Так, в 1955 г. в районе Ульяновска оползень площадью 1 км² захватил нижнюю часть города, разрушил много домов, деревянный мост, разорвал полотно железной дороги. Много неприятностей доставляют и Черноморские оползни. В районе г. Сочи перед началом Великой Отечественной войны оползень сместил в море сотни тысяч кубических метров береговых пород. Благодаря своевременно принятым мерам дальнейшее оползание их было прекращено. Иногда оползни имеют катастрофические размеры. В 1963 г. в Неаполе в результате ливневых дождей произошел оползень, подмявший под себя три деревни и погубивший 150 человеческих жизней.

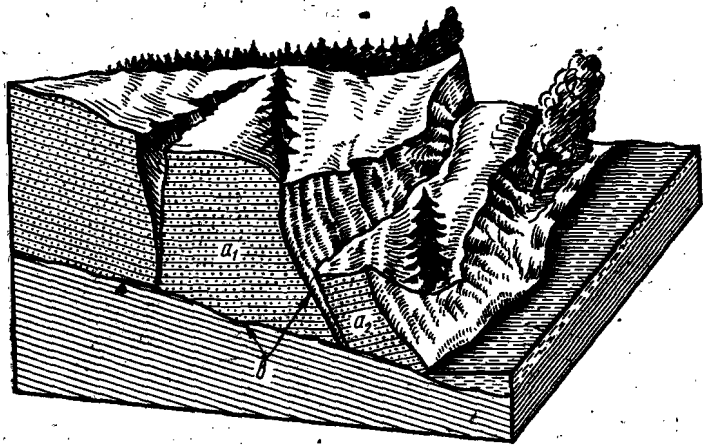


Рис. 56. Оползень многоярусный:
a₁, a₂ — оползневые террасы, a — плоскости скольжения

На территории СССР оползневые явления развиты на берегах Волги, Оки, Дона, Днепра, Черного моря и в других районах. С оползневыми явлениями в нашей стране ведется планомерная борьба. На морских берегах, например, строят волнорезы, сдерживающие ударную силу волн, закладывают каналы, отводящие дождевые воды, проводят горные выработки, преграждающие путь подземным водам, строят берегозащитные сооружения. Изучением оползней занимаются специальные станции, создаваемые в оползнеопасных районах.

Перенос и отложение осадков. Подземные воды растворяют и переносят минеральное вещество из одних участков земной коры в другие. Часть вещества переносится во взвешенном состоянии. Растворы содержат соединения калия, кальция, натрия, магния, железа, кремния, меди, свинца, цинка и др. Из растворов высокой

концентрации часть солей выпадает в осадок. Они заполняют поры, пустоты, трещины горных пород. При заполнении минеральным веществом пор происходит цементация горной породы. В результате пески превращаются в песчаники, галька — в конгломерат, щебень — в брекчию. Цементирующими веществами чаще являются кальцит, гипс, глинистые минералы.

Растворы, несущие соединения железа или кремния, вызывают ожелезнение или окремнение пород. Ожелезнению и окремнению чаще подвергаются высокопористые породы (известняки и др.). При этом свойства первоначальной породы меняются. При ожелезнении изменяется окраска (породы приобретают желтый или бурый оттенок), при окварцевании повышается твердость.

В процессе цементации формируются месторождения таких полезных ископаемых, как железо, марганец, медь, уран, радий и др. При заполнении минеральным веществом трещин образуются небольшой мощности кальцитовые, гипсовые жилки и жильные тела. Высокоминерализованные растворы в местах выхода на дневную поверхность откладывают различные минеральные соединения. На Кавказе, например, углекислые воды, стекая по скальным породам, отлагают на них пористый кальцит. Затвердевая, он образует светло- или желтовато-серого цвета породу — травертин, или известковый туф. Травертин отличается высокой прочностью и легкостью. Он используется в качестве строительного или декоративного камня.

Геологические результаты и народнохозяйственное значение подземных вод. Подземные воды принимают широкое участие в перераспределении вещества земной коры. Особенно велика в этом роль инфильтрационных вод. С их помощью растворенное в породах минеральное вещество переносится из одних участков земной коры в другие. В местах выщелачивания и вымывания в породах остаются пустоты, возникают провалы, изменяется рельеф местности. На пути движения минеральных растворов идет цементация горных пород, изменяются их физические свойства (происходит ожелезнение, окварцевание и др.), образуются месторождения полезных ископаемых. Так образовались некоторые виды песчаников и конгломератов, некоторые месторождения железа (Алапаевское, Средний Урал), медистых песчаников (Приуралье, СССР; Боливия), урана (штат Колорадо, США) и др.

Минерализация подземных вод происходит лишь в тех районах, где распространены растворимые породы. Среди труднорастворимых пород подземные воды остаются пресными или минерализуются в незначительной степени. При накоплении пресных вод в пористых породах образуются месторождения питьевых вод.

Подземные воды имеют огромное народнохозяйственное значение. Достаточно сказать, что почти $\frac{2}{3}$ всех водохозяйственных нужд в сельском хозяйстве покрывается за их счет. Особенно велика роль подземных вод в снабжении населения земного шара питьевой водой и удовлетворении различного рода бытовых нужд людей. Значительная часть воды используется в промышленности.

Для восстановления и укрепления здоровья людей широко применяются минеральные подземные воды, обладающие бальнеологическими (лечебными) свойствами. На базе лечебных сероводородных, метановых, углекислых и радоновых вод действуют курорты в Крыму, Карпатах, в Прибалтике, на Кавказе, в Западной Сибири, на Камчатке и других районах Советского Союза. Немалое значение в народном хозяйстве имеют термальные воды, служащие источником тепловой энергии. Термальные воды используются для отопления городов (Камчатка, Западная Сибирь, Дальний Восток), в теплицах. На базе месторождений термальных вод строятся геотермические электростанции. Такие электростанции работают на Камчатке (СССР), в Исландии, Италии.

Расход подземных вод постоянно растет. Чрезмерная эксплуатация подземных вод приводит к их истощению. В целях предотвращения истощения подземных вод в Советском Союзе в декабре 1970 г. принят закон «Основы водного законодательства Союза ССР». Более подробно вопросы охраны подземных вод рассматриваются в последней главе настоящего курса.

Одновременно с положительной ролью в жизни людей подземные воды вызывают и отрицательные явления. К их числу относятся карст, суффозия, оползни. Они создают угрозу обрушения жилых зданий, промышленных сооружений, шоссейных и железных дорог. В связи с этим в районах строительства предусматривается проведение тщательных инженерно-геологических изысканий по выявлению подземного карста. В местах, опасных с точки зрения образования оползней, проводится комплекс мероприятий, направленных на укрепление склонов.

Глава XVI

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЛЕДНИКОВ

Ледники — это огромные массы природного движущегося льда, образующиеся в процессе накопления и последующего преобразования твердых атмосферных осадков. Ледники занимают 11% (16,2 млн. км²) поверхности суши; 98,5% этой площади приходится на ледники Антарктиды, Гренландии и островов Северного Ледовитого океана, и только 1,5% остается на долю горных и близких к ним по географическому положению ледников. Наука, изучающая ледники, называется *гляциологией* (лат. *glacies* — лед). Гляциология изучает условия образования ледников, их режим, границы распространения. Ледники при движении производят определенную геологическую работу: разрушают горные породы, перемещают обломки и откладывают их в местах таяния льда.

Происхождение ледников и их режим. Необходимые условия для образования ледников — холодный климат и твердые, атмосферные осадки. В условиях холодного климата происходит посте-

пенное накопление снежного покрова, так как количество выпадающих в этих районах твердых атмосферных осадков преобладает над количеством стаяющего снега. Граница, выше которой снег накапливается и не стает в течение длительного времени, получила название *снеговой линии* или *снеговой границы* (рис. 57). Ниже этой границы снег сохраняется только в холодный период года и исчезает в теплый.

На разных географических широтах снеговая граница проходит на разных высотных отметках. В Антарктиде она совпадает с уровнем моря, в сторону экватора высота ее постепенно повы-



Рис. 57. Северный склон Эльбруса (Кавказ):
а — снеговая линия

шается. От экватора к Северному полюсу высота снеговой линии вновь понижается. Наибольшей высоты снеговая граница достигает в Гималаях — 6000 м. На Кавказе она находится на высоте 2700—3800 м, на Северном Урале — 500—1000, на Новой Земле — 300—600 м. Высота снеговой границы зависит и от экспозиции склонов. Например, на островах Северной Земли высота снеговой границы на севере 100 м, на юге — 450 м.

Выше снеговой границы снег распределяется неравномерно. В горных районах склоны, обращенные навстречу господствующим ветрам, почти лишены снега. На склонах, защищенных от ветра, снег накапливается в больших количествах. Снежные массы под

воздействием силы тяжести часто срываются со склона и скатываются вниз. Это *снежные лавины*. Они увлекают горные породы, срезают со склонов лесные массивы, вызывают огромные разрушения. Снежные лавины доставляют людям много неприятностей — разрушают дома, уносят человеческие жизни. В 1956 г. в одном из районов Высоких Татр (Чехословакия) снежная лавина снесла 40 га леса. Грандиозный снежный обвал произошел в 1962 г. в Перу. С горы Уаскаран в долину Санта устремилась снежная лавина, уничтожившая девять населенных пунктов и унесшая 4000 человеческих жизней. На территории СССР снежные лавины наблюдаются в Хибинах, на Кавказе, Алтае и в ряде других районов.

В понижениях, расположенных выше снеговой границы, снег может накапливаться из года в год. В результате возрастает его мощность. Под влиянием давления вышележащих слоев снега, поверхностного таяния и вторичного замерзания просочившейся в глубину воды снег превращается в зернистый лед — *фирн* (нем. *firn* — прошлогодний, старый). Размеры фирновых зерен колеблются от 1 до 5 мм. Мощность фирнового слоя колеблется от десятков сантиметров до 100 м и более. В основании фирнового слоя под влиянием давления кристаллические зерна сливаются друг с другом и превращаются в сплошной *глетчерный лед* (нем. *gletscher* — лед). На образование 1 м³ глетчерного льда расходуется около 11 м³ снега. Область, где происходит преобразование снега в лед, называется *областью питания*.

Лед, обладающий пластичностью, под действием гравитационных сил растекается в стороны или спускается со склонов в виде вытянутых языков. Скорость движения льда зависит от его массы. Чем больше масса ледника, тем больше скорость его течения. Гренландский ледник, обладающий огромной массой, за сутки продвигается на 5—20 м. Антарктический — на большее расстояние (до 40 м). Скорость движения ледников периодически меняется. В. Г. Ходаков приводит интересные данные о небольшом памирском леднике Медвежьем, примыкающем с запада к леднику Федченко. Площадь ледника 25 км², длина языка 8 км, перепад высот между фирновым бассейном и концом ледника около 2500 м. В 1963 г. он неожиданно начал быстро наступать (скорость увеличилась с 50 до 100 м/сут). За месяц с небольшим ледник удлинился на 2 км и достиг окраины поселка геологов, подпрудил две реки, вызвав наводнение. Через пять месяцев ледник остановился. По мнению В. Г. Ходакова, ледник увеличил свою длину за счет уменьшения мощности льда.

Область, по которой происходит движение ледника, называют *областью стока*. Если ледниковые потоки (*языки*) спускаются ниже снеговой границы, они начинают таять. Ледниковые воды питают горные реки. Если количество тающего льда равно количеству льда, поступающего из области питания, границы ледника остаются более или менее стабильными и положение ледника считается *стационарным*. Если лед не успевает стаять и границы

его расширяются, *ледник наступает*. При сокращении границ ледника происходит его *отступление*.

Неровности рельефа и изменение скорости движения ледника вызывают образование на его поверхности *трещин*. Трещины бывают продольными, поперечными и диагональными. Продольные трещины появляются при растекании льда в стороны, продольные и диагональные — при неодинаковой скорости движения ледника в различных его участках. Неровности и перепады поверхности ледникового ложа вызывают образование поперечных трещин. Глубина трещин достигает десятков, а иногда и сотен метров. В местах образования трещин поверхность ледника становится неровной, появляются уступы, которые исчезают при выравнивании ложа ледника.

Типы ледников. В зависимости от условий образования ледников, их формы, размеров, а также соотношения областей питания и стока выделяют ледники покровные, или материковые, горные и промежуточные.

Покровные ледники отличаются большим площадным распространением (до нескольких миллионов квадратных километров), выпуклой щитовидной формой, большой мощностью, совмещением области питания и области стока, радиальным течением льда (от центра к краям материка). К покровным относят ледники Антарктиды, Гренландии, островов Северного Ледовитого океана (Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Северная Земля и др.). Самый крупный из них — ледник Антарктиды. Это гигантский ледниковый щит площадью 13,9 млн. км². Средняя мощность его 2000 м, максимальная — 4335 м (равнина Бэрда в Западной Антарктиде). Геофизическими исследованиями установлено, что ложе ледника имеет сложный рельеф, горные цепи сочетаются с равнинами и островами. Отдельные вершины гор (в том числе и вулканических) выступают из-под ледникового покрова. Ледник Восточной Антарктиды залегает на высоте 2 тыс. м. На западе ледниками заняты острова морей Росса и Уэдделла.

Высотные отметки поверхности в центральной части ледника 2700—4100. Ледниковый щит сверху покрыт слоем фирнового льда и снега мощностью 100—200 м. Лед движется от центра к береговому обрыву и опускается на дно моря, покрывая значительные участки шельфа (шельфовые ледники). При погружении в море от края ледника отделяются огромные ледяные поля протяженностью до 167 км и высотой до 500 м и более. Эти огромные плавающие острова называют *айсбергами* (рис. 58). Самый большой айсберг был встречен в Атлантическом океане вблизи берегов Гренландии. Его длина достигала 565 км, высота над водой 87 м, под водой — 500 м. Подхватываемые морскими течениями айсберги плывут в направлении экватора и там медленно тают. Айсберги существуют до десяти лет. В них сосредоточены колоссальные запасы пресной воды. Предполагается, что в будущем они будут использоваться для водоснабжения слабосводенных районов.

Вторым по величине ледником мира является ледник Гренландии, покрывающий почти весь остров. Площадь ледникового щита 1,87 млн. км². Лед отсутствует только в береговой полосе острова шириной около 300 км. Проникновению льда к берегу мешают горы. Только отдельные ледниковые потоки спускаются через перевалы к морю. Мощность ледника в центральной части достигает 3408 м при абсолютной высоте поверхности 3157 м.

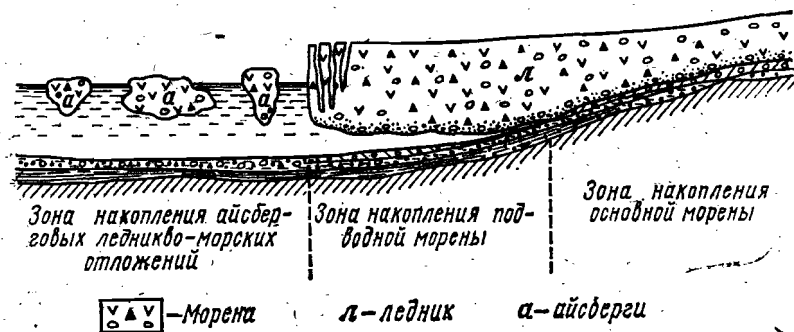


Рис. 58. Схема образования айсбергов



Рис. 59. Участок материкового ледника Новой Земли, спускающегося в залив Откупщикова Баренцева моря

Ледниковый щит Новой Земли меньшей мощности (700 м). В западной части архипелага к морю спускаются 25 ледниковых потоков (рис. 59). Площадь ледника ежегодно сокращается на 430 км².

Архипелаг Земли Франца-Иосифа состоит из 150 островов, покрытых разобщенными ледниками; мощность ледников 100—500 м. На Северной Земле обнаружено 22 ледниковых купола мощностью 500 м, площадью от десяти до 5000 км². На Новосибирских островах ледники отсутствуют.

Горные ледники значительно меньших размеров. Так, 120 разобщенных ледников Северного Урала занимают всего 7 км². Площадь наиболее крупных горных ледников превышает 1 тыс. км². Форма ледников разнообразна и нередко сложна. Одни имеют изометрическую в плане форму, другие линейно вытянутую. Некоторые ледники имеют многочисленные ответвления. У горных ледников область питания разобщена с областью стока. В зависимости от формы и режима различают два основных типа горных ледников — каровые и долинные. *Каровые ледники* (пиренейский тип) формируются в чашеобразных углублениях на склонах гор (рис. 60). Отличаются незначительными размерами; большинство каровых ледников сложено исключительно фирновым льдом. При обилии снеговых осадков кары переполняются льдом. На крутых горных склонах ледник нависает над карнизом. Это так называемый *висячий ледник*. Висячие ледники периодически обрываются и падают вниз. Глыбы упавшего льда сливаются и образуют новый *возрожденный ледник*. Каровые и висячие ледники известны в горах Забайкалья, Алтая, Урала, Северо-Восточной Сибири (хребты Верхоянский, Черского и др.).

Долинные ледники распространены по долинам горных рек (см. рис. 60). Питаются они из фирнового бассейна, расположенного в котловине или горной впадине. Из области питания ледник сползает одним или несколькими ледниковыми потоками. Чем обильнее питание, тем длиннее ледниковый поток. Крупнейшими в мире считаются долинные ледники Памира (ледник Федченко длиной 77 км, ширина языка 2—5 км, площадь около 1000 км²) и Гималаев (ледник Сиачен длиной 75 км, площадь 1180 км²). Эти ледники имеют сложное строение. В ледник Федченко, например, впадает система ледниковых притоков. Основное русло расположено в продольной долине, а притоки выходят из поперечных долин. Древовидную форму имеют ледники Тянь-Шаня (Иныльчек), ледники Альп, Гималаев.

Встречаются также переметные и звездобразные ледники. *Звездобразную форму* имеют ледники Эльбруса, Казбека (СССР),

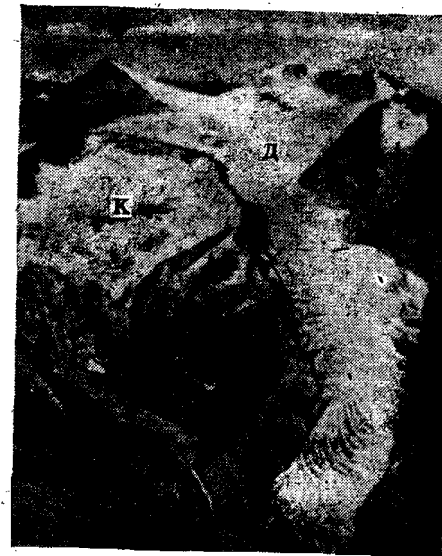


Рис. 60. Долинный ледник с фирновым бассейном (Д). К — каровый ледник. Береговой хребет провинции Британская Колумбия (Канада)

Жилиманджаро (Африка). Высочайшая вершина Кавказа Эльбрус (высота 5642 м) на площади 144 км² покрыта ледниковой шапкой мощностью 60—110 м, от которой в разные стороны сползают ледниковые потоки. *Переметные ледники* имеют общий фирновый бассейн и два ледниковых потока, спускающихся по противоположным склонам горы.

Горные ледники распределены на земном шаре неравномерно. Около половины их сосредоточено в Азии, вокруг Тибетского нагорья. Имеются ледники в Южной и Северной Америке. В Советском Союзе ледники встречаются в Хибинах, на Кавказе, Урале, в горных районах Сибири и Дальнего Востока. Наибольших размеров горное оледенение в горах Тянь-Шаня и Памира.

Промежуточные ледники сходны и с покровными и с горными ледниками. Их делят на ледники плоскогорий и ледники предгорных областей. *Ледники плоскогорий* известны в Скандинавии. Крупнейший из них — ледник Южной Норвегии Юстедаль. Он состоит из ледникового щита и ряда долинных ледников, спускающихся от него в разные стороны. Общая площадь ледникового массива 943 км². Обилие снега в горах способствует широкому распространению ледников. Спускаясь с гор, они растекаются в области предгорий. Такие ледники называют *предгорными*. Они характерны для Анд (Южная Америка), где общая площадь оледенения составляет 25 000 км², и Аляски — 52 000 км². На Аляске мощное оледенение покрывает склоны гор и предгорные равнины. Крупнейший ледяной чехол — ледник Маляспина расположен в районе залива Якутат. Его площадь 3800 км². Отдельные долинныя языки Аляски непосредственно спускаются к морю, погружаются под воду и дают начало айсбергам. В океанский залив спускается и крупнейший ледник мира Хаобард длиной 146 км и шириной 16 км.

Разрушительная работа снега и льда. Огромные массы снега, накапливающиеся на склонах гор, обрушиваясь, вызывают снежные обвалы или снежные лавины. Скорость падения лавин достигает ста, а иногда и более километров в час. Снежные лавины увлекают встречающиеся на их пути камни и груды обломков и несут их к подножию склонов.

Крупные разрушения производят ледники. Они срезают скалы, перемещают впаивные в лед обломки горных пород. Движению ледника способствует вода, находящаяся у его подошвы и действующая как смазочный материал. Под тяжестью ледника сглаживаются неровности рельефа ложа, в рыхлых породах выпавиваются углубления, называемые *ваннами выпавивания*. Разрушительную работу льда называют *экзарацией* (выпахиванием) или *ледниковой эрозией*.

Размеры разрушений зависят от давления, оказываемого ледником на свое ложе. При мощности льда 100 м давление на 1 м² основания достигает 100 т, с увеличением мощности возрастает и давление. Разрушение усиливается, если в основание ледника впаиваются обломки твердых горных пород. Они царапают и полируют

встречающиеся на пути скальные породы. Глубина царапин, или *шрамов*, измеряется миллиметрами, ширина, — сантиметрами, длина — метрами. По положению шрамов в пространстве определяют направление движения ледника. Встречающиеся на пути скалы ледник сглаживает, придает им округлую, караваеобразную или вытянутую форму. Одиночные сглаженные скалы называют *бараньими лбами* (рис. 61), а группу таких же, но более мелких выступов, чередующихся с углублениями, — *курчавыми скалами*.



Рис. 61. Бараний лоб с ледниковыми шрамами

В горных районах на месте фирновых бассейнов, питающих ледники, образуются чашеобразные котловины — *цирки* и ложкообразные углубления на склонах гор — *кары*. Их развитию способствует морозное выветривание горных пород. Движущийся лед выносит из углублений продукты выветривания.

Неотъемлемой частью ледникового рельефа в горах являются *троговые долины* (нем. *trog* — корыто), по которым спускались ледники (рис. 62). Склоны и дно таких долин несут следы ледниковой обработки в виде бараньих лбов, курчавых скал, ванн выпавивания. Поперек долин располагаются сглаженные скальные ступы — *ригели* (нем. *rigel*, — преграда).

Ледниковый рельеф характерен для Альп, Гималаев, Кавказа и других горных районов, а также для севера СССР, Канады, где в четвертичное время было оледенение. Троговые долины установлены и на дне моря — в шельфовой зоне Антарктиды.

Транспортирующая деятельность ледников. Ледник переносит обломки горных пород. Обломки горных пород, впаивные в тело ледника, называют *мореной* (фр. *moraine* — отложения, накоплен-

ные глетчерными льдами). Морены бывают *движущимися* и *неподвижными*. В зависимости от положения в теле ледника движущую морену подразделяют на поверхностную, внутреннюю, донную и конечную (рис. 63). *Поверхностная морена* находится на поверхности ледника. Она может быть *боковой* (расположена по краям ледника) и *срединной*, образующейся при слиянии нескольких ледников. Поверхностная морена при таянии льда перемещается внутрь ледника и становится *внутренней мореной*. Последняя

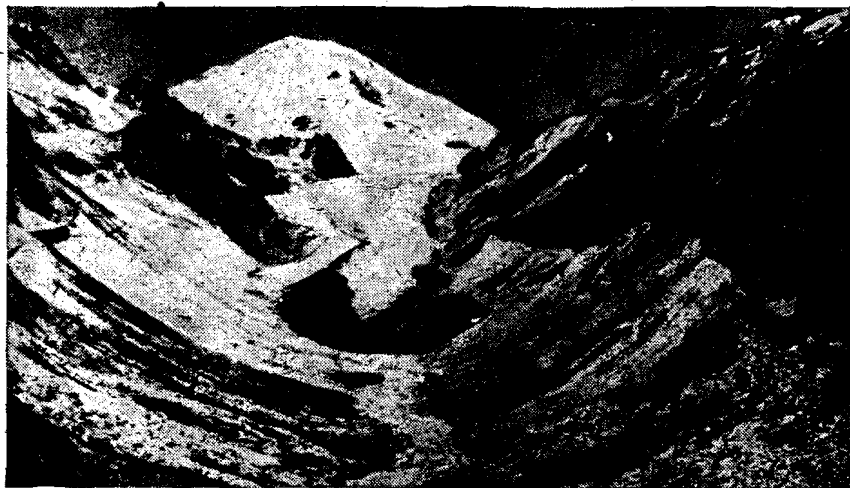


Рис. 62. Троговая долина, оставленная ледником Ирик, спускающимся с горы Эльбрус (фото Ю. Ф. Книжников).

образуется и при обрушении поверхностных морен в трещины ледника. Обломки, вмёрзшие в основание ледника, составляют *донную морену*. При движении обломки морены истираются, превращаясь в порошок, а наиболее твердые из них сглаживаются, окатываются, покрываются царапинами, превращаясь в гальку или валуны.

Ледниковые отложения. При таянии ледников движущаяся морена постепенно опускается и отлагается на ледниковом ложе. Так возникает неподвижная морена. Выделяют *основные* и *конечные* неподвижные морены. В состав основной морены входят слившиеся донная, срединная и внутренняя морены. Залегают они в виде *моренных гряд*, вытянутых в направлении движения ледника. Основная морена состоит из тонкого мелкообломочного материала (глин, суглинков, песков) с включением и более крупных обломков: гравия, гальки, щебня, валунов. Основная морена отличается несортированностью материала. Аналогичный состав имеет и конечная морена, которая четко выделяется среди других типов морен вытянутостью вдоль края ледника, у границы его распро-

странения. Каменные гряды конечных морен имеют высоту до 30—40 м. Если на пути движения ледника встречается несколько таких гряд, то это означает, что ледник отступал с остановками.

К формам ледникового рельефа относятся *друмлины* (ирл. друмлин — холм продолговато-овального очертания). Предполагают, что друмлины формируются у препятствий на пути движения ледника, у которых задерживаются моренные отложения. Высота друмлин 5—25 м, протяженность до 2—3, а иногда и до 10 км.

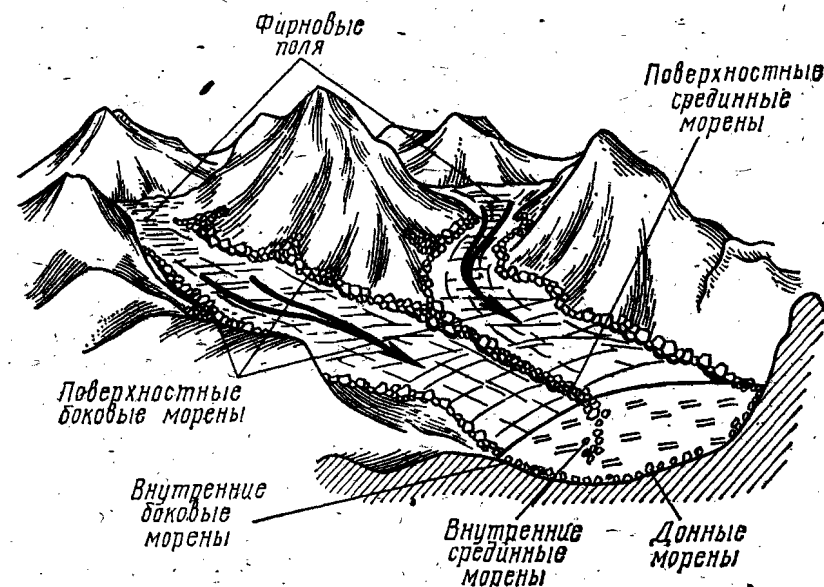


Рис. 63. Положение движущихся морен различных типов

Моренные отложения встречаются в горных районах, широко развиты в Карелии, Прибалтике, Белоруссии (следы четвертичного ледника). Моренные отложения ранних геологических эпох (архея, протерозоя, палеозоя) представлены в геологических разрезах сильно уплотненными, а иногда и метаморфизированными отложениями, в составе которых различаются валуны со шрамами и более млекий моренный материал. Мощность древних морен достигает 180 м. В отличие от современных их называют *тиллитами* (анг. tillit — валунная глина).

Другой вид ледниковых отложений — *флювиогляциальные*, или *водно-ледниковые осадки* (лат. fluvius — поток, glacialis — ледяной), образуются при участии ледниковых вод. Водные потоки, появляющиеся при таянии снега и льда, вымывают и выносят из тела ледника мелкие обломки. Отдельные ручьи, а то и целые реки промывают в толще льда глубокие долины, спускаются по трещинам к днищу ледника, промывают подледные туннели с ледяными

сводами. Выходя за пределы ледника, водные потоки разделяются на множество рукавов, теряющихся в складках местности. Ледниковые воды оставляют осадки, называемые (в отличие от речных) *флювиогляциальными*. Отложения ледниковых вод представлены сортированными и нередко слоистыми глинами, песками, гравием, галькой.

Отложения предледниковых озер отличаются слоистостью, обусловленной чередованием тонких слоев глины и мелкого песка. Каждая пара тонких слоев (слой глины и песка) отлагается в течение года. По их количеству судят о возрасте отложений. Глины такого строения называют *ленточными*. Они встречаются в Прибалтике, Карелии, Ленинградской области.

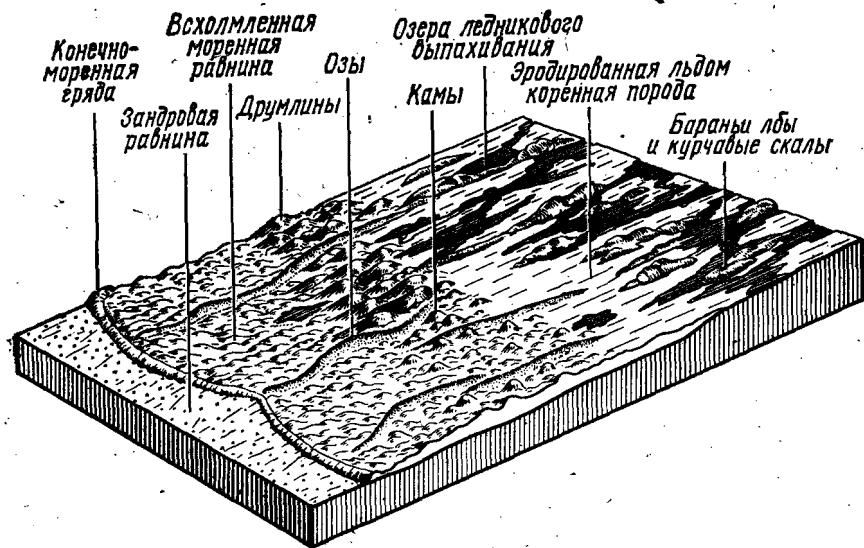


Рис. 64. Схема соотношения ледниковых и водно-ледниковых форм рельефа

К аккумулятивным формам ледникового рельефа относятся озы, камы, зандры (рис. 64).

Озы (швед. *osar* — гряды в виде узких извилистых валов) — вытянутые в направлении движения ледника гряды с волнистыми и узкими гребнями. Ширина их неодинакова, местами они сужаются до такой степени, что становятся прерывистыми и приобретают вид вытянутых в цепочку продолговатых холмов. Длина гряд от нескольких сотен метров до десятков километров, высота от 5 до 50 м и более. Озы состоят из хорошо сортированных косослоистых песков, гравия и галечников. Их происхождение объясняют по-разному. Большинство исследователей придерживаются теории руслового происхождения озв.

Камы (нем. *kamn* — гребень) — песчаные холмы высотой 10—12 м, беспорядочно разбросанные вблизи конечных морен. Холмы

сложены хорошо сортированным песком, переслаиваемым с гравием и глиной. Предполагают, что камы возникли на месте крупных ледяных глыб, на поверхности которых были котловины, заполненные водой. В основании камов залегают валуны. Камы окаймляют конечную морену.

Зандры (дат. *sandur* — песок) — обширные песчаные поля, простирающиеся перед конечными моренами. Поверхность их слегка волнистая. Образованы они слившимися между собой конусами выноса ледниковых потоков, выходящих из-под края ледника. При отступании ледника конусы выноса нарастают, образуется слегка волнистая равнина. Зандры сложены в основном песком, включающим небольшое количество гравия и глины.

Флювиогляциальные отложения встречаются среди современных ледниковых осадков, но особенно широко они распространены в областях четвертичного оледенения. Формы ледникового рельефа развиты в Скандинавии, европейской части СССР, странах северной Европы, Азии и Америки.

Древние оледенения. Следы самого древнего оледенения были обнаружены вначале в Северной Америке в районе Верхних Озер, а затем в Южной Америке и Индии. Возраст этих ледниковых отложений около 2 млрд. лет. Представлены они тиллитами, ленточными глинами. Второе — протерозойское — оледенение (1500 млн. лет назад) выявлено в Экваториальной и Южной Африке и в Австралии. В конце протерозоя (650—620 млн. лет назад) произошло третье, наиболее грандиозное оледенение — *докембрийское*, или *скандинавское*. Следы его встречаются почти на всех материках, начиная от Шпицбергена и Гренландии и кончая экваториальной Африкой и Австралией. В палеозое выявлено два оледенения. Первое из них произошло около 500 млн. лет назад. Ледниковые отложения этого возраста выявлены на территории Марокко, Ливии, Испании, Франции, Скандинавии. Началось оно в ордовике и продолжалось до силура. Второе палеозойское оледенение — гондванское, охватывало Индию, Африку, Южную Америку, Австралию, Антарктиду. Началось оно в каменноугольном периоде и продолжалось до конца перми.

Наиболее хорошо изученным считается последнее плейстоценовое материковое оледенение. Впервые мысль о нем была высказана в 1871 г. русским естествоиспытателем П. А. Крапоткиным. В последующее время всесторонними геологическими и геоморфологическими исследованиями были выявлены границы распространения четвертичного оледенения и периодические наступание и отступление четвертичного ледника. Стало известно, что похолодание, наступившее в северном полушарии в конце неогена, вызвало наступание ледника на Европу, Азию, Северную Америку. Четвертичный ледник, охвативший более 30% площади суши (рис. 65), наступал из нескольких центров. В Европе центры оледенения располагались в Скандинавии и Альпах, в Азии — в области Полярного Урала и на Таймыре, в Северной Америке — в Кордильерах, вблизи Гудзонова пролива и на полуострове Лабрадор. По-

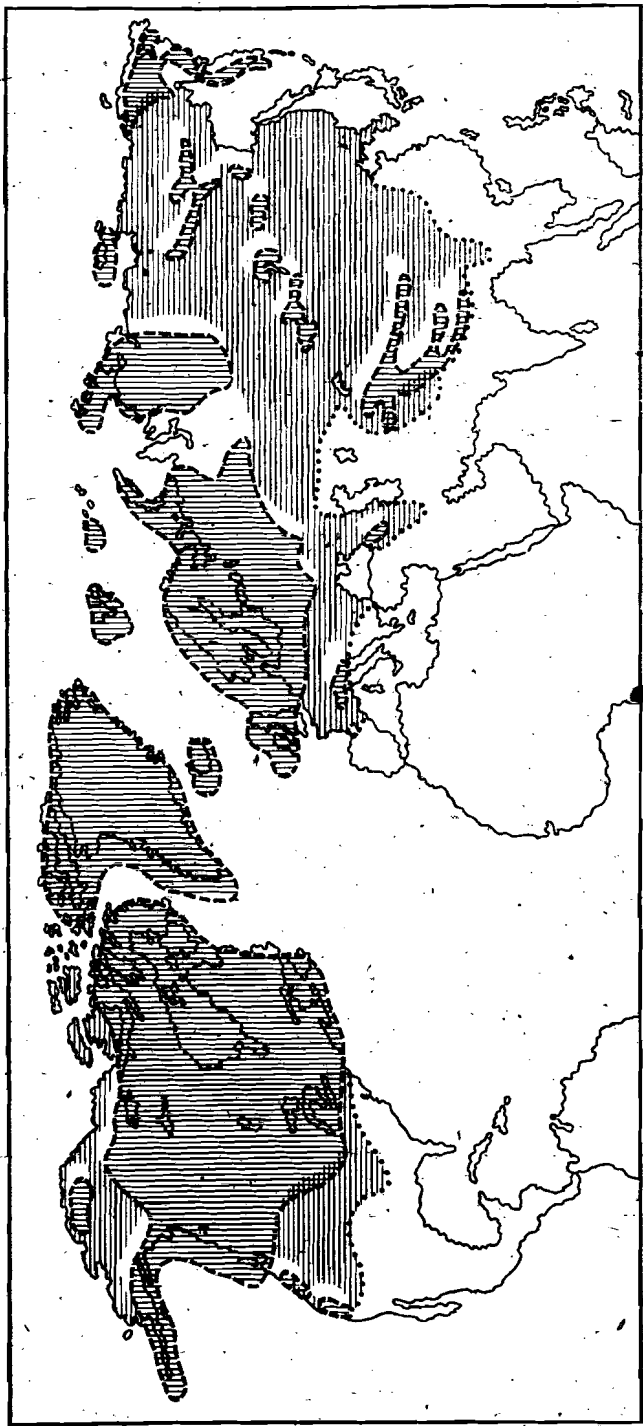


Рис. 65. Площади ледниковой (1) и предледниковой (2) зон в Северном полушарии Земли в эпоху максимального оледенения четвертичного периода (по данным В. А. Зубакова, К. К. Маркова, А. И. Попова и др.)

холодание распространилось и на южные районы, вызвав понижение снеговой границы на Кавказе, в горах Тянь-Шаня и в других областях. Так, на Памире снеговая линия (современное положение 3800—5200 м) опускалась до отметки 600 м над уровнем моря. В Африке ледники спускались с вулканов Кении, в Южной Америке — с Анд.

О количестве наступаний и отступаний четвертичного ледника судят по чередованию в геологическом разрезе четвертичных отложений ледниковых и нормальных континентальных осадков.

Впервые ледниковые отложения четвертичного оледенения были расчленены в Альпах в 1909 г. Пенком и Брюкнером. Ими бы-

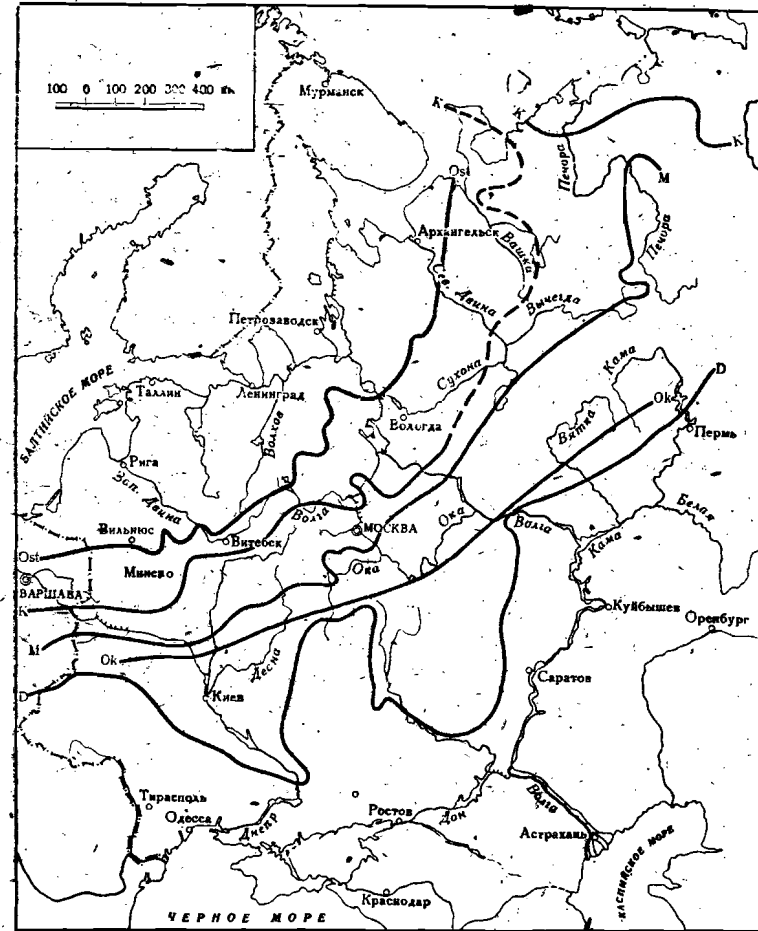


Рис. 66. Схема распространения оледенений (по А. И. Москвитину):

Ок — предполагаемая граница окского оледенения, Д — граница распространения днепровского оледенения, М — граница распространения московского оледенения, К — граница распространения калининского оледенения, Ost — граница распространения ошанского оледенения

ли выделены четыре ледниковые эпохи, названные по притокам р. Дунай: *гюнц* N_2 , *миндель* Q_1 , *рисс* Q_2 и *вюрм* Q_3 .

В СССР схема четвертичного оледенения была разработана И. П. Герасимовым, К. К. Марковым, а несколько позже А. М. Москвитиним. Согласно этой схеме на территории европейской части СССР (табл. 9, рис. 66) были выделены границы *окской* Q_1 (соответствует минделю), *днепровской*, *московской* Q_2 (отвечают риссу), *калининской* и *осташковской* Q_3 (отвечают вюрму) ледниковых эпох.

Наибольшее распространение имел днепровский ледник, спускавшийся на юг двумя языками. Один из них двигался по долине Дона, другой по долине Днепра.

На месте отступивших ледников остались ледниковые и флювиогляциальные отложения и множество озер. На возвышенных участках Скандинавии, Карелии, Кольского полуострова и ряда других районов сохранились следы ледниковой эрозии, бараньи лбы, курчавые скалы. Четвертичное оледенение достигло своего апогея в плейстоцене. Около 10 тыс. лет назад оно резко сократилось.

Современное оледенение охватывает районы Антарктиды, Гренландии, острова Северного Ледовитого океана. Его площадь почти в три раза меньше максимального плейстоценового оледенения, занимавшего 45 млн. км².

Существует несколько гипотез о причинах возникновения оледенений. Факторы, положенные в основу этих гипотез, можно подразделить на астрономические и геологические. К астрономическим факторам, вызывавшим похолодание на Земле, относятся: 1) изменение наклона земной оси; 2) отклонение Земли от ее орбиты в сторону удаления от Солнца; 3) неравномерное тепловое излучение Солнца. К геологическим факторам относят процессы горообразования, вулканическую деятельность, перемещение материков.

Каждая из гипотез имеет свои недостатки. Так гипотеза, связывающая оледенение с эпохами горообразования, не объясняет отсутствие оледенения в мезозое, хотя в эту эру горообразовательные процессы были достаточно активными.

Активизация вулканической деятельности, по мнению одних ученых, приводит к потеплению климата на Земле (углекислый газ, выбрасываемый в атмосферу при вулканизме, способствует длительному удержанию солнечного тепла в атмосфере); по мнению других, — к похолоданию (выбросы вулканами в атмосферу пылевых частиц уменьшают количество солнечного тепла, достигающего поверхности Земли). Согласно гипотезе перемещения материков огромные участки суши на протяжении истории развития земной коры периодически переходили из области теплого климата в области холодного климата, и наоборот.

Геологические результаты оледенений. Из сказанного выше следует, что периодически то в одном, то в другом районе земного шара происходит похолодание климата, влекущее за собой образование ледников. При длительном похолодании ледники разра-

Таблица 9. Шкала четвертичных оледенений и межледниковий (составили: В. В. Друшиц и В. Н. Верещагин, 1974)

Период	Эпоха	Длительность в годах	Для Альп	Для европейской части СССР
Четвертичный (антропогенный) Q	Современная (голоцен) Q_4	10 500	Современный	Современный
		23 900	Вюрм	
	45 000	Рисс — вюрм		Мологосексинское межледниковье
	65 000		Рисс	Калининское оледенение
	100 000	Миндель-рисс		Миклулинское межледниковье
	180 000		Миндель	Московское оледенение
230 000	Гюнц-миндель	Одинцовское межледниковье		
300 000		Гюнц-миндель	Днепровское оледенение	
Неогеновый N	Плиоценвая N_2		1 800 000	Гюнц-Дунай (?)
		Окское оледенение		
		Белорусское		
				Морозовское
				Одесское
				Беловежские стадии

стаются и покрывают большие площади. Движение ледников сопровождается определенной геологической работой: разрушением горных пород и транспортировкой продуктов разрушения. Наступающее затем потепление вызывает таяние льда. Весь обломочный материал, захваченный ледниками, отлагается на пути его следования. Освобожденная от ледника площадь несет следы его обработки. На высокоподнятых участках сохраняются сглаженные скалы, троговые долины и другие формы ледниковой эскарации. В области понижений возникают моренные гряды, друмлины и другие формы ледниковой аккумуляции. Особенно широко распространены флювиогляциальные отложения. Области оледенения оконтуривают гряды конечных морен. Моренный материал — один из видов геологических отложений. Они отличаются несортированностью обломков, наличием окатанных и исцарапанных шрамами гальки и валунов. Геологи используют их для поисков и разведки коренных месторождений полезных ископаемых. В промышленности используются хорошо сортированные флювиогляциальные пески, гравий, ленточные глины.

Ледники играли и играют огромную роль в формировании климатических и погодных условий Земли. Благодаря им создается в атмосфере разность температур, вызывающая движение воздушных масс. Ледники питают водой многочисленные реки, берущие начало с гор. Они таят в себе огромные запасы пресной воды, так необходимой населению земного шара. Уже сейчас обсуждается проблема использования запасов пресной воды, сосредоточенных в айсбергах. Предполагается буксировка плавающих ледяных островов к берегам тех стран, которые испытывают острую нехватку в пресной воде.

Глава XVII

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МОРЯ

Моря и океаны, на долю которых приходится около 71% поверхности Земли (361 млн. км²), играют огромную роль в формировании осадочной оболочки земной коры. Достаточно сказать, что более 95% всех осадочных пород составляют породы морского происхождения. Об этом нам рассказывают сохранившиеся в земных слоях ископаемые остатки морской фауны и флоры. Изучением геологических процессов, происходящих в толще морской воды и на морском дне, занимается *морская геология*.

Рельеф дна Мирового океана. Главнейшими элементами рельефа дна Мирового океана являются шельф, континентальный склон, океаническое ложе, срединно-океанические хребты. К более мелким формам рельефа морского дна относятся: островные дуги, глубоководные желоба (рис. 67), одиночные горы. Некоторые элементы рельефа дна Индийского океана показаны на рис. 68.

Шельф, или *мелководная область дна*, является подводным продолжением материков. Мелководье сплошной полосой шириной в десятки и сотни километров опоясывает сушу. Наиболее широкий шельф (до 1200 км и более) у берегов Северного Ледовитого и Тихого океанов. В пределах мелководной зоны Северного Ледовитого океана расположены окраинные моря — Баренцево, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и др. На глубине шельф оканчивается уступом, переходящим в *континентальный склон*. Глубина уступа в среднем 200 м. Поверхность шельфа не всегда ровная.

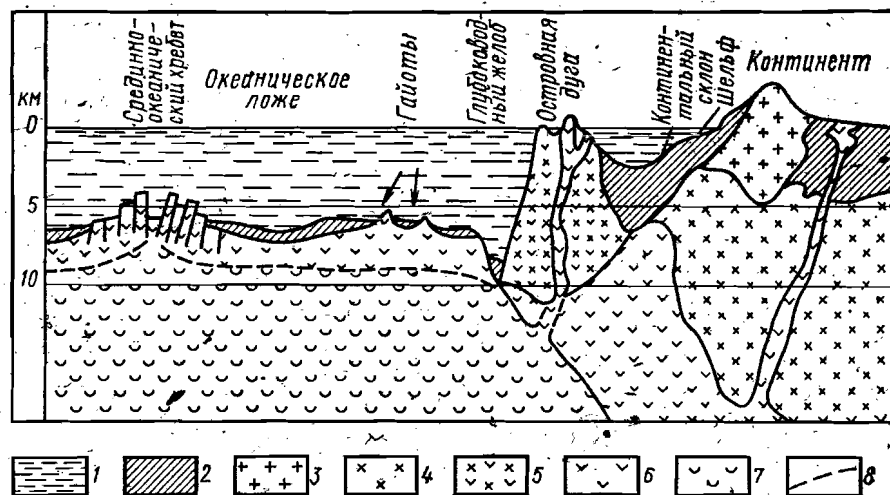


Рис. 67. Схема строения океанического дна:

1 — вода океана, 2 — осадочный слой, 3 — гранитные массивы, 4 — гранитный слой, 5 — смешанные породы, 6 — базальтовый слой, 7 — верхняя мантия, 8 — граница Мохора.

Есть возвышения и впадины. У берегов Антарктиды, где шельф тянется до глубин 600 м, ледниками, спускавшимися в море, на дне выпаханы глубокие долины. На шельфе Баренцева моря продолжают долины рек суши (Припять, Северная Двина). Значительная часть шельфа покрыта мощной толщей морских осадков, среди которых лишь в отдельных местах обнажаются коренные породы. Средний уклон шельфа 0°07'.

Континентальный склон начинается с уступа, отделяющего его от шельфа, и продолжается на глубину в среднем до 3500 м. Крутизна уклона достигает 15° и более. Местами склон переходит в обрывы, имеющие вид ущелий или каньонов (рис. 69). Они располагаются в местах впадения рек. Один из крупнейших каньонов мира является продолжением реки Конго (Заир), впадающей в Атлантический океан. У основания каньона, прослеживающегося до 4000 м глубины, расположен огромный конус выноса, сложенный осадками, принесенными с суши. Континентальный склон покрыт мощными толщами осадков. Лишь там, где действуют при-

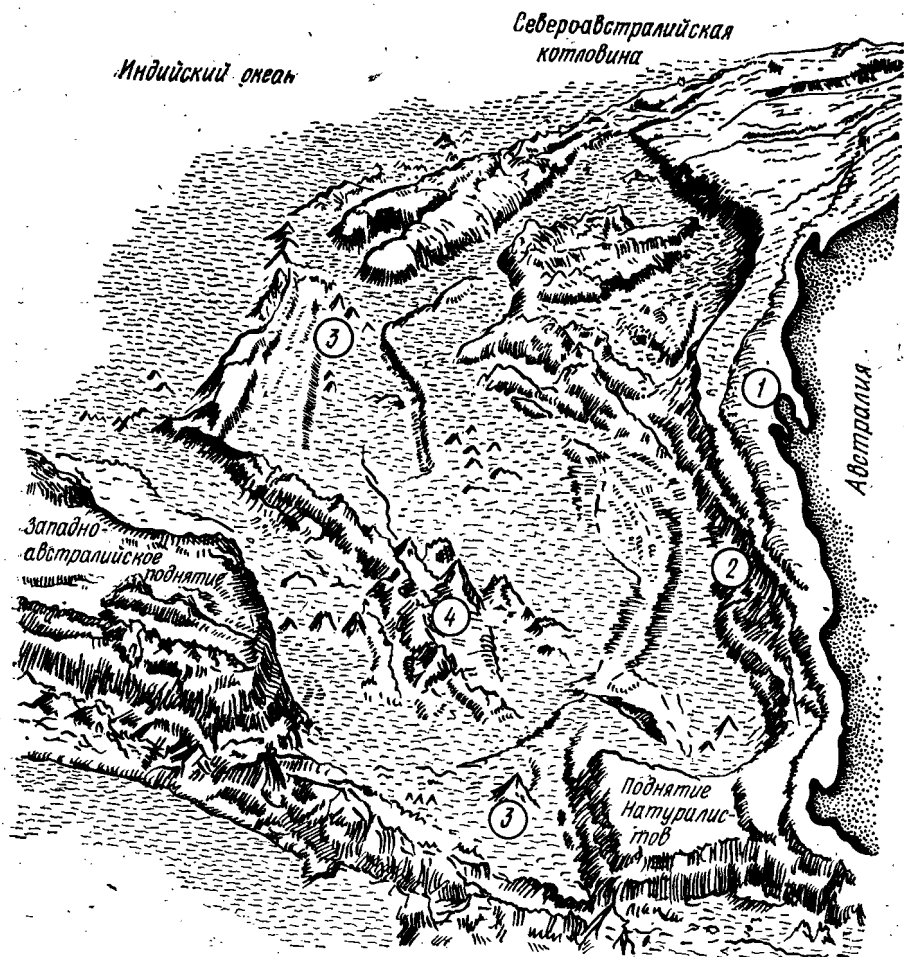


Рис. 68. Фрагмент дна Индийского океана:

1 — шельф, 2 — континентальный склон, 3 — гайоты, 4 — подводный вулканический горный хребет.

ливно-отливные и придонные течения, обнажаются коренные породы.

Континентальный склон переходит в океаническое ложе. Переход выражен не всегда четко и прослеживается на глубинах 2—5 тыс. м. Иногда ложе начинается у основания островных дуг, отделяющих океан от краевых морей. Наиболее глубокие части ложа (до 6000 м) образуют подводные котловины, поднятия-выступы. Наиболее глубокие части океанического дна примыкают к островным дугам. Их именуют глубоководными желобами. Наиболее высокие поднятия дна представлены гайотами и срединно-океаническими хребтами.

Островные дуги представляют собой цепочки островов, вытянутые вдоль береговой линии на некотором от нее удалении. Острова образованы грядами выступающих над водой вулканических гор. Высота наиболее крупных из них достигает 4500 м (Курильские острова), а вместе с подводным продолжением — 9000 м. Островные дуги широко развиты у западных берегов Тихого океана, меньше у восточного его побережья, в Атлантическом и Индийском океанах.

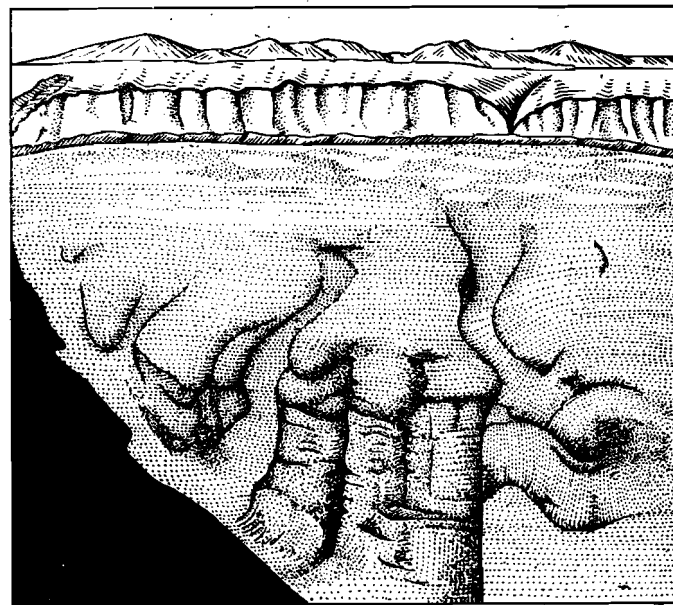


Рис. 69. Общий вид двух притоков подводного каньона Скрипса по наблюдениям аквалангистов (по Ф. П. Шепарду)

Глубоководные желоба вытянуты вдоль островных дуг узкими глубокими впадинами протяженностью в сотни и тысячи километров. Ширина желобов десятки километров, глубина более 6000 м. Из 40 известных в настоящее время глубоководных желобов наиболее крупными считаются Марианский желоб (11 022 м), Филиппинский (10 497 м), Тонга (10 882 м), Курило-Камчатский (10 542 м), Кермадек (10 047 м). Проведенные исследования показали, что склоны желобов крутые с уступами, глубокими каньонами и депрессиями. Дно относительно узкое (до 20 км), покрытое осадками (валуны, галька и более мелкие обломки). В отличие от глубоководных желобов котловины имеют глубину 4—6 тыс. м. Форма их бывает овальной и неправильной, протяженность сотни и тысячи километров. Наиболее крупными котловина-

ми Тихого океана являются *Северо-Восточная, Северо-Западная, Центральная, Южная котловины, котловина Беллинсгаузена*; в Атлантическом океане — *Североафриканская, Ангольская, Капская, Аргентинская, Бразильская, Североамериканская*; в Индийском — *Сомалийская, Индийско-Австралийская*; в Северном Ледовитом океане — *Канадская, Амундсена, Нансена*. У одних котловин дно равное, у других покрыто уступами или отдельными конусообразной формы вулканическими возвышенностями. В Центральной котловине Тихого океана, например, оно изрезано подводными хребтами, горными массивами, сочетающимися с отдельными коническими возвышенностями.

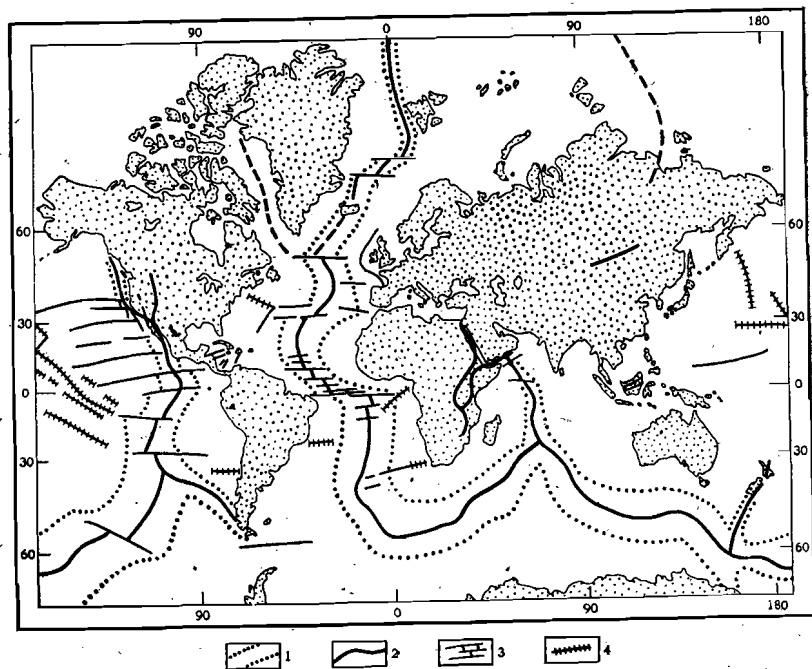


Рис. 70. Мировая рифтовая система:

1 — граница срединно-океанических хребтов, 2 — положение рифтовой зоны, 3 — зоны тектонических нарушений (сдвигов), 4 — линии вулканов

На океаническом ложе разбросаны одиночные вулканические горы — *гайоты* (названы по имени французского натуралиста А. Г. Гюйо). Высота гор свыше тысячи метров, форма конусообразная, крутизна склонов 12—20°. Некоторые гайоты выступают над водой. У них плоские вершины, срезанные абразией. В Тихом океане насчитывается более 10 000 гайотов. Гайоты располагаются на склонах срединных океанических хребтов, в котловинах или связаны с системами островных дуг и желобов. На океаническом дне встречаются поднятия, образованные намытыми придонными течениями осадками (*Восточнотихоокеанский экваториальный вал*

и *Ньюфаундленский хребет* Атлантического побережья Северной Америки).

В тропических зонах океана поднятия нередко образованы колониями кораллов. Они представлены *береговыми рифами* или коралловыми островами — *атоллами*.

Крупнейшими подводными горными сооружениями являются *срединно-океанические хребты*, образующие единую горную систему Мирового океана протяженностью 60 тыс. км (рис. 70). В Северном Ледовитом океане сходную с срединно-океаническими хребтами структуру имеет лишь *хребет Геккеля*. В Атлантическом океане срединный хребет непрерывной цепью вытянут вдоль всего



Рис. 71. Профиль дна Атлантического океана (по Ф. П. Шепарду)

океана (рис. 71). Он разделяет его на две симметрично равные части. Хребт разбит многочисленными поперечными трещинами, отдельные части хребта кулисообразно смещены (рис. 71). *Атлантический срединно-океанический хребт* продолжается в Индийском океане, где образует две ветви: северную и южную. Северная ветвь, изгибаясь, выходит к Красному морю и далее продолжается на континенте в виде разломов Восточной Африки. Южная ветвь — *Центральноиндийское срединное поднятие* продолжается на восток и в Тихом океане вновь делится на две части: восточную и южную. *Южнотихоокеанский хребт* вытянут в направлении Новой Зеландии, а *Восточнотихоокеанская ветвь* уходит к восточным берегам Тихого океана и оканчивается у побережья Северной Америки. Срединно-океанические хребты сложены базальтами и близкими им по составу магматическими породами. Максимальная высота поднятий 3—4 тыс. м, ширина 1000—3000 км. Вдоль осей хребтов прерывистой линией тянутся *глубоководные желоба*, или *рифты* (анг. rift — расселина, ущелье). Ширина расселин 30—70 км, глубина достигает 3000 м и более.

Органический мир и биомические зоны моря. Воды морей и океанов населяют около 200 тыс. видов разнообразных животных и растений (водоросли, моллюски, рыбы и др.). Расселен органический мир в толще морской воды неравномерно. Советскими учеными установлена горизонтальная и вертикальная зональность их расселения. Горизонтальная зональность согласуется с климатическими зонами океана, со степенью удаленности от берега. Густонаселенной зоной являются теплые и тропические моря, где условия для развития организмов весьма благоприятны. В зонах с умеренным климатом и климатом холодным количество видов резко

сокращается, но за счет повышения плодовитости организмов увеличивается общая их биомасса. Количество обитателей моря сокращается и в направлении к центральным частям океанов. Это объясняется тем, что мелководные прибрежные части моря более богаты питательными веществами, чем глубоководные.

Вертикальная зональность обусловлена глубиной. Известно, что верхние слои океана, обогреваемые солнцем и насыщенные кислородом, углекислым газом, более благоприятны для развития жизни, чем глубокие слои. Не менее важен и свет. Экспериментально доказано, что с уменьшением количества поступающего

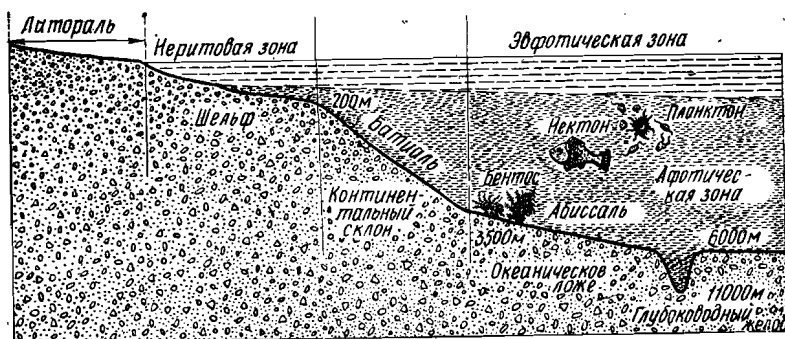


Рис. 72. Биомические зоны моря и обитающие в них организмы

в толщу воды света замедляются процессы фотосинтеза, резко уменьшается количество видов растений, вплоть до полного их исчезновения. На этой основе выделяют *фотическую*, или освещаемую с поверхности водную толщу океана, и *афотическую*, или бессветовую зону (рис. 72). Граница между ними проходит в среднем на глубинах около 200 м.

Растительный мир моря насчитывает около 20 тыс. видов. По сравнению с наземными растениями представлен более мелкими формами. В основном это водоросли и бактерии. Одни из них живут в условиях дна, другие обитают в толще морской воды, ведут пассивный образ жизни. Геологическое значение имеют те из них, которые заключены в минеральный панцирь или скорлупку. К их числу относятся микроскопические мелкие водоросли *кокколитофориды*, имеющие известковый панцирь, *диатомеи* — одноклеточные водоросли, обладающие кремниевым панцирем. Большим распространением в морях пользуются синезеленые, зеленые, бурые и красные водоросли. *Синезеленые водоросли* имеют вид ниточек, живут колониями в прибрежно-морской зоне. *Зеленые водоросли* снабжены известковыми пластинками, обитают в тропических морях. *Бурые водоросли* имеют длинные (до 35 м) стебли, прикрепляющиеся ко дну небольшими корешками. Густые заросли бурых водорослей покрывают значительные площади шельфа. *Красные водоросли* имеют много разновидностей, выделяемых по размерам

и строению. Некоторые из них в стенках клеток отлагают известь с примесью магния.

Растительный мир обитает в основном в верхних слоях воды примерно до глубин 100—150 м. На больших глубинах разнообразие и количество флоры резко сокращается вплоть до полного ее исчезновения.

Животный мир моря более разнообразен, чем растительный, и насчитывает около 180 тыс. видов. Морские животные или пассивно переносятся в толще морской воды течениями, или активно перемещаются в воде. Часть из них обитает на грунте или в грунте морского дна. По образу жизни морские животные делятся на планктон, бентос и нектон.

Бентос (греч. benthos — глубина) — совокупность организмов, обитающих в грунте и на грунте морских и материковых водоемов. К ним относятся кораллы, морские ежи, морские лилии, морские звезды, моллюски, губки, мшанки и др. (табл. 10). Одни из них ведут прикрепленный образ жизни (кораллы, губки, мшанки и т. д.), другие перемещаются по дну — морские ежи, звезды, моллюски.

Таблица 10. Классификация наиболее распространенных морских организмов (по П. Вейли, с сокращением)

Наименование	Планктон	Нектон	Бентос	Скелетный материал		
				карбонат кальция	фосфат кальция	кремний
Бактерии	×		×			
Синезеленые водоросли	×		×			
Зеленые водоросли			×	×		
Бурые водоросли			×	×		
Красные водоросли			×	×		
Диатомовые водоросли	×		×			×
Кокколитофориды	×		×	×		
Фораминиферы	×		×	×		
Радиолярии	×					×
Медузы	×					×
Кораллы			×	×		
Плоские черви	×		×	×		
Членистоногие	×		×	×	×	
Губки			×	×		×
Мшанки			×	×		×
Моллюски	×	×	×	×		
Морские лилии			×	×		
Морские звезды			×	×		
Морские ежи			×	×		
Хрящевые рыбы		×	×		×	
Костистые рыбы		×	×		×	
Рептилии		×	×		×	
Млекопитающие		×	×		×	

Кораллы живут на шельфе теплых морей с чистой и прозрачной водой. Они поселяются колониями, отмирая, оставляют после себя известковые постройки холмообразной и грядообразной формы, называемые *коралловыми рифами*.

Планктон (греч. *plagktós* — блуждающий) — совокупность мелких организмов, лишенных или почти лишенных органов передвижения, пассивно переносимых морскими течениями в толще воды. Они составляют основную массу населения моря. К ним относятся различные водоросли, фораминиферовые, жгутиковые, некоторые ракообразные, медузы и др. Наиболее крупные из них — медузы, размеры которых колеблются от 5 см до 2 м.

Нектон (греч. *nektos* — плавающий) — совокупность активно плавающих животных, способных перемещаться в различные участки моря и переходить с одних глубин на другие. К ним относятся рыбы, головоногие моллюски, дельфины, киты и др.

Наибольшим распространением из них пользуются рыбы, насчитывающие около 20 тыс. видов, реже встречаются дельфины, киты. Размеры рыб колеблются от нескольких сантиметров до нескольких метров. Самая маленькая рыбка — филиппинский бычок длиной до 1 см, наиболее крупная — китовая акула — 18 м.

Рыбы плавают со скоростью от 2 до 14 км/ч. Меч-рыба плавает со скоростью до 130 км/ч. Рыбы расселены по всей толще океана вплоть до глубоководных впадин. В глубоководных впадинах встречаются редкие экземпляры причудливых рыб, сохранивших признаки древних примитивных видов.

Наиболее крупными морскими животными считаются голубые киты, достигающие в длину 34 м. Из ластоногих в морских водах обитают тюлени, моржи, котики, каланы. Они так же, как и рыбы, очень подвижны и способны перемещаться в разных слоях воды. Некоторые тюлени опускаются на глубину до 270 м, киты погружаются до 1 км. В морских водах обитают отдельные представители рептилий (змеи, черепахи, встречающиеся в теплых морях). В холодных морях обитают пингины. Летать они не могут, но зато хорошо плавают в воде и передвигаются по суше.

Расселение животного мира в толще океанических вод во многом определяется развитием в воде растительного мира, являющегося основным источником питания морских животных.

В. М. Цейслер считает, что общая масса бентосных животных в Мировом океане 8 млрд. т, нектона — 18, планктона — 36 млрд. т.

Животные и растения, обладающие минеральными скелетами и раковинами, имеют большое геологическое значение. Отмирая, они оставляют после себя скопления карбонатных, кремнистых илов или ракушечников, состоящих из множества раковин (см. табл. 10).

Океан как среду обитания организмов делят на *биоморфические зоны*. Прибрежную полосу, периодически затопляемую приливами, выделяют под названием *литоральной зоны* (лат. *litoral* — прибрежный). В ней обитают животные и растения, ведущие прикрепленный образ жизни, и формы, способные зарываться в рыхлые осадки. Ниже расположена *неритовая зона* (греч. *nerites* — ракушка). Она совпадает с областью шельфа. К континентальному склону примыкает *баттальная зона* (греч. *bathys* —

глубокий), населенная нектоном и планктоном. Ложе океана перекрывает наиболее глубокая *абиссальная зона* (греч. *abyssos* — бездна).

Для каждой из выше перечисленных зон характерен определенный состав осадков.

Разрушительная работа моря и морфология морских берегов. Геологическая работа моря занимает ведущее место среди экзогенных геологических процессов. Море разрушает, переносит и отлагает осадки.

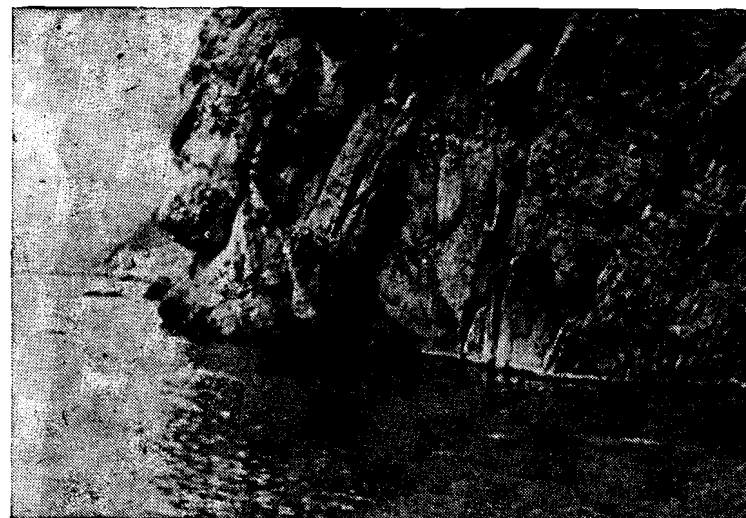


Рис. 73. Приглубый берег (Крым) (по М. Ф. Ивановой, 1974)

В разрушительной работе моря главная роль принадлежит морским волнам. Процесс разрушения берега, связанный с деятельностью моря, получил название *абразии* (лат. *abrasio* — скабливание, сбривание). Скорость разрушения берега зависит от многих факторов: от силы удара морской волны, крутизны берегового склона, состава горных пород и др.

В соответствии с классификацией В. П. Зенкевича морские берега по крутизне склона подразделяются на приглубые и отмельные. *Приглубые берега* имеют крутые обрывистые склоны, переходящие в круто опускающуюся подводную часть (рис. 73). У *отмельных берегов* наблюдается постепенный переход суши в мелководную область дна. Волны, попадая на отмельный берег, в результате трения быстро теряют силу и, углубившись на сушу, скатываются обратно в море. В штормовую погоду они смывают с прибрежной полосы обломочный материал, а в спокойную намыывают берега, создают аккумулятивные формы рельефа.

У приглубых берегов волны непрерывно, как молотом, бьют о крутой берег, подтачивая и разрушая его. Во время шторма сила удара волны достигает нескольких сотен килопаскалей, высота всплеска 50 м и более. В нашей стране наибольшая сила прибоя отмечена в Черном море. В районе г. Сочи сила удара волны, измеренная в сильный шторм, составила 137—176 кПа. В Шотландии (Данбар) удары волн достигали 364 кПа, а у берегов Франции (Дьеип) — 608 кПа. На берегу Ла-Манша волны перебрасывали через шестиметровую стену камни до 3,5 м в поперечнике.

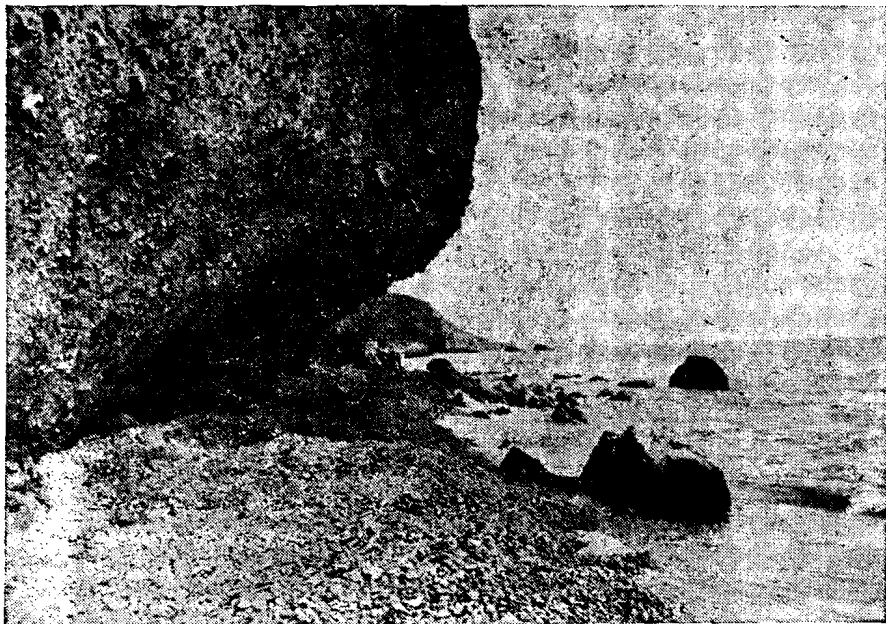


Рис. 74. Волноприбойная ниша на берегу Черного моря в Крыму (по М. Ф. Ивцовой, 1974)

Интенсивность разрушения возрастает, если в работе волн принимают участие обломки горных пород (гравий, галька, мелкие глыбы). Вода, перемешанная с обломками горных пород, выбивает из монолитных пород мелкие обломки и постепенно подтачивает основание берега, образуя *волноприбойные ниши* (рис. 74). Проникая в трещины, волны вымывают из них обломки и тем самым способствуют их расширению. По мере углубления волноприбойных ниш нависающие над ними скальные породы обрушаются. Обломки скатываются в море. Постепенно на месте разрушенной части берега образуется площадка, которая из года в год расширяется и превращается в *волноприбойную*, или *абразионную, террасу* (рис. 75). У берегов, сложенных кристаллическими породами,

террасы окаймлены береговым уступом — *клифом* (нем. *kliff* — обрыв), у подножия которого периодически накапливаются груды обломков, смываемые в море. Ширина современных абразионных террас колеблется от десятков до сотен метров, а иногда и километров (у берегов северо-западной Норвегии — 50 км).

Разрушение берега длится тысячелетиями и завершается его отступлением в сторону суши на недостижимое для волн расстояние. Возобновление абразионной работы на таких участках возможно при изменении высотного положения берега.

Берега, сложенные рыхлыми породами, разрушаются, значительно быстрее, чем скальные. Подмыв такого берега заканчивается обрушением или оползанием склона. Громадные оползни, спускаясь в море, оставляют на дно большое количество обломочного материала. Обломки пород, оседая на внутреннем крае шельфа, постепенно выполаживают дно, превращают приглубые берега в отмели. Часть обломочного материала расходуется на образование аккумулятивных прибрежных форм рельефа (пляжи, песчаные косы и др.), часть перемещается течениями в более глубокие участки дна.

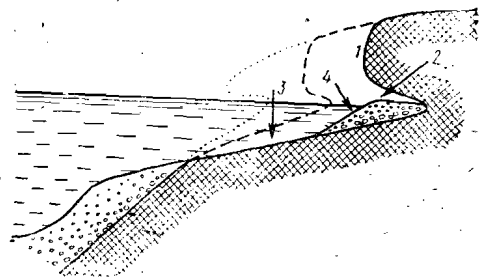


Рис. 75. Схематический профиль абразионного берега:

1 — береговой обрыв, 2 — волноприбойная ниша, 3 — подводная абразионная терраса, 4 — аккумулятивная терраса

Береговая линия редко бывает прямолинейной. Чаще она искривлена процессами разрушения. Медленно разрушаемые скальные породы обычно образуют выступы, вдающиеся в море, — *мысы, полуострова*. Выступающие в море участки суши, подвергаясь интенсивной обработке штормовыми волнами, со временем разрушаются или отделяются от материка, превращаясь в *острова* или *останцы* (рис. 76). Ударами волн в кристаллических породах выдалбливаются *гrotы*, а если выступ берега пробивается насквозь, гrotы превращаются в *арки*. Гrotы, арки, останцы встречаются у берегов Франции, Северной Норвегии, Индонезии; в СССР — на берегах Черного, Берингова, Охотского и других морей. Цепи останцев обычно указывают на прежнее положение береговой линии.

Участки берега, сложенные рыхлыми отложениями, разрушаются быстрее, и в этих местах море вдается в сушу, образуя *заливы, бухты, лиманы*.

Вследствие разрушительной работы моря меняется не только профиль морских берегов, но и их очертания в плане. Крутые берега отступают и выполаживаются, а на их месте формируются прибрежные абразионные равнины. Скорость разрушения береговых пород в среднем составляет 1,5—3 м в год, в исключительных

случаях достигает 35 м (берега Франции). Наглядным примером разрушительной работы моря является остров Гельголанд в Северном море. В 1072 г. его площадь составляла 900 км², сейчас она сократилась до 1,5 км².

Транспортирующая работа моря. Обломки горных пород, образовавшиеся в результате разрушения берега, и осадки, принесенные реками с суши, подхватываются морскими волнами и течениями и отлагаются на морском дне. Перемещение обломочного материала отмечается во всех участках океанического дна вплоть



Рис. 76. Останцы на берегу моря в Крыму (по М. Ф. Ивановой, 1974).

до глубоководных впадин. В прибрежных зонах прибойные, особенно штормовые, волны вымывают из продуктов разрушения мелкий материал и уносят его в открытое море. Крупные обломки прибой беспрерывно перемещает с места на место, обрабатывает их, превращает глыбы в валуны, щебень — в гальку и т. д. По мере удаления от берега волнение стихает. Уменьшение скорости движения воды приводит к осаждению в более глубоких частях дна мелких обломков — песка, алеврита, ила. Песок осаждается до глубин 50—100 м. Алеврит и ил достигают глубоководных впадин. Таким образом динамика среды определяет сортировку обломочного материала. Чем ближе к берегу, тем крупнее обломки. Иногда такая закономерность нарушается сильными придонными течениями местного характера. В таких случаях гравий может отлагаться в более глубоких местах, чем песок или алеврит. Подобные аномалии наблюдались в Охотском море. Иногда прибой

или придонные течения намыывают обломочный материал у берега; тогда в мелководной зоне образуются аккумулятивные формы рельефа — пляжи и косы.

Ближе к внешнему краю шельфа и в области континентального склона действуют так называемые *мутьевые потоки* — потоки воды, перемешанные с песком и глиной. Плотность их значительно выше соленой воды, поэтому они на крутых склонах развивают значительную скорость — до 100 км/ч и более. Мутьевые потоки обладают огромной разрушительной силой. Они размывают шельф и континентальный склон, создают отдельные промоины и глубокие каньоны. Там, где потоки растекаются по дну, формируются гигантские конусы выноса. Так, площадь конуса выноса каньона Ганга в северной части Индийского океана около 1 млн. км². Он протягивается от глубин 1000 м и до глубин 4000 м. На месте таких конусов со временем образуются *абиссальные (глубоководные) равнины*. Они занимают 10% площади ложа океана. В пределах абиссальных равнин мутьевые потоки, отложив осадки, прекращают свое существование.

На больших глубинах действуют донные течения. Они могут возникнуть, например, при опускании и растекании по дну более холодных и тяжелых арктических вод. Холодные воды прорываются и в глубоководные желоба. Скорость придонных течений достигает 20 см/с. Она вполне обеспечивает перенос водами обломков размером до 0,1 мм и менее. При постоянных и довольно сильных подводных течениях намываются косы, пересыпи, подводные хребты. Так, протягивающийся вдоль атлантического побережья Северной Америки Ньюфаундленский хребет представляет собой гигантскую намытую косу длиной 500 км, шириной 250 км, высотой 1—1,5 км. Осадки, слагающие подводный хребет, состоят преимущественно из алевритов и мелкого песка. В транспортировке обломочного материала и растворов участвуют и поверхностные течения, разносящие тонковзмученный материал по всей акватории океана. Одним из способов переноса обломков по океану являются айсберги. Гонимые течениями, они проникают в теплые воды океанов, тают и осаждают на дно включенные в них обломки морены. Моренный материал среди морских осадков обнаружен у берегов Антарктиды и Гренландии в радиусе сотен и тысяч километров. Следовательно, благодаря течениям осадконакопление происходит во всех участках океанического дна вплоть до глубоководных впадин. Причем в прибрежных частях дна намывается обломков значительно больше, чем в глубоководных частях океана.

Аккумулятивные формы берегового рельефа. Непрерывный поток продуктов разрушения, поступающий в море с суши, отлагается в разных участках дна. У берега накапливается крупный обломочный материал (от песка до валунов), образующий *аккумулятивные террасы* (см. рис. 75). Как уже отмечалось, песок намывается в мелководных участках дна и образует такие формы придонного рельефа, как береговые валы, пляжи, косы, пересыпи, бары.

Береговые валы имеют вид невысоких гряд, простирающихся

вдоль береговой линии. Их высота 1—2, реже 5 м, ширина 12—15 м. Состоят они из песка, гравия, гальки и битой ракушки.

Пляжи (рис. 77) намываются на отмелях берегах из тех же осадков, что и береговые валы. Исходный материал приносится реками с суши или из зон, где идет разрушение береговых пород. Пляжи формируются на берегах, которые не подвергаются частому и длительному воздействию штормовых волн. В противном случае происходит размыв ранее отложившихся наносов. Пляжи



Рис. 77. Морской пляж

со временем расширяются в сторону притока обломочного материала. Если приток происходит в направлении, перпендикулярном линии берега, пляж равномерно нарастает на всем протяжении. Если волны прибоя и прибрежные течения направлены к береговой линии под углом, пляж растет в сторону притока осадков или в направлении течения воды. Образуется *аккумулятивный мыс*. Небольшие мысы протяженностью в несколько десятков метров, называют *фестолами*, более вытянутые и серповидные — *косами*. Косы появляются обычно в краевых частях заливов, бухт, в устьях рек. Длина их измеряется десятками и сотнями километров. Так, протяженность астраханской косы в Каспийском море 45 км, коса Тендеровская в Черном море — 90 км. Косы, растущие навстречу друг другу, могут соединиться в сплошной песчаный вал — *пересыпь*. Пересыпи, намываемые придонными течениями на некотором удалении от берега, называют *барями*. Бары тянутся вдоль берегов на сотни километров. На берегу Мексиканского залива известен бар протяженностью 1800 км. Бары и пересыпи отделяют от открытого морского бассейна мелководные участки и превращают их в замкнутые водоемы — *лагуны* типа Сиваша, Кара-Богаз-Гол и др. Площадь, занимаемая лагунами, составляет около 13% площади морских берегов.

Морские осадки различаются по происхождению. Осадки, состоящие из обломков минералов и горных пород, называют *обломочными* или *терригенными* (лат. terra — земля). Химически осадочные осадки относятся к хемогенным. Выделяются также осадки органического происхождения — органические. Значительное место среди них иногда занимают вулканические отложения (пепел, бомбы, застывшая лава). Реже встречаются ледниковые осадки, космическая пыль.

На состав осадков влияют физико-географические условия осадконакопления и их удаленность от морских берегов. Выделяют осадки литоральной зоны, области шельфа, континентального склона, ложа океана.

Литоральная зона, или приливно-отливная часть шельфа. Она отличается от остальной части условиями осадконакопления. Ширина зоны у отмелей берегов, сотни и тысячи метров, у приглубых — десятки метров. Основную массу осадков литоральной зоны составляют терригенные отложения, сложенные валунами, галькой, гравием, песком. Крупные обломки характерны для приглубых берегов, мелкие — для отмелей. В ложбинах и впадинах накапливаются тонкие глинистые и карбонатные илы, раковины моллюсков, остатки мшанок, известковых водорослей. В тропической и субтропической полосе приливно-отливной зоны встречаются скопления торфа. Прибрежные осадки вулканических островов Тихого океана, Средиземного моря, полуострова Камчатки и ряда других районов сложены песком вулканического происхождения. В ряде мест волнами намыты пески, содержащие россыпи магнетита, ильменита, вольфрамита.

Осадки области шельфа. Они характеризуются значительной мощностью, разнообразием состава. Это объясняется близостью шельфа к суше, с которой в море поступают продукты разрушения береговых пород и твердый сток рек. Основную массу составляют осадки терригенного и органического происхождения, подчиненное значение имеют химические осадки. Изучение отложений современного шельфа показало, что состав осадков вдоль берегов каждого из континентов неодинаков. Так, у северо-восточных берегов Австралии шельф сложен коралловыми рифами, а на западном и южном побережье — илами, ракушечными и кварцевыми песками. У берегов Франции отложения песков сочетаются с гравием и ракушечником. Терригенные осадки шельфа представлены галькой, гравием, песком, алевритом, глинистыми илами. Крупность обломков уменьшается от берега к внешнему краю шельфа. Так, в Баренцевом, Карском, Черном и других морях в прибрежной зоне преобладают галька и гравий, переходящие в песок, а затем в ил. Однако такая закономерность свойственна не всем морям. Например, внутренний край шельфа, примыкающего к устью реки Амазонки, покрыт илами, внешний — песчаными осадками. Аналогичная картина наблюдается в местах впадения в море крупнейших рек Азии — Меконга, Янцзы, Хуанхе. Мощность осадков шельфа

достигает сотен и тысяч метров. В направлении от внутреннего края к внешнему мощность обычно уменьшается.

Органогенные осадки шельфа состоят из раковин отмерших организмов и их обломков. В их составе могут преобладать раковины одного вида или нескольких видов, иногда в них встречаются остатки как животного, так и растительного происхождения. Значительные скопления раковин моллюсков установлены у берегов Кубы, Марокко (фораминиферы обнаружены на шельфе Мексиканского залива и восточного побережья Индостана).



Рис. 78. Заросли кораллов на рифе

В тропических морях широко развиты колониальные постройки кораллов (рис. 78), образующие береговые, барьерные рифы и коралловые острова — атоллы. *Береговые рифы* являются подводным продолжением береговых склонов. *Барьерные рифы* вытянуты параллельно берегу на некотором от него удалении. Крупнейшим в мире считается *Большой Барьерный риф* у берегов Австралии. Его протяженность около 2000 км, ширина 160 км. *Атоллы* — кольцеобразной формы коралловые острова, широко разбросанные в тропической зоне океанов. Ч. Дарвин высказал предположение, что атоллы сформировались на конусах потухших подводных вул-

канов. Бурение скважин на атолле Эниветок подтвердило это предположение. Коралловое основание атолла было прослежено на глубине 1250—1400 м. Следовательно, рост кораллов начался в мелководной зоне и продолжался по мере погружения океанического дна. Атоллы развиты преимущественно в Тихом океане. Всего их насчитывается около 330. Среди рифов нередко встречаются иглокожие, моллюски, мшанки, губки и другие животные. В составе органогенных осадков широко распространены морские водоросли.

Химические осадки приурочены к приустьевым участкам шельфа или прибрежным лагунам. Их источником являются речные воды, несущие с суши истинные или коллоидные растворы солей. При смешивании речных и морских вод коллоидные растворы свертываются (коагулируют), и вещество выпадает в осадок. Так на дне появляются осадки, богатые окислами железа, алюминия,

марганца. В теплых морях из истинных растворов осаждаются известковые илы, нередко оолитового сложения. В их составе обнаружены минералы кальцит, арагонит и доломит. Такие отложения известны у берегов Флориды, известковые оолиты обнаружены на шельфе Красного моря.

В области шельфа в литоральной зоне осаждаются около 99% осадков поверхностного стока.

Осадки континентального склона. Они являются связывающим звеном между шельфом и глубоководной частью океана. Более крутая, чем шельф, поверхность склона покрыта осадками терригенного и органогенного происхождения, значительная часть которых переносится придонными течениями с внешнего края шельфа. В местах наибольшего накопления осадков возникают подводные оползни и мутьевые потоки. Срываясь вниз, они покрывают осадками неровности дна, образуют конусы выноса и подводные волнистые равнины. Отложения подводных оползней и мутьевых потоков называют *турбидитами*. Они состоят из чередующихся прослоек песка, алевролита и глинистого материала и наблюдаются на глубинах 2000 м и более.

Из терригенных осадков наиболее широко распространены илы. По окраске их делят на синие, красные и зеленые.

Синие илы покрывают континентальный склон и спускаются на океаническое ложе до глубины 5000 м. Они состоят из глинистого вещества, кальцита (не более 30%) и органических примесей. Синяя окраска илов обусловлена рассеянным органическим веществом с примесью сульфатного и закисного железа. Если содержание органического вещества резко повышается, илы приобретают черный цвет. Для *черных илов* характерны примеси сульфидов железа (пирит) и сероводорода. Синие и черные илы известны на дне Карибского и Черного морей. В Черном море они залегают на глубинах свыше 600 м.

Красные илы накапливаются на склонах, примыкающих к устьям рек. Они менее широко распространены. В их состав входят глинистое вещество, зерна кварца, кальцит (значительная примесь). Окраска обусловлена окислами железа, которые иногда придают илам также желтый и бурый цвета.

Зеленые илы состоят из песка (с примесью гравия), алевролита и глинистого вещества. В ряде случаев преобладает углекислый кальций (60 процентов и более от общей массы). Зеленую окраску илам придает минерал глауконит, образующийся, как полагают исследователи, при подводном разложении магматических минералов. В осадках в виде оолитов или конкреций присутствует также фосфорит. В ряде районов фосфориты покрывают значительные участки дна, образуют промышленные скопления (на дне Мексиканского залива и в ряде других районов). Зеленые илы занимают значительные площади, распространены с глубин 80—100 м.

Среди отложений континентального склона встречаются осадки ледникового и вулканического происхождения. Вокруг Антарктиды ширина полосы распространения валунно-галечниковых леднико-

вых отложений превышает 500 км. Вулканогенный материал (вулканический пепел и песок) встречается главным образом вблизи действующих вулканов.

Среди осадков континентального склона встречаются отдельные пятна и обширные поля органогенных илов — белых коралловых и фораминиферовых (рис. 79). Коралловые илы образуются из продуктов разрушения коралловых рифов, фораминиферовые — из раковинок фораминифер. Большие скопления этих илов выявлены у подножия континентального склона на глубинах до 3800 м.



Рис. 79. Отложения фораминиферовых илов в области континентального склона (глубина 2000 м); слева — белый фораминиферовый песок со знаками ряби; справа — выходы коренных пород, покрытых шероховатой коркой двуокислов марганца

Осадки ложа океана. Океаническое ложе — наиболее удаленная от берегов область океанического дна. Терригенные осадки попадают сюда в незначительном количестве с поверхностными течениями или придонными мутьевыми потоками. Это в основном тонковзмученный глинистый и алевритовый материал. Глубинные илы пополняются пылью, переносимой ветром и осаждающейся над океанами, ледниковыми осадками, переносимыми айсбергами. К разнородной массе обломков примешивается метеоритная пыль, вулканический пепел и нерастворившиеся раковины морских организмов. В морской воде вся эта масса подвергается разложению,

окислению и превращается в красный или коричневый терригенный ил, называемый *красной океанической глиной*. Скорость накопления илов около 1 мм в тысячелетие. Терригенные осадки выявлены в ряде районов Тихого и Атлантического океанов на глубинах 3800—8000 м.

Основную массу осадков ложа Мирового океана составляют органические илы известкового и кремнистого состава. Источниками их накопления служат мельчайшие раковины планктонных организмов. Среди них большим распространением пользуются глобигериновые, диатомовые и радиоляриевые илы.

Глобигериновый ил состоит из мельчайших раковинок глобигерин размером до 0,01 мм, известковых пластинок таких же мелких водорослей кокколитофорид и глинистых частиц, содержание которых обычно не превышает 3%. Рыхлая масса ила белого, иногда розового или светло-желтого цвета. Распространен на глубинах 3500—4000 м. Вместе с другими известковыми илами он покрывает около 45% площади ложа океана.

Диатомовый ил состоит преимущественно из кремнистых скелетов диатомовых водорослей. В незначительном количестве в нем присутствуют раковинки фораминифер и глинистый материал. Цвет ила белый, иногда желтый, распространен он на глубинах 1000—4000 м. Широкие полосы диатомовых илов выявлены в холодных морях (Антарктида, Тихий океан). Площадь, занимаемая этими илами, составляет около 8% площади ложа океана.

Радиоляриевый ил — разновидность глубоководных кремневых илов. Состоит он из мельчайших остатков радиолярий. В качестве примесей в нем встречаются панцири диатомей и красная глина. Распространен в тропической зоне океанов на глубинах 4000—8000 м.

Среди отложений океанического ложа встречаются и химические осадки. Это главным образом марганцевые конкреции, местами сплошь выстилающие дно (на севере Тихого океана и у западного побережья Америки). Размеры конкреций обычно не превышают 25 см. Как полагают исследователи, источником марганца и сопутствующих ему металлов (медь, кобальт, никель) являются продукты вулканической деятельности, поступающие в океан при подводных извержениях вулканов.

Фотографирование морского дна показало, что осадки покрывают его не повсеместно. Нет отложений на возвышенных участках дна, в том числе на значительной части срединных океанических хребтов. Возможно, что отложению осадков на высокоподнятых участках морского дна препятствуют подводные течения.

Осадки морских лагун. Они также весьма разнообразные. Состав их зависит от географического положения лагуны, состава солей, растворенных в воде, и ряда других факторов. В пределах Советского Союза известны лагуны Сиваш, Кара-Богаз-Гол, Куршский залив.

Сиваш (гнилое море) отделяется от Азовского моря Арабатской стрелкой. Глубина лагуны 0,6—0,8 м. Соленость воды 12—

16%. В краевых частях лагуны распространены пески, тянущиеся узкой полосой вдоль всего берега. В песках встречаются многочисленные раковины морских животных. Большая часть дна покрыта черным маслянистым илом с запахом сероводорода. В образовании илов широкое участие принимают водоросли, разложившееся вещество которых и окрашивает илы в черный цвет. Часть органического материала поступает в лагуну из Азовского моря.

Лагуна Кара-Богаз-Гол может быть примером отложения солевых осадков. На дне лагуны из соленых морских вод кристаллизуются гипс, галит, мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и другие соли. Отложение осадков на дне залива продолжается несколько тысячелетий. За это время образовалась многометровая солевая толща, сложенная чередующимися слоями глин, гипса, известняка, поваренной соли и мирабилита.

К пресноводному типу лагун относится Куршский залив, отгороженный от Балтийского моря баром. Река Неман несет в него пресную воду и большое количество обломочного материала. Глубина залива 15 м. Более половины дна покрыто песчаными осадками, остальная часть — илами, богатыми органическим веществом.

Морские воды и отложения — важнейший источник минерального сырья. В последние годы возрос интерес к изучению природных богатств океана. Океан не только источник рыбных богатств, но и кладовая различных полезных ископаемых. Нефть, природный газ, фосфориты и многие другие полезные ископаемые лежат или непосредственно на дне океана, или скрыты на небольших глубинах. Морские воды таят колоссальные запасы солей и различного рода металлов (в миллиардах тонн): лития — 260, молибдена — 16, меди — 4, олова — 4, урана — 4. В воде содержится 5,5 млн. т золота. В настоящее время из морской воды извлекается $\frac{1}{3}$ добываемых в мире солей. При разработке поваренной соли на каждые 10 тыс. т попутно извлекаются сырой гипс — 1730 т, калийные соли — 370, магнезия — 200, бром — 26 т. Важное место в морском промысле занимает иод. Его добывают из морских водорослей. Попытки добыть из морской воды золото и некоторые другие редкие металлы пока успеха не имели. В последние годы пытаются извлечь из морских вод уран Япония и Англия.

Весьма серьезная проблема современности — получение из морской воды пресной. Острота этой проблемы объясняется нехваткой пресных вод в засушливых районах земного шара, истощением запасов питьевых вод в уже освоенных районах. В мире уже работает около 100 опреснительных установок. Часть из них действует на территории Советского Союза. В 1973 г. в СССР на Мангышлаке была введена в строй мощная опреснительная установка, работающая на атомной энергии.

Особенно пристальное внимание уделяют геологи полезным ископаемым морского дна. Десятки геологических экспедиций тщательно изучают подводную земную кору и ведут в ней разведку полезных ископаемых. Широкий размах получили работы на

морском шельфе, где открыты месторождения нефти, угля, россыпных рудных месторождений. Железосодержащие россыпи разрабатываются в Токийском заливе, месторождения алмазов — на юго-западном побережье Африки, олова — у берегов Англии, Индонезии. Богат полезными ископаемыми Мексиканский залив, на дне которого открыты месторождения серы, фосфоритов, нефти. Разработку нефти на море ведут свыше 20 государств мира. Нефтяные месторождения обнаружены и разрабатываются в Северном, Средиземном морях, у берегов Аляски, в Персидском заливе и др. В Советском Союзе нефть добывается со дна Каспийского моря.

Немаловажную роль играют и месторождения угля. Угольные месторождения эксплуатируются у берегов Англии, Шпицбергена, Японии. Большое внимание исследователей привлекают марганцевые конкреции, огромные запасы которых установлены на дне Тихого океана. Конкреции содержат до 20% марганца, 15% железа, 0,5% никеля, кобальта, меди. Полагают, что запасы марганцевых конкреций составляют 1500 млрд. т. Следовательно, перспективы освоения богатств океана огромны.

Глава XVIII

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОЗЕР И БОЛОТ

Озера и их происхождение. *Озера* — это впадины на поверхности суши, заполненные водой. В отличие от внутренних морей они не сообщаются с океаном. Озера размещаются на равнинах, в области предгорий, в горных районах. Наиболее высокогорное в мире озеро Хорпато расположено в горах Тибета на высоте 5400 м. Самую низкую отметку имеет Мертвое озеро, уровень которого ниже уровня Мирового океана на 392 м. Площадь озер от десятков квадратных километров до сотен тысяч квадратных километров. Глубина озер варьирует в широких пределах. Так, глубина соленого озера Эльтон всего 80 см, а самого глубокого озера мира Байкала — 1741 м (табл. 11).

Общая площадь, занимаемая озерами, составляет около 1,8% площади суши, или 2,7 млн. км². Самые крупные озера мира, сходные по солевому составу и режиму с внутренними морями, называют морями (Каспийское, Аральское, Мертвое). В последние годы значительное распространение получили искусственные озера: пруды, водохранилища. На территории СССР насчитывается 2850 озер, водохранилищ и крупных прудов.

Озера имеют большое народнохозяйственное значение. Они являются источниками пресной воды и водоемами для разведения рыбы. С геологической точки зрения это области накопления минерального сырья: нефти, угля, строительных песков, керамических глин, солей и других полезных ископаемых. Наука, занимающаяся изучением озер, называется *лимнологией* (греч. λίμνη — озеро).

По происхождению котловин выделяют следующие типы озер: тектонические, вулканические, ледниковые, пойменные (старичные), дельтовые, прибрежно-морские, карстовые, обвальные (плотинные) и эоловые.

Тектонические озера заполняют глубокие провалы в земной коре (грабены) или понижения, образовавшиеся в процессе медленных опусканий земной поверхности. Тектоническое происхождение имеют крупнейшие озера мира: Байкал, Телецкое, Танганьика. Ладожское и Онежское озера — остатки древнего пролива, соединявшего Белое и Балтийское моря. Своим рождением они обязаны поднятиям земной коры и последующей деятельности ледников.

Таблица 11. Площади и глубины крупнейших озер мира

Озеро	Площадь, тыс. км ²	Наибольшая глубина, м	Абсолютная высота, м
Каспийское (море)	394	980	—28
Верхнее	82	308	183
Аральское (море)	66	68	53
Танганьика	33	1435	773
Байкал	31	1741	453
Ладожское	18	225	4
Балхаш	19	26	340
Онежское	10	110	33
Иссык-Куль	6	702	1609

Вулканические озера встречаются в областях распространения вулканов. Они приурочены к кратерам потухших вулканов и понижениям на поверхности лавовых потоков. Вулканические озера известны в СССР на Камчатке, Курильских островах, в Японии, Америке (Анды) и других районах земного шара.

Ледниковые озера образуются на месте ванн выпавивания, в понижениях, возникающих при подпруживании мореной водных потоков. Ледниковые озера широко распространены на равнинах, предгорьях, реже в горных районах. Особенно много ледниковых озер в областях плейстоценового оледенения: в Финляндии, на Кольском полуострове, в Карелии, Белоруссии, Западной Сибири и других районах.

Пойменные, или старичные, озера возникают на месте отмерших русел рек. Форма их в плане линейно-вытянутая или петлеобразная. Многочисленны старичные озера в поймах Волги, Днепра, Дона и других рек.

Прибрежно-морские озера формируются в прибрежно-морской зоне на месте отделенных от открытого моря заливов, бухт, лиманов (затопленных морем устьев рек). К ним относятся озера Сасык и Саки у Евпатории (Крым), частично дюнные озера, приуроченные к междюнным впадинам. Дюнные озера встречаются на берегах Балтийского, Северного и Средиземного морей.

Карстовые озера развиты в районах распространения карста. Образуются на месте карстовых провалов, воронок, термокарста, суффозионных просадок. К карстовым относятся озера Мичеган, Онтарио, Эльтон, Баскунчак, Индер. В карстовых пещерах образуются подземные озера. В Кунгурской пещере на Урале 36 озер.

Обвальные, или плотинные, озера встречаются в горных районах и предгорьях. Возникают они при обвалах, вызываемых землетрясениями, или обрушениях выветрелых пород. Значительные массы обломков, загромождая долины горных рек, создают запруды, выше которых скапливается вода. В 1911 г. на Памире в долине реки Мургаб обвалившаяся масса пород похоронила под собой селение Усой вместе с жителями и образовала в долине реки Мургаб плотину протяженностью 5 км и высотой 600 м. Выше плотины скопились воды, образовавшие Сарезское озеро длиной 70 км, шириной 400 м и глубиной 505 м. К этому же типу относятся и другие озера Памира, некоторые озера Тянь-Шаня, красивейшее на Кавказе голубое озеро Рица.

Эоловые озера возникают на месте дефляционных понижений — котловин выдувания.

Искусственные озера — водохранилища и пруды — по размерам не только не уступают, но в ряде случаев и превосходят многие естественные озера.

Химический состав и режим озер. Подавляющее большинство озерных котловин заполнено пресными водами. Лишь небольшая часть тектонических озер, отчлененных поднятиями от крупных морских бассейнов, содержит реликтовые (остаточные) морские воды. Так, несколько тысячелетий назад Каспийское море было отделено от большого Хвалынского морского бассейна, объединявшего современные Каспийское, Азовское и Черное моря. Ладожское и Онежское озера — остатки пролива, соединявшего в последнее ледниковое время Иольдиевое (ныне Балтийское) море с Белым.

Режим озер определяется климатическими условиями, взаимоотношением с реками, химическим составом окружающих горных пород. Климатические условия сказываются на солевом составе озерных вод, реки поставляют в озера обломочный материал. Озера, лишенные стока, называют *бессточными* (Аральское, Балхаш, Иссык-Куль).

Озера, из которых берут начало реки, называются *сточными*. Сточные озера пополняются за счет атмосферных осадков, тающих снегов и льда. Если озера одновременно и расходуют и получают воду из других рек, их называют *проточными*. Например, в озеро Байкал несет свои воды река Селенга, а река Ангара берет в нем свое начало.

Большинство озер бессточные. Движение воды у многих озер отсутствует. Исключение составляют проточные озера и крупные внутриконтинентальные бассейны, в которых наблюдаются слабые приливы, невысокие ветровые волны и подводные течения. В Каспийском море, например, приливы превышают уровень воды у берегов на 3 см, ветровые волны достигают 2—3 м высоты, а вдоль

берегов прослеживается кольцевое подводное течение. У озера Байкал приливы изменяют уровень воды на 1 см, ветровые волны ниже, чем на Каспийском море. У малых озер наблюдаются *сейши* — движения воды, подобные приливам и отливам. Вызываются они изменением атмосферного давления и заключаются в медленном переливании воды от одного края озера к другому с незначительным повышением уровня воды у берега (на несколько сантиметров).

По степени минерализации озера бывают *пресными* и *солеными*. Существенное влияние на солевой состав воды оказывают климат и состав окружающих горных пород. Минерализация Каспийского моря, омывающего берега суши с различным климатическим режимом, в среднем около 1,4%, а его залива Кара-Богаз-Гол, окруженного пустыней, — 28,5%. Озера, расположенные в условиях сухого и жаркого климата, имеют, как правило, соленые и солоноватые воды. К этой категории относятся озера Прикаспия, Приаралья и других районов Средней Азии. Причиной засоления озер являются окружающие их солончаковые почвы. Поверхностные и атмосферные воды, растворяя в солончаках соли, доставляют их в озера и повышают соленость озер. Несколько иное происхождение имеют соли озер Эльтон, Индер, Баскунчак. Эти озера располагаются непосредственно на соленосных отложениях (соляные купола), за счет которых они и осолоняются.

В Якутии, которая отличается суровым и холодным климатом, известно соленое озеро Моксоголоох. Это старичное озеро в пойме реки Кемпендйай, притока реки Вилюй. Воды озера насыщены солями сернокислого кальция и углекислого магния. Общая минерализация озера от 4,2 до 195 г/л. Интересная особенность этого озера — довольно высокая температура воды: на поверхности 13°C, на глубине 1,3 м 32°C; поэтому озеро в зимний период не замерзает. Как указывает А. С. Фомичев, повышенная температура воды обусловлена теплом, выделяемым при биохимических реакциях между метаном и сульфатными соединениями. Озеро Моксоголоох, соленость которого обусловлена биохимическими факторами, не единственное в мире.

Озера гумидного климата пресноводные. Даже воды внутренних морей в условиях такого климата постепенно опресняются. Это объясняется значительным притоком в бассейны пресных вод, образующихся при выпадении значительных количеств атмосферных осадков и таянии снега. Так, опресняются некогда соленые воды Онежского и Ладожского озер. Сейчас их минерализация не превышает 0,03%.

Воды озер по степени минерализации делят на *пресные* с содержанием солей до 1 г/л, *солоноватые* — от 1 до 25 г/л и *соленые* — свыше 25 г/л. Солоноватые и соленые озера в соответствии с классификацией Н. С. Курнакова и В. П. Кротова подразделяются на озера, осаждающие CaCO_3 (озера морского происхождения), солегипсовые, отлагающие гипс $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, горько-соленые, обогащенные MgSO_4 , хлормagneиные, содержащие CaSO_4 ,

MgCl_2 , NaCl , хлоркальциевые, насыщенные CaSO_4 , NaCl , CaCl_2 , глауберовые, осаждающие Na_2SO_4 , MgSO_4 , NaCl , и содовые, насыщенные $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Озера с соленой и солоноватой водой в СССР распространены в Казахстане, Прикаспии, Крыму, на побережье Азовского и Черного морей, в Западно-Сибирской низменности и Забайкалье.

Продолжительность жизни озер от нескольких десятилетий до многих тысяч лет. Некоторые озера появляются и исчезают на глазах человека. Они или высыхают, заполненные речными осадками, или заболачиваются. Озеро Балхаш, например, постепенно заполняется илом и песком, приносимыми рекой Или с гор.

Разрушительная деятельность озер. Геологическая деятельность озер начинается с постепенного разрушения и выколаживания берегов. Особенно наглядно это происходит в искусственных водоемах. Так, берега Рыбинского водохранилища за первые 12 лет его существования отступили местами на 40—50 м. Еще большие разрушения отмечены на берегах Цимлянского водохранилища. В течение 5 лет отдельные части берега этого водоема отступили на 100—155 м. Заметную роль в изменении морфологии берегов играют процессы выветривания и суффозии, вызывающие оползание склонов.

На берегах больших озер (Каспийском, Аральском, Онежском, Байкале, Верхнем) развиваются процессы, аналогичные абразионной деятельности моря. В зоне разрушения накапливаются обломки размером от пылеватых частиц до крупных глыб. Вся эта масса при волнениях подхватывается и уносится в озеро. В прибрежной зоне остаются лишь окатанные обломки твердых пород и минералов: галька, иногда валуны, гравий, песок.

Отложения озер. Существенную роль в отложениях озер играют продукты разрушения берегов, обломочный материал, химические осадки, представленные различными солями, соединениями железа, марганца, иногда алюминия. Животные и растения, обитающие в озерах, также служат источником образования отложений. Среди них фораминиферы, моллюски, диатомеи. Многие органические остатки при разложении превращаются в черную илоподобную массу. Соотношение между перечисленными типами осадков в разных озерах неодинаково. Объясняется это тем, что каждое из озер характеризуется специфическими чертами осадко-накопления, обусловленными географическим положением, климатом и другими факторами. Так, во многих озерах вулканического происхождения преобладают химические осадки. Озера, принимающие горные реки, интенсивно заполняются обломочным материалом (Балхаш, Алаколь, Иссык-Куль и др.). Климатические условия влияют на солевой состав отложений. В бессточных озерах аридного климата отлагаются преимущественно галит, гипс, кальций, в озерах гумидного климата — осадки железа, марганца, алюминия. В связи с резкими различиями в составе аридных и гумидных отложений озер их подразделяют на осадки пресных и осадки соленых озер.

Осадки пресных озер: Отложения пресных озер разнообразны. Большие водоемы, принимающие воды рек, постепенно заполняются обломочными осадками. В таких озерах химические и органические осадки имеют второстепенное значение. В распределении обломочного материала в озерах наблюдается определенная закономерность. В прибрежной зоне сосредотачиваются грубые обломки: галька, иногда валуны, гравий, песок. С глубиной они сменяются алевритовыми и глинистыми илами. Такая картина характерна для прибрежной зоны Каспийского и Аральского морей, Ладожского озера. Граница между грубообломочными осадками и илами в Каспийском море прослеживается на глубине 15—20 м, в Аральском — 5—10, Балхаше — 3 м. Там, где одновременно с обломочным материалом осаждаются остатки фораминифер и известковых водорослей, накапливаются смешанные глинисто-известковые или мергелистые илы.

В центральных частях больших водоемов установлены органические илы известкового и кремнистого состава, сложенные скелетами и раковинками диатомей, фораминифер, известковых водорослей. Диатомовые илы обнаружены на дне озер Байкал и Сиван, известковые органические илы выявлены в Аральском море и в Балхаше. Среди карбонатных илов встречаются химически осажденные доломиты и сферические образования кальцита (оолиты) диаметром от долей до 10 мм. Скопления известковых оолитов обнаружены у западных берегов острова Возрождения (Аральское море), где они залегают на глубине 5—26 м.

Среди химических осадков пресных озер обращают на себя внимание рудные илы, состоящие из окисных и карбонатных соединений железа, марганца, алюминия. Они обычно накапливаются в центральной части озер, нередко в сочетании с глинистыми и органическими илами. Некоторые из них имеют оолитовое строение (икряные и бобовые железные, марганцевые и алюминиевые руды). Железистые илы встречаются в озерах и болотах Белоруссии, Карелии, накапливаются в вулканических озерах Курильских островов.

В мелких озерах умеренного пояса в больших количествах накапливаются органические илы с гнилостным запахом — сапропели (греч. *sapros* — гнилой, *pelos* — ил). Исходным материалом для их образования служат синезеленые водоросли, рыбы, черви, насекомые и их личинки. Остатки отмерших организмов разлагаются на дне при малом доступе кислорода, превращаются в черный, жирный, студнеподобный ил, состоящий на 50—70% из органического вещества, перемешанного с глинистым и частично с кремнистым или известковистым материалом.

Осадки соленых озер. Основными причинами высокой концентрации солей в озерах являются: приток в озера минеральных растворов, сухой климат, отсутствие постоянного притока пресных вод. Концентрация солей в озерах может достигать больших значений, особенно при интенсивном испарении воды. Насыщенная солями вода соленых озер называется *рапой*. При малейшем на-

рушении равновесия из рапы начинается садка солей. Этот процесс, называемый *новосадкой*, наблюдается в озерах обычно в летний период. В озере Баскунчак рапа образуется только зимой и весной. Мощность слоя рассола в озере несколько сантиметров, и только в отдельных местах она достигает 0,6 м. В конце весны начинается интенсивное испарение воды и осаждение поваренной соли. С июня по ноябрь озеро высыхает, рапа сохраняется лишь в отдельных понижениях дна.

В Кулундинской степи, где насчитывается около 3000 озер, известностью пользуются Танатарская, Петуховская и некоторые

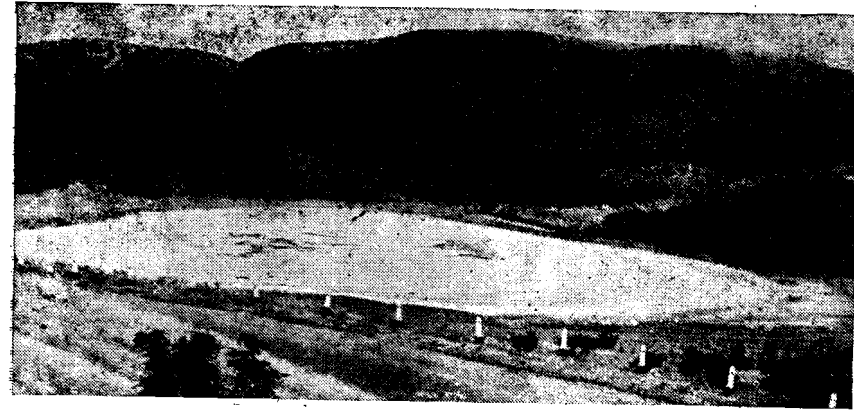


Рис. 80. Соленое озеро близ Мичета (по М. Ф. Ивановой, 1974)

другие группы озер, в которых осаждаются сода, гипс, поваренная соль, мирабилит. Сода в отличие от сульфатных и хлоридных солей осаждается в холодный период времени, когда температура раствора понижается до -5°C при концентрации солей не ниже 10%. При более высоких концентрациях (13,5%) в осадок выпадает глауберит. В теплый период времени осаждаются гипс, поваренная соль. В строении содовых толщ главное место занимают содовые песчаники, кристаллическая сода, пески. В течение года образуется слой соли и ила, мощность которого в отдельные годы может достигать 20—30 см. Садка солей может продолжаться длительное время: от десятилетий до многих тысяч лет. Мощность солевых толщ достигает в ряде месторождений сотен метров.

Современные хлоридные озера распространены в Прикаспийской низменности (Эльтон, Баскунчак, Индер и др.). Основные минералы этих озер — галит, реже сильвин, карналлит. Для сульфатных озер характерны гипс, ангидрит, мирабилит. В составе соляных толщ встречаются прослойки песков, глин, известняков, доломитов. Переслаивание солей с другими видами осадков свидетельствует об изменении режима озер в разные сезоны и периоды развития (рис. 80).

Болота и их отложения. Избыточно увлажненные участки суши, в пределах которых развивается болотная растительность с последующим накоплением торфа, называются *болотами*. Площадь всех болот мира 1,75 млн. км². Болота образуются на месте озер, лугов, в местах выхода на поверхность грунтовых вод, в низинах, затопляемых атмосферными водами. В зависимости от местоположения выделяют верховые, низинные и переходные болота.

Верховые болота встречаются на водоразделах и их склонах, в местах выхода на поверхность подземных вод или накопления атмосферных осадков. Признаком заболачивания служит развитие

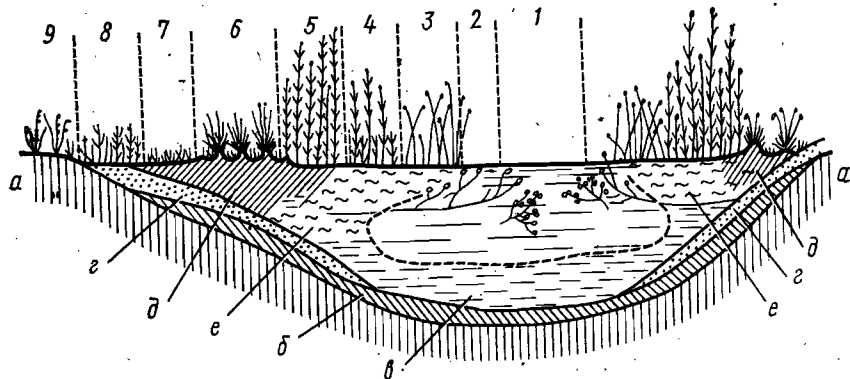


Рис. 81. Схема зарастания озера (по В. Р. Вильямсу):

а — ложе озера, б — известковый сапропелевый ил, в — аморфный сапропелевый ил, г — землистый торф, д — осоковый торф, е — камышово-тростниковый торф; 1 — свободно плавающие водные растения, 2 — кувшинка, 3 — камыш, 4 — рогоз, 5 — тростник, 6 — крупные осоки, 7 — мелкие осоки, 8 — корневищные злаки, 9 — злаки

на увлажненной поверхности гипновых, сфагновых мхов и осоки, которые, отмирая, образуют зеленовато-бурую растительную массу. Сфагновый торф верховых болот отличается высокой калорийностью и небольшой зольностью.

Низинные болота характерны для умеренного климата, они образуются в низинах на месте пойменных, дельтовых, ледниковых и других озер. Превращению озера в болото предшествует его обмеление, появление в воде и на берегах водорослей, лилий, рдестов, камыша, тростника. Зарастание озера начинается с берегов, затем растения завоевывают мелководные участки дна, прибрежные участки суши, затем распространяются к центру озера (рис. 81). Иногда растениями вначале покрывается поверхность озера, появляются плавающие острова растений, или *плавни*. Постепенно образуется трясина.

Отмершие растения опускаются на дно, где образуется полуразложившаяся бурая растительная торфяная масса.

Низинные торфяные болота довольно широко распространены в Карелии, на Кольском полуострове, в Белоруссии, Западной и Восточной Сибири и в других местах. Встречаются они и в цен-

тральных районах европейской части СССР, преимущественно в долинах рек. Болота находятся в разных стадиях развития. Одни только начинают зарастать растениями, другие уже превратились в луга, под которыми залегают слежавшаяся торфяная масса.

Исходным растительным материалом *прибрежно-морских болот* служит главным образом кустарниковая и древесная растительность. В тропической полосе это мангровые леса, растущие на заболоченном илистом грунте. Погибая, деревья падают в воду, образуется нагромождение веток, стволов, листьев и других растительных остатков. Классическим примером такого болота является Гиблое, или Большое Дисмальское, болото на побережье Атлантического океана (США), описанное в первой половине XIX в. английским естествоиспытателем Ч. Лайелем. Прибрежно-морские болота известны на Камчатке, на побережьях Охотского и Черного морей, берегах Индийского и Атлантического океанов.

Помимо торфа на дне некоторых болот накапливаются рудные илы — железистые и марганцевые, в которых присутствуют карбонатные и гидроокисные соединения железа и марганца: сидерит $Fe[CO_3]$, родохрозит $Mn[CO_3]$, лимонит $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, пиролюзит MnO_2 и др. Мощность рудных илов измеряется единицами, а в отдельных случаях и первыми десятками метров. Рудоносные болота известны в Белоруссии, в Карелии, на Курильских островах и других районах.

Переходные болота занимают промежуточное положение между верховыми и низинными болотами.

Роль озер и болот в образовании месторождений полезных ископаемых. Озерно-болотные отложения формируются непрерывно на протяжении многих миллионов лет. На смену одних озер и болот приходят другие. Этому способствуют главным образом тектонические движения земной коры, периодически обновляющие рельеф суши. Отложения древних озер давно перешли в ископаемое состояние. В геологическом разрезе земной коры их можно встретить на глубинах в десятки и сотни метров.

Жидкие илы ранее существовавших болот и озер изменили свой первоначальный облик. Под давлением вышележащих толщ они уплотнились и превратились в осадочные горные породы: известковые илы стали известняками, диатомовые и доломитовые — диатомитами и доломитами. Рудные илы превратились в руды железа, марганца, алюминия. Высоким качеством отличаются каолиновые глины озерного происхождения, используемые для производства керамических и огнеупорных изделий (Латнинское месторождение огнеупорных глин в Воронежской области и др.). Озерные пески широко используются для производства стекла.

Для соленых озер характерны отложения калийных солей, гипса, каменной соли, соды, глауберовой соли и др. Месторождения этих полезных ископаемых известны в заливе Кара-Богаз-Гол (глауберова соль), в Донбассе (каменная соль), Восточной Сибири, Белоруссии, на западном склоне Урала. В озерах Казахстана

и Западной Сибири разрабатываются месторождения соды и мирабилита. Соли бора добываются в озерах США, Чили, Аргентины.

Наиболее распространенным полезным ископаемым озерно-болотных отложений является *торф*. Торф — уплотненная масса полуразложившихся болотных растений буровато-зеленого или бурого цвета. Примеси глинистых минералов, песка и других неорганических соединений обуславливают зольность торфа. Торфяные залежи распространены в Белоруссии, Калининской, Московской областях, Западной Сибири и во многих других районах СССР. На долю СССР приходится около 60% мировой добычи торфа. Торф используется в качестве топлива, удобрений, для производства химических продуктов (дегтя, парафина, уксусной кислоты и др.).

В ископаемом состоянии торф подвергается значительным изменениям. Растительные остатки в условиях ограниченного доступа кислорода разлагаются и превращаются в бесструктурную органическую массу темно-бурого или черного цвета. Этот процесс называется *углефикацией*, он приводит к преобразованию торфа вначале в бурый, затем каменный уголь и антрацит. Углефикация выражается в уплотнении растительной массы, отщеплении низкомолекулярных веществ, изменении цвета, усилении блеска, увеличении содержания в породе углерода.

Бурый уголь — плотная или землистого сложения порода бурого или черного цвета с матовым блеском. В составе породы встречаются отдельные элементы клетчатки растений. Бурый уголь применяется в качестве химического сырья и топлива. Его месторождения известны в Иркутской и Московской областях.

При температуре 300—325°C бурый уголь превращается в *каменный уголь*. При этом содержание углерода повышается с 60—75 до 82%. Меняется и облик породы. Блеск становится стеклянным, повышаются твердость и плотность породы. Каменный уголь используется в качестве металлургического и энергетического топлива.

Процесс углефикации завершается образованием высококалорийного угля — *антрацита*, содержащего около 95% углерода. Для антрацита характерны раковистый излом, металловидный или стеклянный блеск, высокая твердость. Месторождения каменного угля и антрацита известны в Донбассе, Кузнецком, Карагандинском, Южноякутском и других угольных бассейнах Советского Союза.

Сапропелевые илы при переходе в ископаемое состояние превращаются также в угли, а при наличии значительного количества негорючей минеральной массы — в *горючие сланцы* — глинистые или известковые породы серого или зеленовато-серого цвета, содержащие около 20—60% органического вещества. Горючие сланцы известны в Прибалтике (*кукерситы*), в Поволжье и других районах. Они применяются в качестве топлива, для получения масел и ряда других продуктов.

Существует предположение, что органические остатки озер и болот являются одним из источников образования нефти. *Нефть* — маслянистая жидкость черного, бурого или другого цвета, состоящая из углерода (85%), водорода (14%) и примесей. В соответствии с гипотезой И. М. Губкина нефть образовалась из органических остатков животного и растительного происхождения, подвергшихся разложению анаэробными бактериями и воздействию высоких температур и давлений недр. Образующаяся при этом из сапропелевых илов битуминозная порода *сапропелит* разлагается затем на твердые (битумы), жидкие (нефть) и газообразные продукты. Под давлением жидкие и газообразные компоненты вытесняются из материнского вещества и мигрируют в окружающие породы. Встречая на своем пути ловушки типа куполообразных складок, нефть и газ накапливаются в них, образуя месторождения. В последние годы в науке нашла признание гипотеза происхождения нефти из планктона.

Глава XIX

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Экзогенные процессы взаимосвязаны и взаимообусловлены. Для них характерны как общие черты, так и существенные различия. Общим является то, что каждый из них вызывает разрушение горных пород и способствует образованию осадков. Различные направленность процессов, их длительность, масштабы проявления. Особенно ярко эти различия выражены между экзогенными геологическими процессами суши и моря. На суше, например, широко развиты эрозия и денудация, направленные на понижение поверхности Земли, на океаническом дне преобладает седиментация, ведущая к заполнению котловин осадками. Масштабы континентального осадконакопления резко ограничены по площади и приурочены главным образом к понижениям рельефа: речным долинам, озерным котловинам, межгорным впадинам. Распространение разнообразных по составу и условиям образования континентальных отложений подчиняется климатической зональности. Так, для областей с аридным климатом характерны эоловые и солевые отложения, для равнин с гумидным климатом — аллювиальные, делювиальные, элювиальные, озерно-болотные отложения, для областей материкового оледенения — моренные, флювиогляциальные, озерно-ледниковые отложения. В океанах, превышающих по площади сушу более чем в два с лишним раза, осадконакопление происходит почти повсеместно. Состав осадков и их мощность согласуются с глубинами морского дна. В мелководных зонах преобладают терригенные отложения, характеризующиеся значительной мощностью осадков, разнообразием состава и обилием фауны. В глубоководных зонах развиты тонкие глинистые илы и отложе-

ния раковин планктона. Морские отложения, как и континентальные, подчиняются климатической зональности. Так, для теплых морей с нормальной соленостью характерны коралловые илы и рифы, для холодных морских вод — отложения диатомовых илов и т. д.

Длительность экзогенных геологических процессов может быть установлена по мощности осадочных толщ, времени жизни водных бассейнов, глубине эрозионного среза и т. д. Наибольшей длительностью отличается морское осадконакопление. За миллионы лет на дне морей накапливаются толщи осадков мощностью в сотни и тысячи метров. Экзогенные геологические процессы участвуют в формировании земной коры уже более 3,5 млрд. лет. За это время отложены мощные толщи осадков, среди которых континентальные осадки имеют подчиненное значение. Наблюдаемая в геологических разрезах смена морских отложений континентальными объясняется движениями земной коры, которые в разное время приводили то к поднятиям ее, то к погружениям. В результате отдельные участки земной поверхности периодически становились то сушей, то дном моря. За длительную историю формирования земной коры на Земле неоднократно менялось положение материков и морских бассейнов, менялись климатические условия, обновлялась фауна и флора. Каждый геологический этап вносил свои особенности в формирование осадочных толщ и их распространение. Осадки, переходя в ископаемое состояние, изменялись и постепенно превращались в осадочные породы. Этому способствовали процессы диагенеза.

Диагенез осадков. Диагенез (греч. диагенезис — перерождение) — это совокупность геологических процессов преобразования рыхлого осадка в осадочную породу. В стадию диагенеза происходит уплотнение осадка, уменьшение его влажности, разложение одних минералов и образование других. Перераспределение вещества в осадке уравнивает его многокомпонентную систему. Изменения происходят под покровом более молодых отложений в условиях температур и давлений верхней зоны земной коры и длются тысячи и миллионы лет.

Уплотнение происходит под тяжестью вышележащих отложений и сопровождается потерей воды. В результате пески могут превратиться в песчаники, глинистые илы — в глину, скопления известковых раковин морских животных — в известняк-ракушечник и т. д. Потеря воды осадком, или *дегидратация*, нередко сопровождается выносом легкорастворимых соединений. Растворению подвергаются углекислые и сернокислые соли кальция (гипс, арагонит, кальцит), иногда соединения кремния (опал) и др. Вынос из минеральной массы осадка отдельных соединений называется *выщелачиванием*. Выщелачивание вызывает образование в породе мелких пустот или каверн. Кавернозность нередко наблюдается в карбонатных породах, доломитах, известняках. Впоследствии пустоты заполняются другим минеральным веществом. Так, в породе могут появиться включения пирита, халькопирита или

других минералов. В тех участках осадка, где создается повышенная концентрация фосфора, серы, железа, кремния, образуются кремнистые, железистые или фосфоритовые конкреции.

Характер химических преобразований осадков во многом определяется окружающей средой. Среда может быть *окислительной* или *восстановительной*. В присутствии свободного кислорода закисные соединения железа и марганца переходят в соединения окисные. Так, сидерит $Fe[CO_3]$, окисляясь, переходит в лимонит $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$. В присутствии органического вещества в осадке создается восстановительная среда. Бактерии, разлагая органическое вещество и углеводороды, способствуют выделению из них углекислоты и сероводорода. Химические реакции CO_2 и H_2S с минералами приводят к образованию карбонатных соединений и сульфидов (доломит, сидерит, пирит).

При химическом замещении одного вещества другим образуются *псевдоморфозы* (греч. псевдос — ложь, морфосис — образование). Замещению могут подвергаться минералы, скелетные остатки животных и растений. Так, при окислении пирита его кубические кристаллы замещаются лимонитом (псевдоморфоза лимонита по пириту). При замещении растительных тканей деревьев кварцем (пиритом) происходит их *окремнение* (окаменение деревьев). Известковые раковины морских животных замещаются фосфоритом. Минеральные растворы, содержащие соединения кремния и железа, могут вызвать *окремнение* или *ожелезнение* осадка. При этом повышается твердость, изменяется цвет осадка.

Диффузионное перемещение влаги, проникновение в зону диагенеза минерализованных вод иногда вызывают *цементацию* осадка, при которой все поры заполняются кристаллизующимися из растворов минеральным веществом. В процессе цементации пески превращаются в песчаники, галечники — в конгломераты, щебенка — в брекчию. Состав цемента нередко определяет название породы. Так, песчаники, склеиваемые соединениями железа, называют железистыми, глиной — глинистыми, кальцитом — карбонатными.

При глубоком диагенезе карбонатных илов в уплотненной их массе под воздействием окружающего давления и температуры могут развиваться процессы *перекристаллизации*, которые приводят к замещению мелких зернышек минералов крупными кристаллическими зернами. В результате перекристаллизации плотные известняки или доломиты превращаются в кристаллически-зернистые породы.

Степень изменения осадков в процессе диагенеза зависит от длительности воздействия на него внешних факторов и характера окружающей среды. Как условия образования осадка, так и процессы диагенеза накладывают отпечаток на облик осадочной горной породы, ее минеральный состав, структуру, текстуру. По облику осадков или осадочной горной породы можно восстановить физико-географическую обстановку условий его образования. Этим

занимается наука об изменении осадков земной коры — учение о фациях.

Понятие о фациях. Термин *фация* (лат. *facies* — лицо, облик, вид) был предложен в 1836 г. швейцарским геологом Грессли. Понимается этот термин разными исследователями по-разному. Одни под термином «фация» понимают участок поверхности Земли с одинаковыми физико-географическими условиями осадконакопления, другие — комплекс палеонтологических и петрографических признаков осадка, указывающих на особенности среды его образования. Большинство исследователей под фацией понимают обстановку осадконакопления (современную или древнюю), овеществленную в осадке или горной породе. Обстановку осадконакопления можно характеризовать с точки зрения физико-химических условий среды, условий обитания организмов, климата, ландшафта. По физико-географическим условиям образования фации подразделяют на морские, континентальные и лагунные.

Морские фации. В зависимости от глубины накопления осадков их подразделяют на прибрежные, мелководные, умеренно-глубоководные и весьма глубоководные. **Прибрежные фации** сложены крупно- и среднеобломочными осадками (породами), в составе которых встречаются раковины животных, характерных для литоральной зоны обитания. **Мелководные** (до 100 м) и **умеренно глубоководные** (свыше 100 м) фации весьма разнообразны по составу осадков и фауне. Из терригенных осадков среди них наиболее широко распространены пески, меньше — галечники и глины, из биогенных — фораминиферовые, коралловые, брахиоподовые известняки, мел. Хемогенные отложения представлены бокситами, рудами железа, марганца, фосфоритами. **Глубоководные и весьма глубоководные фации** представлены синими, красными, зелеными глинами, глауконитовыми песками, вулканогенно-осадочными отложениями, красной глубоководной глинной, известняками, диатомитами и др.

Лагунные фации. Для лагунных фаций типичны хемогенные породы (известняки, доломиты, соли, гипс), для опресненных лагун — терригенные отложения, близкие по составу к морским осадкам, но отличающиеся от них отсутствием глауконита, фосфорита, угленосных отложений. Среди лагунных отложений встречается фауна мшанок, ракообразных, остатки рыб.

Континентальные фации. Встречаются в понижениях рельефа суши и на равнинах. Среди них выделяют фации наземные и фации континентальных водоемов.

К наземным относят фации коры выветривания, эоловые, ледниковые, предгорные. Наиболее распространены **фации коры выветривания**, представленные каолиновыми, нонтронитовыми глинами, латеритами и другими продуктами выветривания. **Эоловые фации**, или фации пустынь, имеют значительное площадное распространение, небольшую мощность, сложены песками. В их составе встречаются споры и пыльца засухоустойчивых растений. **Ледниковые фации** состоят из несортированного слабо окатанного

обломочного материала. Флювиогляциальные отложения отличаются сортированностью, сложены гравием, песками, ленточными глинами. Как и моренные отложения, они лишены органических остатков. **Предгорные фации** сложены отложениями осыпей, временных горных потоков. Они окаймляют прерывающейся полосой область предгорий и представлены глыбами, щебнем, валунами, галечниками, песками, глинами. Органические остатки в их составе отсутствуют.

Фации континентальных водоемов. К ним относятся речные и озеро-болотные отложения. **Речные фации** приурочены к погребенным и современным речным долинам. В плане повторяют вытянутые очертания пойм и русел рек, состоят из аллювиальных и делювиальных отложений. **Фации озер и болот** имеют линзовидную форму залегания, небольшую мощность. Пресноводные отложения сложены песками, гравием, алевритами, глинами, содержат органические остатки. Отложения соленых озер представлены переслаиванием каменной соли, сильвинита, гипса и других солей, лишены органических остатков. Для болот характерны отложения торфа, железных руд.

Понятие о формациях. Формация — комплекс осадочных горных пород разного петрографического состава, образовавшихся в неодинаковых физико-географических условиях, но при одинаковом тектоническом режиме (режим движений земной коры). Наиболее распространены соленосные, красноцветные и угленосные формации. **Соленосные формации** сложены переслаивающимися хемогенными породами разного состава (доломит, гипс, ангидрит, каменная и калийная соль и др.), среди которых могут быть пески и глины. Мощность солевых толщ измеряется десятками и сотнями метров. **Формации красноцветных пород** образованы отложениями рек, их дельт, озерными и прибрежно-морскими осадками. **Угленосные формации** характеризуются присутствием среди песчаников, глин, известняков пластов и линз угля. Мощность угленосных формаций сотни и тысячи метров.

Установлению фаций и формаций предшествует большой объем полевых и лабораторных исследований. На основе данных фациального анализа составляют палеогеографические карты, дающие представление о географии прошлых эпох.

Палеогеография. Наука о географических ландшафтах геологического прошлого земли называется *палеогеографией*. В ее основе лежит сравнение физико-географических процессов прошлого и настоящих. Первые упоминания о палеогеографии находим в трудах М. В. Ломоносова («древняя география»). Впоследствии на основе всестороннего изучения осадочных горных пород, границ их распространения были установлены контуры древних морей и материков, составлены карты. Карты древней географии называют *палеогеографическими*. На них показывают ландшафты суши, рельеф океанического дна, области вулканической деятельности и горообразования, соленость морских бассейнов и климатические зоны прошлого.

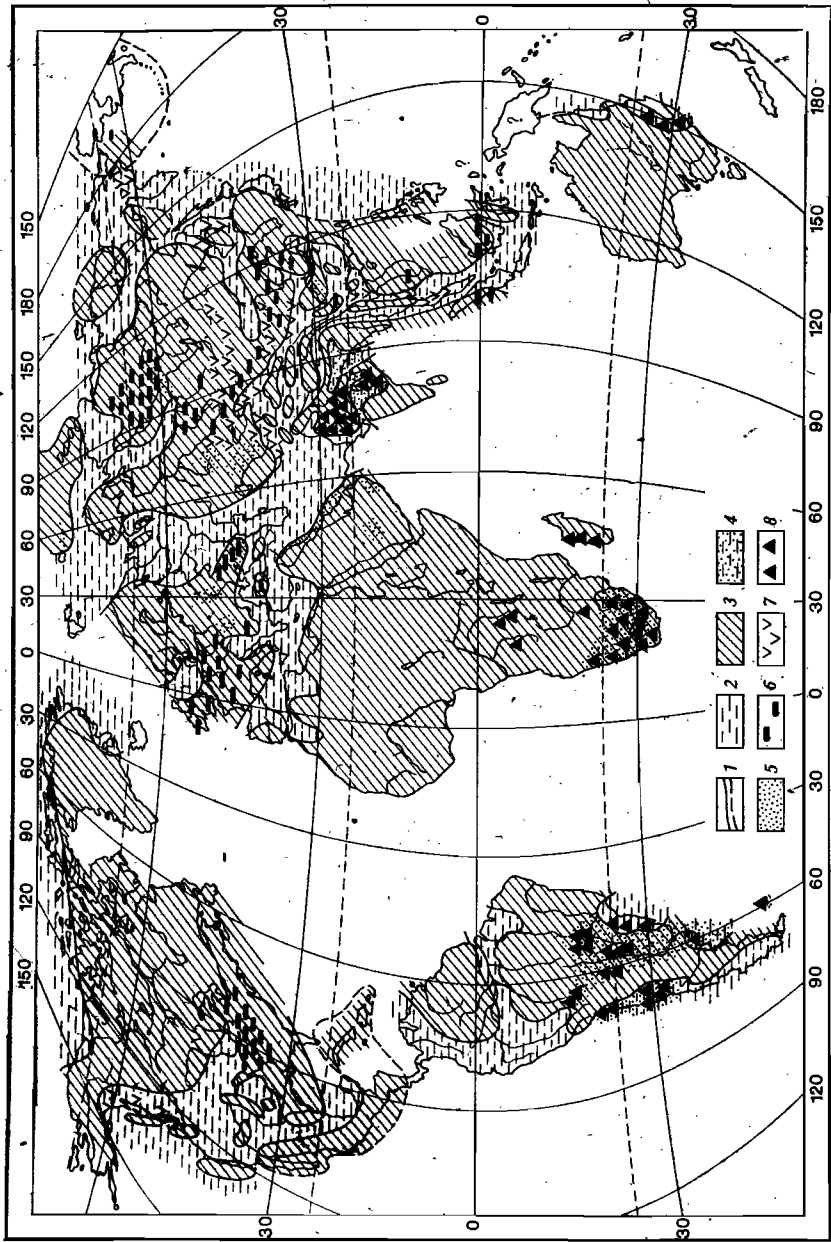


Рис. 82. Палеогеография позднего карбона (составил И. А. Грещинкова):

1 — граница суши и моря, 2 — море, 3 — суша, 4 — чередование морских и континентальных условий, 5 — области континентального осадконакопления, 6 — области угленосности, 7 — области проявления вулканизма, 8 — области накопления ледниковых отложений

Приведенная на рис. 82 палеогеографическая карта карбона составлена на основе анализа каменноугольных отложений. На ней нанесены границы материков, морей, области накопления угля, ледниковых отложений, области проявления вулканизма. Эти данные позволяют сделать выводы, что в конце каменноугольного периода в Северном полушарии в большинстве районов был теплый и влажный климат (об этом свидетельствуют отложения угля). В Южном полушарии климат был суровым и холодным, что подтверждается обнаруженными на территории Южной Америки, Африки, Индии и Австралии ледниковыми отложениями. В районе Урала, Казахстана, Восточной Сибири и ряде других мест проявлялась вулканическая деятельность.

Палеогеографические карты имеют как познавательное, так и практическое значение. С их помощью выявляются области, перспективные для поисков месторождений тех или иных полезных ископаемых.

Эндогенные геологические процессы происходят в недрах Земли в условиях высоких температур и давлений. Основным источником энергии эндогенных геологических процессов — внутренняя теплота Земли. Ее неравномерное распределение в литосфере приводит в одних случаях к изменению состава, свойств и структуры первоначальных пород (метаморфизму), в других — к плавлению пород и образованию магмы. Огромная тепловая энергия вызывает движения земной коры, в процессе которых меняется пространственное положение пород, появляются многочисленные разрывы и трещины. Движения создают условия для перемещения вещества из одних зон Земли в другие. Магматический расплав, образовавшийся на глубине, по трещинам устремляется вверх, несет глубинное вещество к поверхности Земли. Осадочные породы — типичные поверхностные образования при нисходящих движениях земной коры оказываются в условиях глубин, где подвергаются воздействию глубинных факторов среды, испытывают частичное плавление и превращение в породы магматические. Процессы внутренней динамики Земли мало доступны непосредственному наблюдению и поэтому изучены слабее. Выделяются следующие главные формы их проявления: магматизм, метаморфизм, тектонические движения, землетрясения.

Глава XX

МАГМАТИЗМ

Магматизмом называют процессы, связанные с образованием и движением в земной коре магм и рождением из магм магматических горных пород. *Магма* — природный огненно-жидкий силикатный расплав, насыщенный газами, образующийся в верхней мантии (астеносфера) или в земной коре. Состав магмы неодинаков и зависит от состава исходной материнской породы, подвергающейся плавлению. Магматизм бывает интрузивным и эффузивным. При *интрузивном магматизме* магма не достигает земной поверхности, а затвердевает в трещинах, пустотах или расплавленных ею участках земной коры и образует *глубинные магматические тела*, или *интрузии*. При *эффузивном магматизме* магма достигает поверхности земли, изливается и застывает в наземных условиях.

Магматизм развивается в тех участках литосферы, где нарушается установившееся в процессе длительного времени термодинамическое равновесие (нарушение температурного режима и

давления). Сдвиг равновесия может быть вызван действием на горные породы глубинных тепловых потоков, физико-химическими процессами, радиоактивным распадом вещества. Процессы магматизма играют большую роль в формировании земной коры, в образовании рудных месторождений полезных ископаемых. Около 90% объема всей земной коры составляют породы магматического происхождения.

Интрузивный магматизм. Областью его проявления являются верхняя мантия и земная кора. Сущность интрузивного магматизма заключается в рождении магмы, ее миграции и образовании интрузивных (глубинных) магматических тел. По месту возникновения магму подразделяют на *мантийную* и *коровую*. Происхождение мантийной магмы связывают с астеносферой, где происходит плавление подкоровых перидотитовых пород и выплавление из них расплава, по составу соответствующего базальтам (*базальтовая магма*). Коровая магма, как полагают, образуется в земной коре на глубинах 10—30 км при избирательном плавлении осадочных и метаморфических пород теплом, накапливаемом от радиоактивного распада вещества. По составу коровые магмы соответствуют гранитам (*гранитная магма*).

Впервые мысль о существовании двух магм — базальтовой и гранитной — высказал в 1910 г. академик Ф. Ю. Левинсон-Лессинг. Подтверждением этого предположения служит широкое распространение в земной коре базальтовых пород. Ими сложена нижняя оболочка земной коры, многочисленные базальтовые покровы выстилают дно океанов и слагают участки суши. Современные вулканы продолжают извергать базальтовую лаву. О существовании гранитной магмы свидетельствует широкое распространение гранитов, подстилающих осадочную толщу земной коры и пронизывающих ее. В 1928 г. была опубликована гипотеза Н. Боуэна, который считает, что существует только одна родоначальная базальтовая магма. В свое время эта гипотеза пользовалась большим успехом. Окончательно вопрос о существовании одной или двух родоначальных магм пока не решен.

Огромные подземные резервуары, заполненные огненно-жидким расплавом — магмой, называют *магматическими очагами* (рис. 83). Они бывают первичными и вторичными, или промежуточными. *Первичным магматическим очагом* считают место рождения магмы, *вторичным* — участок земной коры, куда магма переместилась в процессе миграции. Геофизическими исследованиями, проведенными в районах вулканической деятельности, первичные очаги были обнаружены на глубинах 60—200 км, вторичные — 5—7 км. В пределах Камчатской и Курильской вулканических зон глубина залегания первичных магматических очагов 60—100 км. Под вулканом Везувий питающий его вторичный очаг расположен на глубине 6 км.

Магматические очаги могут существовать бесконечно долго, не оказывая никакого влияния на поверхность Земли, если земная кора не испытывает движений. Движения земной коры создают

в породах трещины (каналы), по которым расплав перемещается в вышележащие слои земной коры. В процессе движения магма распадается на две фазы: расплав и газы. Основную часть системы составляет расплав, на долю газов приходится от 1,5 до 12% объема магмы.

Расплав — многокомпонентная система, состоящая из окислов SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O . В составе газов преобладают пары воды и летучие соединения CO_2 , SO_3 , SO_2 , H_2S , Cl , F , B . В гранитной магме преобладают окислы кремния (кремнекислота), поэтому гранитные магмы называют *кислыми*,

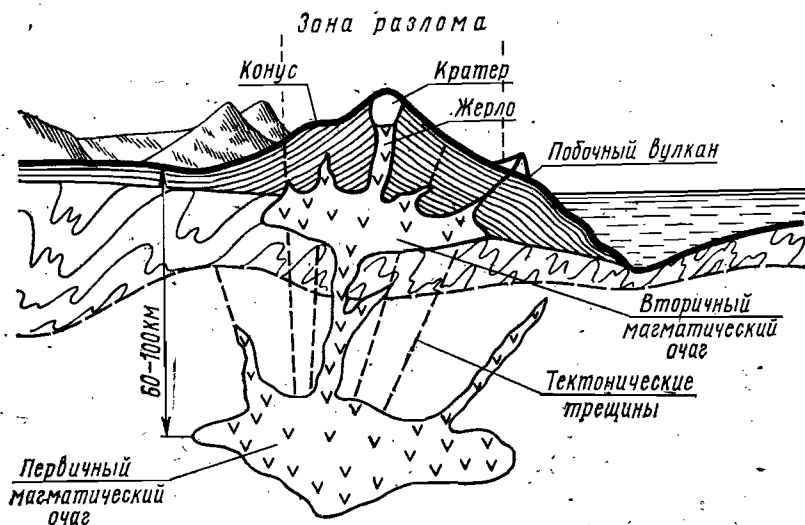


Рис. 83. Схема строения вулканического аппарата и питающих его магматических очагов

а базальтовые магмы, богатые основаниями Ca , Mg и Fe , — *основными*. В процессе внедрения первоначальный состав магмы может меняться благодаря ассимиляции (усвоению) контактирующих с магмой горных пород.

Магма, имеющая температуру 1500°C и более, попав в окружение более холодных вмещающих пород, отдает часть тепла и охлаждается. При охлаждении происходит разделение жидкой фазы магмы на части по химическому составу — *магматической дифференциации*. В результате образуется тяжелый, обогащенный окислами Fe , Ca , Mg , и легкий, насыщенный окислами Si и Al , расплавы. Затем начинается второй этап расщепления первичного расплава — *кристаллизационная дифференциация* — последовательная кристаллизация сначала тугоплавких соединений, потом легкоплавких. Первыми обычно кристаллизуются силикаты железа и магния, последними — соединения калия и натрия. Процессы ассимиляции и дифференциации родоначальной магмы на части объясняют разнообразие магматических горных пород.

При отжимании из расплава тяжелой тугоплавкой фракции

образуются *ультраосновные магматические породы*, затем *основные, средние, кислые и щелочные*. Подтверждением дифференциации служат примеры резкого изменения петрографического состава пород у одной и той же интрузии. Так, один из интрузивных массивов Урала, расположенный в районе Тагила, в центральной части сложен породами основного и ультраосновного состава (габбро, габбро-перидотиты, дуниты), а в краевых частях — породами среднего (сиениты) и кислого (граниты) состава. Наличие дифференциации подтверждается и периодической сменой состава лав у вулканов Везувий, Ключевская сопка и др.

В зависимости от глубины залегания интрузии магматических пород могут быть *абиссальными* (глубинными) и *гипабиссальными* (интрузии умеренных глубин). Первые значительных размеров (батолиты, штоки), вторые меньше по размерам, но разнообразнее по форме (дайки, лакколиты и др.).

Постмагматические явления. Так называют геологические процессы, развивающиеся вокруг интрузива в период и после охлаждения и кристаллизации магмы. В постмагматических процессах большую роль играют горячие газы и гидротермальные растворы. Раскаленные газы и водяные пары, отделяясь от магмы, по порам и трещинам вмещающих пород проникают в более холодные породы. Здесь газы сжимаются и из них кристаллизуются высокотемпературные минералы (кварц, слюда, вольфрамит, молибденит и др.). Процесс рождения минералов из газов получил название *пневмолитового*. Происходит он при температурах $450\text{--}800^\circ\text{C}$ и охватывает отдельные области интрузива и вмещающих пород, примыкающих к нему.

По мере охлаждения газов находящиеся в них водяные пары сжимаются и при температуре $400\text{--}450^\circ\text{C}$ превращаются в горячие водные — *гидротермальные* — *растворы*. Из обогащенных рудными элементами, соединениями кремния, серой и другими компонентами гидротерм выкристаллизовываются в порах и трещинах вмещающих пород рудные минералы. Так образуются вкрапления руд и жильные тела сульфидов меди, свинца, цинка, молибдена, самородного золота и многих других промышленно ценных полезных ископаемых. Процесс рождения минералов из гидротермальных растворов получил название *гидротермального*.

Гидротермальные растворы и газы не только дают самостоятельные минералы, но и изменяют химически активные горные породы. Так, проникая в карбонатные породы, известняки и доломиты, они замещают карбонатные соединения силикатами кальция, магния, железа, алюминия и одновременно отлагают в них рудные минералы. В результате образуются качественно новые породы — *скарны*. Этот процесс получил название *метасоматоза* (греч. мета — после, соматоз — тело).

Постмагматические процессы играют большую роль в образовании рудных месторождений полезных ископаемых (месторождения меди в Казахстане, железа в Западной Сибири, свинца и цинка на Алтае и др.).

Совокупность процессов и явлений, связанных с перемещением и выходом на поверхность магматических масс и сопровождающих их газов и водяных паров, называется *вулканизмом* (лат. *vulcanus* — бог огня и кузнечного дела у древних римлян). Вулканизм проявляется на участке суши или морского дна, под которым размещен магматический очаг. Важное условие образования вулканического района — движения земной коры, ведущие к появлению трещин (разломов), соединяющих магматический очаг с поверхностью земли. Вокруг ослабленных участков разломов образуются *вулканы центрального типа*, при наличии линейно вытянутых трещин — *трещинные*. Само понятие «вулкан» означает выводное отверстие, через которое из недр Земли выбрасываются продукты извержения (лава, обломки, газы), но чаще в это понятие включают и возвышение, образованное продуктами извержения, с углублением (кратером) в центре.

Строение вулканического аппарата. Вулканы на поверхности Земли встречаются в одиночку или цепочками, вытянутыми вдоль трещин. Вулканы различаются по размерам, форме, строению кратера и подводного канала — жерла. Возвышение чаще имеет коническую форму, поэтому его называют *конусом вулкана*. Высота конуса зависит от возраста вулкана и характера его извержения. Обычно чем старше вулкан, тем выше его конус. Конусы могут быть образованы переслаиванием застывших потоков лавы и вулканических обломков. Слоистые конусы нередко называют *стративулканами*. Высота конуса от первых сотен до 5—6 тыс. (Везувий — 1186 м, Этна — 3522 м, Ключевская сопка — 4850 м). Самые высокие вулканы расположены в Андах. Высочайший из них — вулкан Аконкагуа (6960 м). Еще выше конус известного на Гавайских островах (Тихий океан) вулкана Мауна Лоа. Вместе с подводным продолжением его высота 8766 м.

На склонах конусов образуются глубокие овраги — *барранко-сы* (исп. *ваггансо* — овраг, ущелье), промытые потоками ливневых вод, и небольшие побочные конусы, называемые *паразитическими*. Побочные конусы появляются после сильных извержений вдоль трещин основного конуса. У вулкана Этны (Сицилия) таких паразитических конусов свыше 300, у Ключевской сопки (Камчатка) — около 60. Форма конусов редко бывает правильной. Чаще она нарушается при сильных извержениях: взрывом срывается верхушка основного конуса, все возвышение проседает в образовавшуюся под ним пустоту и т. д. При этом образуются такие типы вулканических надстроек, как кальдеры, соммы, маары (рис. 84).

Кальдерой (порт. *caldero* — котел) называют осевший в глубь конус вулкана (рис. 84, в). Форму кальдеры имеет вулкан Крашенинникова на Камчатке. Если взрыв срывает значительную часть

конуса старого вулкана, на его месте во время очередных извержений вырастает новый конус. Получается как бы вулкан в вулкане. По имени старого полуразрушенного конуса Везувия этот тип вулканического аппарата получил название *соммы* (рис. 84, г).

Взрывы, сопровождаемые выбросами газов, иногда бывают настолько сильными, что разрушают весь конус целиком. Примером может служить извержение вулкана Кракатау в августе 1883 г. (Индонезия). Во время его извержения было выброшено в атмосферу около 18 км³ обломков, уничтожены конус вулкана, $\frac{2}{3}$ части острова, на котором он располагался, и образована впадина

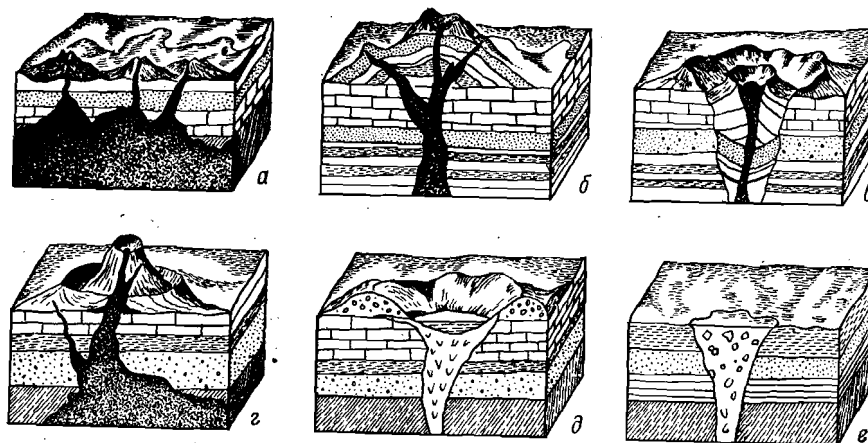


Рис. 84. Типы вулканических аппаратов:

а — трещинные вулканы, б — правильный конус стратовулкана, в — кальдера, г — сомма, д — маар, е — диатрема

глубиной 300 м, затопленная затем морем. Извержение вызвало значительные разрушения на прилегающих островах, унесло 36 тыс. человеческих жизней.

Взрывное происхождение имеет и маар (исп. *таар*). *Маары* (рис. 84, д) — невысокие кольцевой формы конусы диаметром 250—3000 м. Разновидностью мааров являются *диатремы* (лат. *dia* — через, *trama* — отверстие, дыра), или *трубки взрыва* (рис. 84, е). Они известны в Южной Америке, Якутии. С ними связаны месторождения алмазов.

В центре вулканических возвышений расположены огромные углубления — *кратеры*. Они имеют вид котловин, форма и размеры которых зависят от характера извержений вулканов. Диаметр наиболее крупных из них достигает 30 км, глубина — до тысяч метров. Стенки кратера бывают пологими (маары) или обрывистыми (кальдеры). Дно котловин чаще выстлано обломками, покрыто застывшей лавой. Известны случаи, когда лава на дне кратера длительное время не застывает. Лавовое озеро из неза-

стывшей лавы известно на дне кратера вулкана Нирагонго (Африка).

Кратер непосредственно сообщается с *подводным каналом*, или *жерлом вулкана* (см. рис. 83), по которому из глубин поступают продукты извержения. Жерло в период между извержениями обычно заполнено застывшей лавой.

Классификация вулканов. Вулканы классифицируют не только по морфологическим признакам (строению подводных каналов и вулканических аппаратов), но и по характеру размещения вулканов на поверхности Земли, степени их активности, типу извержений, составу вулканических продуктов. По положению на поверхности Земли вулканы делятся на *наземные* и *подводные*. Наземные вулканы сосредоточены вдоль глубинных разломов, главным образом по побережью океанов, на островных дугах и океанических островах (79%), 21% всех вулканов составляют вулканы подводные. Они расположены на океаническом дне и срединных океанических хребтах. Многие подводные вулканы за счет роста вулканических конусов со временем становятся вулканами наземными. В 1957 г. у острова Фаял (Азорские острова) наблюдалось извержение подводного вулкана. Вот как описывает это извержение Г. Тазиев. Вначале на море появилось слабое кипение воды, затем в воздух поднялся столб пара, а на воде появились куски плавающей пемзы. Через сутки над водой уже возвышался холм из шлака высотой 100 м и шириной 1000 м. Первоначально это был остров подковообразной формы, затем он разросся и превратился в полуостров. Пока извержение происходило под водой, не было шума, но как только кратер, показавшись над водой, стали слышны раскаты взрывов, сопровождаемые выбросами пепла и обломков. Новый вулкан был назван Капелиньюшем. Через 80 дней после своего рождения он как обычный наземный вулкан извергал лаву. Таким образом образовались многие вулканические острова (Азорские, Гавайские, Курильские и др.).

По степени активности вулканы делят на действующие, уснувшие и потухшие. К *действующим* относят вулканы, периодически извергающиеся в наше время. Таких вулканов насчитывается более 500. Основная их часть расположена на суше и 1/7 часть в океане. *Уснувшими* называют вулканы, действие которых происходило в историческое время (вулканы Эльбрус и Казбек на Кавказе, вулканы Датунской группы в Китае и др.). К *потухшим* относятся вулканы, извержения которых отмечались лишь в геологическом прошлом. Некоторые уснувшие вулканы иногда начинают действовать вновь. Так молчавший около 1000 лет вулкан Бандай-Сан (Япония) в 1888 г. разразился мощным извержением.

Известно немало случаев рождения вулканов на глазах у человека. Любопытный пример описывает В. И. Лебединский. В Мексике, в провинции Мичоакан, в феврале 1943 г., крестьянин, работавший в поле, заметил столб дыма, поднимавшийся среди маисового поля. Он сообщил об этом в ближайший город. Привыкшая комиссия обнаружила на указанном месте отверстие глу-

биной 9 м, из которого поднимались клубы черного дыма. Через три дня вокруг канала возвышалась гора из шлака и пепла высотой 138 м, а через год она достигла 430 м. Так заявил о своем рождении новый вулкан Парикутин.

Активность вулканов имеет прямую связь с энергией магматического очага. По мере истощения этой энергии вулканы затухают.

По данным В. В. Велинского, отдельные вулканы живут 10—15 тыс. лет.

Потухшие вулканы со временем меняют свой облик. Под влиянием процессов эрозии конусы их разрушаются или проседают в пустоты, образовавшиеся под ними. На месте огромных вулканических надстроек остаются кольцевые структуры с выходом интрузивных пород в жерло. Вокруг сохраняются остатки вулканических пород. Диаметр кольцевых структур от одного до нескольких десятков километров. Некоторые древние вулканы оказываются *погребенными* под более молодыми отложениями, и только отдельные признаки свидетельствуют о некогда бушевавшей грозной стихии. Погребенные вулканы обнаружены в разных странах мира. На территории СССР они известны в Сибири, на Дальнем Востоке, Урале, в Центральном Казахстане и др. Распространение древних вулканов показывает, что области проявления вулканизма менялись от одной геологической эпохи к другой. Обилие вулканических пород среди толщ раннего возраста свидетельствует о том, что вулканическая деятельность в геологическом прошлом была более бурной.

Фазы извержений и типы вулканов. Действующие вулканы отличаются друг от друга характером и периодичностью извержения. Предшествуют извержению разогревание магматического очага и внедрение магмы. Оживление магматического очага заявляет о себе легкими подземными толчками, сила которых возрастает по мере приближения расплава к поверхности Земли. Первыми подходят к лавовой пробке жерла газы. Колоссальная энергия, высвобождающаяся при преодолении сопротивления, приводит к различным разрушениям. В одних случаях под влиянием этой энергии канал освобождается от застывшей лавы и обломков, в других — образуется масса трещин в теле вулкана или срывается конус. Через открывшиеся трещины вначале со взрывом вырываются газы, затем изливается лава. Очередные порции газа и расплава увеличивают длительность извержения, оно может продолжаться от нескольких часов до нескольких месяцев. Подобные циклы извержений периодически повторяются. По подсчетам В. И. Влодавца, у Ключевской сопки их было около 700. При расчете количества циклов В. И. Влодавец исходил из общего объема конуса (340 км³) и среднего количества вулканических продуктов, выбрасываемых при одном извержении (0,5 км³).

В каждом цикле выделяют три фазы. Первая фаза — землетрясение с последующим выбросом вулканических газов и обломков, вторая — извержение лавы, третья — поствулканическая (пост-после), характеризующая поведение вулкана в период между из-

вержениями. Время между циклами измеряется годами и даже столетиями. Некоторые вулканы действуют почти непрерывно. Например, вулкан Исалько (Центральная Америка) выбрасывает пепел и бомбы через каждые 2—10-мин. Извержения Ключевской сопки повторяются в среднем через 7 лет, а наиболее крупные — через 26 лет.

Вулкан Везувий (Италия) до 79 г. вообще не считали вулканом. Поэтому у его подножья были построены города и селения, а на склонах посажены виноградники. В конце августа 79 г. Везувий неожиданно разразился катастрофическим извержением. Оно описано римским ученым Плинием Младшим. Все началось с землетрясения, вызвавшего в расположенных у подножия Везувия городах Геркулануме и Помпее разрушения. Затем над вулканом стало разрастаться грязно-белое облако, из которого посыпались камни. Тучи пепла скрыли окрестности вулкана и его конус. Среди белого дня наступила черная ночь. В крошечной тьме вспыхивали гигантские молнии. Начался сильный ливень (результат охлаждения водяных паров). Мощные потоки грязи устремились со склонов. От падающих обломков и молний гибли люди. Когда извержение прекратилось, все в округе оказалось засыпанным пеплом. Города Помпея и Геркуланум оказались скрытыми под толстым слоем грязи и обломков. В 1748 г. были начаты раскопки Помпеи. После их завершения взорам людей открылась картина полуразрушенного южного города с мощными улицами, площадями, каменными зданиями.

Везувий извергался неоднократно. Одно из последних его извержений произошло в марте 1944 г. (рис. 85). Спустившиеся с вершины вулкана потоки лавы затопили близлежащий город Сан-Себастьяно.

Незабываемо катастрофическое извержение вулкана Мон-Пеле (Малые Антильские острова) в мае 1902 г. Извержение началось как обычно с землетрясения и выбросов пепла. На следующий день из кратера вырвалось раскаленное облако удушливых газов с температурой около 800°C. Облако спустилось по склону и со скоростью 180 км/ч стало распространяться в направлении столичного города острова Мартиника Сен-Пьер, насчитывавшего в то время 30 тыс. жителей. В течение нескольких минут город был опустошен, жители погибли, дома разрушены и охвачены пожаром. В живых остался всего один человек. Это был заточенный в подземелье негр. Через несколько недель после основного извержения над кратером вулкана вырос огромный шпиль застывшей андезитовой лавы. Высота шпиля достигала 343,5 м. В течение месяца шпиль разрушился.

Совершенно иначе протекают извержения трещинных вулканов Исландии. В 1733 г. в районе вулкана Лаки образовалась трещина длиной 24 км. Из трещины хлынули потоки базальтовой лавы. Длина потоков достигала 45 км. При извержении излилось 12 км³ лавы, затопившей 9000 км². Лавой были покрыты сельскохозяйст-

венные поля. От голода, вызванного гибелью посевов, в течение года умерло 9 тыс. человек.

По характеру извержений вулканы подразделяют на три категории: лавовую, смешанную и газово-взрывную.

Лавовая категория. К ней относятся площадный, трещинный и гавайский типы вулканов. *Площадный тип вулканов* характерен был для более ранних периодов развития Земли. Это трещинные вулканы, потоки лавы которых занимали площади в сотни тысяч и даже миллионов квадратных километров. Жидкая базальтовая лава, растекаясь, образовывала покровы мощностью в сотни метров. Такие покровы пермотриасового возраста характерны для Сибирской платформы. Переслаивающиеся лавы и вулканические обломки слагают толщу так называемых сибирских трапов мощностью около 700 м. Еще более мощные палеогеновые покровы базальтов в Африке.

Трещинный тип объединяет современные вулканы Исландии и Гавайских островов. Трещинные вулканы изливают много лавы. Лава вытекает из линейно-вытянутых трещин протяженностью до нескольких десятков километров и образует потоки и покровы. В процессе извержения возникают невысокие шлаковые конусы (см. рис. 84,а). У исландского вулкана Лаки при извержении в 1783 г. вдоль трещины образовалось 34 больших и 60 малых шлаковых конусов высотой до 150 м.

В январе 1973 г. в Исландии на острове Хеймаэй произошло извержение трещинного вулкана Хельгафюфель. Длина трещины около 1 км (в процессе извержения трещина разрасталась в длину). Извержение продолжалось 5 месяцев и 5 дней.

Гавайский тип по характеру извержения близок к трещинным вулканам. Отличается от них тем, что извержения происходят через центральные каналы. Конус вулканов имеет щитовидную форму и сложен застывшей лавой основного состава. На его вер-

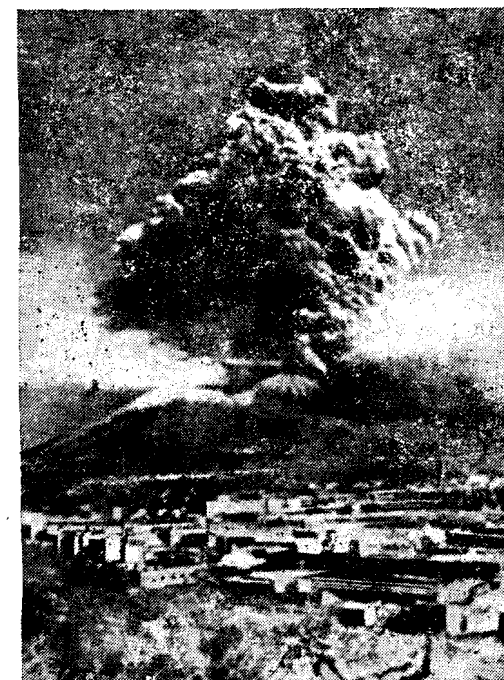


Рис. 85. Извержение Везувия в 1944 г.

шине образуется тарелкообразной формы кратер, на дне которого обнажается несколько каналов. Через каналы спокойно изливается лава. Гавайский тип извержения характерен для вулканов гавайских островов, встречается у некоторых вулканов Исландии, островов Самоа, вулкана Нирагонго.

Смешанная категория. Вулканы этой категории характеризуются наиболее полным циклом извержения. Сначала выбрасываются газы и обломки, затем изливается лава и начинается длительная поствулканическая деятельность. Конусы вулканов этой категории высокие, стройные, состоят из переслаиваний вулканических обломков и застывшей лавы кислого состава. Такие вулканы называют *слоистыми* или *стратовулканами*.

К смешанной категории относят вулканы стромболианского, вульканского и этно-везувийского типов. *Стромболианский тип* назван по имени вулкана Стромболи на Липарских островах. Благодаря близко расположенному к поверхности магматическому очагу извержения данного типа вулканов происходят довольно часто. Начинаются они с небольших взрывов, сопровождающихся выбросами газов и обломков, а заканчиваются излияниями небольших порций густой вязкой лавы с температурой 1000—1100°C. Лава, разливаясь небольшими потоками, затвердевает на склонах вулкана. Подобно Стромболи, действуют вулканы Исалько (его извержения непрерывно продолжаются уже около 200 лет), Плоский Толбачик (п-ов Камчатка). При последнем извержении Плоского Толбачика летом 1975 г. в движение была приведена вся система разломов протяженностью 60 км, на которой располагался вулкан. По сейсмическим данным глубина предполагаемого источника возбуждения извержения 30—80 км.

Вулканский тип получил свое название по имени вулкана Вулкано на Липарских островах. Вулканы этого типа (Карымский, Авачинский, Шевелуч на Камчатке и некоторые другие) имеют высокие конусы и близко расположенные к поверхности магматические очаги. Извержения происходят реже, чем у предыдущего типа вулканов. В начале извержения происходит землетрясение, затем взрывы с выбросами газов и вулканических обломков и, наконец, извергается лава (большой частью среднего состава).

Этно-везувийский тип назван по именам итальянских вулканов Этна и Везувий. Извержения начинаются с землетрясений. Большой силы взрывы, сопровождаемые выбросом газов, иногда приводят к срыву верхней части конуса или образованию на склонах побочных вулканов. Изливающаяся лава образует потоки протяженностью в десятки километров. К этно-везувийскому типу относят многие вулканы Курильских островов, крупнейшие вулканы Камчатки, вулканы Японии, Южной Америки. Конусы этих вулканов слоисты.

Газово-взрывная категория. Она характеризуется ярко выраженной первой фазой. Извержению обычно предшествуют сильные землетрясения, за которыми следуют выбросы боль-

шого количества газов и вулканических обломков. Выбросы сопровождаются сильными взрывами и иногда завершаются выделениями небольших порций лавы кислого или среднего состава. К газово-взрывным относят пелейский, катмайский, бандайсанский, кракатауский типы вулканов и газово-взрывные воронки — маары.

Пелейский тип назван по имени вулкана Мон-Пеле. Извержения начинаются с землетрясений, сопровождающихся образованием в теле вулкана многочисленных трещин. Из них со взрывом вырываются палящие тучи газов. Завершающей стадией извержения является выделение относительно небольшого количества густой и вязкой лавы. Кроме вулкана Мон-Пеле подобным образом извергаются некоторые вулканы Центральной Америки, Филиппин, Индонезии (Мерапи), Новой Гвинеи (Леленгтон), Камчатки (Шевелуч). Вулканы *катмайского*, *кракатауского* и *бандайсанского типов* по характеру извержений во многом сходны между собой. Из глубокозалегающих магматических очагов, расположенных под вулканами, поднимается вязкая, насыщенная газами кислая лава. Значительное количество идущих снизу газов оказывает колоссальное давление на застывшую в жерле лаву. Прорыв пробки сопровождается взрывом необычайной силы. Взрывом разрушается конус или часть его и поднимается огромное количество обломков, главным образом пепла, в воздух.

Газово-взрывные воронки — маары имеют вид блюдцеобразных впадин, окруженных кольцевым конусом, состоящим из шлака и обломков. Газово-взрывные воронки образуются в результате однократного взрыва, сопровождающегося выбросом газов и заполнением конического канала обломками. Вокруг блюдцеобразного кратера образуется невысокий кольцевой конус, внутри которого за счет атмосферных вод со временем образуется озеро. Извержение лавы у таких вулканов не происходит. Маары известны в ФРГ.

Продукты извержения вулканов. К продуктам извержения относят вулканические газы, обломки и лаву.

Газы, входящие в состав магмы, по мере приближения ее к поверхности отделяются от расплава и, опережая его, первыми вырываются на поверхность Земли. Захваченная ими часть капельножидкой магмы превращается в воздухе в пепел, песок, а иногда и вулканические бомбы. В результате быстрого расширения газов над вулканом образуются причудливой формы облака. Чаще всего они бывают пиниеобразной (лат. *pinia* — сосна), грибообразной или столбообразной формы. Высота выброса зависит от силы взрыва. Так, при катастрофическом извержении вулкана Кракатау тучи газа, пепла и пыли поднялись на высоту 80 км. Грохот взрыва был слышен на расстоянии 4800 км.

Газовое облако не всегда поднимается вверх, иногда оно стелется по земле и причиняет большие разрушения. Объем выделившихся при одном извержении газов достигает в ряде случаев миллионов кубических метров, температура их на выходе 600—800°C. Наиболее высокие температуры были измерены во время

извержения вулкана Парикутин (Мексика). Внутри лавового потока температура газа достигала 1080°C, а в месте выхода на поверхность — 890°C.

Изучение химического состава вулканических газов показало, что они состоят главным образом из паров воды (60—90%). Остальную часть составляют H, Cl, N, S, Br, F, B, H₂S, SO₂, NH₃, CO₂, CH₄ и др. Состав газов, выделяемых разными вулканами, неодинаков. Известны примеры, когда в газовом облаке преобладал один компонент. Так, при извержении исландского вулкана Гекла в 1947 г. в атмосферу было выброшено около 3 млн. м³ почти одного водяного пара. Индонезийский вулкан Бану-Вуху, расположенный в системе островов Сангихе, выделяет главным образом углекислый газ (97% объема).

Твердые продукты составляют основную массу материала, выбрасываемого при извержении вулкана. По подсчетам вулканологов, твердого вещества вулканы извергают в шесть раз больше, чем лавы, и во много раз больше, чем газов. Образуются твердые продукты при отвердевании выброшенных в атмосферу мелких капель жидкой магмы или разрушенного конуса. В зависимости от величины вулканический материал подразделяют на пепел, песок, лапилли, бомбы.

Вулканический пепел — это мелкие, неправильной формы обломки (до 1 мм) полевого шпата, роговой обманки, пироксенов, лейцита, вулканического стекла. Цвет пепла в зависимости от минерального состава бывает светло-серым, розовым, бурым, черным. Пепел составляет основную массу твердых продуктов извержения. В 1912 г. вулкан Катмай (Аляска) выбросил в атмосферу около 15 км³ этого материала. Пепла было так много, что в городе Кадьяке, расположенном в 160 км от вулкана, под его тяжестью провалились крыши домов. Известны случаи, когда пепел выпадал на расстоянии в тысячи километров от места извержения. На территории Воронежской области слои осадочных горных пород содержат продукты извержения действовавших когда-то вулканов Кавказа.

Вулканический песок состоит из обломков размером около 1—2 мм, поэтому распространяется он от места извержения на меньшее расстояние, чем пепел.

Более крупные куски застывшей лавы размером 3—30 мм называют **лапилли** (итал. lapilla — камешки). Они имеют веретенообразную форму и состоят главным образом из пористого вулканического стекла.

Разнообразным составом и формой отличаются **вулканические бомбы**. Размеры их достигают 3, реже 15 м в поперечнике, но встречаются и более крупные обломки. При извержении вулкана Асама (Япония) в 1783 г. были выброшены глыбы размером в несколько десятков метров в поперечнике. Одна из таких глыб (36×75 м) упала в реку, образовала по середине ее остров. Обломки, оторванные от стенок кратера, имеют обычно остроугольную форму, выброшенные и застывшие в воздухе куски лавы

округлы. Среди последних встречаются бомбы грушевидной, шарообразной, караваеобразной и других форм (рис. 86). При извержении крупные обломки падают в радиусе 5—7 км, более мелкие — в радиусе десятков и более километров.

Иногда среди твердых продуктов извержения встречаются **агломератовые потоки**, состоящие из смеси пепла, песка и кусков застывшей лавы. Извержение подобного потока наблюдалось у вулкана Безымянный (Камчатка) в 1955 г. Из взорванного кратера хлынула горячая масса обломков, заполнившая все понижения рельефа. Смешавшись со снегом, обломки образовали грязевые потоки, устремившиеся вниз по склонам.

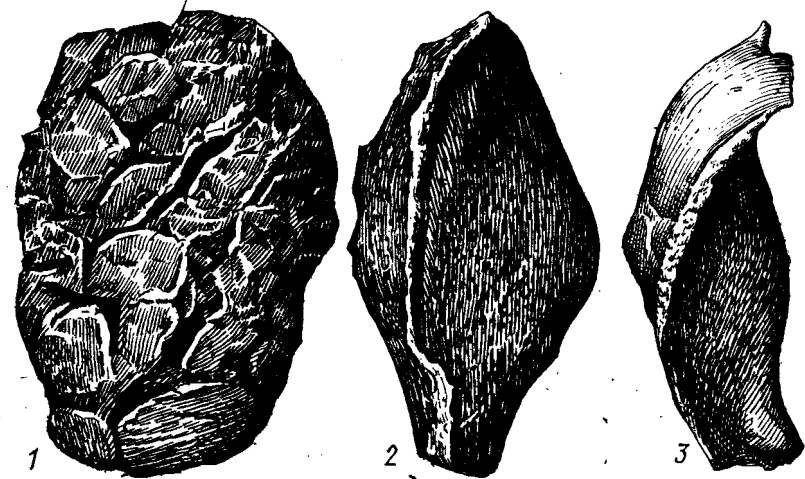


Рис. 86. Вулканические бомбы:
1 — хлебообразная, 2 — грушевидная, 3 — закрученная

Лава отличается от магмы незначительным содержанием водяных паров и газов. По составу она бывает кислой, средней и основной. **Кислые** и **средние** (андезитовые) **лавы** характеризуются высокой вязкостью, повышенным содержанием газов. Температура их на выходе 800—1000°C. Изливаются они густыми, медленно текущими (до 5 км/ч) потоками (рис. 87), протяженность которых достигает первых десятков километров. Затвердевая, лава превращается в липариты, андезиты — эффузивные породы светло-серого, розового или темно-серого цвета.

Основные лавы почти лишены газов и обладают высокой подвижностью. Скорость их течения колеблется от 10 до 30 км/ч. Температура расплава на выходе достигает 1300°C. Лава образует потоки темно-серых или черных базальтов. Длина потоков 30—1000 км. Объем лавы, вытекающей при одном извержении, колеблется от долей до нескольких кубических километров.

В 1783 г. во время извержения вулкана Лаки (Исландия) излилось 12 км^3 лавы.

При затвердевании в лавах появляются трещины, разделяющие породу на части или отдельности. У лав кислого и среднего состава отдельности имеют форму глыб (глыбовая отдельность), у основных — столбообразно-призматическую (столбчатая отдельность). Лавы, застывающие под водой, приобретают шаровую отдельность.

Поствулканические явления. Так называют деятельность вулкана после основного его извержения. Она выражается в периодических выбросах газов, горячих водяных паров, действия



Рис. 87. Потоки застывшей лавы севернее Жупановской сопки на Камчатке

термальных источников. Поствулканические явления связаны с постепенным уменьшением активности магматического очага. Поствулканические явления присущи не всем вулканам.

Наиболее распространенная форма поствулканизма — извержение газов. Они выбрасываются через трещины струями с шумом и взрывами. Температура их на выходе значительно ниже температуры газов основного извержения, максимум 500°C . Выделение газов с температурой выше 180°C характерно для высокотемпературной стадии поствулканизма. Места выделения таких газов называются *фумаролами*. На Аляске в районе «Долины десяти тысяч дымов» фумаролы выбрасывают ежегодно на поверхность сотни тысяч тонн хлористого и фтористого водорода.

Сольфатары (итал. сольфатар — серная копь) — места выделения газов с температурой $100\text{--}180^\circ\text{C}$. В их составе преобладают соединения серы. Они известны в Италии, на Курильских островах, в Японии. Итальянский вулкан Сольфатара вот уже на протяжении 2000 лет выделяет удушливый сернистый газ. Активна поствулканическая деятельность и вулкана Курильских островов Эбеко. На его вершине размещены сульфатные поля, покрытые многочисленными струями белого сернистого газа, включающего пары HCl , HF , SO_2 , CO_2 и др.

Газы, растворяясь в воде, образуют кислоты. Водные потоки, обогащенные кислотами, разрушают вулканические породы, выщелачивают металлы и выносят их в море. Как отмечает К. К. Зеленов, река Юрьева, спускающаяся со склонов Эбеко, выносит в Охотское море за сутки около 35 т растворенного железа и 65 т алюминия.

Низкотемпературные газы (температура ниже 100°C) называют *мофетами* (итал. mofeta — место зловонных испарений на Земле).

Одним из интереснейших явлений поствулканизма являются *гейзеры* (название по району Гейзир в Исландии) или *пароводяные вулканы*. Они известны на Камчатке (СССР), в Исландии, США, Новой Зеландии. В Йеллоустонском парке (США) действует около 85 гейзеров. Многие из них находятся в стадии затухания. Крупнейший гейзер «Гигант» периодически выбрасывает фонтан горячей воды и пара ($94,8^\circ\text{C}$) на высоту 40 м. Более молодыми являются гейзеры Камчатки. В долине реки Гейзерной, зажатой между вулканами Кихпинич и Узон, действует 22 крупных и около 100 мелких гейзеров. Самый большой из них «Великан» через определенные промежутки времени выбрасывает 50-метровый столб перегретого пара. У каждого гейзера свой режим. Через интервалы от нескольких минут до нескольких часов они извергают пар и горячую воду.

Периодичность выбросов объясняют следующим образом. Вода, заполняющая трещины в горных породах, на глубине нагревается до температуры свыше 100°C . Давление вышележащего водяного столба препятствует ее кипению. При дальнейшем нагревании на глубине при существующем там давлении температура достигает точки кипения. Выделяющийся пар поднимает вышележащую колонну воды. Оказавшись в области меньшего давления, вода мгновенно закипает и выбрасывается вверх. После извержения охлажденный остаток воды вновь заполняет верхние каналы трещин. Через некоторое время все повторяется. Извержения воды и пара происходят из чашеобразных впадин — *грифонов*.

Как показали исследования, вода гейзеров наземного происхождения, т. е. образуется за счет проникновения на глубину поверхностных вод. По мере охлаждения глубинного очага гейзеры превращаются в источники кипящей воды. Вода гейзеров слабо минерализована (от 1,5 до 2 г/л солей). Это преимущественно соли натрия, кальция, магния и водный кремнезем. При охлажде-

нии воды кремнезем выпадает в осадок и образует пористую, светло-серую кремнистую породу — *гейзерит*.

С остывающими магматическими очагами иногда связано действие *термальных источников*. Такие источники выявлены на склонах Эльбруса. Горячие воды их насыщены сероводородом и углекислым газом. На Камчатке Паратунские и Паужетские термальные воды используются населением в качестве источников тепловой энергии. Весьма интересные наблюдения были сделаны советско-индонезийской экспедицией при подводных исследованиях



Рис. 88. Грязевой вулкан на Таманском полуострове

вулкана Бану-Вуху. На склонах этого вулкана были обнаружены струи горячей воды, обогащенные соединениями железа и марганца. По подсчетам ученых, этот вулкан ежегодно отдает океану $9 \cdot 10^{12}$ т железа и марганца. В осадках, образующихся из этих растворов, кроме железа и марганца обнаружены примеси меди, никеля, кобальта, ванадия, молибдена, цинка, свинца, олова и ряда других редких и рассеянных элементов.

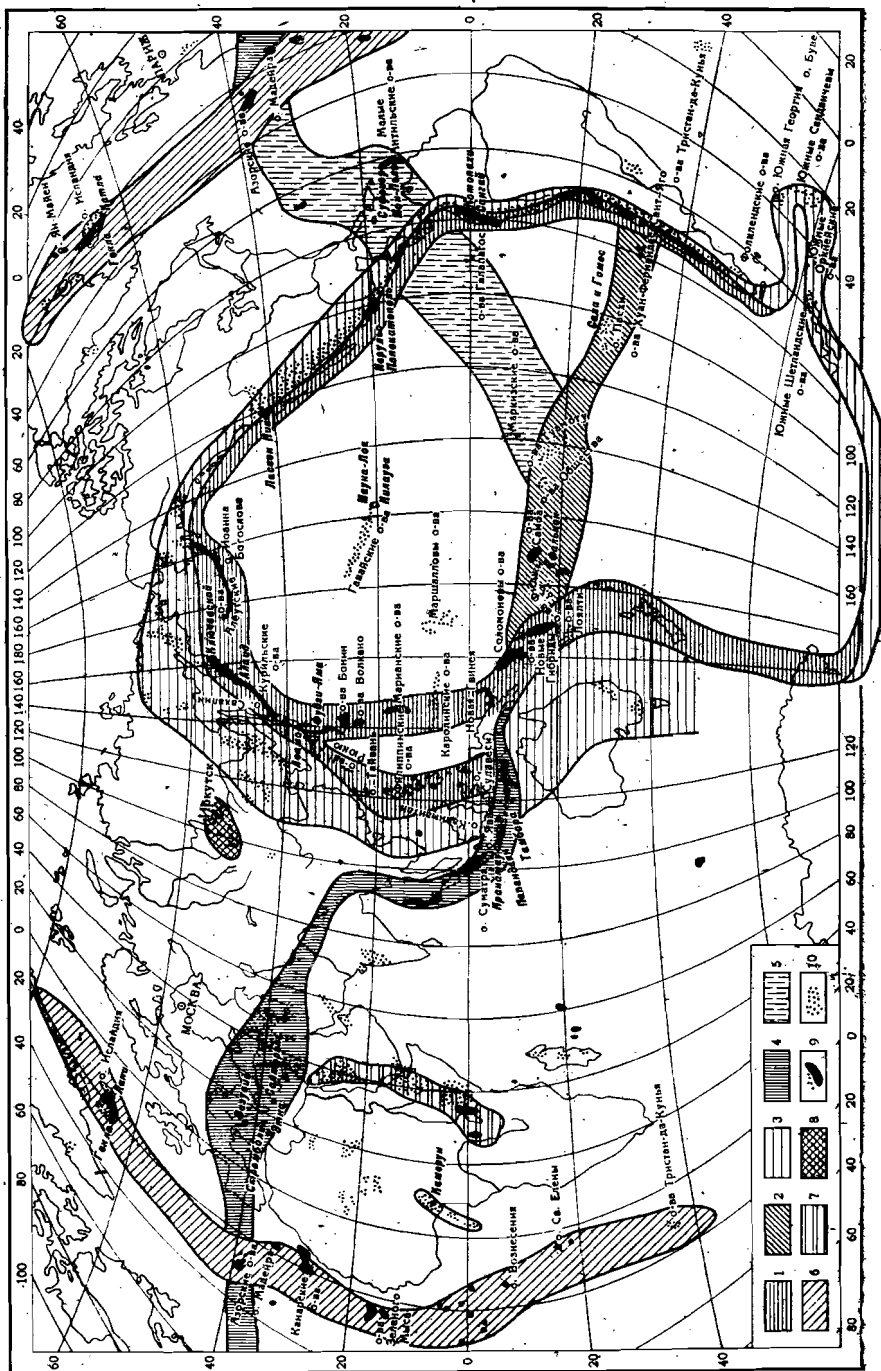
Там, где горячие воды и водяные пары разжижают рыхлые песчано-глинистые породы, на поверхность Земли извергаются грязевые массы и газы. Эти геологические образования называют *грязевыми вулканами* или *салъзами* (рис. 88). Они выделяются на местности невысокими (1—2 м) конусами, состоящими из засохшей грязи. Грязевые вулканы, связанные с вулканической деятельностью, известны на Камчатке, в Сицилии, на острове Ява. Грязевые вулканы встречаются также в нефтеносных областях, где возникают при прорывах на поверхность горячих газов и поднефтяных вод. Большое количество таких вулканов (около 220)

выявлено на юго-восточном окончании Большого Кавказа. Извержение наиболее крупного из них — Локбатана описано А. А. Якубовым. Вулкан расположен на берегу Каспийского моря в 15 км от г. Баку. Одно из мощных его извержений произошло в октябре 1977 г. Извержению предшествовал гул, сопровождавшийся подземными толчками. Затем в атмосферу было выброшено большое количество природного газа, который тут же воспламенился. Высота выбросов достигала 500—1000 м. Над вулканом образовалось грибообразное облако. На второй день началось извержение грязи, которая растекалась двумя потоками длиной 25 и 350 м. В потоке находились обломки горных пород (известняков, мергелей, доломитов) размером 10—30 см. Общая площадь покрова грязевулканической брекчии составила 52 тыс. м², мощность потока 0,5—1,5, а в центре 5—6 м. Объем выброшенных газов превысил 30 млн. м³. Начиная с 1828 г. зарегистрировано около 17 извержений вулкана.

Распространение вулканов. Зарегистрировано 524 действующих вулкана (Борковский П. М., 1976). Большинство из них расположено на суше и только 68 — на дне океанов. Распределены они неравномерно. Так, в Северном полушарии вулканов значительно больше, чем в Южном. Они располагаются обычно вдоль глубинных разломов земной коры в краевых частях материков или в области океанического дна. В глубине материков вулканы или отсутствуют, или встречаются редко. На земном шаре выделяют три вулканических пояса: Тихоокеанский, Средиземноморско-Индонезийский и Атлантический (рис. 89).

Тихоокеанский пояс простирается вдоль побережья Тихого океана. На западе он прослеживается от Камчатки до Антарктиды, включая Курильские, Японские, Филиппинские, Соломоновы острова, острова Новые Гебриды. На восточном побережье вулканический пояс протягивается от Огненной Земли, через Анды, Кордильеры и Аляску до Алеутских островов. Всего в пределах поясов насчитывается 322 действующих вулкана. Наибольшее их количество сосредоточено на Японских (58), Курильских (38) островах, в Центральной Америке (36), Южной Америке (31), на Камчатке (23). Большая концентрация огненных гор приходится на области, граничащие с глубоководными океаническими впадинами. Наиболее известные вулканы Тихоокеанского пояса — Катмай (Аляска), Исалько, Лассен-Пик (Центральная Америка), Мауна-Лоа и Килауэа (Гавайские острова), Мон-Пеле (Малые Антильские острова), Бандай-Сан, Фудзияма, Асама (Японские острова).

К Тихоокеанскому поясу относятся и вулканы Советского Союза. На Камчатке вулканическая зона проходит вдоль гигантских разломов и насчитывает около 180 вулканов. Из них 23 действующих и 157 потухших. Периодически извергаются Ключевская Сопка, вулканы Авачинский, Плоский Толбачек, Безымянный, Шивелуч, Карымский. Лава преимущественно среднего и основного состава.



Вулканы Курильских островов расположены на продолжении глубинных разломов Камчатки. Из 98 вулканов 38 действующих. Наиболее активны вулканы Алаид, Пик Сарычева, Эбеко и др.

Средиземноморско-Индонезийский пояс простирается в субширотном направлении от Альп через Апеннины, Кавказ, горы Малой Азии, к островам Малайского архипелага. Существует предположение, что вулканический пояс продолжается в направлении Азорских и Малых Антильских островов (Атлантический океан). Основная масса вулканов пояса сконцентрирована на островах Малайского архипелага. На острове Суматра — 11, Яве — 19, Малых Зондских островах — 15 действующих вулканов. Среди них вулканы Кракатау, Тамбора, Папандаян. Вторым районом сосредоточения вулканов является северное побережье Средиземного моря, где действует 10 наземных и 7 подводных вулканов. Крупнейшие из них Везувий, Этна, Стромболи. Большинство вулканов Средиземноморско-Индонезийского пояса относится к категории взрывных.

Атлантический вулканический пояс объединяет 67 вулканов, из которых 40 расположены на островах и 27 скрыты под водой. Вулканический пояс вытянут в меридиональном направлении параллельно берегам Африки и Западной Европы и приурочен к срединному Атлантическому хребту. Начинается он у островов Тристан-да-Кунья, переходит на острова Св. Елены, Вознесения, Зеленого мыса, Канарские, Мадейра, Азорские и заканчивается вулканами Исландии, где расположено наибольшее количество вулканов (26 действующих). Наиболее известные из них вулканы Лаки и Гёкла. Незначительная часть вулканов расположена за пределами вулканических поясов: вулканы Африки, островов Индийского океана (Родригес, Новый Амстердам и др.). В Африке известно 12 действующих вулканов, в их числе один из высочайших вулканов мира — Килиманджаро (высота конуса около 6000 м).

Извержения вулканов не раз наносили людям значительный ущерб, уносили человеческие жизни, особенно в густо населенных районах Японии, Индонезии, Италии. По подсчетам В. И. Влодавца, с 1914 по 1970 г. от извержений погибло 240 тыс. человек. С целью предотвращения бедствий в вулканических областях организуются посты наблюдений, которые предупреждают людей о грозящей опасности и одновременно ведут большую научно-исследовательскую работу. В Советском Союзе созданы вулканические станции АН СССР. Первая из таких станций была по-

Рис. 89. Карта географического распространения вулканов:

1 — Большой Тихоокеанский вулканический пояс, 2 — южная ветвь Малого Тихоокеанского пояса, 3 — внешняя зона потухшего вулканизма в Тихоокеанском поясе, 4 — Средиземноморско-Индонезийский вулканический пояс, 5 — предполагаемое продолжение этого пояса, 6 — Атлантический пояс, 7 — вулканы Африканской платформы, 8 — вулканы Сибирской платформы, 9 — области современного вулканизма, 10 — области потухших вулканов

строена у подножия вулкана Ключевская Сопка в 1935 г., вторая — у основания Авачинского вулкана в 1962 г. Вулканологические станции ведут наблюдения за всеми действующими вулканами Камчатки и Курильских островов.

Одним из признаков приближения извержения является землетрясение, которое нередко начинается задолго до начала извержения. С помощью землетрясений было предсказано извержение вулкана Шивелуч и некоторых других.

Геологические результаты вулканических процессов. Вулканы появляются, действуют, затем потухают и переходят в ископаемое состояние. Воздвигнутые ими конусы сохраняются лишь у подводных вулканов. У наземных они обычно разрушаются и выравниваются. Этому способствуют процессы выветривания. Неоспоримым доказательством проявления вулканизма остаются сохраняющиеся в земной коре жерла вулканов, застывшая лава и вулканические обломки. Рыхлая масса вулканических обломков в процессе диагенеза превращается в плотные *туфогенные породы*: туфы, туфобрекчи, туффиты. *Туфы* состоят из спекшихся пепла и вулканического песка. Состав туфов может соответствовать составу кислых, средних и других магматических пород. *Туфобрекчи* состоят из обломков и глыб застывшей лавы, шлака, вулканических бомб, сцементированных туфовым материалом. Рассеянные на больших площадях вулканические обломки нередко смешиваются с наземными или морскими осадками. В результате образуются смешанные вулканогенно-осадочные породы — *туффиты*. Из лав образуются *эффузивные породы*: базальты, андезиты, липариты, трахиты. Наиболее распространены продукты кристаллизации лав основного состава — базальты. Они покрывают значительную часть Камчатки и Курильских островов. Древние базальты известны на Дальнем Востоке, в Сибири и в некоторых других областях. Лавовые породы среднего и кислого состава известны в Армении, на Камчатке, в Италии и др.

Велика роль вулканов в образовании месторождений полезных ископаемых. Среди древних вулканических образований встречаются месторождения руд черных, цветных и редких металлов. Железные руды вулканического происхождения найдены на Алтае, в Сибири, в ФРГ, Норвегии. С древними вулканами связаны месторождения золота и серебра в Калифорнии (США), меди и молибдена в Мексике, Чили и Перу, в трубках взрыва Сибири, Африки и Южной Америки — месторождения алмазов. Формирование месторождений полезных ископаемых в ряде вулканических областей наблюдается и в настоящее время. Так, в ряде вулканов Курильских и Японских островов наблюдается образование месторождений серы. Из горячих водных растворов источников Сальфер-Банк (Калифорния)¹ и Стимбот-Спрингс (Невада) выпадают красные кристаллы киновари, золотисто-желтого пирита и кремнистые осадки. В кратере Везувия наблюдается кристаллизация сульфидов свинца, молибдена, меди, мышьяка и других металлов.

ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Наша планета испытывает сложные внутренние движения, нередко сопровождающиеся перемещением огромных масс веществ. Об этом свидетельствуют землетрясения, колебательные движения земной поверхности, изменение первоначальной формы залегания горных пород и др. Движения, происходящие в земной коре, называют *тектоническими* (греч. тектонос — созидательный). По направлению сдвигающих усилий их делят на радиальные, или вертикальные, и тангенциальные, или горизонтальные. По скорости —

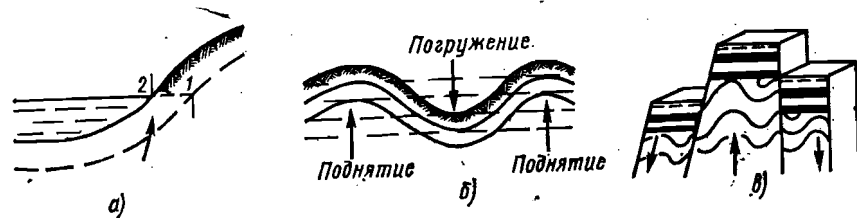


Рис. 90. Радиальные движения земной коры: а — колебательные, б — волновые, в — глыбовые

на медленные и быстрые, по длительности — постоянные и периодические, по времени — на современные, охватывающие исторический период времени (последние 6—8 тыс. лет), неотектонические, происходившие в четвертичном и неогеновом периоде, и древние, имевшие место на Земле в донеогеновое время.

Радиальные движения направлены вдоль радиусов Земли, по вертикали. Движения носят восходящий или нисходящий характер и приводят к поднятиям или погружениям земной поверхности. Скорость, площадное распространение и изменения, вызываемые в земной коре, позволили разделить вертикальные движения на колебательные, волновые и глыбовые (рис. 90).

Колебательные движения — медленные вековые поднятия или опускания земной поверхности.

Они охватывают значительные площади, происходят плавно, постоянно и так медленно, что практически не ощущаются человеком. Их результаты заметны лишь через длительные промежутки времени по изменению высотного положения элементов рельефа. Так, продолжающееся уже более 700 лет погружение земной коры в Нидерландах и сопредельных странах привело к тому, что значительная часть северного побережья Западной Европы протяженностью свыше 1600 км опустилась ниже уровня приливных течений. Чтобы предотвратить затопление земель в этих районах, строят дамбы.

Волновые движения — это также колебательные движения, вызывающие в одних участках земной коры поднятие, в других — погружение. Волновые движения можно проследить на примере

колебаний отметок поверхности европейской части СССР. В направлении с севера на юг происходит смена поднятий погружениями, и наоборот. В Скандинавии отметки местности ежегодно повышаются на 10 мм. В СССР в Московской области они понижаются на 4 мм. Южнее идет новая волна поднятий, достигающая максимума в районе Донбасса (10 мм в год), и новое погружение на побережье Крыма.

При *глыбовых движениях* огромное давление, оказываемое на слои горных пород из недр, ломает толщу земной коры на части или глыбы. Глыбовые движения происходят быстро, резко и но-

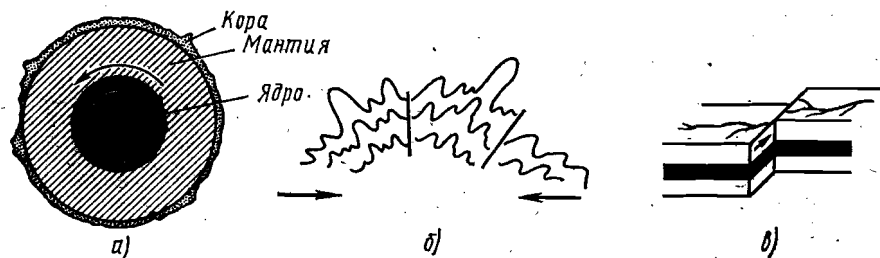


Рис. 91. Тангенциальные движения земной коры:
а — вращательные, б — складкообразовательные, в — сдвиговые

сят непостоянный характер. На суше и океаническом дне глыбовые структуры имеют вид горных поднятий (глыбовые горы Алтая, Тянь-Шаня) или глубоких провалов (впадина озера Байкал).

Тангенциальные движения в отличие от радиальных имеют горизонтальную направленность. Различают вращательные, складкообразовательные и сдвиговые тангенциальные движения (рис. 91). *Вращательные* движения проявляются на границе физически разнородных геосфер Земли: ядра и мантии, мантии и земной коры. Они связаны с силами вращения Земли (отсюда и их название). Обладая разными количеством движения и моментом инерции, оболочки земли при вращении смещаются относительно друг друга (рис. 91, а). Совершенно иные причины вызывают *складкообразовательные движения*, ведущие к смятию слоев осадочных горных пород в складки (рис. 91, б). С позиции гипотезы радиальной тектоники складкообразование — результат действия гравитационных сил на пластичные массы горных пород, покрывающих волновые поднятия. Большинство уечных объясняют складкообразование действием сил бокового сжатия, проявляющегося в наиболее подвижных участках земной коры. Складкообразование обычно сопровождается горообразованием. Многие горные страны (Альпы, Кавказ и др.) образовались в результате складкообразовательных и горообразовательных движений глыбового характера.

Движения сдвигового типа определяются как тангенциальными, так и вертикально направленными силами. Они проявляются

вдоль разломов океанической и континентальной коры иногда вдоль границ воздымающихся или погружающихся блоков земной коры и выражаются в горизонтальном перемещении.

Советскими учеными разработан ряд новых классификаций тектонических движений. Среди них особого внимания заслуживают классификации В. Е. Хаина и В. В. Белоусова¹.

В. Е. Хайн (1973) по направленности выделяет *существенно вертикальные* и *существенно горизонтальные* тектонические движения. И те и другие могут быть *поверхностными* (покровными), затрагивающими самые верхние слои земной коры, *коровыми*, распространяющимися на всю земную кору, и *глубинными*, охватывающими верхнюю мантию Земли. В зависимости от характера деформаций среди указанных типов тектонических движений выделены движения *складчатого*, *блокового* и *глыбового* характера.

В. В. Белоусов (1975) тектонические движения делит на *внутрикоровые* и *общекоровые*. Первые распространяются на отдельные участки земной коры, вторые — на земную кору в целом. Внутрикоровые движения подразделяются на *складчатые* и *разрывные*, общекоровые — на *колебательные* и *разрывные*.

Как показывает изучение геологического строения земной коры, тектонические движения деформировали ее слои на всем протяжении ее существования, создавали разного рода тектонические структуры. Вопросами изучения тектонических движений земной коры в геологическом прошлом занимается наука *геотектоника*. Новейшие и современные тектонические движения изучает *неотектоника*.

Движения земной коры обуславливают магматизм, вулканизм, играют существенную роль в процессах рудообразования. Изменяют рельеф Земли, создают горы и океанические впадины.

Колебательные движения земной коры. Это наиболее распространенные тектонические движения. Их можно зарегистрировать практически в любой точке земной поверхности. Разбегаясь по телу Земли волнами, они в одних местах вызывают поднятие, в других — опускание поверхности. Поднятия, охватывающие прибрежные части суши и морского дна, приводят к смещению береговой линии в сторону моря, море отступает, мелководная часть морского дна становится сушей. Отступление моря, вызванное поднятием земной коры, получило название *регрессии моря*. При погружении земной коры происходит обратное явление — *трансгрессия* — море наступает на сушу, затапливая значительные ее площади.

Так как скорость колебательных движений измеряется долями миллиметра или несколькими миллиметрами в год, их результаты обнаруживаются только по истечении длительного времени. Но это не означает, что на колебательные движения можно не обращать внимания. На Черноморском побережье Крыма прибрежная полоса в районе Коктебельской бухты систематически погружает-

¹ Классификации приведены в сокращенном виде.

ся под уровень моря. В результате под воду начали уходить санаторные пляжи, море стало наступать на курорт. Встал вопрос о том, как предотвратить бедствие. В 1941—1943 гг. на побережье Калифорнии (США) была построена военно-морская верфь. В настоящее время более половины территории судостроительного производства находится ниже уровня моря, и только дамба спасает верфь от полного затопления.

Во II в. до н.э. на берегу Неаполитанского залива в Италии был построен храм Сераписа. От этого храма сохранились до наших дней пол и несколько колонн (рис. 92). На протяжении почти 20 веков пол храма и колонны неоднократно погружались в море и выходили из-под воды. Движения поверхности в районе храма начали регистрироваться с 79 г. н.э. С 1836 по 1878 г. отметка пола понизилась на 65 см. В 1913 г. понижение увеличилось на 153 см, а в 1933—на 205 см. В 1954 г. колонны были затоплены уже на 250 см (Г. П. Горшков). В последние годы остатки храма вместе с поверхностью вновь поднимаются. С 1953 по 1970 г. весь участок поднялся на 85,7 см. Средняя скорость поднятий 5 см/год (рис. 93). Исследователи считают, что поднятия и погружения остатков храма связаны с вулканической деятельностью и могут служить предвестником вулканических извержений в данном районе.



Рис. 92. Руины храма Сераписа. На колоннах отчетливо видны следы разрушения, оставленные морскими моллюсками камнеточцами

Современные колебательные движения регистрируются геодезическими приборами. Многочисленные измерения высот поверхности континентов над уровнем моря показали, что одни участки суши в настоящее время испытывают поднятие, другие — погружение. Выше становятся отметки островов Северного Ледовитого океана (Шпицберген, Новая Земля). Испытывают поднятия Гренландия, Исландия, Скандинавия, Южная Аляска, северные берега

Великих Озер в Америке и многие другие районы. Скорость воздымания поверхности от долей миллиметра до первых сантиметров в год. В европейской части СССР поднятия отмечены вдоль западных границ (от Эстонии и до Западной Украины). Полоса поднятий охватывает Среднерусскую возвышенность, Донбасс и восточные районы, вплоть до северных берегов Каспия.

Погружение поверхности зарегистрировано в Нидерландах, на южном берегу Англии, в Калифорнии, в центральной части Северной Америки, Перу, Австралии и других районах. На территории СССР опускается земная поверхность в районе Москвы, Тамбовской области, Азово-Кубанской и Тверской впадин, участки берега Черного моря.

Методы изучения колебательных движений. Изучение колебательных движений, осуществляется историческими, геодезическими, геоморфологическими и геологическими методами.

Исторический метод основан на обследовании исторических памятников, подобных храму Сераписа, изучении археологических находок, сравнении старых и новых документов (географических карт и др.). Обнаружение на морском дне древних поселений людей свидетельствует о погружении земной коры на данном участке. На географических картах Баренцева моря до начала XIX в. полуостров Канин обозначен как остров. Это подтверждает и «Атлас Российский» (1745).

Следовательно, во второй половине XVIII столетия произошло поднятие, приведшее к появлению перешейка, соединившего остров с континентом. Неопровержимым доказательством опускания земной поверхности служит затопленный в Ирландском море (близ Ланкошира) лес.

Геодезический метод основан на повторном нивелировании через каждые 7—8 лет. Полученные при нивелировании данные сравнивают с предшествующими и по ним судят об изменении положения поверхности суши. Геодезический метод позволяет установить количественный результат движений, в том числе и очень слабых. Так, благодаря этому методу установлено, что г. Курск поднимается со скоростью 3,6 мм/год, Воронеж — 7 мм/год, Азово-Кубанская впадина погружается со скоростью 3—5 мм/год и т. д.

Геоморфологический метод лежит в основе изучения новейших тектонических движений. По формам рельефа земной поверхности и изменению их высотного положения судят о характере движений земной коры. Горы с морскими отложениями на вершинах

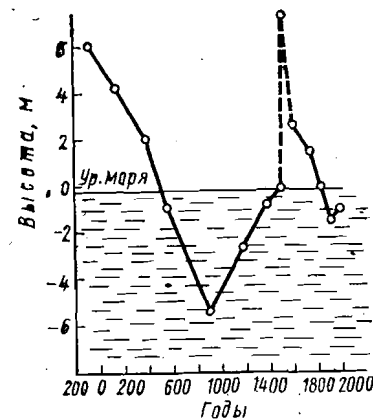


Рис. 93. Кривая, показывающая изменение высоты основания храма Сераписа относительно уровня моря (по А. А. Никонову, 1974)

говорят о длительных поднятиях больших участков земной коры, глубоководные впадины свидетельствуют об отрицательных движениях. Долины рек, обнаруженные на дне Баренцева и Охотского морей, подводное продолжение реки Конго (Заир), установленное на дне Атлантического океана у Африканского побережья, — немые свидетели опускания морского дна.

На берегах Норвегии намного выше уровня моря обнаружены морские террасы. Следовательно, в этом районе происходило поднятие земной коры. О поднятиях в глубине континентов рассказывают речные террасы. Для установления характера колебательных движений используют волноприбойные ниши, береговые валы, коралловые рифы, устья рек и другие геоморфологические формы.

Геологические методы применяются для изучения новейших и древних тектонических движений. К ним относятся стратиграфический метод, метод сопоставления мощностей, фациально-палеогеографический анализ, анализы последовательности напластования, перерывов и несогласий.

Стратиграфический метод разработан А. П. Карпинским и впервые применен им для изучения колебательных движений Русской платформы. В основе метода лежит сопоставление фаций. Смена в геологическом разрезе морских фаций континентальными свидетельствует о поднятии участка, континентальных морскими — о погружении. Разновидностью стратиграфического метода является анализ последовательности напластования. Анализируя литологический состав осадков, определяют тектонический режим дна водного бассейна, в котором происходило осадконакопление. Трансгрессивное залегание осадочных пород (смена вверх по разрезу мелководных отложений более глубоководными) говорит об углублении морского дна, обратная последовательность напластования — о регрессивном залегании и обмелении моря.

Поднятие морского дна может завершиться выходом накопленных осадков на дневную поверхность. При новом погружении участка морские осадки будут ложиться на размывтую поверхность. В этом случае из разреза выпадают отдельные слои, нарушается непрерывность осадконакопления и возрастная последовательность отложений. Такие нарушения устанавливаются с помощью анализа перерывов и несогласий. По следам размыва в горных породах и отсутствию в геологическом разрезе отдельных стратиграфических подразделений судят о наличии континентального перерыва и стратиграфического несогласия в осадконакоплении.

Скорость и длительность тектонических движений устанавливают с помощью фациально-палеогеографического анализа и анализа мощностей. Первый определяет направленность и скорость тектонических движений по формам рельефа земной поверхности, условиям осадконакопления, литологическому составу осадков. Так, наличие в геологическом разрезе монотонных, петрографически разнообразных толщ горных пород позволяет сделать вывод о слабо выраженных движениях земной коры. Частая смена осад-

ков свидетельствует о высокой активности тектонических движений.

По мощности осадков судят о длительности процессов осадконакопления. Большой мощности мелководные морские отложения говорят о том, что накопление осадков происходило длительное время при неизменной глубине морского дна. А это может быть в том случае, если погружение дна морского бассейна компенсируется накоплением осадков и, следовательно, скорость осадконакопления соответствует скорости прогибания земной коры.

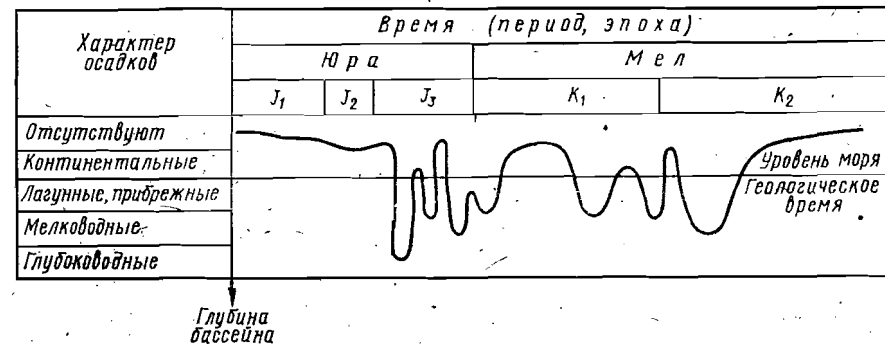


Рис. 94. График вертикальных колебательных движений территории Подмосковья в юрском и меловом периодах

По результатам анализов осадочных толщ строятся палеогеографические кривые. Для составления графика пользуются стратиграфическим разрезом или стратиграфической колонкой, на которых в принятом масштабе показана последовательность напластования осадков. На графике по горизонтали в геохронологической последовательности наносят принятые в колонке (разрезе) возрастные подразделения. По вертикали указывают условия образования осадков (континентальные, морские и т. д.). На основе анализа литологического состава устанавливают фации и место их на графике. На рис. 94 показан график колебательных движений территории Подмосковья в юрском и меловом периодах. На графике палеогеографическая кривая шесть раз опускается ниже уровня моря и столько же пересекает его в обратном направлении, т. е. шесть трансгрессий и шесть регрессий испытал данный участок земной коры в юрское и меловое время.

Следовательно, тектонические движения являются одним из определяющих факторов, контролирующих ход геологических процессов. Они влияют на условия осадконакопления, в том числе и на размещение полезных ископаемых, изменяют геологическое строение земной коры, на поверхности земли создают положительные и отрицательные формы рельефа, изменяют очертания суши и моря.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Быстрые, часто внезапные сотрясения земной коры, вызванные различного рода естественными причинами, называются *землетрясениями*. Основная причина землетрясений — разрядка внутренних напряжений Земли. Проявляются землетрясения главным образом в зонах активных движений земной коры. Эти зоны называются *сейсмическими* (греч. сеймос — колебание). В различных направлениях они опоясывают земной шар и совпадают с молодыми складчатыми областями, вулканическими поясами, срединными океаническими хребтами. Почти ежедневно в этих районах приборы регистрируют десятки и сотни подземных толчков различной интенсивности. Чаще всего они бывают слабыми, почти не ощутимыми для человека, реже сильными, разрушительными. При землетрясениях разрушаются здания, под обломками которых гибнут люди. За последние 100 лет от землетрясений погибло свыше 1 млн. человек. Отзвуки сильных землетрясений нередко распространяются на значительные площади, захватывают неактивные в сейсмическом отношении территории. Надолго в памяти людей осталось одно из самых известных в истории Лиссабонское землетрясение. Оно произошло в праздничный день — первого ноября 1755 г., когда толпы нарядно одетых людей направлялись в церковь. Неожиданно почва в городе заколебалась, стали ощущаться подземные толчки, слышались громовые раскаты. Город на глазах людей стал разрушаться, здания падали одно за другим. От топившихся в домах печей начался пожар, город заволокло дымом. Часть людей погибла под обломками домов, оставшиеся в живых, охваченные ужасом, искали спасения. Многие бросились к берегу моря, надеясь найти спасение на каменном причале. Через 20 минут толчок повторился и причал вместе с обезумевшими от страха людьми рухнул в море. На побережье со страшной силой обрушилась стремительная двадцатиметровая волна, уничтожившая и повредившая в гавани свыше 300 судов. Она углубилась на сушу до 15 км. В течение нескольких минут Лиссабон прекратил свое существование. После землетрясения было обнаружено, что недалеко от города произошло поднятие суши, в гавани из-под воды поднялась скала, изменилось очертание побережья. Лиссабонское землетрясение охватило пол-Европы. Оно отмечалось на площади 2,5 млн. км².

Причины и классификация землетрясений. Подавляющее большинство землетрясений имеет тектоническую природу и связано с разрядкой напряжений, периодически накапливающихся в земной коре и верхней мантии. Меньшая часть землетрясений обусловлена вулканической деятельностью и наземными и подземными обвалами. По причинам, вызывающим землетрясения, они делятся на тектонические, вулканические и денудационные, или обвальные.

Денудационные землетрясения происходят в районах интенсивного выветривания горных пород и образования карста. В местах распространения легко растворимых гипсовых, солевых и карбонатных пород возникают значительных размеров карстовые полости и пещеры. Иногда нависающая над ними кровля не выдерживает нагрузки вышележащих пород и обрушивается. Такой подземный обвал отдается на поверхности сейсмическим толчком. Одно из наиболее сильных денудационных землетрясений наблюдалось в Харьковской области в 1915 г. Оно вызвало в Харькове сотрясение почвы и зданий. На долю денудационных землетрясений приходится около 1% всех известных землетрясений.

Вулканические землетрясения предшествуют или сопровождают извержения вулканов. Подземные толчки связаны с преодолением сопротивления закупоривающих жерло вулкана застывших лав и образованием оперяющих канал трещин. Вулканические землетрясения бывают довольно значительными, но имеют локальное распространение: ограничиваются областью, прилегающей к действующему вулкану. Они нередко служат предупреждением о приближающемся извержении вулкана. В 1964 г., например, было предсказано извержение вулкана Шивелуч.

Тектонические землетрясения — грозные и разрушительные явления природы. На них приходится 95% всех землетрясений. Они происходят повседневно то в одном, то в другом районе земного шара, отличаются друг от друга глубиной очага, интенсивностью, количеством выделяемой энергии. Согласно современным представлениям тектонические землетрясения — следствие блоковых и глыбовых движений, затрагивающих различные глубины земной коры и верхнюю мантию. Движения связаны с вертикальными и горизонтальными перемещениями крупных литосферных блоков или небольших участков земной коры. Грандиозное разрывное нарушение глыбового характера произошло в 1923 г. у берегов Японии: в заливе Сагми на участке площадью в 150 км² одна часть дна поднялась на высоту 200—250 м, а другая погрузилась на глубину 150—200 м. Быстрое и резкое перемещение пород вызвало катастрофическое землетрясение, вошедшее в историю под названием Токийского. Землетрясение сопровождалось большими разрушениями и человеческими жертвами. Под обломками зданий погибло свыше 140 тыс. человек.

Высокая активность движений, сопровождающаяся горизонтальными перемещениями крупных блоков пород, длительное время наблюдается вдоль гигантского разлома Сан-Андреас в США. Протяженность разлома в несколько тысяч километров. Он состоит из системы глубоких трещин, образующих зону шириной от 3 до 100 км и более. Движения по разлому происходят постоянно. Об этом свидетельствуют повторяющиеся ежегодно многочисленные слабые подземные толчки. По данным геодезических измерений, западная часть разлома ежегодно смещается на 5 см. Периодически вдоль разлома происходят катастрофические землетрясения, связанные с быстрыми перемещениями отдельных участков

земной коры протяженностью в сотни километров. Амплитуда перемещений достигает нескольких метров. Так, во время катастрофического землетрясения в г. Сан-Франциско в 1906 г. сместился на 4—7 м огромный блок земной коры. Движения отмечались на расстоянии 450 км. Сан-Франциско, оказавшийся в зоне разлома, был разрушен. На разломе в разное время было зарегистрировано около шести сильных землетрясений (рис. 95).

Стремительные перемещения участков земной коры или литосферы исследователи объясняют кратковременными разгрузками

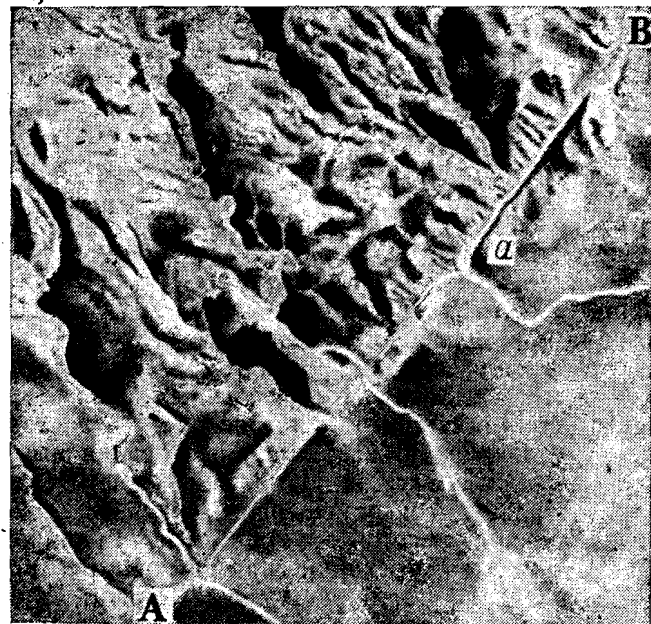


Рис. 95. Вид глубинного разлома Сан-Андреас с самолета: АВ — линия разлома, а — смещенное по разлому русло реки

механических напряжений, накапливающихся на стыках блоков. Накопление напряжений, очевидно, связано с силами трения, сдерживающими смещение пород относительно друг друга. Когда нагрузка, направленная на сжатие или растяжение горных пород, превышает предел прочности, происходит быстрое скачкообразное перемещение блоков. Вдоль основного разлома, по которому произошли перемещения, появляются системы трещин скалывания и образуются сейсмические волны. Разрывы и смещения горных пород сказываются на поверхности земли подземными толчками. Чем больше накопленной энергии, тем сильнее землетрясение. Разгрузка напряжений может происходить после основного подземного толчка еще длительное время. Она отзывается на поверхно-

сти Земли слабыми толчками, называемыми *афтершоками* (последующими толчками). Так, после Ташкентского землетрясения 1966 г. на протяжении последующих двух лет произошло еще более тысячи слабых подземных толчков.

Строение сейсмического очага тектонического землетрясения. Область внутри Земли, где внезапно выделяется потенциальная энергия (рис. 96), называется *сейсмическим очагом*. Центр области называют *гипоцентром Н*, а его проекцию на поверхность Земли — *эпицентром Е*. Расстояние между гипоцентром и эпицентром — *глубина сейсмического очага*. По глубине сейсмического

очага землетрясения делят на *поверхностные* — расстояние от эпицентра до гипоцентра до 10 км, *нормальные* — 10—75, *промежуточные* — 75—300, *глубокофокусные* — 300—700 км. Нормальные и поверхностные землетрясения имеют место во всех сейсмически активных районах и чаще проявляются на глубинах до 200 км. Промежуточные зарегистрированы на Памире, Гиндукуше, Гималаях, островах Малайского Архипелага. Широко распространены и глубокофокусные землетрясения. Они присущи окраинам Тихого океана и некоторым другим районам. На территории СССР около 82% всех землетрясений составляют землетрясения нормальные и поверхностные, 18% — промежуточные.

Гипоцентр землетрясения может смещаться. Так, при Ташкентском землетрясении 1966 г. он вначале располагался на глубине 8 км, затем переместился вверх до глубины 3 км.

Возникающие в момент разрядки напряжений сейсмические волны, постепенно затухая, расходятся от эпицентра на расстояния до нескольких тысяч километров. Скорость их бывает настолько велика, что наиболее быстрые продольные волны за 20 мин достигают противоположной стороны Земли. Дальность распространения во многом определяется геологическим строением района. В складчатых областях сейсмические волны затухают значительно быстрее, чем на равнинах. При Ашхабадском землетрясении 1948 г. ударные волны распространились в сторону Западно-Сибирской низменности на расстояние до 2500 км. В европейской части СССР неоднократно сказывались землетрясения с эпицентром в Карпатах. Так, отзвуки карпатского землетрясения 1940 г. прокатились по Молдавии, Украине и достигли центра России. Более ощутимым было Карпатское землетрясение 1977 г. Его сейсмическая волна докатилась до ряда городов Центральной России

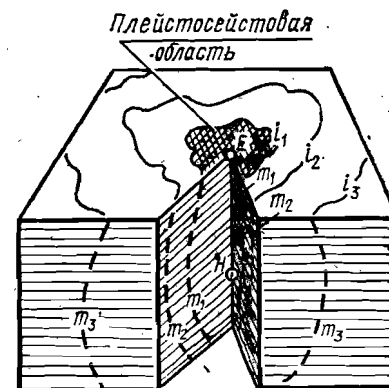


Рис. 96. Блок-диаграмма строения сейсмического очага:

Н — гипоцентр, Е — эпицентр, ЕН — глубина очага землетрясения, l_1, l_2, l_3 — изосейсм, m_1, m_2, m_3 — последовательное положение волнового фронта

(Воронеж, Курск, Белгород, Москва). В этих городах ощущались толчки силой около 3 баллов.

Сейсмические волны по мере удаления от сейсмического очага теряют интенсивность. Уменьшается и сейсмическая энергия. Эти изменения на специальных сейсмических картах показывают *изолиниями*, или *изосейстами*. Каждая изосейста соединяет точки с равной плотностью потока сейсмической энергии (i_1, i_2, i_3 на рис. 96). На большом удалении от сейсмического очага они близки к окружности, а в непосредственной близости от эпицентра имеют более неправильную форму. Ближайшая к эпицентру изосейста оконтуривает площадь с максимальной плотностью сейсмической энергии — *плейстосейстовую*, или *эпицентральною*, *область*. Форма ее близка к окружности или эллипсу, площадь области десятки, а то и тысячи квадратных километров.

Эпицентральною областью Ашхабадского землетрясения 1948 г. имела форму эллипса, вытянутого вдоль трещины, образовавшейся в земной коре. Протяженность области 100 км, ширина 10 км. У Карпатского землетрясения 1940 г. плейстосейстовая область имела форму круга. По величине плейстосейстовых площадей определяют глубину сейсмического очага. Для этого используется формула $H = 7\sqrt{S^2 + S^3}$, где H — глубина очага, S^2 — площадь (км^2), ограниченная второй от эпицентра изосейстой (i_2), S^3 — площадь, ограниченная третьей изосейстой i_3 . Таким методом была определена глубина сейсмического очага Ашхабадского (1948) и Карпатского (1940) землетрясений (у первого она равна 15–20 км, у второго — 100 км). Многие землетрясения повторяются приблизительно в одних и тех же местах через неравные промежутки времени. В районе г. Шемаха на Кавказе они повторялись в 1669, 1679, 1828, 1856, 1902, 1968 г., в Ташкенте — в 1868, 1886, 1924, 1966 гг.

Институтом физики Земли АН СССР составлена карта-схема сейсмического районирования СССР, на которой к сейсмически опасным районам были отнесены Карпаты, Крым, Кавказ и другие районы (рис. 97). В каждой из них землетрясения связаны с процессами горообразования, сопровождающимся перемещениями блоков земной коры вдоль существовавших или вновь образующихся разломов.

Методы изучения землетрясений. Изучением землетрясений занимается наука *сейсмология*. В ее задачи входит всестороннее исследование землетрясений, включая причины, прогноз землетрясений. Исследованиями занимаются специальные научно-исследовательские институты. Огромную работу проводят сейсмические станции, разбросанные по всем континентам мира. Только на территории СССР их свыше 100. Сейсмические станции регистрируют близкие и далекие землетрясения. В их задачи входит определение эпицентральных расстояний (от сейсмической станции до эпицентра), координат очага землетрясения, его энергии. Станции размещаются вдали от производственных предприятий, железных

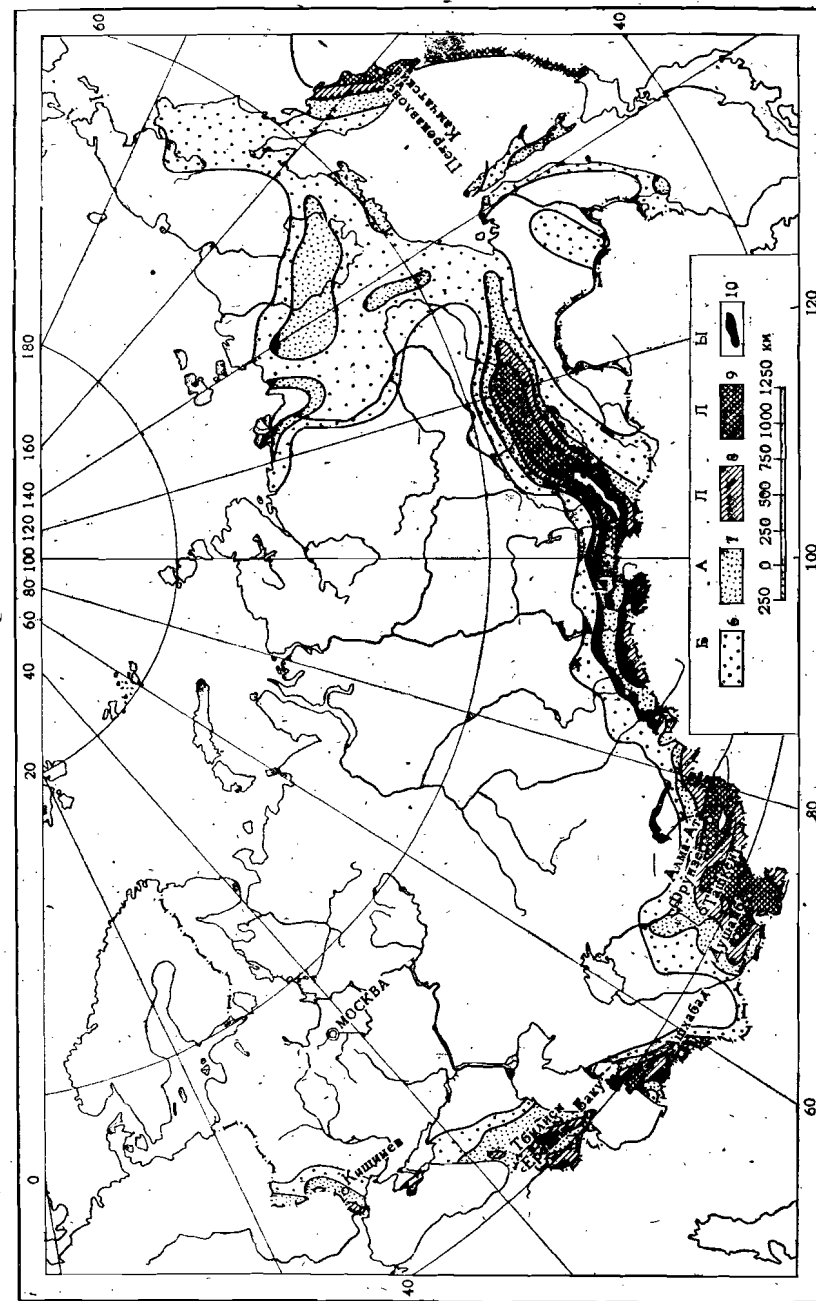


Рис. 97. Карта сейсмического районирования территории СССР

дорог, автомагистралей, т. е. всех тех объектов, которые могут вызвать помехи при регистрации сейсмических волн. Ни одно землетрясение не остается без внимания ученых.

Колебания почвы, вызываемые прохождением поверхностных волн, фиксируются с помощью очень чувствительных приборов *сейсмографов* (рис. 98). Почвы прослушиваются круглосуточно, и если не записывается землетрясение, то регистрируется сейсмический шум. Сейсмографы устанавливаются в подвальных помещениях станций, непосредственно на грунт. При поступлении сейсмических волн прибор вместе с почвой начинает колебаться. Основной частью прибора является маятник 3, прикрепленный упругой под-

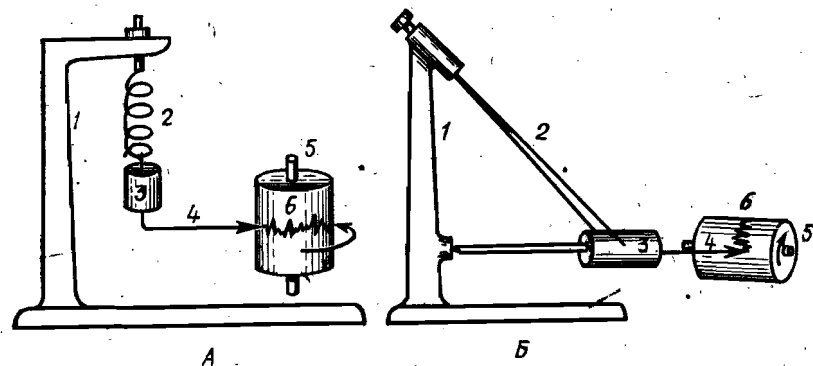


Рис. 98. Принципиальная схема сейсмографов вертикального (А) и горизонтального (Б) с механической регистрацией колебаний:

1 — штатив, 2 — подвес, 3 — груз (маятник), 4 — самописец, 5 — барабан, 6 — сейсмограмма

веской 2 к штативу 1. С помощью самописца 4 маятник передает колебания на вращающийся барабан 5. Барабан приводится в движение часовым механизмом. Часы, регистрирующие колебания, обладают большой точностью и ежедневно проверяются по радиосигналам. Самописец, снабженный пером, вычерчивает на бумаге кривую, или *сейсмограмму*, 6, отражающую колебание почвы (рис. 99). Принцип передачи колебаний состоит в следующем. Воспринятые прибором от грунта колебания приводят в движение все части механизма, за исключением маятника, который в силу инерции остается неподвижным. Стремясь сохранить первоначальное положение, маятник отклоняется от пришедших в движение штатива и подвески. Эти отклонения и регистрирует самописец. Сейсмограф, регистрирующий вертикальные колебания (А), снабжен вертикальной подвеской, горизонтальные (Б) — горизонтальной. Разные системы приборов позволяют вести оптическую и магнитную записи колебаний. В настоящее время на сейсмических станциях работают приборы, созданные советскими учеными Б. Б. Голицыным, В. Ф. Бончковским, Д. П. Кирносом, Д. А. Хариним.

Сейсмограммы — основной документ, характеризующий землетрясение. На них отражены амплитуды поочередно поступающих на станцию продольных, поперечных и поверхностных волн, с большой точностью зарегистрированы время и продолжительность поступления сейсмических волн. Первым сигналом землетрясений являются небольшие колебания, свидетельствующие о подходе самых быстрых продольных сейсмических волн. Эти волны на сейсмограммах обозначаются буквой *P* (лат. *prima* — первые). Через несколько секунд амплитуда колебаний резко возрастает. Это говорит о подходе более медленных поперечных сейсмических волн *S* (лат. *secunda* — вторая). Затем колебания затухают. Спустя некоторое время на сейсмограмме появляется размашистая кривая. Так фиксируются поверхностные волны *L* (лат. *longa* — длинные), причиняющие большие разрушения. На разные станции сейсмические волны приходят в разное время. Поэтому сейсмограммы одного и того же землетрясения, записанные на разных станциях, отличаются амплитудами и периодом колебаний.

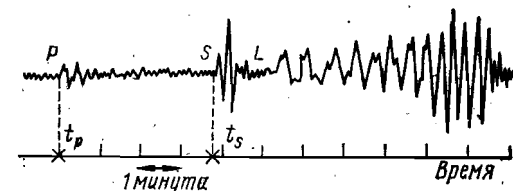


Рис. 99. Сейсмограмма (запись землетрясений) с указанием момента прихода волн *P*, *S*, *L*

Приходят в разное время. Поэтому сейсмограммы одного и того же землетрясения, записанные на разных станциях, отличаются амплитудами и периодом колебаний.

Расстояния до эпицентра определяются двумя способами: с помощью *годографов* и расчетных формул. *Годографы* — графики, отражающие зависимость эпицентрального расстояния от времени пробега сейсмических волн. На практике чаще пользуются формулами, в которых используются те же параметры. Зная скорость сейсмических волн v и разницу во времени прихода продольных и поперечных сейсмических волн t , определяют эпицентральное расстояние Δ :

$$\Delta = \frac{v_p \cdot v_s \cdot t}{v_p - v_s},$$

где v_p — скорость продольных, v_s — скорость поперечных сейсмических волн. Для нахождения эпицентра землетрясения используются показания не менее трех сейсмографов (двух горизонтальных и одного вертикального). Определение ведут по показаниям трех и более сейсмических станций.

Энергия, интенсивность и частота землетрясений. Основные показатели силы землетрясения — его энергия и интенсивность. *Энергия*, выделяемая при разрядке напряжений в сейсмическом очаге, измеряется в джоулях или магнитудах. *Магнитуда* M — условная энергетическая характеристика, выражаемая логарифмом отношения амплитуды колебаний изучаемого землетрясения

A' к амплитуде колебаний стандартного землетрясения A :

$$M = \lg \frac{A'}{A}$$

В качестве эталонного или стандартного землетрясения принято землетрясение с амплитудой 1 мкм, которое может быть зарегистрировано на расстоянии 100 км сейсмографом стандартного типа.

Шкала магнитуд, предложенная Ч. Рихтером, насчитывает 9 баллов. Между энергией и магнитудами существует зависимость.

Соотношения магнитуды, энергии и интенсивности землетрясений приведено в табл. 12.

Таблица 12. Соотношение интенсивности, магнитуды и энергии землетрясений (по Г. П. Горшкову 1962, с сокращениями)

Характер землетрясений	Интенсивность, балл	Магнитуда, M	Энергия E, Дж	Число землетрясений в год (частота землетрясений)
Катастрофическое	11—12	8 и до 9	10^8	1
Сильно разрушительное	9—11	7,0—7,9	10^{16}	10
Разрушительное	7—9	6,0—6,9	10^{14}	100
Сопровождающееся повреждениями	6—7	5,0—5,9	10^{12}	1000
Только ощутимое	4—5	3,0—3,9	10^8	100 000

Высокие магнитуды имели такие катастрофические землетрясения, как Лиссабонское 1755 ($M=9$), Чилийское 1960 ($M=8,5$) и др. Выделение энергии происходит или сразу, в момент разрядки напряжения, или постепенно, длительное время (афтершоки). По мере удаления от сейсмического очага энергия быстро убывает. При увеличении расстояния от очага в два раза она снижается в 10—20 раз, у глубоководных землетрясений поверхности Земли достигает лишь 7—8% выделяемой энергии. Поэтому небольшие по энергии землетрясения с малой глубиной сейсмического очага бывают более разрушительными, чем глубоководные с высокой энергией сейсмического очага. Энергетические показатели имеют большое значение для характеристики землетрясения.

Интенсивность землетрясения характеризует силу подземных толчков на поверхности Земли. Для ее измерения используют 12-балльную шкалу MSK-1964, разработанную в 1963—1964 гг. С. В. Медведевым (СССР), В. Карником (Чехословакия), В. Шпонхойером (ГДР). Эта шкала (табл. 13) рекомендована советским ЮНЕСКО по сейсмологии и сейсмическому строительству для временного пользования. В основу ее положены степень разрушения зданий, изменения в грунтах, поведение людей и другие признаки. Характер разрушений на поверхности зависит от направления ударной волны. В области эпицентра подземные толч-

Таблица 13. Шкала интенсивности землетрясений MSK-1964 (с сокращениями)

Интенсивность, балл	Краткая характеристика землетрясений
I	<i>Неощутимые землетрясения.</i> Сотрясения почвы обнаруживаются и регистрируются только приборами
II	<i>Едва ощутимые землетрясения.</i> Колебания ощущаются только отдельными людьми
III	<i>Слабое сотрясение.</i> В зданиях наблюдаются раскачивания висячих предметов, иногда слышится дребезжание посуды. Землетрясение ощущается многими людьми
IV	<i>Заметное землетрясение.</i> Колебания почвы сходны с сотрясениями, вызываемыми проезжающим тяжело нагруженным грузовиком. В домах слышно дребезжание стекол, посуды, скрип дверей, полов, стен
V	<i>Пробуждение.</i> Землетрясение ощущается всеми людьми; спящие просыпаются, животные беспокоятся. Висячие предметы сильно раскачиваются, а неустойчивые опрокидываются. В зданиях появляются небольшие трещины, осыпается побелка и штукатурка
VI	<i>Испуг.</i> Люди, находящиеся в зданиях, пугаются и выбегают на улицу, животные покидают укрытия. Мебель смещается со своих мест. В сырых грунтах появляются трещины шириной до 1 см
VII	<i>Повреждение зданий.</i> Люди с трудом удерживаются на ногах. Наблюдаются случаи разрушения построек из природного камня (глинобитных и рваного кирпича), на дорогах появляются трещины, нарушаются стыки трубопроводов. Наблюдаются отдельные случаи оползней в горах и на берегах рек, морей.
VIII	<i>Сильное повреждение зданий.</i> Испуг и паника, обламываются ветви деревьев. Разрушаются многие здания из природного камня. В каменных домах появляются многочисленные трещины, осыпается штукатурка. Памятники и статуи сдвигаются. Трещины в грунтах достигают нескольких сантиметров
IX	<i>Всеобщее повреждение зданий.</i> Всеобщая паника. Отдельные случаи разрушения кирпичных построек. Искривляются железнодорожные пути. Трещины в грунтах достигают 10 см в ширину. На поверхности водоемов образуются волны, на равнинах возникают наводнения
X	<i>Всеобщее разрушение зданий.</i> Кирпичные здания разрушаются, серьезные повреждения возникают в плотинах, дамбах, мостах. Дорожные асфальтированные покрытия приобретают волнистую поверхность. Трещины в грунтах достигают 1 м. На берегах рек, морей, склонах гор наблюдаются крупные оползни. Отмечаются случаи выплескивания воды в озерах, каналах, реках
XI	<i>Катастрофа.</i> Повреждаются здания железобетонных конструкций. Значительным разрушениям подвергаются мосты, плотины, железнодорожные пути. Ровная поверхность становится волнистой. Ширина трещин в грунтах достигает 1 м. Вдоль разрывов происходит вертикальные и горизонтальные перемещения горных пород. В горах многочисленны оползни и обвалы
XII	<i>Изменения рельефа.</i> Сильные повреждения или разрушения практически всех наземных и подземных сооружений. Трещины в грунтах сопровождаются значительными вертикальными и горизонтальными перемещениями. Изменяется рельеф за счет многочисленных обвалов, оползней, смещений. Возникают озера и водопады, меняется направление русел рек.

ки направлены вертикально. Они заставляют подскакивать находящиеся на поверхности предметы. На удалении от эпицентра угол действия ударной волны становится острее, поэтому предметы и здания уже не подскакивают, а опрокидываются. Между энергией землетрясения и его интенсивностью существует зависимость, выражаемая формулой

$$M=1,3+0,6 B,$$

где M — магнитуда, B — интенсивность землетрясения в баллах.

Расположенные в различных участках Земли сейсмические станции почти ежеминутно регистрируют то слабые, то более сильные подземные толчки. Это свидетельствует о постоянных, непрекращающихся движениях земной коры. Ежегодно на Земле происходят сотни тысяч землетрясений. В основном это слабые толчки, регистрируемые только сейсмографами (см. табл. 12). Землетрясения происходят в области наиболее активных движений земной коры. Сейсмическая активность, сопряженная с разным характером движений, неодинакова. Так, в Крыму за 10 лет наблюдений сейсмическими станциями было зарегистрировано 700 подземных толчков, в Средней Азии — 5000. Одним из наиболее активных в сейсмическом отношении районов земного шара является Япония, где ежегодно регистрируется более 1500 ощутимых землетрясений в год.

Примеры землетрясений. Сильные подземные толчки на протяжении веков потрясают Японию, Китай, страны Латинской Америки, Грецию, Турцию, Италию и многие другие районы земного шара. Они несут с собой разрушения, человеческие жертвы, вызывают изменения в грунтах и рельефе местности. Одним из сильнейших было землетрясение в Чили в 1960 г., вызвавшее значительные изменения в рельефе суши и морского дна и сопровождавшееся большими разрушениями. Очаг землетрясения находился недалеко от берега, в районе острова Чилоэ. Полоса берега протяженностью 200 км и шириной 20—30 км опустилась на 2 м. Вдоль побережья на протяжении 600 км были разрушены многие города и деревни. Особенно сильно были разрушены города Пуэрто-Монте, Вальдивия, Консенсьон и населенные пункты, расположенные на острове Чилоэ. Города Анкуд и Маулин частично погрузились под воду. Обрушившиеся на берег цунами смыли города Кеуле и Корраль. Число жертв было относительно небольшим (около 10 000 человек). Это объясняется тем, что перед основным толчком 21 мая произошли два предварительных, и это сохранило многим жизнь. В течение месяца произошло 225 подземных толчков, три из них с магнитудой 8. Землетрясение вызвало образование трещин. Протяженность некоторых из них составляла сотни метров при ширине около полуметра. Через два дня после основного толчка начал действовать вулкан Пуеуэ, изливший потоки андезитовой лавы. Извержение произошло через трещину, возникшую в 1—2 км от главного кратера вулкана. Сильно изменился горный ландшафт. Многочисленные обвалы сделали местность неузнаваемой, оползни

в долине реки Сан-Педро образовали три запруды высотой 16, 19 и 60 м.

На территории СССР сильнейшие землетрясения в последние десятилетия отмечались в Ашхабаде, Ташкенте, Махачкале. Ашхабадское землетрясение произошло в октябре 1948 г. Эпицентр располагался в 25 км от города, а сейсмический очаг находился на глубине 10—15 км. Сила землетрясения достигла в эпицентре 9 баллов, магнитуда — 7. Землетрясение вызвало значительные разрушения в эпицентре. В Ашхабаде устояли от разрушения единичные здания. В основном были разрушены старые дома, построенные без учета сейсмичности района. В результате подземных толчков образовались трещины, относительно которых произошли вертикальные перемещения горных пород с амплитудой до 1 м. На крутых склонах долин отмечались обвалы и оползни.

Более двух лет продолжалось Ташкентское землетрясение. Началось оно в апреле 1966 г. Подземные толчки вызвали разрушения в центральной части города на площади около 10 км². Сейсмический очаг находился непосредственно под городом на глубине 8 км. Наиболее сильные толчки достигали 8 баллов, магнитуда составила 5¹/₃.

В 1970 г. 14 мая в предгорной части Главного Кавказского хребта произошло Махачкалинское землетрясение. Сила подземных толчков в эпицентре достигла 8 баллов. Разгрузка напряжений сопровождалась образованием трещин. По отдельным из них произошли горизонтальные смещения горных пород, сопровождавшиеся перемещением крупных блоков земной коры.

Подземные толчки дают о себе знать не только на суше, но и на море. Слабые моретрясения происходят незаметно, сильные являются причиной образования грозных морских волн — *цунами* (яп. *tsu* — гавань, *пaпi* — большая волна). Внезапные движения океанической коры вызывают образование на морском дне холмообразных поднятий или провалов. Давление, оказываемое на толщу воды, приводит к появлению на поверхности моря сейсмической волны высотой около 0,3—0,6 м и длиной до 500 км. Корабли, находящиеся в эпицентре моретрясения, ощущают ее всем корпусом. В момент удара на кораблях падают предметы, люди еле удерживаются на ногах. От эпицентра волна начинает распространяться во все стороны со скоростью до 800 км/ч и более. На мелководье скорость волны за счет трения уменьшается, но резко увеличивается ее высота. Стена воды высотой в 6—30 м и более обрушивается на берег.

При моретрясениях возникает от 3 до 7 цунами. Наибольшей разрушительной силой обладают вторая и третья волны. Цунами Чилийского землетрясения прокатились по всему Тихому океану. Максимальная высота их достигала 27 м, скорость — около 700 км/ч. На Гавайских островах волна вызвала человеческие жертвы и частично разрушила портовый город Хило. Не обошлось без жертв и в Японии. Семиметровая волна, несшаяся с огромной

скоростью, обрушилась на острова Хонсю и Хоккайдо, смыв около 5000 домов и 120 человек.

Чилийское цунами не единственное в истории моретрясение. По данным А. Е. Светловского, за 2500 лет в Тихом океане зарегистрировано 308 цунами. Японский сейсмолог Имамура за период с 1596 по 1938 г. отметил 15 катастрофических моретрясений. Наиболее страшным было цунами 1896 г., обрушившееся на остров Хонсю. Океан семь раз с интервалом от 7 мин. до получаса посылал волны на берег. Самая высокая из них достигла 35-метровой высоты и вызвала на побережье большие разрушения.

Чаще, чем в других районах земного шара, цунами возникают в Тихом океане. Неоднократно гигантские волны обрушивались на берега Южной Америки (Чили, Перу), Японии, Гавайских островов. Известны случаи цунами в Атлантическом, Индийском океанах, Средиземном море.

В разных странах мира создана и действует «Служба обнаружения и оповещения цунами». Центр ее расположен на Гавайских островах в Гонолулу. Станции оповещения действуют на Аляске, Алеутских, Курильских островах, на побережье Японии, США.

Изменения в грунтах. Землетрясения вызывают значительные нарушения в залегании горных пород земной коры и на ее поверхности. Одно из распространенных нарушений — трещины. Они пронизывают толщи горных пород на разную глубину, иногда уходят своими корнями в верхнюю мантию. Размеры трещин, зависят от силы землетрясения и глубины сейсмического очага. Ширина их колеблется от миллиметров до 5 м и более, длина — от сотни метров до сотен километров. Большую протяженность имели трещины после землетрясения 1957 г. в Монголии — 270—280 км. Затрагивая грунтовые воды и озера, трещины осушают их. Но бывает случай, когда вода фонтанирует через трещины или через них выбрасываются газы. Вдоль сомкнувшихся краев трещины пробивают себе путь подпруженные реки.

Другое распространенное явление, связанное с землетрясением, — перемещение вдоль трещин малых и крупных блоков земной коры. Они движутся как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Одним из примеров вертикальных перемещений может служить погружение обширного участка морского дна в заливе Сагами (1923) или погружение на 2 м береговой полосы площадью 5000 км² во время Чилийского землетрясения 1960 г. Примерами поднятий может быть образование островов при Лиссабонском землетрясении 1755 г. Крупные горизонтальные перемещения, сместившие части горного хребта на 150 м, наблюдались при Махачкалинском землетрясении 1970 г. Периодически повторяются горизонтальные подвижки вдоль разлома Сан-Андреас в США. Иногда вертикальные перемещения имеют вид уступов (скарпов). В 1862 г. в Прибайкалье во время землетрясения на 5—6 м опустилась значительная часть Кударинской степи. При особенно сильных землетрясениях на рыхлых грунтах нередко наблюдаются волнистые колебания почвы. В 1891 г. в одном из районов Японии

после землетрясения в почве сохранились волны высотой до 30 см, длиной от 3 до 10 м.

Не менее крупным последствием землетрясений являются обвалы и оползни, особенно в горах. От мощных толчков массивы гор приходят в движение, многотонные массы слабоустойчивых пород объемом иногда в миллионы кубических метров обрушиваются к подножию, перегораживают реки, образуют озера. В 1963 г. во время 9-балльного землетрясения на Кавказе обвалы охватили 80 км² площади. Крупнейший из них — Ацгарский (объемом около 3 млн. м³) перекрыл реку Чхалту, образовав плотину высотой 30 м. При Перуанском землетрясении 1970 г. произошел обвал с горы Гуаскаран. Скорость перемещения обвалых масс достигала 280—335 км/ч. Огромная масса пород перелетела через реку Рио-Санита и под влиянием сил инерции поднялась на противоположный берег на высоту 83 м. Редким явлением был обвал огромных масс льда во время землетрясения на Аляске в 1958 г. Сильный подземный толчок сбросил с горы Форвезер в залив Литуйи ледник. Высота всплеска воды достигла 165 м. Значительными бывают и оползни. При Алмаатинском землетрясении 1887 г., оползни и оплывины покрыли около 400 км² площади.

Распространение землетрясений. Области распространения землетрясений совпадают с районами вулканической деятельности, горообразования, новейших и современных тектонических движений. Подавляющее большинство сейсмических очагов приурочено к старым или вновь формирующимся разломам. На поверхности земного шара выделяют два обширных сейсмических пояса — Тихоокеанский и Средиземноморско-Трансазиатский. Слабой сейсмичностью обладают районы Атлантического и Индийского океанов.

С Тихоокеанским сейсмическим поясом связано около 80% всех землетрясений. Огромным кольцом пояс охватывает акваторию Тихого океана. В его состав входят сейсмически активные области Аляски, Камчатки, Курильских островов, Японии, Филиппин, Новой Зеландии, Южной Америки, побережья Центральной и Северной Америки, Алеутские и Гавайские острова. В этом поясе произошли такие катастрофические землетрясения, как Санфранцисское (1906), аляскинское (1958), японское (1923), чилийское (1960), перуанское (1970). Некоторые из них сопровождались разрушительными цунами.

Средиземноморско-Трансазиатский сейсмический пояс простирается в широтном направлении. К нему приурочено около 15% всех землетрясений. Он начинается у островов Зеленого мыса в Атлантическом океане и далее широкой полосой тянется на восток, охватывает сейсмические районы Северной Африки, Португалии, Италии, Греции, Турции, Ирана, юга Советского Союза, Гималаев, Центрального Китая, Индонезии. Крупнейшие землетрясения этой зоны характеризуются большой площадью распространения, высокими магнитудами и балльностью. К числу наиболее разрушительных относятся: лиссабонское (1755), мессинское (Италия,

1908), китайское (1920), ашхабадское (1948), фессалийское (Греция, 1957), агадирское (Африка, 1960). Самым обширным было гоби-алтайское землетрясение, охватившее площадь в 5 млн. км².

В пределах Атлантического и Индийского океанов землетрясения редки. Сейсмически активные районы, на долю которых приходится около 5% всех землетрясений, в Атлантическом океане приурочены к Срединно-Атлантическому хребту. В Индийском океане землетрясения зарегистрированы на побережьях Аравийского и Красного морей.

Сейсмические районы СССР. На территории СССР землетрясения постоянно отмечаются в Прикарпатье, Южном Крыму, на Кавказе, в Южной Туркмении, высокогорных районах Средней Азии, Алтае и Саянах, Прибайкалье, Верхоянской сейсмической области, на Сахалине, в Приморье, на Камчатке, Курильских островах, Чукотке и в Корякском нагорье.

Институтом физики Земли АН СССР составлена и опубликована карта сейсмического районирования СССР (см: рис. 97), на которой выделены 12 сейсмически опасных районов с указанием балльности возможных землетрясений. Сейсмические зоны, где возможны землетрясения 7 баллов и более, занимают 13%, или 2,9 млн. км², территории СССР.

Наиболее высокой сейсмической активностью обладают районы Средней Азии, Прибайкалья, Камчатско-Курильской зоны. В Прикарпатье землетрясения достигают 9 баллов, отзвуки их, как правило, распространяются далеко на восток. Глубина сейсмических очагов этой зоны 40—100 км. Наиболее сильными были землетрясения 1940 и 1977 гг. Сейсмическая зона Крыма занимает южную часть полуострова. Здесь известны землетрясения силой до 8 баллов. Последнее сильное землетрясение произошло в 1927 г. в районе Ялты. Оно вызвало колебание почвы в Феодосии и Симферополе (6 баллов), Севастополе (5 баллов). Сейсмический очаг находился в море в 25 км от берега на глубине 5—40 км.

Довольно часты землетрясения на Кавказе, но они в основном слабые и имеют местное значение. Ежегодно здесь регистрируется до 200 4—6-балльных землетрясений. По сейсмичности Кавказ относится к 7-балльной зоне. Наиболее сильные землетрясения ощущались в районе г. Шемаха (1669, 1679, 1856, 1902). В 1968 г. 8-балльное землетрясение произошло в Армении. Глубина сейсмических очагов на Кавказе 40—100 км.

Сейсмическая зона Туркмении примыкает к хребту Копетдаг. В этом районе известны землетрясения силой до 10 баллов. Последнее катастрофическое землетрясение произошло в Ашхабаде в 1948 г. Землетрясения Средней Азии связаны главным образом с неотектоническими движениями на Тянь-Шане. Наиболее разрушительным было 10-балльное кеминское землетрясение 1911 г., разрушившее г. Верный. В 1966 г. 8-балльное землетрясение произошло в Ташкенте. В 1977 г. сильные подземные толчки ощущались в районе г. Навои. Построенный с учетом сейсмичности город почти не испытал разрушений.

В Прибайкалье возможны землетрясения силой до 10 баллов. Наиболее сильные землетрясения в этой зоне произошли в 1950 и 1957 гг. Первое проявилось западнее оз. Байкал, второе — на его восточном берегу. В Курило-Камчатской зоне происходят преимущественно глубокофокусные землетрясения с глубиной очага от 100 до 700 км. Одно из сильнейших землетрясений — Итурупское — произошло на Курильских островах в 1958 г. Магнитуда этого землетрясения 8,25, сейсмический очаг располагался под дном Тихого океана на глубине 90 км. Слабые подземные толчки изредка ощущаются в пределах Верхоянского хребта.

Антисейсмическое строительство. Землетрясения вызывают разрушение городов, сел, наземных и подземных сооружений. Под обломками зданий гибнут люди. Разрушаются в первую очередь те объекты гражданского и промышленного строительства, которые построены без учета сейсмичности. Землетрясения в Ашхабаде (1948) и Ташкенте (1966—1968) показали, что разрушению в первую очередь подвергаются здания дореволюционной застройки, построенные из саманного кирпича. Новые здания с железобетонными конструкциями выдерживают подземные толчки силой до 8 баллов и более.

К числу предупредительных мер, смягчающих или предупреждающих последствия грозных сил природы, относятся: составление карт сейсмичности района, усиление конструкций зданий и строящихся объектов, разработка прогноза землетрясений. Строительные площадки под населенные пункты и сооружения выбираются с учетом геологических данных, как можно дальше от возможных или явных разрывных нарушений, вдали от крутых склонов, угрожающих обвалами и оползнями. Неблагоприятны для строительства рыхлые грунты и трещиноватые породы. С учетом всех этих данных было выбрано место для строительства нового Ташкента. Здания строят с применением железобетонных конструкций, вертикальных антисейсмических швов. Отстроенный заново г. Ашхабад без разрушений и жертв выдержал землетрясение 1968 г.

При строительстве плотин и мостов усиливают их основания, более пологими делают откосы. Новые конструкции зданий удорожают строительство, но это в конечном счете оправдывает себя, спасает жизнь многим людям, сохраняет от разрушения дорогостоящие промышленные объекты. Советское правительство отпускает большие средства на строительство в условиях сейсмически опасных областей.

Прогноз землетрясений. Предсказать землетрясение — где, когда, какой силы его следует ожидать, значит вовремя предупредить людей о надвигающейся опасности. Проблема прогноза землетрясений занимает умы ученых многих стран мира. Научные исследования направлены на поиски предвестников землетрясений. Установлено, что перед землетрясением изменяются свойства горных пород, скорость распространения сейсмических волн, нарушается электрическая проводимость грунтов и др.

Одни предвестники появляются за несколько лет или месяцев

до начала землетрясения, другие — за несколько дней и даже часов. К краткосрочным предвестникам относятся изменения уровня и химического состава подземных вод, нарушение напряженности электрического поля в атмосфере. Перед сильными землетрясениями изменяется сейсмический фон, т. е. частота и распределение по площади слабых подземных толчков. Накапливающиеся механические напряжения изменяют электрические и магнитные поля. Установлено, что чем сильнее ожидаемое землетрясение, тем раньше появляются его предвестники.

В настоящее время в сейсмически опасных районах создаются пункты наблюдения за предвестниками. Их задача — предупреждение и оповещение населения о надвигающемся бедствии. В оборудовании таких пунктов входят буровые скважины, на дно которых устанавливают сейсмограф с автоматической регистрацией, устройство для изучения уровня и химического состава грунтовых вод; наклонометры, измерители напряжения электрического и магнитного полей в грунтах и атмосфере. Показания приборов снимаются автоматически 1—2 раза в час.

Глава XXIV

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ

Горные породы, слагающие слои земной коры, занимают в ней определенное пространственное положение, имеют форму, размеры. У магматических пород форма залегания чаще бывает неправильных очертаний (батолиты, штоки, жилы), у осадочных — форма тел более выдержана по распространению и мощности. Форма залегания горных пород, приобретенная ими при формировании, является *первичной* или *ненарушенной формой*.

Первичная форма и элементы залегания осадочных пород. Наиболее распространенной формой залегания осадочных пород является *слой*. Слой, или пласт, — геологическое тело, сложенное однородной осадочной породой. В его строении выделяют *кровлю* — верхнюю ограничивающую поверхность и *подошву*. Кратчайшее расстояние между ними — *мощность слоя*. Реже осадочные породы залегают в виде *линзы*. Линза — геологическое тело чечевицеобразной формы, быстро выклинивающееся по всем направлениям.

Положение слоя в пространстве определяется элементами залегания: *простираем*, *падением*, *углом падения*. *Простираем* (рис. 100) слоя или его протяженность в пространстве выражается *линией простираем*, образуемой пересечением горизонтальной плоскости с поверхностью слоя, падение — *линией падения*, лежащей в плоскости слоя и перпендикулярной линии простираем. Пространственное положение этих линий измеряется азимутами. *Азимут простираем* — это правый вертикальный угол, образованный магнитным меридианом и линией простираем, *азимут падения* (в отличие от азимута простираем) в качестве измеряемого

направления имеет *линию падения*. *Угол падения* — это угол, заключенный между линией падения и ее проекцией на горизонтальную плоскость. Элементы залегания определяются с помощью горного компаса.

Горный компас — это небольшой магнитный прибор (рис. 101), используемый в геологической практике для ориентировки на местности, везуальных съемок и определения элементов залегания пластов горных пород. Компас помещен на прямоугольной пластмассовой или металлической пластинке в круглой оправе. Основная деталь прибора — магнитная стрелка 1, помещенная на игле в центре. Один конец стрелки, окрашенный в белый или черный цвет, всегда обращен на север, другой, красный — на юг. Острые концы стрелки направлены в сторону лимба 2, на котором нанесены 360 делений. Цена одного деления 1°. Деления для удобства отсчета нанесены против часовой стрелки. У основания лимба против 0°, 90°, 180° и 270° проставлены буквы С, В, Ю, З — соответствующие сторонам света. Расположение букв В и З, означающих соответственно восток и запад, не соответствует действительному положению сторон света; их поменяли местами для удобства отсчета азимутальных направлений. Вдоль восточной стороны пластинки в полукруглой прорези нанесен полулимб с делениями

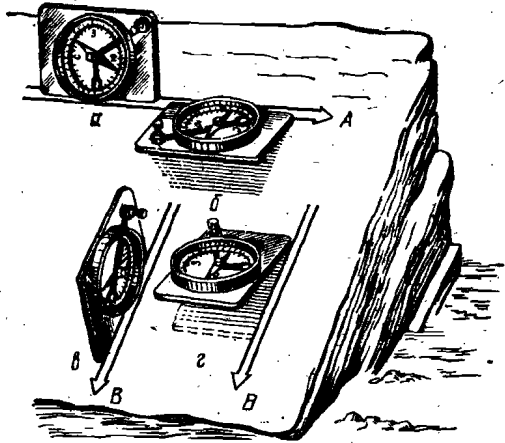


Рис. 100. Измерение элементов залегания слоя горным компасом:
А — линия простираем, В — линия падения; а — нахождение линии простираем; б — определение азимута простираем, в — определение угла падения, г — определение азимута падения

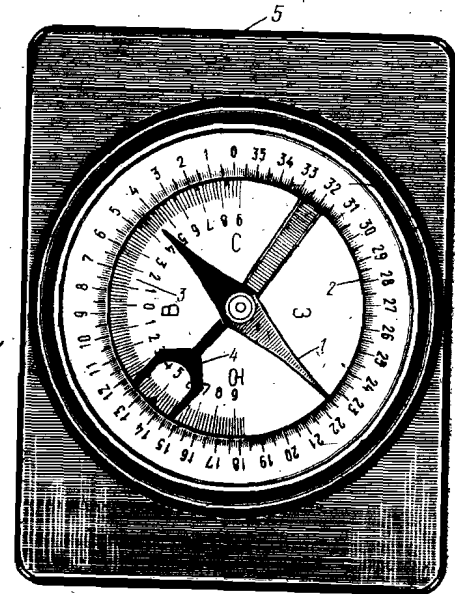


Рис. 101. Горный компас:
1 — магнитная стрелка, 2 — лимб для измерения азимут, 3 — полулимб для измерения углов падения, 4 — отгес, 5 — пластмассовая пластинка

ми от 0 до 90° в одну и другую сторону. На иглу, служащую опорой для магнитной стрелки, надет отвес 4, с помощью которого измеряются углы наклона к линии горизонта.

Азимут простирания определяют, прикладывая компас (при горизонтальном положении пластинки) длинной стороной к линии простирания (см. рис. 100). Отсчет берут по северному концу стрелки, т. е. записывают то деление лимба, против которого остановился северный конец магнитной стрелки. Чтобы установить азимут падения, пластинку компаса располагают горизонтально и прикладывают ее короткой южной стороной к линии простирания. Тогда северная сторона компаса совместится с направлением линии падения. Затем так же, как и при отсчете азимута простирания, берут отсчет по северному концу стрелки. Для определения угла наклона пласта горный компас прикладывают длинной стороной пластинки (со стороны полулимба) к поверхности слоя вдоль линии падения, как это показано на рис. 100. Свободно перемещающийся относительно оси отвес всегда занимает вертикальное положение. Поэтому при любом наклоне ребра компаса отвес фиксирует угол падения, отсчет которого производят по полулимбу с помощью отвеса.

При записи измеренных элементов залегания принято учитывать лишь угол падения слоя и азимут его падения. Азимут простирания можно получить из азимута падения, отняв или прибавив 90°. Элементы залегания записывают следующим образом: аз. пад. ЮЗ. 220°/50°. Это означает, что слой простирается в северо-западном направлении 310°, погружается в юго-западном направлении 220° и что он наклонен к линии горизонта под углом 50°.

Нарушенное залегание. Разнообразные по форме и направлению тектонические движения вызывают нарушение первоначального залегания горных пород.

Под действием колебательных, складкообразовательных, глыбовых или сдвиговых движений магматические тела и осадочные толщи изменяют положение в пространстве, теряют сплошность, слои пластичных осадочных пород под влиянием горизонтально и вертикально направленных деформирующих усилий изгибаются, приобретают форму складок.

Более жесткие породы типа песчаников изгибаются, покрываются трещинами.

Изменение первоначального залегания горных пород называют **тектоническим нарушением**. Тектонические нарушения делятся на **складчатые**, или **пликативные** (лат. *plicatus* — складчатый), и **разрывные**, или **дизъюнктивные** (лат. *disjuncto* — разделяю). Вид нарушений дает возможность судить об истории движений земной коры на данном участке в далекое геологическое время, установить, были ли это горообразовательные движения или нарушения, вызванные вулканизмом или другими процессами.

Созданные тектоническими движениями структуры нередко благоприятствуют образованию месторождений полезных иско-

паемых. Так, в разрывных трещинах рудоносные растворы отлагают металлические полезные ископаемые: медь, свинец и др. Складчатые структуры являются своего рода ловушками для накопления нефти и природного газа. В то же время тектонические нарушения периодически разрушают и растаскивают на части ранее образованные месторождения полезных ископаемых. Знание тектонических нарушений и динамики их образования позволяет геологам ориентироваться при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых.

Изучением тектонических нарушений занимается наука **структурная геология**.

Складчатые нарушения. Основным видом складчатых нарушений является складка. **Складкой** называют волнообразный изгиб слоев, образовавшийся в процессе пластичных деформаций горных пород.

Складки бывают выпуклыми — **антиклинальными** и вогнутыми — **синклинальными**. В их строении различают крылья, замок, ядро (рис. 102). **Крылья** — боковые части складки; место их смыкания (наибольшего изгиба) называют **замком**. Часть складки, заключенная между крыльями и замком, составляет ее **ядро**. В ядрах антиклинальных складок обычно залегают породы более древнего возраста, чем на крыльях, а у синклинальных — более молодые породы.

Для изучения складок и определения положения их в пространстве введены понятия о геометрических элементах складки: осевой поверхности, шарнире, оси и угле складки. **Осевая плоскость** (поверхность) — это воображаемая плоскость, которая проходит через замок складки и делит ее примерно на две симметричные части. Разрезая складку вдоль, осевая плоскость образует линию пересечения с поверхностью каждого слоя — **шарнир** складки. Сколько в складке слоев, столько и шарниров. Шарнир ведет себя в пространстве так же, как и складка. Если складка погружается на глубину или отклоняется в сторону, то и шарнир рисует в пространстве извилистую линию.

Продолжив осевую поверхность до пересечения с поверхностью Земли, получим новую линию пересечения — **ось складки**. **Ось** складки совпадает с ее простиранием. Если продолжить в пространстве крылья вплоть до их взаимного пересечения, получим **угол складки** *a*.

Большинство складок имеет линейно-вытянутую форму. Их протяженность от десятков метров до сотен километров. Одиночные складки обычно замкнуты в плане. Размеры их определяются высотой и шириной. Так как складчатые структуры обычно представляют собой чередование антиклиналей и синклиналей (см. рис. 102), то за **высоту** *a* складки принимают расстояние между наиболее высокой точкой антиклинальной и наиболее низкой точкой смежной синклинальной складки, измеренное по кровле или подошве одного и того же слоя. **Ширина** складки определяется расстоянием между осями двух соседних антиклинальных или син-

клинальных складок. Замкнутые в плане окончания антиклинальных складок называют *периклиналью*, синклиналиных — *центриклиналью*. У таких складок длина — это расстояние между центриклинальными или периклинальными окончаниями.

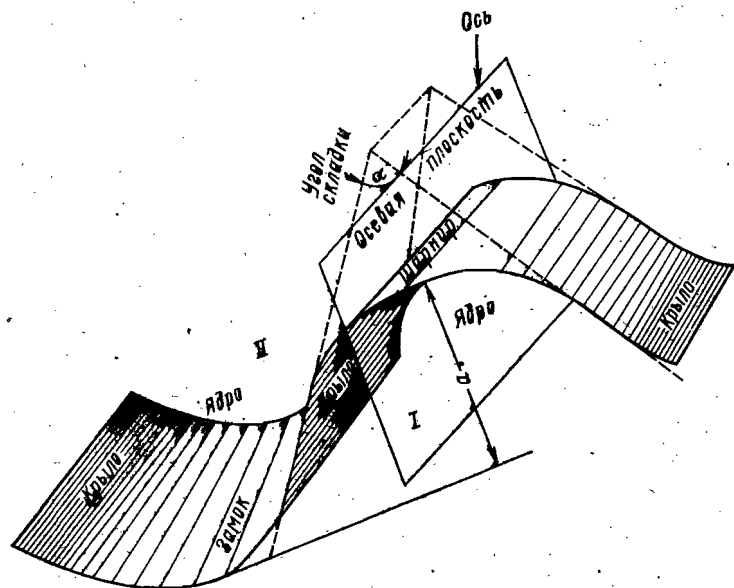


Рис. 102. Элементы строения складок:

1 — антиклинальная складка, 2 — синклиналиная складка, 3 — высота складки.

Отдельные складки в природе встречаются редко. Чаще наблюдаются целые комплексы, различных по морфологии и происхождению складок. В состав таких комплексов в одних случаях входят прерывистые, замкнутые в пространстве складки с пологим падением крыльев, в других — линейно-вытянутые, большой протяженности складки со сложной морфологией и крутым падением крыльев. Особенности строения складок и их положение в пространстве позволяют выделить несколько типов складок. Складки классифицируют по положению в пространстве осевой плоскости, оси складки, морфологии замка, протяженности и размерам складок.

По положению в пространстве осевой плоскости и крыльев выделяют складки прямые, косые, опрокинутые, лежащие, перевернутые (рис. 103). У *прямых складок 1* осевая поверхность вертикальная, крылья симметричны и падают в противоположные стороны (рис. 104). *Косыми 2* называют складки с наклонным положением осевой поверхности и крыльями, падающими в разные стороны (рис. 105). *Опрокинутые складки 3*, подобно косым, на-

клонены, но крылья у них падают в одну сторону. Складки с горизонтальным положением осевой поверхности называют *лежащими 4*. У *перевернутых складок 5* осевая поверхность наклонена ниже линии горизонта, поэтому замок складки оказывается ниже ее основания. По положению в пространстве перевернутые антиклинальные складки напоминают складки синклиналиные, но у перевернутых антиклинальных складок ядро сложено более древними, чем их крылья, породами, а у синклиналиных более молодыми.

Своеобразны ступенчатые складки — *флексуры*. У них одно крыло имеет вертикальное, другое горизонтальное или слабо наклонное положение, образуя почти прямой угол с вертикальным крылом. Осевая поверхность наклонена к горизонту под углом 45° (см. рис. 103, 6).

По морфологическим особенностям замка выделяют гребневидные, сундучные, веерообразные и изоклинальные складки (рис. 106). *Гребневидные складки 1* имеют узкий замок, напоминающий гребень или киль, и расходящиеся в стороны крылья. *Сундучная или коробчатая складка 2* характеризуется прямым, растянутым в стороны замком и отвесными или расходящимися в стороны крыльями. *Веерообразные складки 3* в отличие от сундучных менее растянуты в замковой части и пережаты в области ядра. *Изоклинальные* (греч. игос — равный, клино — наклон) *складки 4* имеют параллельные крылья с одинаковым падением.

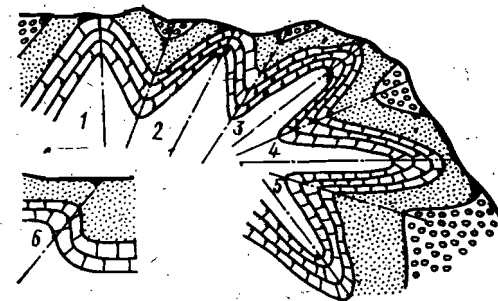


Рис. 103. Типы складок по положению в пространстве осевой поверхности и характеру наклона крыльев:

1 — прямая, 2 — косая, 3 — опрокинутая, 4 — лежащая, 5 — перевернутая, 6 — флексура



Рис. 104. Прямая антиклинальная складка в известняках (по М. Ф. Ивановой, 1974)

Изучение складок в плане показало, что одни из них (линейные) имеют большую протяженность и значительные размеры, другие характеризуются относительно небольшими размерами и замкнуты в плане. Линейные складки по положению оси делятся на прямые, дуги складок и виргации (рис. 107). Прямые кулисообразные складки имеют оси, вытянутые по простиранию в виде



Рис. 105. Косые складки Крыма (фото Н. С. Сягаева)

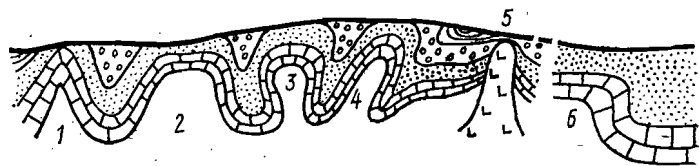


Рис. 106. Типы складок по форме замка:
1 — гребневидная, 2 — сундучная, 3 — веерообразная, 4 — изоклиальная, 5 — диапировая, 6 — флексура

прямых линий. Они обычно встречаются группами, образуют серию параллельных друг другу структур, например горные хребты в горах и др. Дуги складок свидетельствуют о проявлении горизонтальных сдвигающих усилий в момент складкообразования. Примером дуг могут служить палеозойские складчатые структуры Новой Земли, Полярного Урала. Виргации (лат. *virgatio* — ветвле-

ние) — ветвящиеся складки, расходящиеся в стороны от одной ветви.

Более разнообразны по очертаниям складки, замкнутые в плане. Замыкание происходит вследствие изгибания пластов, слагающих складки, не только по падению, но и по простиранию. Соответственно погружаются и их шарниры. Ныряние шарниров и последующее их воздымание называют *ундуляцией* (лат. *undulatio* — образование небольших волн).

Наиболее распространенные замкнутые структуры — *брахи-складки* (греч. брахис — короткий) — относительно небольшой протяженности (сотни метров, единицы километров) складчатые структуры, у которых длина относится к ширине не более как 5:1 и шарнир изогнут дугообразно. Среди них выделяют *брахиантиклинали* и *брахисинклинали*. Брахиантиклинальные структуры — надежные ловушки нефти, поэтому с ними нередко связаны месторождения жидкого топлива (нефть Татарии, Башкирии).

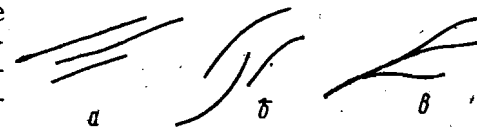


Рис. 107. Складки в плане:
а — прямые, б — дуги, в — виргации

Если соотношение длины и ширины складок 1:1, то антиклинальные структуры называют *диапировыми* или *куполами*, а синклинальные — *мульдами*. Диапировые (греч. диапиро — протыкать) структуры (см. рис. 106) образуются путем выжимания из глубин пластичных глин, протыкающих вышележащие толщи осадочных горных пород. Купола образуются за счет выживания давлением пластов соли. Они известны в Прикаспийской низменности. Древние мульды нашеобразной формы встречаются на Керченском полуострове, в Крыму, где к ним приурочены месторождения бурых железняков.

Характер складок во многом определяется свойствами горных пород и степенью тектонической активности земной коры. Пластичные породы образуют складки более сложных очертаний. В области относительно спокойного тектонического режима земной коры распространены коротко замкнутые в плане складки с пологим падением крыльев. Там, где происходили активные тектонические движения, характерны группы линейно-вытянутых складок с крутым падением крыльев.

Группы складок называют *складчатостью*.

По происхождению складки делят на экзогенные и эндогенные. *Экзогенные складки* большей частью незначительных размеров и небольшого площадного распространения. Они формируются при обтекании осадками неровностей древнего рельефа, уплотнении пород, разбухании, оползании и др. *Эндогенные складки* образуются при участии магматических, метаморфических и тектонических процессов. Особое место занимают тектонические движения, создающие самые крупные складчатые структуры.

Колебательные движения вызывают образование крупных, пологих, замкнутых в плане складок, называемых антекклизами и синекклизами. Антекклиза имеет вид пологой антиклинальной замкнутой в плане структуры с падением крыльев около 1° и шириной сотни километров. Подобные структуры синклинального характера называют синекклизами. Примерами таких структур могут служить Воронежская антекклиза и Московская синекклиза в осадочном чехле европейской части СССР.

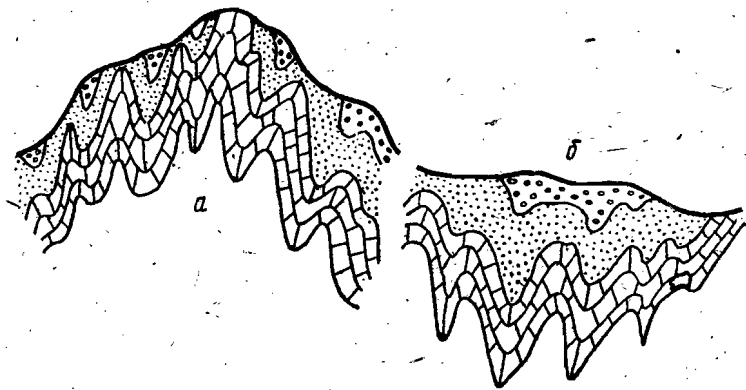


Рис. 108. Сложные складчатые структуры:
а — антиклинорий; б — синклинорий

Более сложную форму и значительную линейную протяженность имеют структуры горных районов — антиклинории и синклинории (рис. 108). В их образовании принимают участие складкообразовательные и горообразовательные движения.

Антиклинории — сложные антиклинальные структуры протяженностью в сотни километров, образующиеся в результате поднятий земной коры. На крыльях поднятия осложнены более мелкой вторичной складчатостью (рис. 109). Вторичные складки по размерам неодинаковы и классифицируются на несколько порядков. Антиклинорием является Главный Кавказский хребет.

Синклинории — обширные области погружения, заполненные смятыми в складки более молодыми, чем в соседних областях, отложениями. Уральский горный хребет в поперечном сечении представляет сочетание нескольких антиклинориев и синклинориев.

Изучение геологического строения земной коры показывает, что смятыми в складки оказываются не только отдельные пачки, но и целые толщи горных пород. Складчатость нижних толщ нередко отличается от складчатости вышележащих толщ по крутизне крыльев и характеру складок, т. е. наблюдается своеобразная этажность в тектоническом строении земной коры. Нижние структурные этажи сложены, как правило, более древними по возрасту породами, смятыми в более крутые складки. Как отмечает

Н. С. Шатский, такая этажность формируется в процессе длительного развития земной коры. Граница, разделяющая толщи разного возраста с разными углами залегания пород, получила название *углового несогласия* (рис. 110). По количеству угловых несогласий в геологическом разрезе судят о том, сколько раз в данном районе возобновлялись складкообразовательные движения.

Разрывные нарушения. Тектонические нарушения с разрывом сплошности горных пород получили название *разрывных*. Разрыв имеет вид трещины, разделяющей монолитную породу на части,



Рис. 109. Сложные дислокации в горных районах (по М. Ф. Ивановой, 1974)

или блоки. В зависимости от направления действующих сил блоки горных пород после разрыва или остаются в прежнем положении, или смещаются относительно друг друга, поэтому все разрывные нарушения делят на две группы: разрывы без смещения, или *диаклазы* (греч. диаклизис — разламывание), и разрывы со смещением, или *параклазы* (греч. пара — преобразование, клазис — ломка, раскалывание).

Разрывы без смещения (трещины). Трещины встречаются повсеместно в любых горных породах. Они различны по размерам, положению в пространстве и происхождению. Есть трещины, не заметные для невооруженного глаза. Обнаружить их можно только при раскалывании пород. Это *микротрещины*. Видимые трещины имеют ширину от нескольких миллиметров до нескольких метров. Подавляющее их большинство (особенно ранних стадий образования) заполнено минеральным веществом. Минеральные

тела, заполняющие трещины, называют *жилами*. Трещины бывают *открытыми, закрытыми, слепыми*. Слепые трещины не имеют выхода на поверхность. Стенки трещин обычно неровные, шероховатые, у трещин скалывания (образуются при сжатии пород) — сглаженные. Протяженность трещин от нескольких сантиметров до сотен километров. В плане они бывают прямолинейными, кольцеобразными, извилистыми. Положение их в пространстве определяется элементами залегания — простиранием и падением.

По положению в пространстве различают трещины *горизонтальные* с углом падения $0-10^\circ$, *пологопадающие* — $10-50^\circ$, *крутопадающие* — $50-90^\circ$. Трещины редко бывают одиночными, чаще

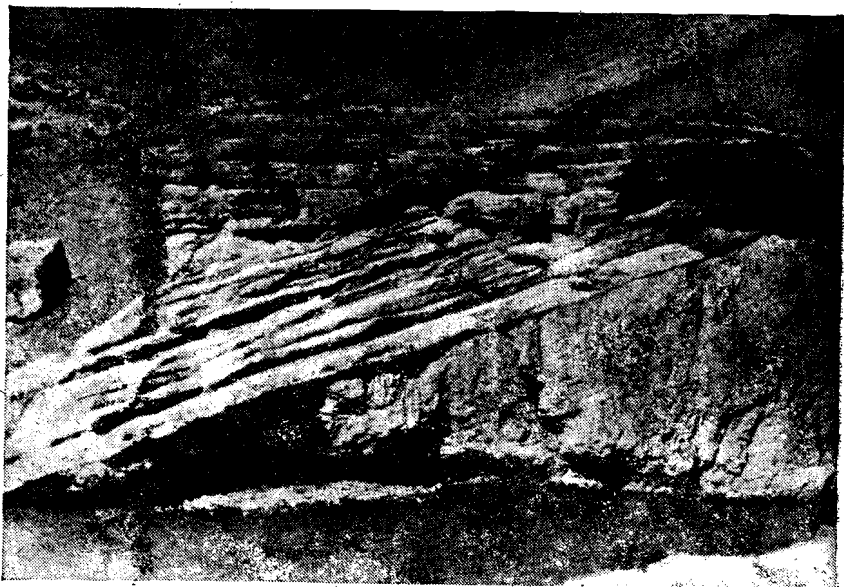


Рис. 110. Угловое несогласие (по М. Ф. Ивановой, 1974)

они встречаются группами или системами. Множество трещин в одном участке земной коры называют *трещиноватостью*. Располагаются трещины относительно друг друга параллельно, веерообразно (радиальные трещины), по окружности (концентрические трещины). Наиболее распространенная система трещин — *кливаж* (англ. cleavage — раскол). Кливаж — система параллельных трещин, разделяющих породу на отдельные пластинки. Относительно кливажных трещин происходит смещение пород, поэтому поверхность таких трещин часто бывает отполированной скольжением пород. Различают *кливаж течения, кливаж разлома и др.* Образование кливажа связывают с движением вещества горных пород в момент образования складок.

Глубина трещин во многом определяется природой их образования. Экзогенные трещины, связанные с процессами физического выветривания, обвалами, оползнями, движением ледников, физико-химическими превращениями осадков (высыхание, уплотнение), имеют глубину от нескольких сантиметров до первых десятков метров. Эндогенные трещины прослеживаются геофизическими приборами на глубине от сотен метров до десятков километров.

Еще один генетический тип трещин образуют *трещины отдельности*, разделяющие породы на части. Формируются они в процессе охлаждения магмы и лав, в осадочных породах при процессах диагенеза. Известняки, мел и другие карбонатные породы часто имеют *параллелепipedальную отдельность*, обусловленную развитием систем вертикальных и горизонтальных трещин. У гранитов встречаются *глыбовая и пластовая отдельности*. Первая связана с развитием трещин разных направлений, делящих породу на неправильной формы обломки, вторая — с горизонтальными параллельными трещинами, разделяющими породу на части пластовой формы. У лавовых пород встречаются шаровая, матрацевидная и столбчатая формы отдельности.

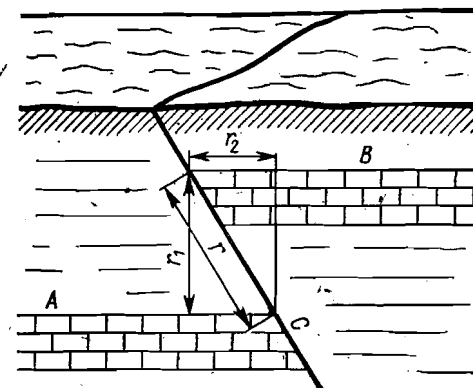


Рис. 111. Элементы разрывного нарушения: А — лежащее крыло (опущенное), В — висящее крыло (поднятое), С — сместитель, r — амплитуда истинная, r_1 — амплитуда вертикальная, r_2 — амплитуда горизонтальная

Разрывные нарушения со смещением. Образование тектонических нарушений со смещением связано главным образом с действием эндогенных сил, направленных на сжатие или растяжение горных пород. Реже встречаются параклазы экзогенного происхождения, связанные с оползнями, провалами, движением ледников.

В разрывном нарушении со смещением различают сместитель, крылья, или блоки, и амплитуду смещения (рис. 111). *Сместитель С* — трещина, вдоль которой происходит смещение разорванных участков земной коры. Поверхность стенок сместителя обычно сглажена, у твердых пород отполирована. Иногда на стенках наблюдаются царапины, оставленные обломками твердых минералов. По царапинам судят о направлении перемещения блоков. *Блоки, или крылья (А, В)*, — участки земной коры (слоя, толщи), располагающиеся по обе стороны от сместителя.

По отношению друг к другу крылья бывают поднятыми, опущенными, передвинутыми. *Опущенными* называют блок или кры-

ло, смещенное относительно другого крыла вниз, *поднятым* — крыло, перемещенное вверх. При наклонном положении сместителя крылья, находящиеся выше сместителя, называют *висячими*, под ним — *лежащими*. Расстояние, на которое смещены крылья относительно друг друга, называют *амплитудой смещения*. Она бывает вертикальной, горизонтальной, истинной. *Вертикальная амплитуда* r_1 — расстояние между кровлей (подошвой) крыла поднятого и кровлей (подошвой) крыла опущенного. Так же, только по сместителю определяется *истинная амплитуда* r . *Горизонтальная ампли-*

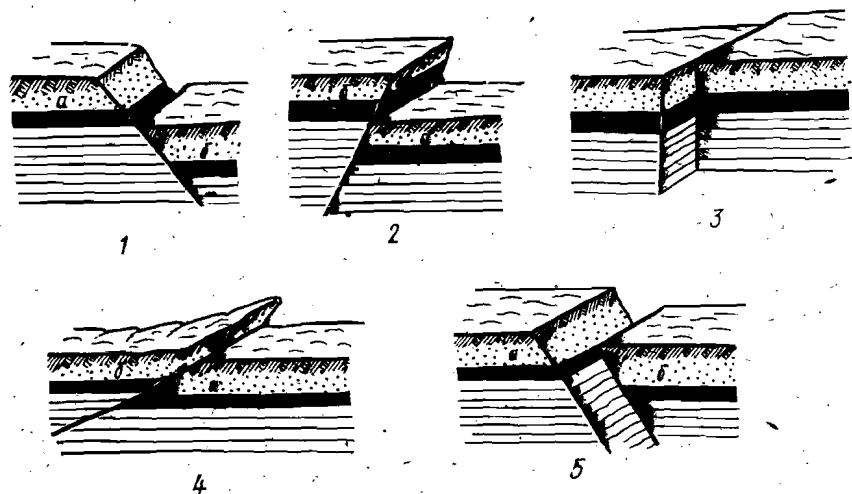


Рис. 112. Типы разрывных нарушений:

1 — сброс, 2 — взброс, 3 — сдвиг, 4 — надвиг, 5 — сбросо-сдвиг, (ж — лежащее крыло, б — висячее крыло)

туда r_2 показывает, насколько крылья разорванного пласта раздвинуты по горизонтали. По направлению перемещения блоков, пространственному положению сместителя и некоторым другим особенностям выделяют такие типы разрывных нарушений, как сбросы, взбросы, сдвиги, надвиги (рис. 112).

Сброс — разрывное нарушение, у которого сместитель наклонен в сторону опущенного крыла, а висячее крыло смещено вниз относительно лежащего. Считают, что сбросы образуются при растяжении участков земной коры.

При сжатии земной коры висячее крыло перемещается вверх по сместителю, образуя разрывное нарушение — *взброс*. У взбросов сместитель наклонен в сторону поднятого крыла и висячее крыло расположено выше лежащего.

Надвиг морфологически напоминает взброс. Отличается от последнего более пологим положением сместителя: у взбросов сместитель наклонен под углом более 45° , у надвигов — до 45° . Другая отличительная черта надвигов — значительные амплитуды, измеряемые сотнями метров, а иногда и десятками километров.

Особенно велики амплитуды таких нарушений надвигового типа, как *шарьяжи* (фр. *charrier* — катить, везти волочить) или *тектонические покровы*. Их перемещение достигает десятков и сотен километров.

Сдвиг формируется при горизонтальных перемещениях блоков земной коры, вдоль пологого или крутопадающего сместителя. Иногда сдвиги сочетаются со сбросами или взбросами и образуют структуры комбинированного типа — *взбросо-сдвиги* или *сбросо-сдвиги*. Для них характерно смещение блоков как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

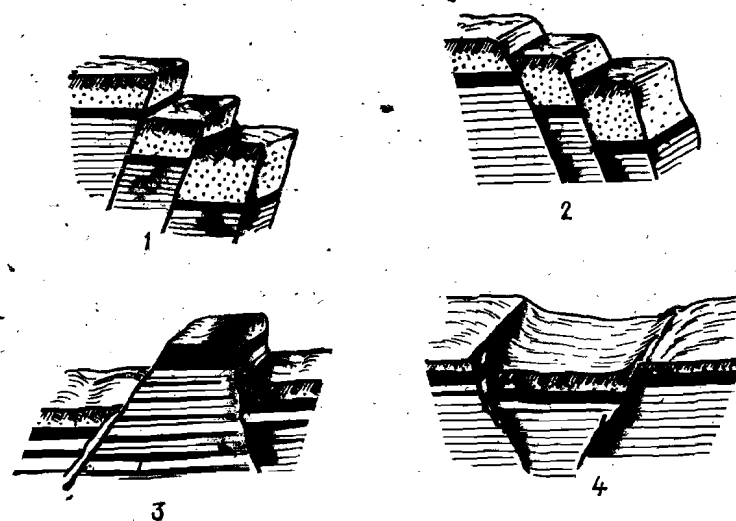


Рис. 113. Системы разрывных нарушений:

1 — ступенчатый взброс, 2 — ступенчатый сброс, 3 — горст, 4 — грабен

К числу сложных разрывных нарушений относятся ступенчатые сбросы, взбросы, горсты и грабены (рис. 113). *Ступенчатые сбросы* — система параллельных сместителей, относительно которых наблюдается ступенчатое опускание блоков. *Ступенчатые взбросы* образуются в том случае, если между параллельными сместителями располагаются ступеньки взбросов.

Горст (нем. *Horst* — возвышенность, холм) — поднятый участок земной коры, ограниченный разрывными нарушениями, которыми могут быть как сбросы, так и взбросы. Горсты известны в Забайкалье, на Кавказе и в других складчатых областях.

Грабен (нем. *Graben* — ров) — провал или погружение, образовавшееся при опускании участка земной коры. Опущенный участок отделен от соседних сбросами или взбросами. При заполнении впадин на месте грабенов возникают озера. Типичными грабенами являются впадины таких крупнейших озер мира, как Байкал, Балатон, Телецкое на Алтае и др.

Разломы. Гигантские разрывные трещины, уходящие своими корнями на большую глубину, называются *глубинными разломами*. По данным геофизических исследований, одни из них достигают гранитного или базальтового слоя земной коры, другие выходят за ее пределы, углубляются в верхнюю мантию.

На поверхности Земли разломы выражены зонами сгущения слепых и зияющих трещин. Они хорошо прослеживаются из космоса. Ширина зон разломов 1—2 км, у крупных — до десятков кило-



Рис. 114. Выражение разлома в рельефе

метров. Протяженность гигантских систем трещин сотни и тысячи километров. Так, длина разлома Сан-Андреас в Америке превышает 1100 км. В зонах разломов нередко прокладываются русла реки, образуются овраги, ущелья, уступы (рис. 114). Вдоль некоторых из них происходят перемещения блоков земной коры. Велика геологическая роль глубинных разломов. Они являются каналами, по которым глубокие зоны Земли сообщаются с верхними слоями земной коры и ее поверхностью. По ним внедряется магма, поднимаются вверх горячие газы и гидротермальные растворы. Со многими старыми разломами связаны месторождения рудных полезных ископаемых, иногда месторождения нефти и природного газа.

Большинство глубинных разломов имеет северо-западное или северо-восточное простирание. Установлены они в областях современных или древних тектонических движений земной коры. На суше они встречаются в зонах, затронутых горообразованием, располагаются как вдоль, так и поперек горных систем. На дне океанов значительная их часть приурочена к срединно-океаническим хребтам. Наиболее крупными разломами являются Восточно-сибирский, Монголо-Охотский, Сан-Андреас, Красного моря и др.

Эндогенные геологические процессы, с которыми связано изменение первоначального облика (структуры, текстуры, иногда цвета) горных пород и их химического и минерального состава, называются метаморфическими (греч. метаморфоо — превращаю). Термин «Метаморфизм» введен в геологию в 1885 г. Ч. Ляйелем. Метаморфизм вызывается действием на ранее образованные породы внедрившейся магмы, тектонических движений, внутреннего тепла Земли. Основными факторами метаморфизма являются высокое давление, температуры, горячие газы и водные растворы. Они влияют на горные породы совместно или порознь, в зависимости от сложившихся на данном участке земной коры термодинамических условий. Метаморфизм заключается в изменении первоначального химического состава минералов или рождении новых, устойчивых в создавшейся среде минералов. Под действием внешних факторов происходит частичная или полная перекристаллизация пород, сопровождающаяся коренной перестройкой их структуры и текстуры. Метаморфические процессы разнообразны как по форме проявления, так и по характеру преобразования.

Виды метаморфизма. Наиболее распространен *термальный метаморфизм*, обусловленный главным образом действием на окружающие породы теплового фактора. Как известно, повышение температуры с глубиной обусловлено поступлением из недр тепловых потоков или внедрением магмы. Наиболее сильное тепловое действие на окружающую среду оказывает магматический расплав, температура которого в местах внедрения достигает 1400°C. Тепло повышает активность химических преобразований минералов, способствует рождению новых минеральных соединений, вызывает перекристаллизацию горных пород. Так, под воздействием магмы известняки превращаются в мрамор, глины — в плотные кварцевые породы — роговики.

Не менее важную роль в процессах метаморфизма играет давление, с которым связан *динамометаморфизм*. Движения земной коры и направленное давление приводят к дроблению и перетиранию горных пород, их рассланцеванию. В зоне перемещений блоков земной коры развиваются одностороннее давление, или *стресс*, который ведет к скалыванию пород, их перетиранию вдоль трещин и дроблению. Чаще динамометаморфизм приводит к рассланцеванию пород. Под давлением вышележащих толщ пластичная порода начинает растекаться в стороны в направлении, перпендикулярном сжатию; зерна минералов при этом удлиняются, меняется текстура породы. У глин землястая текстура сменяется *плитчатой* или *сланцеватой*. При рассланцевании глинистые породы преобразуются в глинистые, слюдяные сланцы, магматические — в тальковые, хлоритовые сланцы.

Сложным, с точки зрения химических преобразований, является *метасоматоз*. Главную роль в этом виде метаморфизма играют горячие газы и гидротермальные растворы, поступающие главным образом из магматических очагов. Действие газовых эманаций и водных растворов на окружающие породы бывает раздельным и совместным. При раздельном действии газы, проходя по трещинам вмещающих пород, вступают в обменные реакции с химически активными минералами или разлагают их. Так, в гранитах они разлагают полевой шпат этих пород на кварц и слюду, одновременно оставляя в породах соединения олова, вольфрама молибдена, бериллия и др. В результате из гранитов образуются более светлые кварц-сланцевые породы — *грейзены*.

По мере охлаждения газы, насыщенные водяными парами, преобразуются в гидротермальные растворы. Последние обуславливают вторую, более низкотемпературную стадию метасоматоза. Примером такого метасоматоза служит *серпентинизация* — образование под действием гидротермальных растворов метаморфического минерала серпентина за счет магматического оливина. Чем химически активнее породы, тем ярче выражены в них процессы метасоматоза. Наиболее распространен метасоматоз карбонатных пород, в частности главнейших их представителей — известняков и доломитов. Характер изменений этих пород зависит от состава и температуры

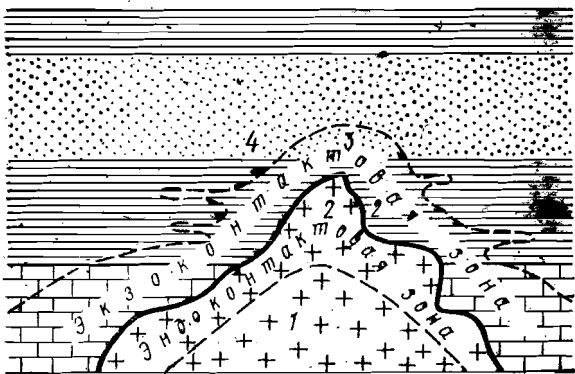


Рис. 115. Зоны контактового метаморфизма:
1 — гранит, 2 — метаморфизованные граниты (эндоконтактовая зона), 3 — метаморфизованные осадочные породы

поступающих в них растворов. При поступлении силикатных растворов за счет кальцита и доломита образуются гранаты, хлорит, эпидот. Железо-магнезиальные растворы способствуют рождению метаморфических пироксенов и амфиболов. В конечном итоге при метасоматозе формируются многоминеральные метаморфические породы — *скарны*.

В зависимости от причин и характера изменений выделяют

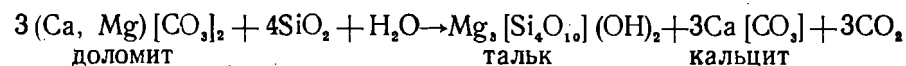
метаморфизм контактовый и метаморфизм региональный.

Контактовый метаморфизм. Он происходит на контакте или границе двух сред. Одну из них представляет внедрившаяся в земную кору магма, другую — вмещающие ее породы. Внедрение в земную кору магмы резко изменяет обстановку окружающей среды. Быстро повышается температура, через поры и трещины в породы просачиваются горячие газы и водяные пары. На контак-

те между магмой и вмещающими породами возникают сложные физико-химические процессы, ведущие, с одной стороны, к контактовому метасоматозу, с другой — к температурным изменениям минералов. Интенсивность этих процессов во многом зависит от состава магмы и вмещающих пород. Наиболее значительные изменения наблюдаются на контакте кислых магм с карбонатными породами. Изменения затрагивают обе стороны контакта (рис. 115). Ореол в сторону интрузива называют *эндоконтактовой зоной* (зона внутреннего контакта), в сторону вмещающих пород — *экзоконтактовой зоной* (зона внешнего контакта). Экзоконтактовый ореол распространяется намного шире, чем эндоконтактовый, размеры его от сотен метров до 2—5 км, а иногда и более.

Контактовым изменениям подвергаются как осадочные, так и магматические породы. Глины и песчано-глинистые породы в процессе термометаморфизма преобразуются в очень плотные, неслоистые, мелко- или среднезернистые породы — *роговики*. При контактовом метаморфизме граниты преобразуются в грейзены. Проникновение в осадочные породы гидротермальных растворов может вызвать их окварцевание (обогащение окислами кремния), карбонатизацию (обогащение породы углекислым кальцием или магнием) или другие минеральные замещения.

Каждый процесс охватывает только определенный комплекс пород. Оталькованию (преобразованию магнезиальных минералов в тальк), например, подвергаются магматические минералы ультраосновного или основного состава и осадочные породы доломитового состава. В последнем случае горячие водяные пары, обогащенные кремнеземом, преобразуют доломиты в тальк. Реакция идет по схеме



Процессы контактового метаморфизма имеют ограниченное распространение, так как локализуются преимущественно вокруг интрузий.

Из пород контактового метаморфизма наиболее продуктивны с точки зрения полезных ископаемых грейзены и скарны. С грейзенами связаны месторождения олова, вольфрама, молибдена, лития, урана и некоторых других минералов. В скарнах встречаются месторождения магнитных железных руд (Горная Шория, Абакан, Соколово-Сарбайское месторождение и др.), меди (Южный Урал, Казахстан). Несколько реже встречаются месторождения свинца, цинка, золота, вольфрама, урана и некоторых других металлов.

Региональный метаморфизм. Термин «*региональный метаморфизм*» (лат. regionalis — областной) введен в геологию в 1859 г. французским геологом А. Дэбре. Региональный метаморфизм охватывает обширные площади. Породами регионального метаморфизма сложены складчатые сооружения Алып, Кавказа, Алтая, Урала, Саян и многих других горных районов.

Согласно существующим представлениям региональный метаморфизм происходит на больших глубинах в условиях высоких температур и давлений. Миграция на глубинах водных растворов вызывает в породах *метасоматоз*, температура — *перекристаллизацию*, направленное давление — *рассланцевание*. Главную роль играют рассланцевание и перекристаллизация, ведущие к изменению структуры, текстуры и минерального состава горных пород.

В процессе рассланцевания песчано-глинистые породы превращаются в *глинистые сланцы*, *филлиты* (кварц-серицитовые сланцы с серебристым отливом, не содержащие глинистых минералов). При перекристаллизации плотные известники превращаются в кристаллически-зернистые *мраморы*, обломочные песчаники — в плотные кристаллические *кварциты*, магматические породы — в *граниты* и некоторые песчано-глинистые осадочные породы — в *гнейсы*.

Длительное время в геологии господствовала теория глубинного метаморфизма У. Грубенмана. Она основывалась на изменениях с глубиной (в сторону повышения) температуры и давления. В земной коре были выделены три зоны: верхняя — эпизона, средняя — мезозона и нижняя — катазона. В первой при низких температурах и давлении в породах происходят незначительные изменения. В последней, где наиболее высокие температуры и давление, идут глубокие преобразования горных пород. Таких же представлений придерживались П. Ниггли, И. Сидерхольм и др.

Изучения термодинамических свойств земной коры показало, что температуры и давление с глубиной возрастают неравномерно. Об этом свидетельствуют неодинаковые значения геотермических ступеней и градиента в разных точках земного шара. По мнению В. А. Обручева, Д. С. Коржинского, Н. П. Семеновича, региональный метаморфизм имеет много общего с контактово-метаморфическими процессами. Они считают, что метаморфизм больших площадей может быть связан с глубоко залегающими магматическими очагами, которые снизу подогревают горные породы и выделяют порции газов и водяных паров.

Последующее изучение теплового режима Земли и характера преобразований первичных пород изменило представление об источниках тепла, участвующего в региональном метаморфизме. А. В. Сидоренко, В. Н. Огнев, Ю. К. Дзевановский и другие ученые отрицают связь регионального метаморфизма с магматизмом и считают основной причиной глубинных изменений горных пород действие на них тепловых потоков, идущих из недр Земли. Некоторые ученые связывают региональный метаморфизм с развитием геосинклиналей, на месте которых в итоге образуются горные сооружения (В. А. Глебовецкий, К. О. Крацц, Ю. М. Соколов и др.).

Ультраметаморфизм. Высшей степенью метаморфизма является *ультраметаморфизм* (лат. *ultra* — более, сверх), затрагивающий наиболее глубокие зоны земной коры. К явлениям ультраметаморфизма относят палингенез, анатексис, мигматизацию, гранитизацию.

Палингенез (греч. «палин» — обратно, вспять) — ультраметаморфический процесс переплавления первично магматических пород (вулканогенных, интрузивных) с последующим превращением их в граниты.

Полное переплавление, ведущее к образованию магмы, называют *анатексисом* (греч. ана — вверх, в высшей степени, тексис — расплавление).

Одним из распространенных явлений ультраметаморфизма является *гранитизация* — преобразование химического и минерального состава метаморфических пород. В итоге образуются минералы и структуры, подобные тем, которые наблюдаются у гранитов. Участки метаморфических гранитов встречаются среди толщ докембрийских гнейсов и кристаллических сланцев, слагающих ядра современных гор. О том, что это граниты метаморфические, а не магматические, свидетельствует отсутствие следов внедрения, характерных для магматических образований, и полное окружение гранитоидных пород вмещающими метаморфическими толщами.

Проведенные в условиях лабораторий эксперименты (Н. Л. Боуэн, Н. И. Хитаров, О. Ф. Татл и др.) позволили получить из разных по составу метаморфических пород гранитный расплав, объяснить выплавление гранитов в толщах глубоко метаморфизированных горных пород. Более широкое распространение имеют метаморфические породы континентальной коры, где распространены глубокометаморфизированные породы докембрия, представленные гнейсами, амфиболитами, кристаллическими сланцами и т. д. В срединных океанических хребтах в пределах океанической коры встречаются лишь слабометаморфизированные породы.

Глава XXVI

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Эндогенные геологические процессы протекают в разных участках земной коры неодинаково, что подтверждается неравномерным распределением на Земле вулканов, сейсмически активных областей, разной интенсивностью колебательных движений и другими явлениями. Такая неравномерность в проявлении эндогенных процессов существовала и в геологическом прошлом. Поэтому строение земной коры также неоднородно. О сейсмически активных зонах и областях вулканизма в геологическом прошлом рассказывают нам распространение древних вулканических пород, наличие в земных слоях складок и разрывных нарушений. Многие из старых по возрасту горных пород сильно изменены метаморфическими процессами, уничтожившими следы условий их образования. Несмотря на это ученым удалось расшифровать их происхождение.

Как отмечалось А. В. Сидоренко, наиболее древние метаморфические породы докембрия на $3/4$ сложены метаморфизированными осадочными и вулканогенно-осадочными породами. Доказательством служат характерная для осадочных образований слоистость, пластовая форма залегания и некоторые другие признаки. Изменению горных пород способствовали дислокации участков земной коры и внедрение в нее магмы. В процессе движений в земной коре появились многочисленные разрывы, вертикальные и горизонтальные смещения отдельных ее блоков, смятые в складки слои. Магматические процессы привели к внедрению в метаморфические и осадочные толщи многочисленных интрузий магматических пород.

Данные исследования геологического строения земной коры позволили разделить ее, как это отмечалось выше, на два типа: *кору океаническую* и *кору континентальную*.

В строении океанической коры выделены два основных структурных элемента: *океанические плиты* и *срединно-океанические хребты*. Мощность коры увеличивается в направлении от срединных хребтов к границам с континентальной корой, в том же направлении старше становится и возраст коры. Строение коры под океанами оказалось более простым, чем под материками, и возраст выявленных наиболее древних отложений на дне океанов значительно моложе, чем на континентах. Эти и другие особенности навели ученых на мысль, что зарождение земной коры начинается под океанами и продолжается под континентами.

Значительно больше мощность и сложнее геологическое строение континентальной коры. В ее геологическом разрезе наблюдается этажность в строении толщ горных пород, обусловленная различным их составом, возрастом, условиями залегания. Неодинаковое геологическое строение позволило выделить в строении континентальной коры два основных структурных элемента: *платформы* и *геосинклинали*.

Структурные элементы континентальной коры. Обширные подвижные области земной коры, характеризующиеся интенсивным прогибанием, усиленным осадконакоплением, магматизмом, активными тектоническими движениями, сопровождающимися метаморфизмом и процессами горообразования, называются *геосинклиналями* (греч. гео — земля; син — вместе; клино — наклон). Изучением *геосинклинальных областей* занимается наука «Учение о геосинклиналях», возникшая во второй половине XIX в. Она, как указывает В. Е. Хаин, сделала понятным, почему складчатые сооружения возникают не повсеместно, а в определенных зонах земной поверхности. По представлениям Г. Штилле, геосинклинальные области закладываются внутри континентов или в их крайних частях. Впоследствии большинство ученых пришли к выводу о том, что геосинклинальные области получают развитие на океанической коре и способствуют ее превращению в кору континентальную. Геосинклинальные области — это линейно вытянутые зоны протяженностью в тысячи и шириной в сотни километров, в которых активно проявляются различные эндогенные процессы.

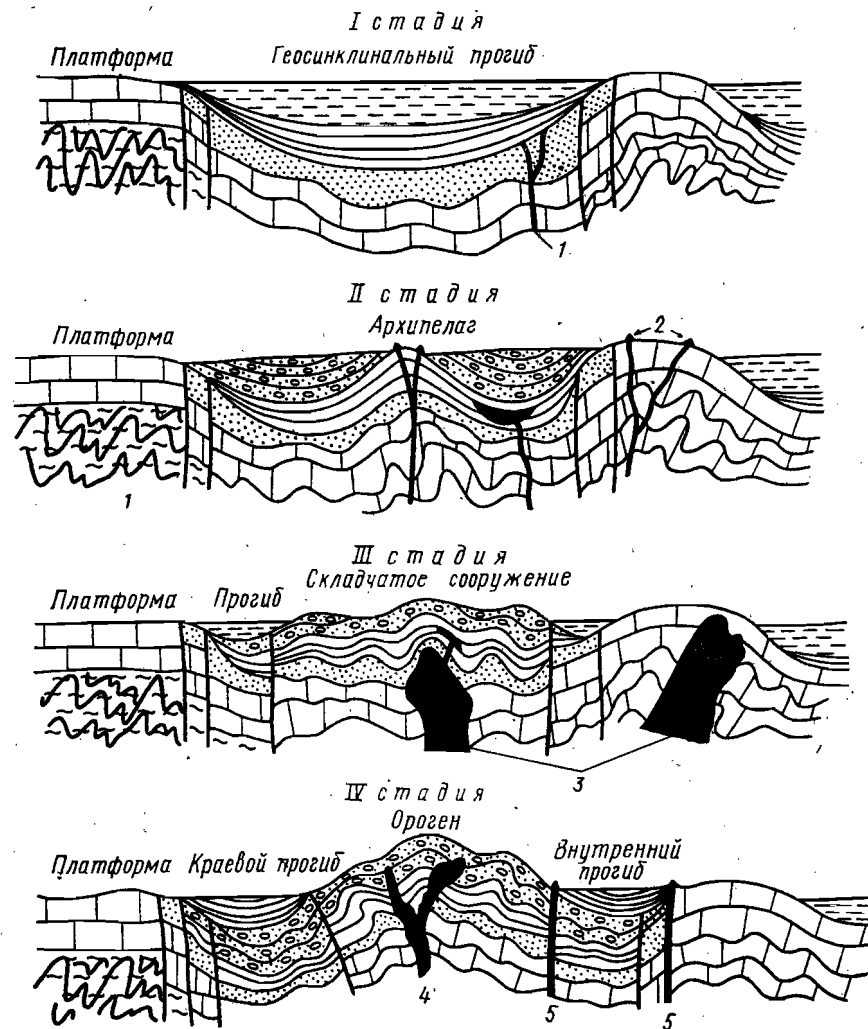


Рис. 116. Стадии развития геосинклиналей (по М. М. Жукову, 1970):
1 — пластовые тела основных интрузий, 2 — вулканы, извергающие лаву основного состава, 3 — интрузии основных, средних и кислых пород, 4 — малые интрузии основных и кислых пород, 5 — вулканы, связанные с разломами

Н. С. Шатский, А. В. Пейве и другие советские исследователи разработали схему стадийности геосинклинальных областей, согласно которой в истории их развития были выделены два этапа. Первый — *главный*, или *собственно геосинклинальный этап*, второй — *орогенный*, или *горообразовательный* (рис. 116).

Собственно геосинклинальному этапу обычно предшествует заложение глубоких зон разломов, достигающих границ верхней

мантии. Образование разломов сопровождается интенсивным дроблением земной коры и активизацией магматической деятельности. Благодаря интенсивному прогибанию и морскому режиму на дне водоема накапливаются мощные толщи осадков мощностью в сотни и тысячи метров. Их отложение сопровождается вулканической деятельностью, в результате чего происходит переслаивание осадочных и вулканогенно-осадочных горных пород. Главный этап завершается расчленением зоны осадконакопления на многочисленные *прогибы и поднятия*.

Орогенный этап начинается с поднятия геосинклинальной области, сопровождающегося смятием слоев в складки, и метаморфизмом горных пород. В центральной части поднятия закладываются антиклинорий, в краевых участках — синклинорий. Одновременно активизируется магматическая деятельность. На смену эффузивному магматизму приходит магматизм интрузивный. Вначале внедряются гипабиссальные интрузии среднего и кислого состава, затем абиссальные интрузии преимущественно кислого состава. В завершающую стадию орогенного этапа происходят глыбовые движения земной коры (горизонтальные и вертикальные перемещения ее блоков). Общее поднятие геосинклинальной области завершается образованием *гор*, заложением *межгорных прогибов* (В. В. Белоусов), а на стыке с платформами — *краевых, или передовых, прогибов*. Так учение о геосинклиналях объясняет возникновение складчатых гор, образованных линейно-вытянутыми горными хребтами, разделенными межгорными впадинами.

Некоторые горные хребты представляют собой антиклинорий, состоящие из линейно-вытянутых складок, собранных в параллельные пучки. В пучках встречаются складки прямые, лежащие, перевернутые. Чаще пучки ветвятся, виргируют. Ближе к краевым прогибам морфология складок меняется, начинают преобладать гребневидные, сундучные складки, диапировые структуры. Разрывы, пронизывающие складки, иногда бывают заполнены дайками магматических пород, с которыми нередко связаны месторождения рудных полезных ископаемых (меди, свинца, цинка, никеля, урана и др.).

В пределах одной складчатой области могут сочетаться несколько антиклинорий и синклинорий, образующих одну общую гигантскую структуру — *мегаантиклинорий* (Уральские горы и др.).

Геосинклинальный путь развития прошли многие горные страны: Урал, Казахстан, Алтай, Кавказ, Альпы, Аппалачи и др. Основные различия в развитии горных систем определяются временем их образования и интенсивностью горообразовательных процессов. Так, в районе Саян геосинклинальный режим существовал в первой половине палеозоя, на Урале — во второй, на Кавказе он начался в меловое время и продолжается в наши дни. Геосинклинальный режим характерен для многих районов земного шара. По повышенной сейсмической активности, проявлению вулканизма, интенсивности колебательных движений и другим признакам, характеризующим геосинклинальный режим, на земном шаре вы-

делены два современных обширных геосинклинальных пояса — *Тихоокеанский* и *Средиземноморский*. Тихоокеанский пояс, вытянутый вдоль берегов Тихого океана, находится в собственно геосинклинальной стадии развития. Он включает системы островных дуг и глубоководных желобов, а также окраинные моря. Средиземноморский геосинклинальный пояс в отличие от Тихоокеанского имеет широтное простирание. Значительная часть этого геосинклинального пояса (Пиренеи, горы Атласа, Альпы, Апеннины, Балканы, Карпаты, Крым, Кавказ, Копетдаг, Памир и др.) переживает заключительную орогеническую стадию развития.

В истории развития Земли выделено несколько *эпох складчатости*. Каждая эпоха соответствует конечной стадии развития геосинклинальных систем и состоит из нескольких фаз. *Фаза складчатости* — более кратковременные вспышки горообразования (орогенеза). В докембрии выделено несколько эпох складчатости, в фанерозое — пять.

Малоподвижные участки земной коры, закончившие геосинклинальный путь развития, называют *платформами*. В отличие от геосинклинальных областей на платформах отсутствуют складкообразовательные движения и слабо выражен магматизм. Платформенный путь развития начинается со снижения тектонической активности горной страны и широкого развития денудационных процессов. Денудация нивелирует ее поверхность, превращает горные хребты и массивы в холмистую страну (типа Центрального Казахстана). Колебательные движения вызывают поднятия и погружения отдельных участков платформы. Значительной амплитуды прогибы отмечаются в местах сочленения платформ с геосинклинальными областями.

Н. С. Шатский, В. В. Белоусов, В. Е. Хаин и другие исследователи считают, что на развитие платформ оказывают большое влияние соседние геосинклинальные области. Происходящие в геосинклиналях восходящие и нисходящие движения затрагивают краевые участки платформ, вызывают их поднятия или погружения. Погружение нередко ведет к трансгрессии морей или изменению глубины в ранее образованных водоемах. В затопленных участках прогибов нередко накапливаются мощные толщи осадков. Слои осадочных пород ложатся на денудированную поверхность складчатого основания с угловым несогласием. Периодические поднятия и погружения вызывают смену условий осадконакопления: морские сменяются континентальными и наоборот. В геологическом разрезе эти движения выражаются сменой морских осадков континентальными. Чаще в период поднятий осадконакопление прекращается и развиваются только процессы денудации. Отсутствие осадков и развитие процессов денудации ведет к выпадению из стратиграфического разреза целых подразделений: горизонтов, отделов, а иногда и целых систем. Так появляются стратиграфические перерывы в разрезах земной коры.

Отложения осадков на платформах приводят в конечном счете к образованию довольно мощного *осадочного чехла*. Слои гор-

ных пород, слагающие осадочный чехол, имеют разную мощность, которая зависит от длительности и интенсивности осадконакопления. Они залегают горизонтально или имеют пологое падение. Местами осадочные породы слабо дислоцированы. Мощность осадочного чехла от 0 до 7 тыс. м и более. Там, где осадочный чехол отсутствует, складчатое основание выходит на поверхность. А. Д. Архангельский назвал такие участки *щитами*, а части платформ, скрытые под осадочным чехлом, *плитами*.

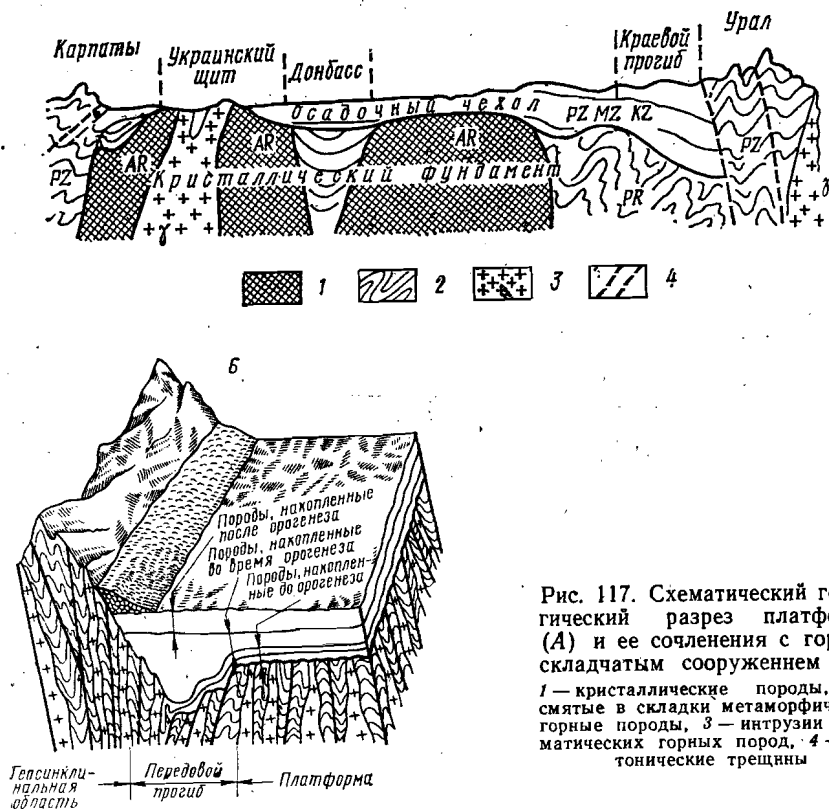


Рис. 117. Схематический геологический разрез платформы (А) и ее сочленения с горным складчатым сооружением (Б): 1 — кристаллические породы, 2 — смятые в складки метаморфические горные породы, 3 — интрузии магматических горных пород, 4 — тектонические трещины

Следовательно, платформы имеют двухъярусное строение (рис. 117). Нижний структурный ярус, или этаж, называют *складчатым основанием* или *фундаментом*. У молодых платформ он сложен слабометаморфизированными породами, у древних — глубокометаморфизированными кристаллическими породами: гранитами, гнейсами, кристаллическими сланцами. Поэтому фундаменты докембрийских платформ также называют *кристаллическими*. Платформы с докембрийским складчатым фундаментом имеют хорошо развитый и довольно мощный осадочный чехол.

На территории СССР выделены две докембрийские платформы — *Восточноевропейская (Русская)* и *Сибирская*. Первая начинается от Урала и продолжается за пределами западных границ

СССР. Вторая расположена между реками Енисеем и Леной. Между Уралом и Сибирской платформой находится более молодая *Урало-Сибирская платформа* с палеозойским складчатым основанием.

В геологическом строении платформ выделяются тектонические структуры разрывного (зоны глубоких разломов) и складчатого характера. Они затрагивают главным образом фундамент платформ. Крупные параклазы типа грабенов Н. С. Шатский назвал *авлакогенами* (греч. авлак — борозда, генезис — происходить). Протяженность их сотни километров, ширина — 200—300 км. Гигантским авлакогеном Восточноевропейской платформы является Днепровско-Донецкое погружение, зажатое с севера Воронежским поднятием (антеклизой), с юга Украинским кристаллическим массивом (щитом). Авлакоген заполнен морскими, континентальными и вулканогенными слабодислоцированными породами, с угловым несогласием залегающими на кристаллических породах фундамента. Мощность отложений сотни и тысячи метров. Мощность земной коры под авлакогеном меньше, чем под соседними участками из-за уменьшения толщины гранитного и базальтового слоев, мантия приподнята.

Авлакогены оказывают влияние на вышележащие осадочные породы. Над ними они прогнуты, образуют крупные *синеклизы*. Крылья синеклиз нередко осложнены более мелкими складчатыми структурами типа небольших линейно-вытянутых поднятий (валы), мульд, куполов. Наиболее крупные прогибы платформ достигают значительных глубин. Так, мощность осадочного чехла Прикаспийской и Причерноморской впадин 18—25 км. Гранитный слой в таких впадинах отсутствует, и осадочные породы залегают непосредственно на базальтовом слое.

С синеклизами сопряжены крыльями антиклинальные поднятия — *антеклизы* и *щиты*.

Стабильный режим платформ может быть нарушен активизацией тектонических движений, которые носят глыбовый характер и приводят к воздыманию гигантских блоков и образованию *глыбовых гор*. В. А. Обручев назвал такие горы *возрожденными* (Гималаи, Тянь-Шань и др.). На Тянь-Шане активизация тектонических движений началась во второй половине палеогена и продолжается до сих пор, о чем свидетельствуют сильные землетрясения в этом районе. По предложению В. Е. Хаина, платформы, испытавшие тектоно-магматическую активизацию, называют *эпиплатформами*. Поднятие отдельных блоков в области возрождающихся гор достигает 7 тыс. м и более.

Зоны глубоких опусканий земной коры, расположенные на границе платформ со складчатыми горными сооружениями, называют *краевыми прогибами*. Заложение их начинается в конце главного этапа и заканчивается в заключительную стадию развития геосинклинальных областей. Широкой известностью пользуется Предуральский крайовой прогиб, разделяющий Урал и Русскую платформу, Предкавказский прогиб, отделяющий Кавказ от Скифской

плиты. Для краевых прогибов характерна значительная мощность отложений, в которых преобладают обломочные и реже карбонатные породы морского и континентального происхождения. Встречаются и лагунные осадки. Наиболее характерные структуры краевых прогибов — брахискладки, флексуры, диапировые структуры, в том числе и соляные купола.

Структурные элементы океанической коры. Как уже отмечалось, по осевой или медианной линии океанов непрерывной цепочкой, опоясывающей весь земной шар, тянутся срединно-океанические хребты.

Срединные хребты — мощные сводовые поднятия высотой 3,5—4 тыс. м, состоящие из чередования глубоких и узких желобов и гряд, вытянутых вдоль оси хребта. Ширина таких структур 800—2000 км. В Тихом океане срединные хребты ниже (1000—1500 м) и шире (2500—3500 км).

Вдоль оси хребтов тянется глубокое рифтовое ущелье типа грабена глубиной до 3—4 км. Система желобов и гряд, тянувшаяся параллельно центральному хребту, получила название *рифтовых зон*. Четко выражены рифтовые зоны в Атлантическом и Индийском хребтах, у Тихоокеанских они или отсутствуют, или тянутся прерывистой цепочкой. В широтном направлении срединные хребты растянуты сдвигами на части, или блоки. Поперечные разрывы делают простирание хребтов прерывистым. Особенно ярко это выражено у Атлантического и Восточнотихоокеанского срединных хребтов. Зоны сдвигов измеряются сотнями километров в ширину. Самым глубоким считается разлом Романш, смещающий южную часть Атлантического океана к востоку на 230 км. В рельефе дна сдвиги выражены сериями горстов и грабенов.

Срединные хребты сложены главным образом магматическими породами основного и ультраосновного состава (габбро, диабазами, пироксенитами, перидотитами, дунитами), местами метаморфированными и преобразованными в серпентиниты. Тонкий осадочный покров срединных структур увеличивается от осевых зон к подножию хребтов. В этом же направлении увеличивается и возраст отложений: у Атлантического срединного хребта от современных в осевой части до меловых у подножья, у Восточнотихоокеанского — от неогена (возраст 3 млн. лет) в осевой части до палеогена (37 млн. лет) у подножья. К зонам разломов хребтов приурочены многочисленные гайоты и вулканические острова, сложенные базальтовыми лавами и их туфами. Поднятые советскими научно-исследовательскими экспедициями со дна рифтовых и глубоководных желобов образцы пород, по мнению ряда ученых, являются веществом верхней мантии. Глубинные сейсмические исследования показали, что мантия под рифтовыми зонами, имеющими в ширину от 400 до 800 км, вздута, и, по предположениям исследователей, верхний ее слой сложен коро-мантийной смесью.

Г. Б. Удинцев считает, что рифтовые зоны срединных хребтов аналогичны геосинклинальным областям. Они обладают высокой сейсмичностью и вулканической активностью. Сейсмичность ученые

связывают с растяжением литосферы, которое приводит к горизонтальным перемещениям океанической коры. Растяжение литосферы подтверждается полосами магнитных аномалий, изменениями возраста и мощности осадочных отложений дна.

Срединно-океанические хребты имеют продолжение на некоторых материках. Крупные рифтовые зоны обнаружены в Северной Америке (район Хребтов и Впадин) и Африке (Восточноафриканские разломы, рис. 118). По строению рифтовые зоны континентов мало отличаются от океанических. С ними также связаны повышенная сейсмичность, вулканическая деятельность (Восточно-

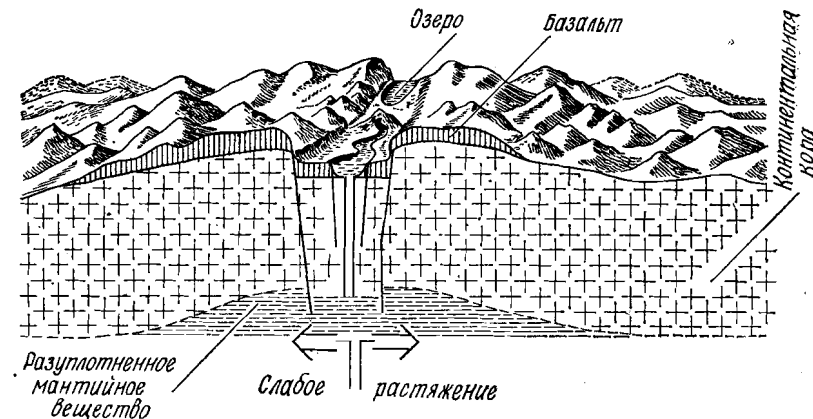


Рис. 118. Схематический разрез Эфиопского рифта (по В. Г. Казьмину, 1975)

африканский рифт), повышенное тепловое излучение (Калифорния). Считают, что срединно-океанические хребты играют исключительно важную роль в образовании и развитии молодой земной коры.

На дне Мирового океана выделяют также *океанические плиты*, *талассократоны* (греч. таласса — море, кратос — сила), или *океанические платформы*. Границами талассократонов служат границы с континентальными склонами и глубоководными желобами, с одной стороны, и срединно-океаническими хребтами — с другой. На талассократоны приходится около 60% площади дна океанов. Мощность океанических плит согласуется с рельефом и колеблется от 5 до 15 км. В геологическом строении океанических платформ принимают участие относительно небольшой мощности (десятки метров) морские осадки, переходящие книзу в более плотные осадочные породы (глины, диатомиты, известняки и др.), нередко переслаивающиеся с вулканическими туфами и базальтами. В основании океанических платформ залегает базальтовый слой, сложенный преимущественно габбро и перидотитами, превращенными в верхней части в серпентиниты. Возраст наиболее древних, вскрытых глубокими скважинами осадочных образований пока не

превыщает позднеюрский. Слои осадочных пород и базальтов залегают горизонтально. Признаки складчатости не обнаружены. Океанические плиты разделены глубокими трещинами разломов на части, или блоки. Относительно этих трещин отмечаются движения глыбового и сдвигового характера. Поднятия блоков приводят к образованию отдельных подводных хребтов и океанических островов (Наска в Тихом океане).

Магматическая деятельность и рудообразование в складчатых областях и на платформах. Движения земной коры и создаваемые ими складчатые и разрывные нарушения во многом определяют размещение в земной коре магматических пород и связанных с ними месторождений полезных ископаемых. Внедрение в начальную стадию развития геосинклинальных областей интрузий основной и ультраосновной магмы приводит к образованию вокруг магматических тел участков и отдельных зон, обогащенных железом, титаном, хромом, никелем, платиной и другими металлами (Кусинское титано-магнетитовое, Кемперсайское хромитовое месторождения на Урале и др.). Более поздние стадии магматизма складчатых областей характеризуются внедрением магм среднего и кислого состава. С ними связана широко разветвленная сеть контактово-метасоматических, жильных и других месторождений разнообразных полезных ископаемых: железа, меди, свинца, цинка, вольфрама, молибдена, мышьяка, олова, золота, ртути, сурьмы (Алтайский полиметаллический пояс и др.). Складчатые области наиболее богаты металлическими полезными ископаемыми.

В области платформ и краевых прогибов, как уже говорилось, магматизм выражен значительно слабее. С редкими разломами здесь связаны излияния лав основного состава, названных за ступенчатую отдельность *траппами* (швед. *trapp* — ступени лестницы). Траппы установлены на Сибирской, Североамериканской, Африканской, Индостанской, Южноамериканской платформах. В Сибири траппы образуют толщу переслаивающихся базальтов, диабазов и их туфов мощностью свыше 700 м. Они занимают более 1,5 млн. км². С трапповой формацией Сибири и Канады связаны месторождения никеля, меди, кобальта, алмазов, исландского шпата и других полезных ископаемых. Из продуктов выветривания магматических пород и руд образуются месторождения железа, марганца, алюминия, россыпи золота, вольфрама, титана, олова и др.

Магматическая деятельность в океанах приурочена главным образом к срединно-океаническим хребтам. Области подводного вулканизма и действия термальных источников — центры формирования морских рудных месторождений. Подводными исследованиями установлены области рудообразования на дне Красного моря, в области Восточнотихоокеанского срединного хребта и некоторых других районах. На дне Красного моря из термальных растворов осаждаются металлоносные илы, содержащие железо, марганец, цинк, свинец, золото, серебро. Огромные площади дна Тихого океана покрыты железомарганцевыми конкрециями. В их

составе обнаружены никель, медь, кобальт, свинец, цинк, молибден, ванадий и другие металлы.

Взаимосвязь эндогенных и экзогенных геологических процессов — основа развития земной коры и ее рельефа. Экзогенные геологические процессы, ход которых обусловлен множеством различных факторов, эродировать и нивелируют земную поверхность, создают отрицательные и наложенные формы рельефа. К первым относятся овраги, речные долины, карстовые воронки, ванны выпавивания и др., ко вторым, аккумулятивным формам — холмы и гряды ледниковых морен и флювиогляциальных отложений, барханы, дюны и др. Они перемещают огромные массы продуктов выветривания и размыва, значительная часть которых осаждается на дне морей и океанов. Нивелирование земной поверхности способствует образованию холмистых и равнинных форм ландшафта.

Эндогенные геологические процессы протекают в условиях более неоднородных сред, с меньшей миграционной способностью вещества, что с чрезвычайно высокими энергиями. Ведущую роль в этих процессах играют тектонические движения, подчиненную — магматизм и метаморфизм. Тектонические движения вызывают образование складчатых и разрывных нарушений, меняют рельеф суши и дна океанов, создают положительные и отрицательные формы рельефа. Колебательные и глыбовые движения формируют морские впадины и горные поднятия — главные формы рельефа земной поверхности. Вулканическая деятельность создает наложенные формы рельефа (плитообразные, холмистые, грядовые). Метаморфизм существенного значения в изменении рельефа не имеет. Он вносит качественные изменения в состав и структуру горных пород.

Несмотря на различную направленность эндогенных и экзогенных геологических процессов, они взаимосвязаны и взаимообусловлены. Так создаваемые эндогенными силами неровности рельефа способствуют активизации экзогенных процессов. Горообразовательные движения усиливают процессы денудации, а геосинклинальные прогибы — процессы осадконакопления. Соразмерность действий эндогенных и экзогенных сил определяет формирование рельефа Земли. При повышении тектонической активности, сопровождаемой складкообразованием, горообразованием, вулканизмом, рельеф испытывает восходящее развитие (Тянь-Шань, Саяны, Алтай). В спокойной тектонической обстановке при активизации выветривания, эрозии и других процессов денудации рельеф приобретает нисходящее развитие (Казахстан, Урал). Возможны случаи равновесного состояния, при котором отметки местности стабилизируются, погружения компенсируются отложением осадков, а высота поднятий ограничивается процессами разрушения. В итоге совместного действия экзогенных и эндогенных сил образуются такие ведущие формы рельефа, как равнины и горные страны.

Горные страны — обширные участки суши или океанического дна, возвышающиеся над окружающей местностью на 1000 м и более и характеризующиеся значительными и резкими

колебаниями высотных отметок на относительно коротком расстоянии. Они образованы прямолинейно или дугообразно изгибающимися горными хребтами, разделенными речными долинами или межгорными впадинами. Процессы денудации расчленяют горные хребты на части, выделяют седловины и горные вершины (рис. 119). По высоте горы делят на *высокие* (от 3000 м и более), *средние* (2000—3000 м), *низкие* (1000—2000 м). Возвышения ниже 1000 м называют *холмогорьем*. Высота подводных гор от 500 до 5000 м. По происхождению горы бывают *тектоническими*, *вулканогенными*, *денудационными* (*эрозионными*).

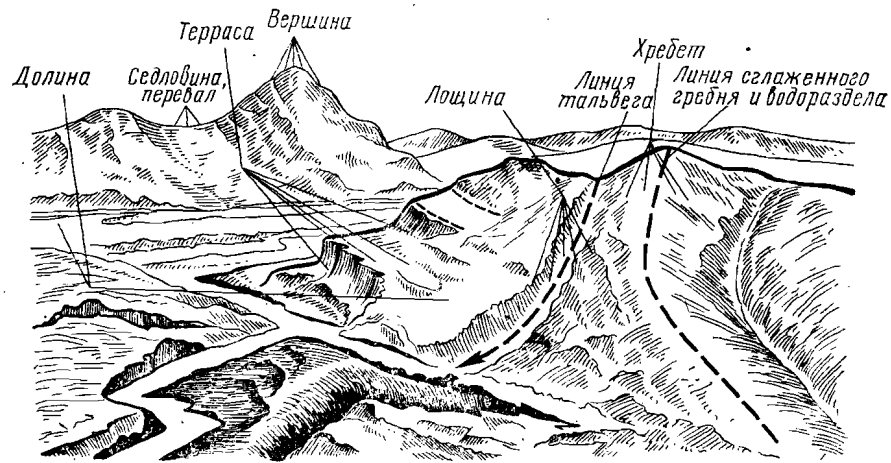


Рис. 119. Формы горного рельефа (по А. В. Гедымину)

К тектоническим горам относится подавляющее большинство горных хребтов. Они делятся на горы складчатые и горы глыбовые. *Складчатые горы* сложены одной или несколькими крупными антиклинальными складками, осложненными на крыльях более мелкой складчатостью. Складки в процессе эрозии расчленяются на пикообразные вершины, разделенные глубокими речными долинами (Альпы, Кавказ и др.). *Глыбовые горы* в рельефе выражены чередованием высокоподнятых горстов, сочетающихся со ступенчатыми сбросами и глубокими грабенами. Вершины их плоские, нередко с размытой поверхностью, на которой местами сохранились остатки долин древних рек. Глыбовые горы известны в Прибайкалье, Тянь-Шане и в других горных странах.

Вулканические горы состоят из отдельных конусов вулканов. Иногда конусы сливаются и образуют вулканические хребты. Они относятся к наложенным формам рельефа. Отдельные вулканические конусы потухших или действующих вулканов встречаются в составе наземных и подводных горных сооружений (Эльбрус и Казбек на Кавказе). Цепочки подводных вулканических гор скрыты под толщей воды. Выступающие над водой образуют океаничес-

кие острова (Гавайские в Тихом океане, Тристан-да-Кунья, Св. Елены, Вознесения и Атлантическом океане и др.). Сложены они застывшими лавами различного состава и их туфами.

Денудационные горы — глубокорасчлененные участки высокоподнятых равнин типа горных плато. Они развиты по периферии Среднесибирского плоскогорья, к ним относится плато Устюрт.

Возраст отдельных гор и горных стран определяется временем проявления горообразовательных процессов. В пределах одной горной страны встречаются структуры разного возраста. Например, горы Тянь-Шань образованы на севере палеозойскими сооружениями, на юге — кайнозойскими.

Равнины — ровные пространства суши или океанического дна с незначительными колебаниями высот. На суше высота их относительно уровня моря в среднем около 200 м. Равнины с отметками свыше 300 м называют *плато*, а более 500 м (до 1000 м) *плоскогорьями*. По происхождению равнины бывают аккумулятивные и денудационные.

Аккумулятивные равнины встречаются на суше и морском дне. В пределах одной равнины можно встретить осадки различного происхождения: флювиогляциальные, аллювиальные, эоловые, озерные, морские. Так, Восточноевропейская равнина на севере покрыта моренными и флювиогляциальными отложениями, в центральной части — озерными и аллювиальными осадками, на юге — морскими и эоловыми отложениями. К подводным равнинам относятся абиссальные равнины Аравийского моря и Бенгальского залива в Индийском океане.

Денудационные равнины подразделяют на *дефляционные* (*эоловые*), *абразионные* (*морские*), *экзарационные* (*ледниковые*).

Геотектонические гипотезы. Изучение недр Земли дает богатый материал для объяснения геологических процессов и явлений, происходящих на поверхности Земли и в ее недрах. Однако многое остается еще неясным или недоступным. Не выявлены до конца причины движений земной коры, не находит объяснения относительная молодость океанов и более древний возраст материков и т. д. Для объяснения таких вопросов создаются гипотезы, которые с различной степенью достоверности и убедительности пытаются дать ответы на поставленные вопросы. Наиболее известны гипотезы контракции, изостазии, конвекционных токов, тектонических плит и др.

Гипотеза контракции (лат. contractio — стягивание) предложена в 1852 г. французским геологом Эли де Бомоном. В основу ее положено представление Канта и Лапласа о первичном горячем состоянии Земли. Согласно гипотезе, первоначально горячая планета, отдавая тепло в окружающее пространство, постепенно охлаждалась, сжималась, поверхность ее от сжатия сморщивалась, образовывались складки и разрывы. С этих позиций сторонники гипотезы Э. Зюсс и Г. Штилле объясняли процессы горообразования. Против гипотезы контракции было высказано много возражений, среди которых существенным явилось опроверже-

ние первичного горячего состояния Земли. Геофизические методы не подтвердили наличия в глубоких сферах планеты огромных масс расплавленного вещества. Кроме того, более тонкая океаническая кора не подвергалась складкообразованию, а по законам сжатия она должна была быть смята в складки в первую очередь. По современным представлениям силы тангенциального сжатия в земной коре имеют место, но природа их иная (В. П. Нехрошев считает, что такой причиной может быть изменение скорости вращения Земли).

Гипотеза изостазии (греч. *isos* — равный, *stasis* — стояние, положение) впервые была предложена в 1855 г. Ее авторы Дж. Эри и Дж. Пратт считали, что земная кора состоит из глыб, которые вследствие изменения нагрузок или плотности вещества периодически испытывают вертикальные перемещения. Нарушение изостатического равновесия может быть вызвано перегруппировкой на земной поверхности масс осадков, образованием и таянием ледников и другими причинами. Перегруженные осадками или ледниками глыбы земной коры испытывают погружение, а размытые, облегченные участки земной коры поднимаются. Нарушениями изостатического равновесия гипотеза объясняла горообразовательные движения. Наличие изостатического равновесия в земной коре подтвердилось. Геофизическими методами установлено, что более тяжелые и массивные участки континентальной коры опущены в мантию глубже, чем блоки океанической коры. Однако изостатическое равновесие не всегда и не везде полное.

Радиомиграционная гипотеза разработана В. В. Белоусовым. Он считает, что движения земной коры объясняются проникновением в земную кору астенолитов (греч. *астэнос* — слабый) — крупных магматических тел, образующихся в волноводе или астеносфере за счет выплавления базальтов из вещества верхней мантии. Будучи легче окружающего вещества, астенолиты, всплывая вверх, вызывают движения восходящего характера, а последние — процессы складкообразования. По В. В. Белоусову, поднятие астенолитов усиливает действие тепловых потоков и способствует прорыву на поверхность базальтической магмы, образованию вулканов. В. В. Белоусов считает, что до мезозоя океаническая кора не отличалась от континентальной. Позже океанические глыбы опустились в мантию и стали плавиться. Следовательно, океаны и моря, по В. В. Белоусову, — это области, где происходит плавление земной коры в обстановке сильного нагрева мантии. С позиции этой гипотезы материки и океаны никогда не меняли своего положения в пространстве. Такое направление в геологии получило название *фиксизма* (лат. *fixus* — неподвижный) в отличие от *мобилизма* (лат. *mobilis* — подвижный), рассматривающего развитие земной коры с позиции горизонтального перемещения материков.

Гипотеза тектоники литосферных плит приобрела большую популярность в последние десятилетия. Ее создание подготовлено океанографическими исследованиями и глубоководным бурением,

раскрывшими тайны строения океанического дна. В ее основе лежит гипотеза немецкого геофизика А. Вегенера о дрейфе континентов (1924). А. Вегенер обратил внимание на сходство очертаний противоположных берегов Атлантического океана и различие в геологическом строении океанического дна и материков. Он предположил, что материки, сложенные более легким, чем мантия, веществом плавают в подкоровом субстрате подобно айсбергам в океане. Изучив контуры материков, он создал модель, согласно которой все материки в начале палеозоя были объединены в единый континентальный массив «Пангеа», который впоследствии

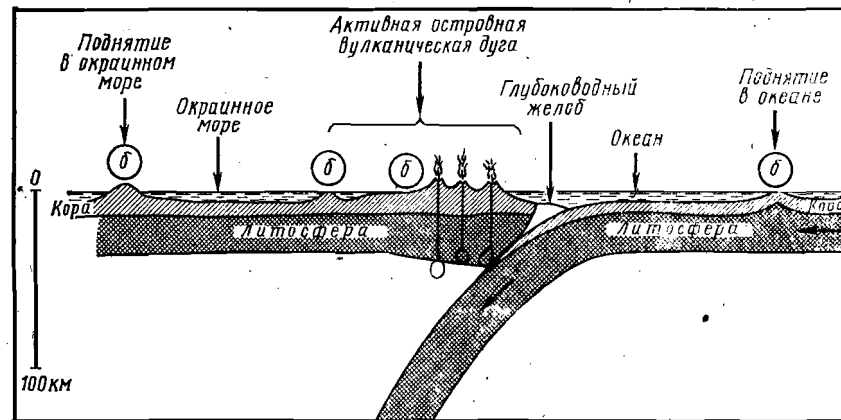


Рис. 120. Схема погружения литосферной плиты (по М. В. Пастухову, 1975)

раскололся на части — материки современных очертаний. В качестве доказательств существования единого материка приводилось сходство в геологическом строении линий разрыва, сходство фауны и флоры. Расхождение глыб в разные стороны в последующем подтвердили данные палеомагнетизма и палеоклиматологии.

Научные открытия последних десятилетий дали богатый фактический материал, подтверждающий расширение дна океанов и перемещение океанических плит и континентов. Интерес к гипотезе возрос, и у нее появилось много новых сторонников, среди них В. Е. Хаин, Г. Б. Удинцев, Ю. М. Пушаровский и многие другие советские и зарубежные ученые. Сущность гипотезы сводится к следующему. Скользя по астеносфере, перемещаются *литосферные плиты* или гигантские жесткие блоки литосферы толщиной от нескольких километров до 200 км. Скорость их движения 1 — 10 см/год. Согласно современным представлениям плиты перемещаются от зон растяжения к зонам сжатия.

Зоны растяжения расположены между краями расходящихся континентальных или океанических плит. При расхождении континентальных плит рождаются океаны (впадина Атлантического океана, расположенная между расходящимися плитами Южной и

Северной Америки, с одной стороны, и Африкой и Евразийским континентом—с другой). Зоны растяжения в океанах приурочены к рифтовым зонам срединных хребтов. За счет вертикальных конвекционных токов¹ из верхней мантии в рифты поступает расплавленное мантийное вещество, которое, застывая, образует новую океаническую кору.

Зоны сжатия приурочены к стыкам континентальных и океанических плит. Литосферные плиты или сталкиваются, или надвигаются друг на друга (рис. 120). Столкновение континентальных плит сопровождается складкообразованием, глыбовыми движениями, магматизмом и общим поднятием краевых частей. Ученые полагают, что такие процессы происходят вдоль линии глубоководных океанических желобов в западной части Тихого океана. Более тонкая океаническая плита опускается под континентальную, уходит глубоко в мантию и там переплавляется. Образующиеся в процессе плавки легкие вещества (соединения алюминия, натрия, калия, кальция и др.) поднимаются вверх, достигают поверхности Земли и изливаются. Более тяжелые компоненты опускаются вниз вплоть до ядра Земли.

Существует и третий тип сочленения литосферных плит—*трансформные разломы*, вдоль которых происходит горизонтальное скольжение плит (типа движений по разлому Сан-Андреас).

Помимо 15 гигантских литосферных плит в строении литосферы выделяются *микроплиты* и *литосферные блоки*. Размеры самых крупных плит—тысячи квадратных километров, микроплит—сотни, литосферных блоков—десятки квадратных километров. Считают, что весь Альпийско-Гималайский пояс состоит из множества литосферных блоков и микроплит. Движение на границах между ними обуславливает повышенную сейсмичность обширного горного пояса.

Гипотеза литосферных плит достаточно аргументированно объясняет многие вопросы глобальной тектоники: совпадение очертаний материков, причины одновременного оледенения в карбоне материков Южного полушария, общность фауны и флоры материков Гондваны, срединное положение рифтовых хребтов в океанах, разная фокальность землетрясений (небольшая глубина сейсмических очагов в рифтовых зонах и значительная в местах погружения океанической литосферы), причины вулканизма в пределах Тихоокеанского огненного кольца, эволюцию земной коры и др. С позиций гипотезы был сделан вывод, что первой образуется океаническая кора, а затем на ее основе формируется континентальная кора. Однако и эта гипотеза пока не в состоянии объяснить механизм перемещения литосферных плит, причины образования внутренних (Черное, Каспийское) и окраинных (Охотское, Японское и др.) морей и некоторые другие вопросы.

¹ Конвекция—перемещение жидкости или газа вследствие разности температур или плотности в разных участках среды.

Раздел VI

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Глава XXVII

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ДОКУМЕНТАЦИЯ

Задачи наук о Земле. Область наших познаний постоянно расширяется. Человек все дальше проникает в окружающее пространство и глубины планеты. Этому способствуют научно-технический прогресс и возрастающие потребности в материальном сырье. Растут глубины извлечения полезных ископаемых, в строй вводятся новые виды сырья. Все это определяет круг задач наук о Земле.

Глобальные исследования ведутся по изучению больших глубин, вплоть до мантии Земли, разрабатываются и совершенствуются методы глубинного сейсмического зондирования. Большое внимание уделяется исследованию тепловых потоков. Изучение больших глубин позволяет установить места концентрации магматического расплава, выявить зоны вулканизма и связанные с ними процессы рудообразования. Дальнейшее изучение сейсмичности Земли даст возможность прогнозировать землетрясения. Большое значение в решении народнохозяйственных задач имеет выявление новых сырьевых баз, источников тепловой энергии и водоснабжения. Решение перечисленных вопросов связано прежде всего с изучением тектонического строения Земли, закономерностей размещения полезных ископаемых, условий их образования и т. д. Среди актуальных проблем геологии—изучение химии Земли, которое поможет объяснить геохимические процессы в глубинах Земли (явления метаморфизма, процессы рудообразования и др.). Океанография, гидрогеология, гляциология, лимнология, гидрология имеют непосредственное отношение к изучению экзогенных геологических процессов, которое ведется не только в целях познания природы, но и для практических целей. Гидрология изучает водные артерии, чтобы продлить жизнь рек, выявить их пригодность для строительства гидроэлектростанций, увеличения рыбных богатств и т. д. Гляциологи изучают влияние ледников на климат Земли, определяют запасы пресной воды в них и возможность их практического использования. В решении практических задач геологическая служба СССР руководствуется решениями партии и Советского правительства, направленными на освоение и приумножение природных богатств и развитие науки в нашей стране на благо советского народа.

Методы исследования в геологии. Основным методом изучения и освоения земных недр является *геологическая съемка*—сово-

купность работ по составлению карт земной поверхности (или недр). Карты составляют на топографической или географической основе, на которую наносят границы выходящих на поверхность или скрытых на глубине горных пород. Условными знаками показывают их состав, возраст, элементы залегания, тектонические нарушения.

Геологическая съемка осуществляется наземным способом или с воздуха с применением технических средств. При наземной съемке используются естественные выходы горных пород, горные выработки и буровые скважины. Геологической съемке сопутствуют геофизические и геохимические методы исследования.

Геофизические методы исследуют физические поля Земли: электромагнитное, гравитационное, тепловое. Им доступны глубины, куда не проникают глубокие шахты и сверхглубокое бурение. Так, с помощью *сейсмических методов* зондируются самые глубокие сферы Земли, вплоть до мантии и ядра. Все шире применяют методы подземной геофизики — *радиоволновое просвечивание, вызванная поляризация, скважинная электроразведка*. Эти методы имеют большое значение не только при геологосъемочных работах, но и при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. В будущем геофизические методы будут использоваться для составления объемных геологических карт, которые послужат основой для оценки минерально-сырьевых ресурсов глубоких зон земной коры.

Геохимические методы используются для получения геологической информации о концентрации химических элементов, их миграции, установления генезиса руд и т. д. В повседневной практике геохимические методы облегчают работу по наращиванию запасов полезных ископаемых. Геохимия изучает газовые экзгаляции (углекислый газ, гелий, родон), идущие из глубоких зон Земли, гидрохимические свойства подземных вод.

В практику геологических исследований надежно входят *космические методы исследования*. Они основаны на фотографировании поверхности Земли из космоса, а также регистрации приборами различных видов излучения теплового, инфракрасного, сверхвысокочастотного радиоизлучения и др. Из фотографий составляются фотопланы, затем региональные геологические карты, отличающиеся высокой точностью. Масштабы карт зависят от высоты съемки. При фотографировании с высоты 250 км снимки охватывают площадь 200—300 тыс. км² (различаются детали размером до 30 м), с высоты 1000 км — 1,5—3 млн. км². На одном таком снимке могут поместиться несколько горных систем, например Памир и Гиндукуш, вместе взятые. Черно-белые или цветные снимки подлежат дешифрированию (геологической расшифровке). По снимкам определяются состав горных пород, разрывные нарушения. Так, ультраосновные горные породы, с которыми обычно связаны месторождения хрома, асбеста и других полезных ископаемых, на снимках имеют вид темно-серых или черных пятен, породы гнейсо-мигматитовой формации — светло-серых пятен. В ос-

нове дешифрирования фотографий лежит контрастно-аналоговый принцип, т. е. расшифровка производится по тональности окраски заснятых полей и путем сравнения снимков с геологическими и тектоническими картами хорошо изученных районов. Наиболее четко дешифрируются разломы, соляные купола и другие геологические структуры. Разломы на фотографиях имеют вид прямых линий черного или темно-серого цвета.

Благодаря съемкам из космоса уточнены границы регионов, выявлены глыбовая структура некоторых горных областей, площади, благоприятные для поисков нефти, природного газа, железных руд, меди и других полезных ископаемых. На фотографиях из космоса были обнаружены многочисленные кольцевые структуры или структуры центрального типа диаметром от сотен метров до 700 км и более. Кольцевые структуры установлены на территории европейской части СССР, Сибири, Дальнего Востока, Африки, Америки и других районов земного шара. Как полагают ученые, большинство из них вулканического происхождения.

На территории СССР с помощью космической съемки проведено картирование труднодоступных районов Памира, Кавказа и других горных областей. Внесены изменения в карты ряда районов СССР, Антарктиды, уточнены границы Восточноевропейской (Русской) платформы. Дешифрированные снимки показали, что многие месторождения полезных ископаемых приурочены к крупным разломам, среди них месторождения нефти и природного газа, руд различных металлов.

Космические методы обладают рядом достоинств: высокой точностью, экономией времени, средств, людских ресурсов и техники. Недалеко время, когда с помощью методов космических исследований и дешифрирования будут открывать месторождения полезных ископаемых. Это не значит, что наземные геологические съемки будут не нужны. Съемки из космоса лишь дополняют геологическое картирование, дают возможность проникнуть в труднодоступные места, по-новому оценивать площади уже открытых месторождений полезных ископаемых.

Геологическая документация. Геологическое изучение любого района начинается с геологической съемки с целью установления геологического строения района и выявления перспективных площадей на поиски и разведку месторождений полезных ископаемых. По всем видам работ ведется геологическая документация: геологические карты, геологические разрезы, стратиграфические колонки.

Геологическая карта — это изображение на топографической или географической основе геологического строения участка поверхности Земли. На карту наносятся границы распространения, состав, возраст и условия залегания горных пород. Топографическая основа геологических карт средних и крупных масштабов — сокращенная топографическая карта, на которой для ориентировки и привязки к местности оставлены горизонталы, гидрографическая сеть и отдельные населенные пункты. Географическая основа для

составления геологических карт обзорных и мелких масштабов — это разгруженная от лишних обозначений географическая карта.

Состав и возраст горных пород на геологических картах показывают условными знаками. Для обозначения возраста горных пород разработаны цветовые обозначения. Так, области распространения юрских отложений окрашены на геологических картах в синий цвет, девонского — в коричневый. В центре цветного поля помещается индекс (для верхней юры — J_3 , нижнего девона — D_1 и т. д.). Состав горных пород показывают как цветовыми, так и штриховыми знаками. Цветовые знаки чаще применяются для обозначения магматических и метаморфических пород. Выходы на поверхность магматических пород окрашивают в довольно густые

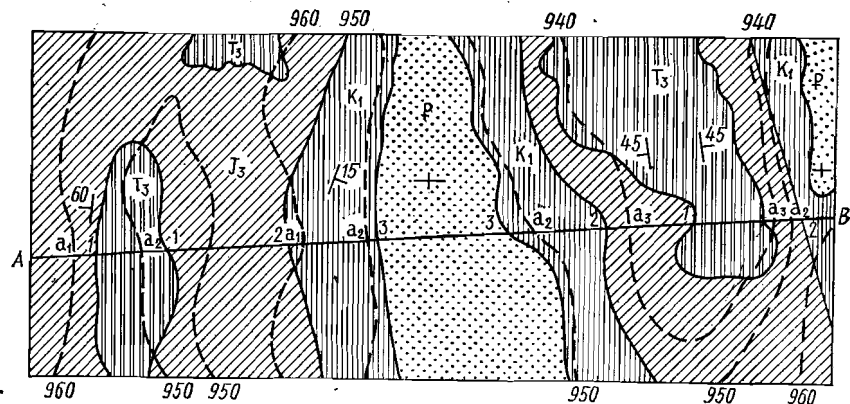


Рис. 121. Схематическая геологическая карта:

AB — линия геологического разреза, a_1, a_2, a_3 — точки пересечения горизонталей с линией разреза; 1, 2, 3 — точки пересечения границ выходов горных пород с линией разреза

тона в зависимости от состава: кислых пород — красный цвет, основные — зеленый, ультраосновные — фиолетовый, щелочные — оранжевый, средние — синий или розовый. Для метаморфических пород разработана специальная легенда цветовых и штриховых обозначений.

Осадочные породы чаще всего показывают штриховыми знаками (пески обозначаются точками, известняки — кирпичиками и т. д.). Элементы залегания (простираение и падение) показывают на картах средних и крупных масштабов значками (рис. 121).

Назначение геологических карт определяют их масштабы. К мелкомасштабным относятся обзорные карты масштаба 1:2 500 000 и мельче. Их назначение — показать геологическое строение отдельных стран или континентов. Для территории СССР изданы обзорные геологические карты масштабов 1:2 500 000, 1:5 000 000, 1:7 500 000. Геологическое строение регионов (Урал, Сибирская платформа, Тянь-Шань и др.) показывают на картах масштаба 1:1 000 000, 1:500 000. Наиболее распространены в геологической практике среднемасштабные геологические карты (1:200 000,

1:100 000). Ими пользуются для перспективной оценки района или поиска тех или иных видов полезных ископаемых.

Наибольшей полнотой сведений и детальностью изображений характеризуются крупномасштабные и детальные карты (масштаб 1:50 000 и крупнее), используемые для изображения геологического строения месторождений полезных ископаемых, их участков, показа отдельных рудных тел. На картах средних и крупных масштабов горизонталями показывают рельеф местности. Каждая горизонталь характеризует высоту плоскости горизонтального среза поверхности суши над уровнем моря. Чем реже горизонтالي, тем положе и ровнее поверхность, чем ближе сдвинуты горизонтали, тем круче склоны. Если контуры выхода пород параллельны (или почти параллельны) горизонталям, значит, слои пород залегают горизонтально. Если контуры секут горизонтали под углом, как это показано на рис. 121, слои залегают с наклоном к линии горизонта. Замкнутые или сходящиеся контуры выходов (при одинаковых высотных отметках) в виде вытянутых овалов свидетельствуют о складчатом залегании горных пород. Если внутри такого овала находятся более древние породы, а по краям более молодые, складка антиклинальная, если в овале молодые, а на крыльях древние породы, структура синклиальная. Подобным образом на картах можно выявить горсты и грабены.

Геологические карты рассказывают о гидрогеологии района, складчатых и разрывных нарушениях, возрасте складчатости, физических и химических свойствах горных пород, полезных ископаемых и многом другом. В зависимости от информации, которую несут карты, их подразделяют на гидрогеологические, тектонические, геофизические, полезных ископаемых и др.

Особого внимания заслуживают тектонические карты, на которых соответствующим цветом показывают складчатые области разного возраста, древние и молодые платформы, разломы и другие структурные элементы. На них сводится воедино большой фактический материал о строении земной коры, суммируются наши знания в этой области. С их помощью выясняются закономерности строения земной коры, размещения полезных ископаемых и вероятные места их концентрации, связь месторождений с определенными структурами и другие вопросы. В СССР изданы тектонические карты СССР, Евразии, дна Тихого, Атлантического океанов. Готовится к изданию тектоническая карта мира. В создании таких карт огромную роль сыграли работы советских ученых — Н. С. Шацкого, А. Л. Яншина, А. А. Богданова, Д. В. Наливкина, Ю. М. Пушаровского и др.

На гидрогеологических картах показывают размещение подземных вод, дают их краткую характеристику (возраст, температура, физические и химические свойства). Литологические карты составляют преимущественно для осадочных и метаморфических комплексов, показывают их петрографический состав. На геологических картах четвертичные отложения, почти повсеместно покрывающие сушу и океаническое дно, обычно не показывают. Со-

ставляют специальные карты четвертичных отложений, на которых показывают возраст и генезис осадков (аллювиальных, делювиальных, морских, эоловых и др.).

На карты полезных ископаемых значками наносят месторождения и рудопроявления различных полезных ископаемых, их приуроченность к тем или иным структурам земной коры. К специальным относятся геофизические карты, на которых изображают в изолиниях гравитационные, магнитные и радиоактивные аномалии.

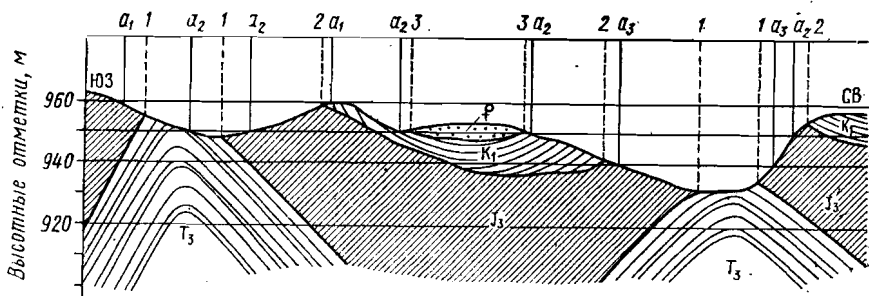


Рис. 122. Схематический геологический разрез (пример построения по геологической карте):

a_1, a_2, a_3 — проекция точек пересечения горизонталей с линией разреза, 1, 2, 3 — проекция точек пересечения границ выходов горных пород с линией разреза

Геологический разрез — графическое изображение на вертикальной плоскости геологического строения участка. Составляют его по линии вкрест (перпендикулярно) простиранию горных пород по данным геологических выработок (буровых скважин и горных выработок) или по геологическим картам (схематические геологические разрезы).

Рассмотрим принцип построения геологического разреза по геологической карте (рис. 122). Вначале выбирают направление линии разреза и обозначают его буквами или римскими цифрами. Направление берут вкрест простирания горных пород, совпадающего с направлением их наибольшей изменчивости, реже по простиранию (зависит от цели, которую ставит перед собой исследователь). На листе бумаги проводят вспомогательную или нулевую линию, на которую наносят точки пересечения линии разреза с горизонталями (a_1, a_2, a_3) и границами пород (1, 2, 3). Слева ниже вспомогательной линии наносят вертикальную линию, на которой отрезками показывают вертикальный масштаб. Обычно вертикальный и горизонтальный масштабы одинаковые. Но если мощность слоев, показываемых в разрезе, очень мала и в одном горизонтальном масштабе показана быть не может, то вертикальный масштаб укрупняют до необходимой величины.

Опустив перпендикуляры из точек a_1, a_2 и т. д., расположенных на вспомогательной линии, до пересечения их с линиями со-

ответствующих отметок вертикальной шкалы, получают ряд точек. Соединив точки плавной линией, получают кривую — **топографический профиль** местности по линии разреза. На кривую из точек 1, 2, 3 опускают перпендикуляры. Точки пересечения будут местами выхода границ слоев на поверхность. Продолжают границы на глубину. Зная элементы залегания слоя, под соответствующим углом к горизонту прокладывают продолжение его границ ниже топографического профиля. Если слои залегают горизонтально, то из точек пересечения проводят горизонтальные линии, если наклонно, то в точке пересечения строят угол падения слоя. Между границами слоев штриховыми знаками показывают их литологический состав. Буквами, соответствующими сторонам света, обозначают ориентацию разреза, а индексами показывают возраст пород. При отсутствии на карте горизонталей принцип построения разреза остается тем же, за исключением построения топографического профиля. Вместо него поверхность обозначают произвольной волнистой линией в соответствии с составом выходящих на поверхность горных пород.

Построение геологического разреза по геологоразведочным выработкам начинается также с построения топографического профиля. На топографический профиль наносят находящиеся на линии разреза геологоразведочные выработки. Из точек их расположения на глубину в принятом масштабе строят колонки скважин: границы разновозрастных (или одинакового состава) слоев соединяют линиями, обозначают выработки, их глубины и ориентируют разрез.

Стратиграфическая колонка в определенном масштабе показывает последовательность напластования горных пород и характер контактов между ними (рис. 123). Она сопровождается указанием возраста отложений, их мощностью и кратким описанием литологического состава пород, фауны и флоры. Стратиграфические колонки составляют на основе изучения обнажений (естественных выходов на дневную поверхность горных пород), по данным бурения скважин и проходке горных выработок. Обычно составляют сводные стратиграфические колонки на материале группы скважин или горных выработок. Такие колонки отражают последовательность напластования горных пород, распространенных в исследуемом районе, и являются дополнением к геологическим картам и разрезам. Составляются они в произвольном масштабе. Границы слоев, несмотря на возможное их наклонное залегание, проводятся в колонках горизонтально. Там, где возрастная их последовательность не нарушена, показываются прямой линией, там, где выпадают стратиграфические подразделения — волнистой линией. Состав пород изображается штриховыми знаками.

Во время исследований ведут также описание наблюдений, зарисовывают обнажения, вычерчивают геологические колонки отдельных скважин и горных выработок.

Геологическая изученность территории СССР. Историю геоло-

гических исследований территории нашей страны по праву связывают с историей развития геологической службы. Первый руководящий геологический орган России Геолком (Геологический комитет) был создан в 1882 г. С начала своего существования Геолком поставил задачу планомерного изучения территории России, основой которого стало проведение геологических съемок в масштабе 10 верст в 1 дюйме (1 верста—1,0668 км, 1 дюйм—2,54 см). В 1892 г. была заснята территория европейской части России и издана мелкомасштабная геологическая карта (60 верст


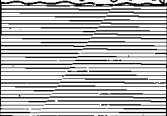

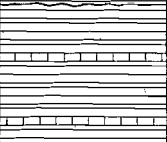
Геологический возраст			Литологический разрез	Мощность, м	Краткое описание пород
Система (период)	Отдел (эпоха)	Индекс			
Палеогеновая		P		60	Пески желтые кварцевые, в основании переходящие в конгломераты
Меловая	нижний	K ₁		80	Глины светло-серые плотные
Юрская	верхний	J ₃		80	Аргиллиты темно-серые слоистые
Триасовая	верхний	T ₃		110	Песчаник светло-серый мергелистый с прослойками известняков

Рис. 123. Стратиграфическая колонка

в 1 дюйме). Идея создания геологической карты всей территории страны была осуществлена лишь в годы Советской власти. Советский период в геологическом изучении страны ознаменовался широким размахом разносторонних геологических исследований. В 1922 г. была издана мелкомасштабная геологическая карта азиатской части СССР, в 1925 г. переиздана геологическая карта европейской части СССР. Параллельно проводились региональные исследования Сибири, Дальнего Востока, Казахстана, Средней Азии, Урала, Кавказа, Алтая, Забайкалья.

Сначала внимание геологов было сосредоточено на расширении перспективных площадей уже известных месторождений полезных ископаемых: нефти в Баку, угля в Донбассе, железной руды в Кривом Роге. Затем последовало открытие целой серии месторождений самых разнообразных полезных ископаемых. В 1917—1920 гг. было открыто Тихвинское месторождение бокситов, дав-

шее начало развитию алюминиевой промышленности страны, в 1926 г. на Керченском полуострове были открыты железные руды, несколько позже медно-никелевые руды Норильска, медные руды Коунрада и Джекказгана, золото Колымы и Чукотки, угли в Подмосковье, Кузнецком, Карагандинском, Тунгусском угольных бассейнах.

Большую роль в достигнутых успехах предвоенного периода сыграло применение в геологии геофизических методов, способствовавших повышению качества геологосъемочных работ и открытию ряда известных месторождений. В 1937—1940 г. в Предуралье было открыто «второе Баку», сыгравшее большую роль в развитии топливной базы страны, затем были открыты месторождения нефти и газа в Урало-Эмбенском районе, на Ухте, Украине, в Западной Туркмении.

Начавшаяся в 1941 г. Великая Отечественная война изменила планы геологов, сократились масштабы исследовательских работ и усилилась разведка стратегического сырья. Центр тяжести геологоразведочных работ был перенесен на восток страны—на Урал, в Западную Сибирь, на Алтай и Дальний Восток.

В послевоенный период повысилось качество геологосъемочных работ. Обязательным стало применение геофизических и геохимических методов, буровых и горных работ. На мелкомасштабных геологических картах исчезли «белые пятна» (неизученные участки), все крупнее и детальнее становились масштабы региональных исследований. Вслед за изданием геологической карты масштаба 1:2 500 000 приступили к геологосъемочным работам территории страны в масштабе 1:1 500 000, а затем 1:200 000. Для перспективных районов стала обязательной геологическая съемка в масштабе 1:50 000. Она сопровождалась поисками месторождений полезных ископаемых. Возросшие возможности науки и техники обеспечили условия для глубинного картирования, проведения картировочных работ в пределах фундаментов древних платформ. Достигнутые успехи объяснялись участием в геологическом изучении страны научно-исследовательских институтов, высших учебных заведений, организаций АН СССР. Успеху способствовало участие в работах высококвалифицированных специалистов. Многогранность геологических исследований вызвала необходимость составления специальных карт: гидрогеологических, тектонических, геоморфологических, гидрохимических, геофизических и др. В 1956 г. была опубликована тектоническая карта СССР масштаба 1:5 000 000, в 1959 г. издана карта четвертичных отложений, а в 1965—1966 гг. — комплект карт разного назначения: геологических, геоморфологических, тектонических, новейшей тектоники, гидрогеологических и др.

Разносторонние и глубокие исследования земной коры в пределах территории Советского Союза выявили неоднородность и сложность ее геологического строения. Многочисленные полевые работы и их обобщение послужило основой для подготовки коллективных научных трудов в различных сферах геологических ис-

следований. В 1958 г. ВСЕГЕИ была подготовлена к изданию коллективная работа «Геологическое строение СССР», затем были изданы «Тектоника СССР», «Стратиграфия СССР», «Атласы руководящих форм ископаемых фаун СССР», «Петрография СССР» и другие фундаментальные работы. Неоценимый вклад в развитие отечественной геологии внесли труды известных советских геологов Ю. А. Билибина, А. П. Виноградова, И. М. Губкина, В. Д. Наливкина, Л. В. Пустовалова, В. Е. Хаина и многих других.

Большой размах геологосъемочных и поисковых работ в послевоенный период привел к открытию многочисленных месторождений полезных ископаемых. В их числе железные руды (Казахстан, Западная Сибирь), алмазы (Сибирь) и многие другие. Была решена проблема расширения топливно-энергетической базы страны. В 50-е годы вводятся в строй действующие месторождения нефти и газа на юге и востоке страны (Ставрополь, Туркмения, Сахалин). Важным событием этого времени было открытие нефтегазоносной площади в Тюмени. В 1953 г. в Западной Сибири был получен первый газ.

Большую роль в развитии топливной базы страны сыграло открытие Южноякутского угольного бассейна. Открытие месторождений редких и цветных металлов в северных и южных районах страны (Кольский полуостров, Казахстан, Алтай и др.) повысили обеспеченность промышленности необходимым сырьем.

Достигнутые успехи способствовали созданию в нашей стране мощной минерально-сырьевой базы. Огромную роль в развитии экономического могущества Страны Советов сыграли решения партии и Советского правительства о развитии минерально-сырьевой базы страны. Изучение недр продолжается, все больший размах приобретают глубинные методы картирования, изучение шельфа. Эффективность и комплексное использование руд, вмещающих и вскрышных пород становятся неотъемлемой частью ведения геологоразведочных работ.

Глава XXVIII

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА В СССР И ЗА РУБЕЖОМ

Геологическая служба в СССР. История развития геологической службы в нашей стране берет начало с организации первых органов управления, занимавшихся поисками, разработкой руд и строительного камня. Такими органами были Сибирский приказ, Приказ тайных дел (XVI—XVII вв.), а при Петре I Приказ рудокопных дел (1700). Работы, возглавляемые этими организациями, проводились довольно успешно, о чем говорят открытия железных руд в центральной России (Липецк, Тула), на Урале, угля в Донбассе, самоцветов в Забайкалье. В дальнейшем геологические исследования осуществлялись под руководством Академии наук,

Горного департамента, Управления землеустройства. Созданный в 1882 г. Геологический комитет объединил усилия разрозненных организаций направив их на геологическое изучение территории России. Руководил Геолкомом известный ученый геолог А. П. Карпинский, впоследствии первый президент Академии наук СССР.

В первые годы Советской власти Геолком был включен во Всероссийский Совет Народного хозяйства (ВСНХ). Геологическая служба страны быстро прогрессировала. Если в 1918 г. в стране насчитывалось всего 77 геологов, то к концу первого десятилетия Советской власти в составе Геолкома насчитывалось 215 геологических партий, в которых работало 1146 человек инженерно-технического персонала. В процессе разукрупнения и реорганизации геологической службы страны название ее руководящего органа неоднократно менялось (Союзгеологоразведка, 1931 г.; Главное геологическое управление, 1937 г.; Комитет по делам геологии при Совнаркомом СССР, 1939 г., а с 1946 г. — Министерство геологии СССР). Параллельно при наркоматах черной, цветной, угольной и нефтяной промышленности действовали отраслевые геологические организации, осуществлявшие поиски и разведку соответствующих видов полезных ископаемых.

В настоящее время геологическая служба страны находится в подчинении Министерства геологии СССР, которому подчинены министерства геологии и управления геологии союзных республик.

В число задач общесоюзного Министерства геологии вошли: геологическое, гидрогеологическое изучение территории СССР, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых, изучение и удовлетворение потребности промышленности и сельского хозяйства в необходимых видах минерального сырья, вопросы размещения геологоразведочных работ в стране. Министерство ведает вопросами подготовки геологических кадров, руководит и направляет научно-исследовательские работы, осуществляет материально-техническое снабжение подведомственных ему производственных геологических объединений, партий и экспедиций. Министерство геологии СССР осуществляет деловое сотрудничество с другими министерствами и ведомствами СССР, устанавливает связи и деловые контакты с зарубежными странами.

К числу нижестоящих организаций относятся производственные, научно-производственные, производственно-геологические объединения. Основными производственными единицами объединений являются партии и экспедиции. В стране созданы и ведут работы свыше 4000 геологических партий разного профиля и назначения. При шахтах, карьерах, рудниках работают геологические отделы, подчиняющиеся геологическим управлениям горнодобывающих министерств.

Техническая оснащенность геологических организаций. Для ведения геологоразведочных работ и научных исследований геологами используется различное оборудование, снаряжение и техни-

жа. На вооружении геологических партий и экспедиций находятся сложная геофизическая аппаратура, буровые станки, горное оборудование и техника, научно-исследовательские лаборатории. Обширные площади ведения работ, разбросанность геологических организаций и разносторонние методы исследования способствовали созданию передвижной техники, смонтированной на специально оборудованных машинах, тягачах, самолетах и морских судах. Задания, связанные с геологическим изучением Земли, выполняют спутники и летающие научно-исследовательские лаборатории.

В исследованиях глубоких зон земной коры особенно велика роль геофизических приборов и аппаратуры. Поиски рудных месторождений осуществляются с Земли и с воздуха. Большое значение при ведении поисково-разведочных работ имеют геофизические исследования (каротаж) скважин. Для производства каротажа применяются каротажные станции, смонтированные на специальных автомашинах.

Геофизические исследования пока не могут дать исчерпывающих сведений о полезном ископаемом. Поэтому при ведении геологоразведочных работ широко применяются буровые скважины и горные выработки. В геологической практике применяют различные виды бурения: ручное, механическое, ударно-механическое, глубокое бурение на нефть и газ. Буровые станки бывают стационарными и передвижными, весьма распространены самоходные буровые станки, смонтированные на автомашинах и тракторах. Для ведения горных работ используются электровозы, породоразгрузочные машины, вентиляторы и другое горное оборудование.

Техническая база и оснащенность геологоразведочных работ продолжает совершенствоваться и расширяться.

Научно-исследовательские учреждения. В их число входят научно-исследовательские институты Министерства геологии СССР, геологические институты АН СССР, кафедры высших учебных заведений, тематические партии и экспедиции производственно-геологических объединений. Ведущее место занимают научно-исследовательские институты Министерства геологии СССР, созданные по отраслевому и территориальному принципу. Старейшими научно-исследовательскими учреждениями нашей страны являются ВИМС и ВСЕГЕИ. ВИМС (Всесоюзный институт минерального сырья) создан в Москве в 1918 г. Он занимается изучением минерального сырья черных, цветных, легких металлов и нерудного сырья: слюды, асбеста, флюорита и т. д. Большой известностью в стране пользуется Всесоюзный научно-исследовательский институт ВСЕГЕИ, созданный в Ленинграде в 1931 г. Институт занимается региональными исследованиями территории СССР, геологическим картированием, изданием геологических карт и обобщающих работ по геологическому строению территории СССР.

Многие из научно-исследовательских институтов специализированы на определенных видах минерального сырья (в Средней Азии САИГИМС, на Кавказе КИМС и др.), экономикой минерального сырья и другими вопросами занимается Всесоюзный ин-

ститут экономики минерального сырья и геологоразведочных работ (ВИЭМС). Геологией нефти, горючих и благородных газов занимается несколько научно-исследовательских институтов, главными из которых являются Всесоюзные научно-исследовательские институты нефти в Москве и Ленинграде. В стране ведут большую работу научно-исследовательские институты: Всесоюзный институт разведочной геофизики (ВИРГ), Научно-исследовательский институт Арктики (НИИГА) и др. Большой вклад в развитие и освоение буровой техники внес старейший в стране Всесоюзный институт техники разведки (ВИТР). Его работы в области техники и технологии бурения способствуют повышению производительности труда на геологоразведочных работах, созданию новых видов техники, повышению организации труда.

Несколько иные задачи стоят перед геологическими институтами АН СССР, занимающимися глобальными исследованиями и теоретическими работами. Они обобщают обширные материалы, накопленные в процессе ведения производственных работ. Большую помощь производству и научно-исследовательским организациям оказывают тематические партии и экспедиции, осуществляющие геологические, геофизические, картировочные и другие работы, связанные с научной тематикой. По договорным темам с производственными организациями ведут научную работу геологические кафедры высших учебных заведений страны.

Изданием научно-популярной геологической литературы и научных журналов занимаются Министерство геологии СССР, научно-исследовательские институты, организации АН СССР. Министерство геологии СССР издает журнал «Разведка и охрана недр», «Советская геология», «Геология нефти и газа», АН СССР — «Геология СССР», «Геология и геофизика» и др.

Подготовка инженерно-технических кадров. Первые специалистов геологоразведочной службы дали России Петербургский, ныне Ленинградский горный институт, образованный в 1773 г., и Московский университет им. М. В. Ломоносова. Кафедры этих высших учебных заведений не только готовили кадры геологов, но и вели большую работу по популяризации геологических знаний. В 1912 г. в России насчитывалось всего 30 геологов. В 1917 г. это число увеличилось до 56, а в 1918 г. — до 77 человек. Великая Октябрьская социалистическая революция внесла свои коррективы в подготовку кадров. Стали создаваться новые учебные заведения, университеты, горные, политехнические институты, техникумы. За первые 10 лет Советской власти число специалистов геологической службы выросло до 1146 человек, в 1955 г. их было 45 500, в 1960 г. — 90 000, в 1967 г. — 112 160 человек. В 1966 г. учебными заведениями страны было выпущено 3400 инженеров и 3500 техников различного профиля (геолого-разведчиков, гидрогеологов, геофизиков, специалистов техники разведки и др.). В настоящее время армия геологов насчитывает около 500 тыс. человек.

Подготовку инженеров осуществляют Московский геологоразведочный институт им. С. Орджоникидзе (МГРИ), геологические факультеты Московского, Ленинградского, Казанского и других государственных университетов, геологические факультеты Ленинградского, Свердловского горных, Казанского политехнического и многих других институтов. Не менее важное значение для производства имеет подготовка специалистов среднего звена, решающих основные задачи полевых и камеральных работ. Подготовкой техников-геологов занимаются 45 геологоразведочных, нефтяных и политехнических техникумов. Среди них Киевский, Старооскольский, Новочеркасский, Иркутский и другие техникумы. Современные учебные заведения имеют высококвалифицированные профессорско-преподавательские кадры, хорошо оснащенные лаборатории и кабинеты.

Советское правительство высоко ценит труд геологов. Многие производственные организации и отдельные лица награждены орденами и медалями Советского Союза, Государственными и Ленинскими премиями. Советские геологи успешно решают задачи не только по изучению территории СССР, но и в соответствии с соглашениями с другими странами. оказывают им содействие в проведении геологоразведочных работ и подготовке геологических кадров.

Краткие сведения о геологической службе за рубежом. Структура геологической службы во многих странах мира часто определяется их политическим строем, географическим положением, экономическим развитием и некоторыми другими особенностями. Наиболее совершенными структурой и результатами исследований располагают экономически развитые страны, которые не только справляются с работами на своих территориях, но и оказывают содействие другим странам. Многие из них имеют отделы морской и зарубежной геологии.

В социалистических странах руководство геологоразведочными работами осуществляют Министерства (ГДР), геологические учреждения (ЧССР). В подчинении руководящих органов находятся предприятия и объединения, образованные по территориальному принципу, виду работ или иному принципу.

Капиталистические страны имеют сложную многоотраслевую структуру ведения геологических работ. Геологическая служба этих стран находится в подчинении разных министерств. В Канаде, например, различные геологические организации подчинены Министерству энергетики горнорудной промышленности и ресурсов. В США руководство геологической службой осуществляет Министерство внутренних дел. Основными видами геологических работ занимается Геологический отдел, которому подчиняются отделения и бюро. Отделения имеют филиалы в каждом из штатов. Служба каждого штата имеет свои особенности. При Геологическом отделе создано Управление морской геологии и гидрогеологии, в функции которого входит изучение морского дна, подводное геологическое картирование, поиски полезных ископаемых

и др. В проведении геологических работ принимают участие многочисленные частные компании и фирмы. Руководит научными исследованиями Американский геологический институт (АГИ).

Во Франции, Англии, Японии геологические службы организованы примерно так же, но с некоторыми отличиями. При геологических службах этих стран имеются отделы и агентства морской и зарубежной геологии. Существуют геологические службы и в странах Африки, Юго-Восточной Азии и в других странах. Так в Замбии, например, геологические работы проводит Департамент геологической службы при Министерстве земель и природных ресурсов. Департамент ведет работу по геологическому картированию, изучению минеральных ресурсов страны.

Глава XXIX

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕХНОГЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

Среди геологических факторов, участвующих в формировании земной коры, немаловажную роль играет деятельность человека. Взаимодействие с земной корой — неотъемлемая часть жизни людей. Рост населения земного шара, научно-технический прогресс усиливают воздействие человека на природу. Из недр Земли ежегодно извлекаются миллиарды кубических метров горных пород, руд, природного газа, подземных вод, сотни миллионов тонн жидкого топлива. В результате в земной коре остаются пустоты, понижается плотность пород, на поверхности Земли появляются провалы, котловины, возникают горы вскрышных пород.

Сферу деятельности человека академик В. И. Вернадский назвал сферой разума человека. Несколько позже французский ученый Ле Руа (1927) присвоил ей название *ноосферы* (греч. ноос — разум, сфера — оболочка). Если на заре развития человеческого общества сфера разума в основном ограничивалась поверхностью суши, то в наши дни она охватывает глубины земной коры, акваторию океанов и верхние слои атмосферы. Благодаря развитию космической техники человек вышел за пределы Земли. Среди множества объектов ноосферы основным является литосфера, из недр которой человек получает необходимые ресурсы. Область геологии, изучающая техническую деятельность человека, связанную с извлечением из недр полезных ископаемых, называется *технической геологией*. Основной задачей этой отрасли знаний является изучение геологических последствий вмешательства человека в недра Земли. В условиях современного научно-технического прогресса, быстрого роста населения, бурного развития промышленности переход к более разумному извлечению и использованию природных богатств — задача первостепенной важности.

Влияние человека на окружающую его среду. Влияние человека на окружающую его среду находится в прямой зависимости от

интенсивности использования природных богатств Земли. К началу XVIII в. человек использовал в своей практической деятельности только 19 химических элементов, в первой половине XX в. применялось уже 59 элементов, а в наши дни — около 100. Потребность в минеральном сырье опережает рост населения земного шара. Как отмечает Э. А. Новиков, только с 1940 по 1970 г. потребление по главным видам минерального сырья увеличилось с 3 до 70 раз,



Рис. 124. Общий вид карьера, в котором осуществляется открытая разработка месторождения полезного ископаемого (по Э. А. Новикову, 1976)

а население земного шара за этот период увеличилось менее чем в два раза. Одновременно с потреблением сырья растет и глубина разработки месторождений полезных ископаемых. Так, в Донбассе высокосортные угли уже добываются с глубин 1000 м и более. В Южной Африке самая глубокая шахта в мире разрабатывает золоторудную жилу на глубине 3500 м. Значительных глубин (5—6 тыс. м) достигла эксплуатация месторождений нефти. Возросший уровень техники и эффективности разработки руд открытым способом позволил разрабатывать карьеры глубиной до нескольких сотен метров (Казахстан, КМА; рис. 124) и др.

Открытие новых месторождений способствует увеличению числа экономически освоенных районов, строительству новых городов и поселков. Создание новых и расширение старых промышленных центров приводит к урбанизации (фран. *urbanisme* — город) населения — повышению роли городов в жизни человеческого общества, сопровождающемуся увеличением численности городского населения. Если в 1926 г. в Советском Союзе было 33 города с населением свыше 100 тыс. человек, то в 1970 г. их стало 221. Только за 50 лет Советской власти (с 1917 по 1967 г.) построено свыше 700 новых городов. Многие из них выросли в Донбассе, Казахстане, на Урале и в других экономически освоенных районах: Мончегорск, Апатиты, Оленегорск. Много новых городов строится в Сибири и на Дальнем Востоке.

Урбанизацией охвачены все страны мира. По расчетам специалистов, через 150 лет 1/3 часть суши будет заселена городским населением. Строительство городов и промышленных объектов требует большого количества строительных материалов, месторождения которых, как правило, изыскивают на месте, т. е. вблизи от строящихся населенных пунктов. Эксплуатация этих месторождений вызывает изменения пригородного рельефа. Возрастает водоснабжение. Вода требуется как для питьевых целей, так и для технических нужд. Для удовлетворения спроса в питьевой воде изыскиваются подземные воды, для технических нужд используются воды рек, водохранилищ.

По мере освоения новых территорий расширяется сеть железных и автомобильных дорог. По намеченным трассам сооружаются насыпи, строятся мосты, проходятся туннели. Прокладка путей сообщения связана с выполнением большого объема земляных работ, изменяющих рельеф местности. Нехватка воды в экономически освоенных районах заставляет перебрасывать воду из полноводных рек в слабообводненные районы. Прокладываются каналы, строятся водохранилища. В СССР создано свыше 200 водохранилищ, проложена сеть каналов протяженностью около 3700 км.

На смену природному ландшафту приходит ландшафт культурный, т. е. ландшафт преобразованный (сельскохозяйственные поля, осушенные болота, озелененные и обводненные участки пустынь, лесополосы, проложенные новые русла рек и др.).

Человек оказывает влияние на ход экзогенных геологических

процессов, замедляет или ускоряет их разрушительную работу. Так, отходы химического производства, попадая в окружающую среду, усиливают химическое выветривание, ускоряют разрушение горных пород, жилых зданий, вызывают коррозию металлов.

Борьба с ветровой эрозией сократила площади, охваченные разрушительной работой ветра. Лесопосадки закрепили движущиеся пески, каналы превратили участки пустынь в плодородные угодья, на которых выращиваются хлопок, фрукты, овощные культуры. Тысячекилометровый канал, проложенный в песках Каракумов, меняет облик этих районов, влияет на микроклимат. Строительство плотин, водохранилищ уменьшило речной сток, ослабило разрушительную работу рек.

На геологическую деятельность рек влияет эксплуатация подземных вод. Снижение их уровня в процессе эксплуатации в ряде мест привело к тому, что они перестали питать реки. Понижившийся уровень водоносных горизонтов повлиял также на разрушительную работу подземных вод, меньше стали проявляться оползневые явления.

Свои коррективы человек внес и в географию мелких озер и болот. Осушение заболоченных земель в Белоруссии, Прибалтике, Карелии несколько сократило площадь болот, остановив процессы торфообразования.

Усиливается влияние человека и на геологическую работу моря. За счет уменьшения речного стока стал понижаться уровень в Каспийском, Аральском, Азовском морях. Это в свою очередь ведет к повышению солености этих вод и изменению их органического мира.

Техногенная деятельность человека оказывает как благотворное, так и отрицательное влияние на окружающую среду. Так, большой вред во всем мире принесло применение для борьбы с вредителями сельского хозяйства порошка ДДТ. От него погибли не только вредные насекомые, но сократилось число птиц и некоторых видов животных. В нашей стране ДДТ исключен из списка химических средств борьбы с вредителями растений и сорняками. Не меньший вред приносит загрязнение воздуха пылью, промышленными и выхлопными газами. Ежегодно двигатели машин и установок сжигают до 2,5 млрд. т нефти. Особенно много пыли и дыма попадает в атмосферу в районах размещения промышленных предприятий — металлургических, химических, цементных заводов. Загрязнение воздуха цементной пылью, угарным, сернистым газами (рис. 125) вызывает гибель растений, заболеваня среди животных и людей. Не менее опасны для окружающей среды сточные воды промышленных предприятий. В их составе нередко содержатся биологические яды: ртуть, свинец, цинк и др. Попадая в реки и моря, они пагубно действуют на их органический мир. Так, река Рейн в Западной Европе превращена в сточный канал. В 1973—1974 гг. в Японии было обследовано 67 озер, 51 река и 17 прибрежно-морских районов. Незагрязненными оказались всего 5 озер, 4 реки и 5 морских участков. Только в

районе г. Осака в результате загрязнения окружающей среды за последние 8 лет умерло 750 человек.

О загрязнении океанов с печалью пишет в статье «Океан на пути к смерти» французский ученый Жак Ив Кусто, неоднократно участвовавший в экспедициях по изучению органического мира Атлантического, Индийского и Тихого океанов: «Жизнь в океане уменьшилась на 40%. Что поражает, так это то, что жизнь исчезает с потрясающей быстротой. Исчезают рыбы, океан умирает! Он болен по вине человека. В течение 50 лет исчезли более тыся-

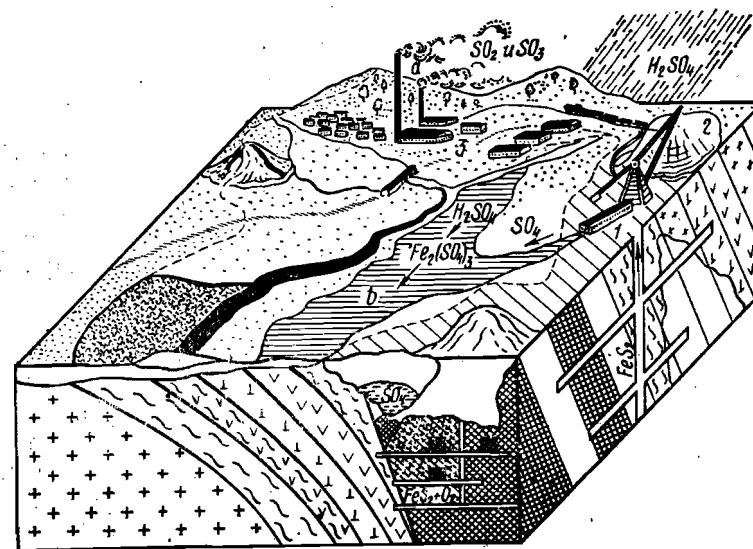


Рис. 125. Схема, показывающая загрязнение окружающей среды в процессе обработки и переработки полезного ископаемого (сернистый ландшафт, по В. Г. Прохорову) (А. А. Перельман, (1977): 1 — шахта, 2 — рудный отвал, 3 — перерабатывающее предприятие, а — загрязнение атмосферы, б — загрязнение водной артерии

чи видов морских животных, их уже невозможно восстановить». Особенно загрязнено Средиземное море. Пойманные у берегов Италии рыбы содержат ртути в 3 раза больше, чем рыбы, пойманные в Атлантическом океане. Больше всего органический мир страдает от загрязнения водоемов нефтью. По подсчетам ученых, ежегодно в Мировой океан поступает до 13 млн. т нефти. В результате аварий нефтеналивных танкеров, бурения скважин на нефть в области шельфа, слива за борт нефтесодержащих промысловых вод. Около 50% проб, отобранных в Тихом и Индийском океанах, содержали нефть. Нефтяная пленка уменьшает поступление влаги в атмосферу, нарушает теплообмен между океаном и воздушной средой и тем самым оказывает влияние на погодные условия.

Деятельность человека как геологический фактор. Вмешательство человека в земные недра по своим масштабам не только не уступает, но порой и превосходит деятельность некоторых геологических процессов. Так, общее количество извлеченных за год при проходке шахт и карьеров горных пород превышает по своему объему количество продуктов извержения, выбрасываемых ежегодно вулканами. Просадка грунтов в местах эксплуатации жидких и газообразных полезных ископаемых по скорости не уступает опусканию земной поверхности при тектонических колебательных движениях. В геологической деятельности человека можно выделить разрушительную работу, переработку минерального сырья, размещение вскрышных пород и промышленных отходов.

Разрушительная работа осуществляется при проходке шахт, карьеров, туннелей, прокладке каналов, канав, рытье котловин. Появление на глубине обширных пустот объемом в миллионы кубических метров и обрушение кровли над ними приводит к образованию на земной поверхности провалов, воронок диаметром до 60 м. Подобные явления наблюдаются в Донбассе, Караганде, Кузбассе, Кривом Роге и других местах. Глубина провалов на месте разработок в Кузбассе достигает 70 м, в Караганде—10 м.

Несколько иной формой разрушительной работы является разработка месторождений жидких и газообразных полезных ископаемых (нефти, природного газа, подземных вод), в результате которой происходит понижение плотности продуктивных пластов и просадка пород над ними. Просадка происходит постепенно и сопровождается небольшими землетрясениями, магнитуда которых порой достигает 4—6. На поверхности они могут вызвать разрушение зданий и сооружений. Так, откачка артезианских вод в Мехико (Мексика) вызвала опускание земной поверхности на 8,5 м. Просадка грунтов вызвала разрушение большого количества зданий. Просадки возникают и при длительных дополнительных нагрузках на поверхность суши. Такие нагрузки могут быть обусловлены строительством городов, плотин, водохранилищ. Под сооружениями образуются зоны сжатия и сдвига. Глубина зон просадки измеряется от 2 до 50 м. В результате просадок под городами образуются чашеобразной формы понижения рельефа, оконтуриваемые на внешней стороне кольцевыми зонами поднятий. Значительные нарушения наблюдаются в пределах водохранилищ, где огромные массы воды с большой силой давят на ложе водохранилища и вызывают уплотнение пород под ними.

Переработка минерального сырья, размещение вскрышных пород и промышленных отходов. В процессе переработки и использования значительная доля минерального сырья рассеивается, обогащая поверхностные слои земли теми или иными металлами. По подсчетам специалистов, через 50 лет в составе поверхностных отложений содержание железа повысится в 2 раза, свинца — в 10, ртути — в 100, мышьяка — в 250 раз.

Практическая деятельность человека приводит в большинстве случаев к рассеянию химических элементов, в то время как природные процессы концентрируют их в виде месторождений полезных ископаемых. Распыление металлов на поверхности Земли идет гораздо быстрее, чем формируются новые месторождения. Распыляется большинство металлов (олово, свинец, цинк, ртуть и др.), накапливаются немногие из них (золото, серебро, железо и др.). Значительная часть продукции, производимой человеком, со временем переходит в *антропогенные отложения* (греч. антропос — человек).

Котлов Ф. В. предложил разделить антропогенные отложения в зависимости от назначения, характера переработки минерального сырья и извлечения горных пород на горные отвалы, строительные грунты, промышленные и хозяйственно-бытовые отходы, отложения искусственных водоемов.

По характеру накопления выделяются *насыпные* и *наливные* антропогенные отложения.

Горные отвалы накапливаются у шахт и карьеров, ведущих разработку руд, угля, нерудного сырья. У шахт обычно вырастают холмистые формы рельефа, состоящие из пустых вскрышных пород, включающих незначительное количество рудных минералов. На угольных месторождениях такие отвалы называют *терриконами* (фр. terrig — природный отвал, conicus — конический). Высота холмов — первые десятки метров. В состав их входят обломки скальных пород разного состава и рыхлые отложения. Намного крупнее насыпные формы рельефа возникают у карьеров. У глубоких карьеров эти формы напоминают небольшие горные гряды, состоящие из множества сдвинувшихся между собой холмов пустой породы. Высота их не уступает терриконам и нередко превосходит их. При ведении открытых разработок часть вскрышного материала вывозится в близлежащие овраги и балки (выравнивание рельефа), а часть используется в качестве строительных грунтов. Объем вскрышных пород с каждым годом увеличивается.

Строительные грунты — это специально или попутно добытые сыпучие породы (песок, гравий, галька), которые без дополнительной переработки применяются для строительства дамб, плотин, насыпей железных и шоссейных дорог, намыва пляжей, покрытия дорог.

К *строительным материалам* относят изделия, полученные в процессе предварительной переработки обломочных (бетон, раствор), карбонатных (цемент, известь) и других горных пород. Из строительных материалов возводятся здания, плотины, волнорезы и другие сооружения.

Промышленные и хозяйственно-бытовые отходы состоят из золы (продукта сжигания угля), шлаков (отходы металлургического производства), металлических и древесных опилок и стружек, отходов обогатительных фабрик, бросовых и мусорных ям, свалок, кладбищ, могильников, курганов. Мощность промышленных и хозяйственно-бытовых отходов от 3 до 12 м. На территории старо-

го города в Ташкенте, например, почти повсеместно мощность культурного слоя 2—3,5 м.

Отложения искусственных водоемов. Созданные человеком водохранилища, пруды и другие водоемы по геологической деятельности почти не отличаются от природных озер. Здесь также происходит разрушение берегов и на дне накапливаются обломочные, химические и органические осадки.

Глава XXX

ОХРАНА НЕДР И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

На протяжении многих веков в природе устанавливалось геохимическое и биохимическое равновесие, создавшее предпосылки для развития органического мира. С развитием человеческого общества и усилением техногенной деятельности человека это равновесие стало постепенно нарушаться. Вначале техногенная деятельность человека, как отмечал В. И. Вернадский, была сравнимой с природными процессами, но затем во многом превзошла их. Это привело к ряду нежелательных последствий: истощению недр, исчезновению некоторых видов животных и растений и др. Чтобы восстановить нарушенное в природе биохимическое равновесие, необходимо решить вопрос об охране недр и окружающей среды. Подход к решению этой проблемы у ученых разных стран мира оказался различным. Некоторые буржуазные ученые считают, что для уменьшения влияния человека на окружающую среду необходимо сокращение населения земного шара и сдерживание научно-технического прогресса. Большинство ученых и в первую очередь ученые Советского Союза придерживаются иной точки зрения. Советская наука выступает за рациональное использование природных ресурсов и безотходное производство, сводящее до минимума отрицательное влияние промышленности на окружающую среду. Советский Союз, используя преимущества социалистического строя, государственной собственности на природные богатства, планомерно и целенаправленно организует эксплуатацию и охрану природных богатств в интересах всех советских людей.

В Советском Союзе вопросам охраны недр окружающей среды уделяется большое внимание. Центральным Комитетом КПСС, Советским правительством, Президиумом Верховного Совета СССР и президиумами союзных республик принят ряд постановлений и законов, направленных на рациональное использование природных богатств, недр земли, охрану от загрязнения водной и воздушной среды, сохранность животного и растительного мира. Контроль за исполнением этих решений возложен на министерства, центральные, областные и местные исполнительные органы Советской власти. Ответственность за исполнение законов и постановлений несут соответствующие планирующие организации, горнодобывающие и перерабатывающие предприятия. С целью широ-

кого привлечения населения к вопросам охраны окружающей среды повсеместно созданы общества по охране природы.

В принятой в 1977 г. Новой Конституции СССР в статье 18 записано: «В интересах настоящего и будущих поколений в СССР принимаются необходимые меры для охраны и научно обоснованного, рационального использования земли и ее недр, водных ресурсов, растительного и животного мира, для сохранения в чистоте воздуха и воды, обеспечения воспроизводства природных богатств и улучшения окружающей среды»¹.

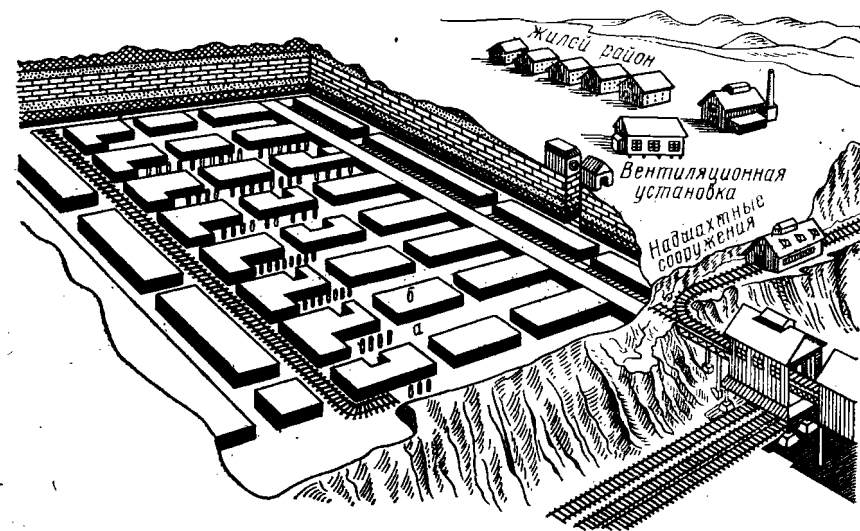


Рис. 126. Схематический разрез шахтного поля с выработанными пространствами (а) и целиками (б). В целиках, поддерживающих верхние пласты, остается много полезных ископаемых (по Р. Парсону)

Охрана недр. Невиданные ранее темпы развития производства ведут к быстрому истощению разведанных запасов минерального сырья. Сокращение разведанных запасов вызвано не только растущими темпами развития производства, но и неполным, а иногда и небрежным извлечением сырья из недр, недостаточно разработанной технологией извлечения металлов из руд. Часть промышленно-ценных металлов попадает в рудные отвалы или отходы обогатительных фабрик. При разработке месторождений нефти нередко более половины ее остается в земле. Не лучше обстоит дело и с попутным природным газом. На протяжении многих десятилетий (из соображений техники безопасности) попутный газ сжигался в факелах. Как отмечает Э. А. Новиков, только один такой факел может принести экономические убытки до 10 млн. руб. в год. В ре-

¹ Конституция (Основной Закон) Союза Советских Социалистических Республик. М., 1977, с. 11.

зультате несовершенных систем обработки руд и угля в шахтах остаются погребенными миллиарды тонн угля, железной руды и других полезных ископаемых (рис. 126). В целях дальнейшего усиления охраны недр, улучшения использования полезных ископаемых в июле 1975 г. Верховный Совет СССР принял закон «Основы законодательства Союза ССР и Союзных республик о недрах». Закон предусматривает комплексное извлечение и использование полезных ископаемых, применение эффективных методов их разработки, недопущение сверхнормативных потерь и др. Кон-

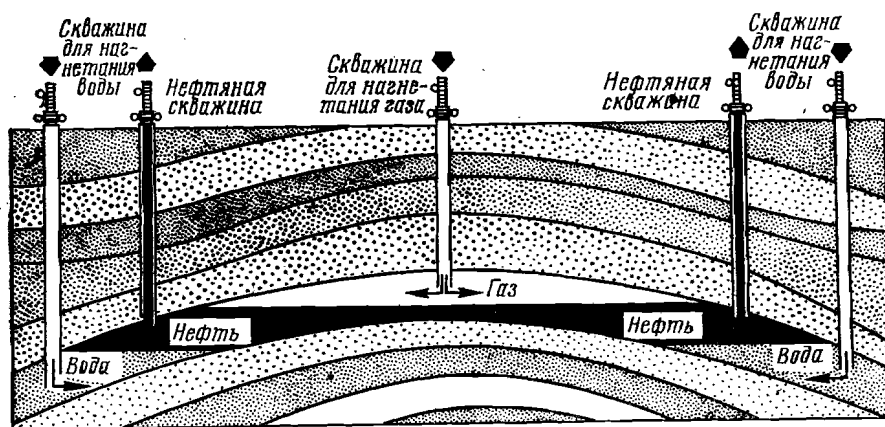


Рис. 127. Повышение нефтеотдачи пласта. Газ и вода нагнетаются в нефтяной пласт и оттесняют нефть к скважине

троль за выполнением правительственных постановлений возложен на Министерство геологии СССР и его организации. Одним из контролирующих органов является комиссия по запасам (ГКЗ) при Совете Министров СССР. В ее задачи входит установление кондиций (минимально предельных содержаний в рудах промышленно ценных металлов и сопутствующих элементов), обеспечение полной комплексной обработки месторождений полезных ископаемых, определение нормативов (коэффициентов) извлечения из нефтяных пластов нефти и газа конденсата.

С целью наиболее полного извлечения нефти и природного газа нефтедобывающей промышленности разработаны и широко применяются новые методы нефтеотдачи пластов. В Башкирии, например, в процессе разработки месторождений используется закачка в нефтяной пласт природного газа (рис. 127), на Сахалине опробован метод нагнетания в нефтяные пласты перегретого пара, повысивший нефтеотдачу до 62%.

В число задач нефтяной и газовой промышленности вошли комплексное извлечение и использование нефтяного и природного газа, полное извлечение конденсата, серы, гелия и других сопут-

ствующих компонентов. Одной из важнейших задач эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых является полнота обработки залежей и комплексность извлечения из руд полезных компонентов. Одновременно перед геологами поставлена задача наиболее полного изучения как руд, так и вмещающих пород. Одной из наиболее эффективных, но не всегда возможных к применению систем разработки является извлечение полезного ископаемого открытым способом, т. е. карьерами. Этот способ дает возможность не только полнее извлекать рудную массу, но и позволяет широко использовать для строительных целей дешевые вскрышные породы. Так, на КМА вскрышные породы карьеров используются для производства цемента, стеновых материалов и др.

Комплексное извлечение минерального сырья возможно лишь на основе полного изучения полезного ископаемого и совершенной технологии его переработки. Благодаря такому подходу на Усть-Каменогорском свинцово-цинковом комбинате добились извлечения из полиметаллических руд около двух десятков полезных компонентов. Это снизило себестоимость продукции и сэкономило средства, необходимые для создания новых сырьевых баз. Экономия достигается и при дополнительном извлечении из отходов производства серы, железа, силикатных соединений.

На Коунрадском медном руднике были переработаны старые отвалы. Выщелачиванием были извлечены дополнительно тысячи тонн меди.

В компетенцию охраны недр входит предотвращение застройки районов разведанных месторождений. Известно немало примеров, когда в пределах контура разведанных залежей проводилось строительство промышленных предприятий и целых населенных пунктов. Это исключает из промышленных запасов иногда значительную часть месторождения.

Охране подлежат и памятники природы: минералогические и палеонтологические заповедники, карстовые и золотые пещеры, достопримечательные скалы, горные вершины. Известны случаи, когда непродуманный подход к изысканию строительного сырья приводил к порче памятников природы. Так, на Северном Кавказе в районе курортной зоны карьерами были обезображены горы-лакколиты Кинжал и Змейка. Испорчен карьером и один из склонов заповедных Жигулевских гор на Волге.

Землепользование и рекультивация земель. Почва — бесценный дар природы. Она дает жизнь растениям, кормит людей и животных. К сожалению, не вся суша обладает способностью давать урожай. Из 147,9 млн. км² обрабатывается всего лишь 14,57 млн. км², или 1457 га, т. е. 10,8% поверхности суши; 29,87 млн. км² занято лугами. По данным А. Е. Меньчукова, наибольшими площадями пахотных земель располагают СССР (223 млн. га) и США (271 млн. га). В Советском Союзе земли находятся в государственном пользовании. Не все наши пахотные земли расположены в благоприятных климатических условиях. Около 70% их расположено в зонах с холодным климатом.

Государственный земельный фонд СССР включает земли колхозов и совхозов, земли, предоставленные в пользование городов, промышленных объектов, курортов и др., и земли государственного запаса (резерв для первой и второй групп). Земли, на которых проводится разведка и разработка полезных ископаемых, находятся во временном пользовании геологических и горнодобывающих организаций.

Основные мероприятия по охране земель сводятся к следующему: защита земель от водной и ветровой эрозии, предупреждение и предотвращение оползней и селевых потоков, рациональное использование малопродуктивных и бросовых земель в сельскохозяйственном производстве, рекультивация земель. Борьба с эрозией, осушение заболоченных почв, засыпка оврагов, расчистка каменистых грунтов возвращают бросовые земли в хозяйственное использование. Значительные работы по освоению заболоченных земель осуществляются в Белоруссии, Прибалтике. Поистине титаническая работа по освоению каменистых почв проводится в Армении. Освобожденные от камней земли дают высокие урожаи зерновых культур и винограда.

В соответствии с «Основами земельного законодательства Союза ССР и Союзных республик» предприятия, организации и учреждения, производящие работы на плодородных землях (строительство населенных пунктов, промышленных предприятий, сооружений, шахт, карьеров, водохранилищ и т. д.), обязаны *рекультивировать*, т. е. снимать и складировать, плодородный слой земли с последующим его использованием на площади малопродуктивных угодий.

Охрана водных ресурсов. Единый государственный водный фонд нашей страны включает реки, озера, подземные воды, ледники, внутренние моря, искусственные водоемы (водохранилища, пруды, каналы). С сентября 1971 г. в нашей стране действуют «Основы водного законодательства Союза ССР и Союзных республик», в которых предусматривается борьба с загрязнением водоемов, охрана их органического мира, возможность перераспределения стока.

В СССР насчитывается около 3 млн. рек и ручьев, величина стока которых составляет 4714 км³ в год. Крупные водные артерии играют большую роль в судоходстве страны, по ним осуществляется перевозка различных грузов, они участвуют в орошении земель. Многие реки питают подземные воды. Почти все реки используются в качестве мест отдыха. Следовательно, значение рек в жизни человека огромно, поэтому их охрана имеет первостепенное значение. Функции контроля за чистотой рек возложены на Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР и Министерство здравоохранения СССР и др. В настоящее время в системе здравоохранения создано 4260 санитарно-эпидемиологических станций. Органы рыбоохраны Министерства рыбного хозяйства СССР контролируют санитарное состояние водоемов, имеющих рыбохозяйственное значение. В охране водоемов принимает

участие и Всероссийское общество охраны природы, насчитывающее в своих рядах около 19 млн. человек. Вокруг водных артерий устанавливается охранная зона, особое внимание обращается на строительство очистных сооружений. Высокая стоимость очистных сооружений способствовала переходу в ряде стран мира (СССР, США, Англия, Франция, Япония) на безводную технологию производства. Так, сухое формование 1 т бумаги сберегает 250 т воды.

Основным источником водоснабжения городов и других населенных пунктов являются подземные воды, запасы которых в нашей стране составляют около 1020 км³.

Современная гигиеническая наука предъявляет к источникам питьевого водоснабжения большие требования. Начиная с 1937 г. в нашей стране действует стандарт на воду, которым предусматривается минимальное содержание вредных минеральных примесей, представляющих угрозу для здоровья человека. Не допускается содержание в воде мышьяка свыше 0,05 мг/л, свинца больше 0,1 мг/л, повышенное содержание бериллия, молибдена, селена, стронция, серебра, урана. Возможность загрязнения подземных вод возникает в местах их вскрытия горными выработками или буровыми скважинами. Поэтому при бурении скважин на нефть, природный газ, калийные соли, водоносный горизонт изолируется от скважины обсадными трубами.

В связи с сокращением запасов подземных вод в качестве источников водоснабжения все чаще используются очищенные речные воды. Слабоочищенные воды могут быть причиной вспышки эпидемии. В 1892 г. в Германии употребление для питья слабоочищенных речных вод привело к вспышке эпидемии холеры, от которой погибло 8605 человек, в 1908 г. вспышка холеры в Петербурге унесла 4000 человек. Употребление некачественных питьевых вод неоднократно вызывало в разных странах заболевания дизентерией и брюшным тифом. В Советском Союзе благодаря санитарно-оздоровительным и противоэпидемическим мероприятиям желудочно-кишечные заболевания при употреблении питьевых вод почти исключены.

Расход воды в народном хозяйстве страны растет. Сейчас он составляет 220 км³ воды в год или 35 млн. м³/сут, через 20 лет расход достигнет 130 млн. м³/сут. В водном балансе страны 2850 озер и водохранилищ, заключающих около 280 км³ воды. Озера, водохранилища, пруды обладают колоссальными запасами пресной воды. Они используются для разведения рыбы, поливного земледелия, в качестве мест отдыха, а наиболее крупные из них — в качестве источников водоснабжения. Жемчужиной страны является озеро Байкал, озеро с чистой и холодной водой и большими рыбными запасами. В 1971 г. ЦК КПСС и Советом Министров СССР принято постановление «О дополнительных мерах по обеспечению рационального использования и сохранению природных богатств бассейна озера Байкал». Постановлением запрещено строительство на реках, впадающих в озеро, промышленных предприятий без очистных сооружений. Вокруг озера предусмотрено создание

санитарных зон, запрещена вырубка леса. Владеющие в Байкал реки очищены от затонувшей древесины. В бассейне озера созданы заповедники и заказники. Для восстановления запасов ценных пород рыбы (омуля, осетра) построены рыбозаводные заводы. Мероприятия по охране озера Байкал в настоящее время распространяются на другие озера и водохранилища.

Колоссальное значение в жизни Земли имеет Мировой океан. Он является «кухней погоды», главным источником кислорода атмосферы и все больше принимает участие в снабжении населения земного шара продуктами питания. Мировой океан — это область активного судоходства, рыбного промысла, научных исследований. В открытом море постоянно находятся около 50 000 судов, осуществляющих перевозки различных грузов, ведущих научные исследования. Двигатели судов оставляют нефтяные пятна. Кроме того, несмотря на принимаемые меры предосторожности, много судов гибнет, отчего загрязнение океана нефтью резко возрастает. Причинами гибели бывают столкновения с рифами, посадка на мель, пожары и взрывы. Только в 1954 г. у берегов Японии от тайфуна погибло 876 судов. Увеличившееся число аварий нефтеналивных танкеров привело к тому, что загрязнение вод Мирового океана приняло угрожающие размеры. Особенно загрязнено Средиземное море, куда ежегодно поступает около 1 млрд. т мусора и других промышленных отходов, до 300 тыс. т нефти от судоходства. Защита океана от загрязнения становится проблемой номер один. Вопросы охраны Мирового океана от загрязнения занимают МСОП (Международный союз охраны природы) и отдельные государства, к границам которых примыкает океанический шельф. Между странами заключаются соглашения по охране рыбных запасов, биологических ресурсов, по запрету сброса в морские воды промышленных отходов. Такие соглашения заключены между СССР, Японией, Канадой, США, Швецией, Данией и другими странами.

В СССР охране вод внутренних и окраинных морей уделяется значительное внимание. В феврале 1976 г. принято постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по предотвращению загрязнения бассейнов Черного и Азовского морей». Главное внимание в постановлении обращено на запрещение сброса в водные бассейны сточных вод, установлены сроки ввода в действие новых и ремонта старых очистных сооружений. Для очистки загрязненных мусором вод оборудованы специальные суда, которые одновременно осуществляют очистку воды от нефтяных пятен. В местах, имеющих рыбохозяйственное значение, введены ограничения на ведение геологоразведочных и других работ, связанных с производством взрывов и бурением скважин. В портовых городах (Новороссийск, Туапсе, Одесса и др.) созданы очистные сооружения для извлечения нефти из загрязненных вод. Эти станции ежегодно собирают до 100 тыс. т, нефти, которая используется в промышленных целях.

Охрана воздушной среды. Воздушный океан имеет огромное

значение в жизни органического мира Земли. В воздушной среде происходят биологические процессы обмена веществ. Растения, поглощая углекислый газ, выделяют в атмосферу кислород. Последний, в свою очередь, является жизненно важным продуктом жизнеобеспечения мира животных, загрязнение атмосферы отходами производства нарушает этот обмен. От паров кислот, угарного, серного, сернистого газов, цементной пыли гибнут леса, сады, страдают люди. Загрязненный воздух вызывает тяжелые случаи заболеваний. Как отмечает Д. П. Никитин и др. (1977), смертельные случаи от смога были зарегистрированы в Лондоне в 1952 г., в Токио в 1974 г., от загрязненного воздуха пострадали сотни людей. Газобразные отходы производства, разъедают стенки зданий и сооружений, сокращают срок их службы, вызывают преждевременное проведение ремонтных работ. По расчетам американского агентства по охране окружающей среды, в США общий экономический ущерб от загрязнения атмосферы составил 16 млрд. долларов в год.

За счет сжигания различных видов топлива возросло поступление в атмосферу углекислого газа. За последние 100 лет уничтожено кислорода 240 млрд. т.

В СССР охране атмосферы уделяется большое внимание. Создаются санитарные зоны между промышленными предприятиями и населенными пунктами, на цементных, химических, металлургических и других заводах устанавливаются фильтры по очистке газов, разрабатывается новая технология по наиболее полному использованию отходов производства. В выходящих в атмосферу газах не должно быть вредных компонентов. Допустимым считается такое их содержание, которое не оказывает на здоровье людей или животных прямо или косвенно вредного влияния. Принятые меры по оздоровлению окружающей среды на ряде предприятий дали свои положительные результаты. Так, на Балхашском горно-металлургическом комбинате после установки очистительного комплекса фильтры стали улавливать конверторные газы, воздух вокруг комбината стал чище, а правильно решенная технология использования газов дала производству дополнительные тонны свинца, цинка, меди, серной кислоты. Одним из эффективных способов борьбы за чистоту воздуха является озеленение городов и населенных пунктов (лесонасаждение, разведение газонов, цветников). Борьба с загрязнением атмосферного воздуха является важной проблемой охраны окружающей среды.

Охрана органического мира. Организмы, обитающие на суше и населяющие моря, весьма чувствительны к нарушениям условий окружающей среды. Малейшие изменения этих условий наносят иногда непоправимый вред органическому миру вплоть до гибели отдельных его видов. Большой ущерб приносит и чрезмерная охота, ведущая к быстрому истреблению ценных и редких животных.

Значение растительного мира в жизни Земли несомненно. Растения украшают ландшафт, придавая ему неповторимую преле-

сть. Велико санитарно-гигиеническое и культурно-эстетическое значение лесов. На службе у людей находятся около 2000 видов растений.

Неразумная вырубка леса, лесные пожары, стихийные бедствия во многом способствовали значительному сокращению лесных массивов на Земле.

В лесной фонд СССР входят леса промышленного значения, леса заповедные, почвозащитные и зеленые зоны городов. Промышленные разработки леса производятся по специальному разрешению в местах, выделенных Министерством лесного хозяйства СССР. Организации этого министерства — лесхозы, осуществляют контроль за эксплуатацией лесных массивов, охраняют их от порубок, пожаров, вредителей. В целях предупреждения пожаров на территории нашей страны созданы тысячи пожарных наблюдательных пунктов и пожарно-химических станций. Большое внимание уделяется биологической защите леса. Охрана леса и содержание его в чистоте — обязанность каждого человека.

Животный мир по количеству видов превосходит растительный и насчитывает 1 265 500 видов. На территории нашей страны обитают: млекопитающих — 359 видов, птиц — 700, земноводных — 33, пресмыкающихся — 138, рыб — 1200, насекомых — 80 000 видов. Количество видов животных несколько сократилось. За последние два тысячелетия Земля навсегда утратила 106 видов и разновидностей млекопитающих, 139 видов птиц и других животных. В настоящее время 600 видов млекопитающих находятся на грани истребления или исчезли совсем недавно. Безвозвратно исчезли бискайский кит, морская корова, гигантская новозеландская птица моя и некоторые другие виды животных.

В целях охраны редких экземпляров животных Международным союзом охраны природы МСОП заведена Красная книга. Занесение в эту книгу животных означает, что тот или иной вид берется под охрану во всех странах мира. В эту книгу занесено более 600 видов животных, из которых на территории СССР обитает 18 видов (лаптевский морж, уссурийский тигр, байкальская нерпа, черный журавль и др.). Места обитания этих животных объявлены заповедными.

В Советском Союзе созданы и действуют 100 заповедников, 1500 заказников, 5 заповедно-охотничьих хозяйств. Заповедники — нетронутые хозяйственной деятельностью человека уголки природы, где животные охраняются законом и находятся под наблюдением ученых. В заказниках отдельные виды животных и растений охраняются в течение определенного периода времени. Заповедно-охотничьи хозяйства занимаются сохранением, воспроизводством и охотничьим промыслом животных. В охране животных участвуют также охотничьи хозяйства. Государственная инспекция, общества охраны природы.

Законы охраны природы требуют от каждого человека их неуклонного исполнения. Статья 67 Конституции СССР гласит:

«Граждане СССР обязаны беречь природу, охранять ее богатства»¹.

Важность проблемы охраны недр и окружающей среды подчеркнута в «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года».

В этом документе сказано: «Улучшать охрану природы, усилить работу по сохранности сельскохозяйственных угодий, борьбу с эрозией почв, повысить темпы работ по рекультивации земель, обеспечить их защиту от селей, оползней, обвалов, засоления, заболачивания, подтопления и иссушения.

Более комплексно осваивать месторождения полезных ископаемых, не допуская их потерь при добыче и переработке»².

¹ Конституция (Основной Закон) Союза Советских Социалистических Республик. М., 1977, с. 25.

² Материалы XXVI съезда КПСС. М., 1981, с. 183.

Абиссальная область 199
 — равнина 203
 Абсолютный возраст 101
 Абразия 199
 Август 91
 Авлокоген 297
 Агломеративный поток 241
 Агрегат минеральный 85
 Азафус 109
 Азимут падения 272
 — простирания 272
 Айсберг 177
 Актуализм 8
 Алеврит 97
 Алеврит 97
 Алеврит 97
 Аллювий 152
 — дельтовый 153
 — пойменный 153
 — русловый 152
 — старичный 153
 — террасовый 153
 Алмаз 86
 Аляскит 94
 Альбит 92
 Альмандин 91
 Аморфные тела 84
 Амплитуда смещения 283
 Амфиболы 91
 Анализ мощностей 254
 — перерывов и несогласий 254
 — последовательности напластований 254
 — фашиально-палеографический 254
 Анатексис 291
 Ангидрит 90, 98
 Андезин 92
 Андезит 95
 Аномалии гравитационные 48
 — сила тяжести, см. гравитационные аномалии 48, 69
 Апортит 92
 Антеклиза 280, 292
 Антициклон 57
 Антиклиорий 280, 292
 Антропогенные отложения 327
 Арки 201
 Апатит 90
 Арсенаты 86
 Артезианский бассейн 158
 Архей 103
 Археоптерикс 113
 Археонаты 108
 Асейсмические мероприятия 271
 Ассимиляция 230
 Астенолит 304
 Астеносфера 44, 46, 81, 305
 Астероиды 17, 27
 Астрономическая единица 17
 Астрономия 12

Атмосфера 51
 — солнечная 33
 Атолл 195, 206
 Афганец 136
 Афтершок 264
 Базальт 95
 Базис эрозии 141
 Бактерии 113
 — анаэробные 113
 — аэробные 113
 Балка 141
 Бар 204
 Бараний лоб 181
 Барранкос 232
 Бархан 137
 Барханные ряды 137
 Батинальная область 198
 Батолит 93
 Белемнит 111
 Бентос 197
 Берег отмелый 199
 — приглубый 199
 Береговой вал 203
 Биогеохимия 66
 Биономические зоны моря 198
 — абиссальная 198
 — батинальная 198
 — литоральная 198
 — неритовая 198
 Биосфера 65
 Биотит 91
 Битовит 92
 Блок 283
 — литосферный 306
 Боксит 98, 129
 Болид 28
 Болото 218
 — верховое 218
 — низинные 218
 — переходное 218, 219
 — прибрежно-морское 219
 Бораты 86
 Брекчия 97
 Брахиантиклиналь 279
 Брахисинклиналь 279
 Брахискладка 279
 Бура магнитная 71
 — пыльная 133
 Бухта 201
 Ваади 132
 Валуны 96
 Ванадаты 86
 Ванна выпадения 180
 Венера 21
 Вентрикулитес 109
 Верховодка 157
 Верховье 140

Вещество аморфное 84
 — кристаллическое 84
 Взброс 284
 — ступенчатый 285
 Взбросо-сдвиг 285
 Виргация 278
 Вкрапленник 85
 Влагоемкость 156
 Водопроницаемость 56
 Водные потоки 93, 140, 142
 — — временные 140
 — — постоянные 140
 Водоносный горизонт 156
 Водоотдача 156
 Водопад 149
 Водораздел 143
 Водоросли 113, 196
 — бурые 196
 — диатомовые 113
 — зеленые 196
 — красные 196
 — синезеленые 113, 196
 Водосборный бассейн 143
 Водоупор 155
 Воды аэональные 159
 — артезианские 158
 — гигроскопические 155
 — гидрокарбонатные 160
 — гравитационные 155
 — грунтовые 157
 — инфильтрационные 155
 — капиллярные 155
 — карбонатные 160
 — конденсационные 155
 — кристаллизационные 155
 — магматогенные 155
 — межпластовые 158
 — — безнапорные 158
 — — напорные 158
 — минеральные 160
 — многолетней мерзлоты 163
 — — — межмерзлотные 166
 — — — надмерзлотные 166
 — — — подмерзлотные 166
 — нефтяных месторождений 163
 — пленочные 155
 — поверхностные 140
 — подземные 154
 — почвенные 157
 — пресные 160
 — рассолы 160
 — родоновые 162
 — седиментационные 155
 — сероводородные 161
 — соленые 160
 — солоноватые 160
 — сульфатные 160
 — текучие, см. поверхностные 140
 — теплые 159
 — термальные 159, 162
 — трещинные 158

Воды углекислые 161
 — хлоридные 160
 — холодные 159
 — ювенильные 159
 Волновод, см. астеносфера 46
 Волновые движения 63
 Волны сейсмические 47
 — — — поверхностные 47
 — — — поперечные 47
 — — — продольные 47, 70
 Вольфраматы 86
 Вселенная 12
 Вулкан 232
 Вулканизм 232
 Вулканические бомбы 240
 Вулканический аппарат 232
 — пепел 240
 — песок 240
 Вулканы грязевые 244
 — действующие 234
 — лавово-взрывные 237, 238
 — лавовые 237
 — наземные 234
 — побочные (паразитические) 232
 — погребенные 235
 — подводные 234
 — потухшие 234
 — смешанные 237, 238
 — трещинные 232
 — уснувшие 234
 — центральные 232
 Выветривание 123
 — физическое 123
 — — морозное 123
 — химическое 123, 126
 — — гидратация 126, 127
 — — гидролиз 126, 127
 — — каолиновое 128
 — — латеритное 128
 — — окисление 126
 — — растворение 126, 127

Габбро 95
 Гайот 192, 194
 Газопылевые облака 17
 Галактика 12, 14
 — возраст 14
 — форма 12
 — — — неправильная 12, 13
 — — — спиральная 12, 14
 — — — эллиптическая 12, 13
 Галенит 87
 Галит 89
 Галоидные соединения 86, 89
 Галька 96
 Гальмиролиз 128
 Гейзер 243
 Гейзерит 244
 Гематит 88
 Геодезия 4
 Гелиоцентризм 35

Теонид 41
Геология историческая 4
— космическая 11
— морская 11, 190
— общая 4
— структурная 275
— техническая 321
Геологические карты 312
— процессы 119, 120
— разрезы 312
Геоманнитное поле 70
Геоманнитный полюс 70, 73
Геоморфология 4, 9
Геосинклиналь 292
Геосинклинальная область 292
— — этапы развития 293
Геосферы 43
— внешние 43
— — атмосфера 43, 51
— — биосфера 43
— — гидросфера 43
— — внутренние 43
— — земная кора 43
— — мантия 43
— — ядро 43
Геотектоника 4, 9, 251
Геотермическая ступень 75
Геотермический градиент 75
Геофизика 4
Геохимия 4, 9, 80
Геохронологическая шкала 103, 104
Геохронология 103
Геоцентризм 35
Гидрогеология 4, 9
Гидролактолит 165
Гидролиз 127
Гидросфера 58
Гидратация 127
Гипотезы геотектонические 303
— — изостазии 303
— — контракции 304
— — радиомиграционная 304
— — тектоники литосферных плит 304
— космогонические 31
Гипоцентр 259
Типс 90, 98
Главная последовательность 17
Глетчер 176
Глина каолиновая 97
— красная океаническая 209
— ленточная 184
Глинистые породы 97
Глубоководные котловины 192, 194
Глубоководный желоб 193
Гляциология 174
Гнейс 101, 290
Годограф 263
Голосеменные 113, 115
— гинкговые 115
— кордаиты 115

Голосеменные саговые 115
— хвойные 115
Горные отвалы 327
— страны 301
Горный массив 42
— пояс 42
— хребет 42
— хрусталь 82
Горст 285
Горы вулканические 302
— возрожденные, см. глыбовые 297
— высокие 302
— глыбовые 297, 302
— денудационные 302
— низкие 302
— складчатые 302
— средние 302
— тектонические 302
Грабен 285
Гравиметр 69
Гравий 96
Гравитационное поле 68
— — аномальное 69
— — нормальное 69
Гравитационные аномалии 69
— — отрицательные 69
— — положительные 69
Гранаты 91
Гранит 94, 290
Гранитизация 291
Гранитная оболочка 50, 81
Граница Вихерта—Гутенберга 46
Граптолиты 110
Графит 86
Грейзен 288
Грифоны 243
Гроссуляр 91
Грот 201
Грунтовый поток 158
Грядово-ячеистый рельеф 137
Грядообразные валы 137
Губки 108
Гумус 62, 130
Дайка 93
Движения тектонические 249
— — быстрые 249
— — древние 249
— — неотектонические 249
— — медленные 249
— — новейшие 249
— — периодические 249
— — постоянные 249
— — радиальные 249
— — волновые 249
— — глыбовые 249
— — колебательные 249, 251
— — тангенциальные 249, 250
— — вращательные 250
— — сдвиговые 250
— — складкообразовательные 250

Дебит 159
Делювий 124
Дендрит 84
Денудация 122
Детрит 62
Дефляция, см. ветровая эрозия 132
Деятельный слой 165
Диабаз 95
Диагенез 122, 222
Диаклазы 281
Диатомей 196
Диатомит 67, 99
Диатрема 233
Диаспировые структуры 294
Динамометаморфизм 287
Диопсид 91
Диорит 94, 95
Диплодок 113
Дифференциация кристаллизационная 230
— магматическая 230
— механическая 152
Докембрий 103, 115
Долина речная 140
— троговая 181
Доломит 90, 98
Друзы 84
Друмлина 184
Дунит 96
Дюны 135
Жерло 234
Железная слюдка 88
Жесткость 160
Жила 93, 282

Залив 43, 201
Зандры 184, 185
Звездная атмосфера 15
Звездный мир 14
Звездные скопления 14
— — шаровые 14
— — рассеянные 14
Звезды 14
— белые карлики 14, 17
— двойные 15
— красные гиганты 15
— нейтронные 16
— новые 15
— переменные 15
— пульсары 16
— сверхгиганты 14
— сверхновые 15
— черные дыры 16
Землетрясения 256
— вулканические 256, 257
— глубоководные 259
— денудационные 256, 267
— интенсивность 264, 265
— — шкала 265
— — нормальные 259

Землетрясения поверхностные 259
— промежуточные 259
— тектонические 257
Земля 23, 40
— возраст 51
— размеры 40
— свойства магнитные 70
— — радиактивные 76
— — физические 68, 69
— — химические 69
— стадии развития 43
— строение 43
— форма 40
— эволюция 50
Земная кора 46, 77
— — методы изучения 47
— — слои 77
— — состав 80, 83
— — строение 77
— — тип 77
Земноводные 112
Зеркало грунтовых вод 156
Золото 86
Зольность 220
Зона афотическая 196
— аэрации 157
— биологическая 195
— литоральная 205
— насыщения 157
— окисления 127
— почвенная 129
— растяжения 305
— рифтовая 298
— сейсмическая 256
— фотическая 196
Зыбь 65

Иглокожие 110
Известняк 67, 98
Излучение реликтовое 13, 36
Излучина, см. меандр 146
Изогона 73
Изоклина 73
Изольния 260
Изосейста 260
Ил 207
— глобигериновый 209
— диатомовый 209
— зеленый 207
— красный 207
— органический 207
— радиолярный 209
— сапропелевый 220
— синий 207
— черный 207
Иллювиальный горизонт 196
Иноцерамус 109
Интузун 228
— абиссальные 231
— гипабиссальные 231
Ионосфера 55

Ископаемая фауна 106
— флора 106
Исландский шпат 89
Исполиновый котел 149
Исток 140, 144
Источник 154
— термальный 244

Кайнозой 118
Кальдера 232
Кальцит 89
Камасит 34
Каменная россыпь 124
— соль 98
Каньон 147
Камы 184
Каолинизация 128
Каолинит 91, 128
Кар 181
Карат 86
Карбонаты 86, 89
Карр 167
Карст 167
— наземный 167
— подземный 167, 168
— суффозиозный 170
Карстовая воронка 167
— пещера 168
— полость 167, 168
Карты геологические 309
— геофизические 312
— гидрогеологические 311
— гравиметрические 69
— литологические 311
— обзорные 310
— палеогеографические 225
— полезных ископаемых 311
— сейсмические 271
— тектонические 311
— четвертичных отложений 312
Катострофизм 8
Квазар 16
Кварц 88, 94
Кварцит 100, 290
— железистый 100
Кислород 53
Кишечнополостные 109
Кларк 81
Кливаж 282
Климат 57
— аридный 58
— гумидный 58
— нивальный 58
Климатические пояса 58
Клиф 201
Кокколитофориды 196
Кольцевые структуры 309
Кома 29
Комета 17, 29
Компас горный 273

Коллювий 124
Конвекция 306
Конгломерат 97
Конкреция 84, 211, 300
Континентальный склон 43, 191
Конус выноса 142, 203
— вулкана 232
— осыпания 124
Кора выветривания 129
— каолиновая 129
— литеритная 129
— нонтронитовая 129
— окисленных руд 120
— земная 46, 47
— континентальная 78, 292
— океаническая 78, 292
— — аномальная 78
— — нормальная 78
— — переходная 79
Кораллы 109
Корона протяженная 15
— солнечная 18
Коррозия 132, 134
Корунд 88
Коса 203, 284
Космическая пыль 17
Космические лучи 16
Космология 13
Космогония 31
Космос 12
Котел выдувания 132
Коэффициент водоотдачи 156
— объемного расширения 123
— фильтрации 156
Кратер 233
Кристаллография 3
Кристалл 84
Кровля слоя 272
Купол 93, 279
Курчавые скалы 181

Лабрадор 92
Лабродорит 95
Лавы 241
— кислая 241
— основная 241
— средняя 241
Лагуна 204
Лакколит 93
Лапилли 240
Латерит 128
Ледник 174
— тип 177
— горный 178
— — — всячий 179
— — — возрожденный 179
— — — долинный 179
— — — звездообразный 179
— — — каровый 179
— — — переметный 179

Ледник тип покровный 177
— — промежуточный 180
— — — плоскогорный 180
— — — предгорный 180
Ледниковые отложения 182
Ледниковый поток 176
— шрам 181
— язык, см. ледниковый поток 176
Лёсс 135
Линейный размыв 140
Линза 96
Лиман 145, 201
Лимнология 211
Лимонит 88
Липарит 248
Литоральная зона 198, 205
Литосфера 46,
Ложе океана 43
Луна 23

Маар 232, 233, 239
Магма 75, 83, 228
— коровая 229
— мантийная 229
Магматизм 228
— интрузивный 228, 229
— эффузивный 228
Магматические тела, см. интрузии 228
Магматический очаг 229
— — вторичный 229
— — первичный 229
Магнетизм 73
Магнетит 87
Магнитная аномалия 78
— магнитная буря 71
Магнитное наклонение 73
— склонение 72
— — западное 72
— — восточное 73
Магнитный полюс 73
— экватор 73
Магнитометр 73
Магнитосфера 70
Магнитуда 263
Малахит 90
Мантя 43, 44, 45
— верхняя 46
— нижняя 46
— средняя 46
Марс 24
Мартит 88
Масса Земли 14
— Солнца 14
— землстая 85
Меандр 146
Мегантиклинорий 294
Межень 149
Межзвездная среда 16
Межпланетная среда 30
Межпланетный газ 17
Мезозой 118

Мезосфера 52, 55
Мел 67, 99
Мергель 99
Мерзлотоведение 164
Меркурий 21
Метагалактика 12, 36
Метаморфизм 287
— гидротермальный
— динамометаморфизм 287
— контактовый 288
— метасоматоз 288
— региональный 289
— термальный 287
— ультраметаморфизм 290
— — анатексис 291
— — гранитизация 291
— — полингинез 291
Метасоматоз 288, 290
Метеорит 29
— каменный 29
— железный 29
— железокремнистый 29
— сидерит, см. железокремнистый 29
— сидеролит, см. железокремнистый 29
— хондрит, см. каменный 29
Метеоритная пыль 28
Метеорология 51
Метод абсолютного летосчисления 102
— астрономический 35
— геодезический 253
— геологический 49, 253, 307
— геоморфологический 253
— геотермический 49
— геофизический 4, 49, 308
— — радиоволновое просвечивание 309
— — сейсмический 308
— — скважинная электроразведка 308
— геохимический 308
— глубинного сейсмического зондирования 47
— гравиметрический 48
— исторический 253
— космический 4, 35, 37, 308
— магнитометрический 48, 73
— метеоритный 35, 37
— палеомагнитный 73
— палеонтологический 102
— петрографический 101
— радиологический 102
— сверхглубокое бурение 49
— стратиграфический 101, 253
Механическая дифференциация 152
Миграция 82
Микроплиты 306
Минералогия 3, 9
Минеральные агрегаты 85
— — зернистые 85
— — игольчатые 85

Минеральные агрегаты чешуйчатые 85
— массы 85
— — земляные 85
— — кристаллические 85
— — плотные 85
— — порожковатые 85
— воды 160
— — бромные 161
— — железистые 161
— — иодистые 161
— — кислые 161
— — кремнистые 161
— — метановые 161
— — радоновые 161
— — сероводородные 161, 162
— — слабоминерализованные 161
— — углекислые 161
Минералы 83
— акцессорные 93
— аморфные 84
— второстепенные 93
— гидротермальные 83
— главные 93
— осадочные, см. экзогенные 83
— породообразующие 92
— экзогенные 83
— эндогенные 83
Мировой океан 41, 58
Млекопитающие 113
Млечный путь 14
Мобилизм 304
Молибдаты 86
Моллюски 109
— брюхоногие 111
— головоногие 109
— двустворчатые 109
— плеченогие 111
Морена 181
— движущаяся 182
— — внутренняя 182
— — донная 182
— — конечная 182
— — поверхностная 182
— — — боковая 182
— — — срединная 182
— неподвижная 182
— — конечная 182
— — основная 182
Моренные гряды 182
Морские ежи 110
— лилии 110
Морской прибой 65
Море 43
— внутреннее 43
— внешнее 43
Морфология минералов 84
Мофеты 101, 243
Мрамор 290
Мульда 279
Мур 242
Мусковит 91

Мутьевой поток 203
Мшанки 111
Мыс 201
Надвиг 284
Наледь 165
Нарушения тектонические 272, 274
— — дизъюнктивные 274, 281
— — — со смещением 283
— — пликативные 274, 275
— — разрывные, см. дизъюнктивные 274, 281
— — складчатые, см. пликативные 274, 275
Насекомые 109
Наступание ледника 177
Натечные формы 84
Нектон 198
Неотектоника 251
Нептун 27
Нептунизм 7
Неритовая зона 198
Несогласие 254
— стратиграфическое 254
— угловое 281
Нефть 67, 221
Нитраты 86
Ниша волноприбойная 200
— выдувания 134
Новосадка 217
Ноосфера 321
Нугация 40
Обвал 124
Облака перламутровые 55
— серебристые 55
Область питания грунтовых вод 156
— — ледника 176
— — стока грунтовых вод 156
— — ледника 176
Овраги 140
Озеро 211
— бессточное 213
— вулканическое 212
— искусственное 213
— карстовые 168, 213
— ледниковое 213
— обвальное 213
— плотинное, см. обвальное 213
— пойменное, см. старичное 212
— пресное 214
— прибрежно-морское 212
— проточное 213
— соленое 214
— солоноватое 214
— старичное 212
— сточное 213
— тектоническое 212
— золотое 213
Озы 184
Окаменелость 106

Океан 41
— Атлантический 41
— Индийский 41
— Северный Ледовитый 41
— Тихий 41
Океаническая платформа 299
— впадина 43
— плита 292
Океанические течения 62
— — глубинные 62, 63
— — поверхностные 62, 63
— — теплые 64
— — холодные 64
Океаническое ложе 43, 192
Океаносфера, см. Мировой океан 58
Окисление 127
Окислы 86, 87
Окремнение 223
Оледенение 185
— древнее 185
— — докембрийское 185
— — протерозойское 185
— — плейстоценовое 185
— — — валдайское 188
— — — вюрмское 188
— — — гюнцское 188
— — — днепровское 188
— — — калнинское 188
— — — миндельское 188
— — — окское 188
— — — ошанковское 188
— — — ринское 188
Оливин 90
Олигоклаз 92
Омоложение рек 247
Оолиты 84
Оползнь 170
Опылины 171
Опал 89, 99
Ортогнейс 101
Ортоклаз 92
Ортоцерас 111
Осадки континентального склона 207
— литоральные 205
— механические 96
— морские 205
— морских лагун 209
— озер 205
— океанического ложа 206
— органические 205, 206
— терригенные 205
— химические 96, 205
— шельфа 205
Осадочный чехол 295
Осевая поверхность 275
Остатки 201
Остров 201
Островные дуги 43, 193
Отдел 103
Отдельность 283
Отлив 65

Относительный возраст 101
Отступление ледника 177
Паводок 148
Палеогеографическая кривая 255
Палеозой 117
Палеоклиматология 58, 305
Палеонтология 4, 8
Папоротниковые 113
Парагнейсы 101
Параклазы 281
Пассаты 57
Пегматит 94
Первичнотрахеины 109
Периклинали 276
Перекристаллизация 223, 290
Перепад верхинный 140
Пересыпь 204
Перехват 151
Перидотит 29, 96
Период 106
Пески 137
— кучевые 137
— грядовые 137
Песок 97
Песчаник 97
Песчаные волны 152
— косы 152
— острова 152
— отмели 153
Петрография 4, 92
Пещеры карстовые 168
— золотые 134
Пирит 86
Пироксены 91, 94, 95
Пироп 91
Плавни 218
Плагиоклазы 94, 95
Плазма 15
Планеты 21
— земной группы 21
— — — Венера 17, 21
— — — Земля 17, 23
— — — Марс 17, 24
— — — Меркурий 17, 21
— гиганты 21, 25
— — Нептун 17, 27
— — Плутон 17, 27
— — Сатурн 17, 27
— — Уран 17, 27
— — Юпитер 17, 25
Планетология 11
Планктон 198
Пласт 96
Плато 303
Платформа 115, 117, 292, 295
— Австралийская 115
— Африканская 115
— Восточноантарктическая 115
— Восточноевропейская 115
— Индостанская 115

Платформа Североазиатская 115
— Североамериканская 115
— Южноазиатская 115
— Южноамериканская 115
Плауновые 113
Плейстоценовая область 260
Плита 296
— литосферная 305
Плоскогорье 42, 303
Плоскостной смыв 140
Плоскость скольжения 171
Плутон 7, 27
Плутонизм 7
Плывун 170
Пляж 153, 203, 204
Поверхность Конрада 77
— Мохоровичича 44, 46
Погода 57
Поднятие 294
Пойма 146, 153
Покров вулканический 94
Покрытосеменные 113, 115
Полевые шпаты 92, 94
Полингенез 291
Половодье 148
Полуостров 201
Полухордовые 110
Полярное сияние 71
Полюе 168
Понор 167
Пороги 149
Породообразующие минералы 93
— акцессорные 93
— второстепенные 93
— главные 93
Породы горные 83, 92
— — магматические 83, 93, 231
— — интрузивные 93
— — кислые 94
— — основные 94
— — средние 94
— — ультраосновные 94
— — эффузивные 93, 248
— — метаморфические 50, 93, 100
— — вулканогенно-осадочные 248
— — осадочные 93, 96
— — биохимические 96, 98
— — обломочные 96
— — — глинистые 97
— — — грубообломочные 96
— — — песчаные 97
— — — пылеватые 97
— — — химические 96, 98
— — — карбонатные 98
— — — кремнистые 98
— — — соли 98
— — — фосфориты 98
Поствулканические явления 231, 242
Поток лавы 93
Порфирит 95
Почвы ископаемые 132

Почвы лесные 130, 131
— — подзолистые 130
— — луговых степей 131
— — черноземы 131
— — пустынь 131
— — субтропические 131
— — красноземы 131
— — сухих степей 131
— — каштановые 131
— — тундр и лесотундр 130
Почвоведение 130
Пояс вулканический 245
— постоянных температур 74
— сейсмический 269
Пресмыкающиеся 112
Приборы маятниковые 69
Прибрежные течения 65
Прилив 65
Природный газ 67
Прирусовой вал 152
Прогиб краевой 294
— межгорный 294
Продуктус 110
Проловий 242
Прослойка 96
Простейшие 107
Простирание складки 272
Протерозой 103
Протуберанцы 19
Профиль равновесия 141
— предельный 149
— русла 141
Процессы гидротермальные 83, 231
— карстовые 167
— метаморфические 84
— метасоматоз 231
— пневматолитовые 83, 231
— почвообразовательные 129
— суффозионные 167
— экзогенные 50, 120, 122
— эндогенные 83, 120, 228
Псаммиты 97
Псевдоморфоза 223
Псефиты, см. грубообломочные, породы 96
Птеранодон 113
Птицы 113
— архиптерикс 113
Пустыня 136
— аккумулятивная 137
— глинистая 137, 139
— дефляционная 137
— каменная 137
— песчаная 137
— солончаковая 139
Пьезометрический уровень 158
Равнина 42
— аккумулятивная 303
— — абиссальная 203, 303
— — аллювиальная 303

Равнина аккумулятивная морская (прибрежная) 303
— — озерная 303
— — флювиогляциальная 303
— — золотая 303
— денудационная 303
— абразионная 303
— дефляционная 303
— ледниковая 303
Радиометрия 76
Радиационный пояс 72
Радиогалактика 12
Радиоларии 107, 108
Разлом глубинный 286
— трансформный 306
Ракообразные 109
Рапа 211
Расслаивание 290
Растворение 126
Растворы 126
— кислые 126
— щелочные 126
Растения 113
— высшие 113
— низшие 113
Реголит 23
Регрессия 251
Рекультивация 321
Рельеф аккумулятивный 203, 301
— антропогенный 327
— дефляционный 133, 134
— Мирового океана 191
Река 143
Речная система 143
Ригели 181
Риниофиты 113, 114
Рифы барьерные 206
— береговые 195, 206
— коралловые 197
Рифты 195
Роговая обманка 91, 94
Роговики 289
Россыпные месторождения 154
Россыпи 154
Рубин 88
Руководящие ископаемые 106, 107
Русло 145
Рыбы 111
Рытвина 140
Рыбь 63
Сальзы, см. грязевые вулканы 244
Самородные элементы 86
Самум 136
Сапропелит 221
Сапропель 220
Сапфир 88
Сатурн 27
Сброс 284
— ступенчатый 285
Светимость 14
Световой год 12

Свойства воды 61
— минералов 85
Сдвиг 285
Седиментация 122
Сейсмическая модель Земли 9, 46
Сейсмические районы 270
Сейсмический очаг 259
Сейсмограмма 262
Сейсмограф 262
Сейсмология 9, 47, 260
Сейши 214
Секретция 84
Сель 242
Серпентин 90
Серпентинизация 288
Сиенит 94, 95, 96
Сила Кориолиса 145
— тяжести 69
Силикаты 86, 90
Сильвин 89
Сильвинит 98
Синеклиза 280, 297
Синклиналь 292
Синклинорий 280, 292
Система 100, 117
— девонская 117
— каменноугольная 117
— кембрийская 117
— меловая 118
— неогеновая 118
— ордовикская 117
— палеогеновая 118
— пермская 117
— силурийская 117
— триасовая 118
— четвертичная 118
— юрская 118
Скарны 231, 288
Складка 275
— антиклинальная 275
— гребневидная 277
— диапирная 278, 279
— косая 276
— лежащая 276
— опрокинутая 276
— перевернутая 276
— прямая 276
— синклинальная 275
— сундучная 277
— флексура 277
Складки веерообразные 278
— изоклинальные 278
— линейные 278
— — виргации 278
— — дуги 278
— — прямые кулисообразные 278
Складчатость 295
Складчатый фундамент 296
Сланцы 100, 220, 290
— биотитовые 100
— глинистые 290

Сланцы горючие 220
— мусковитовые 100
— слюдяные 100
— тальковые 100
— хлоритовые 100
Слоность 96, 137, 152
— горизонтальная 152
— косая 137, 152
Слой 272
— деятельный 165
— земной коры базальтовый 77
— — — гранитный 77
— — — осадочный 77
Слюда 91, 94
Сместитель 283
Смещение красное 13, 36
Снеговая линия 175
Снежная лавина 176
Солнечная активность 19
— атмосфера 18
— постоянная 74
— система 17
Солнечные пятна 19
Солнечный ветер 19
— цикл 20
Солнце 17
Солонцы 131
Солончаки 131
Сольфатары 242
Сомма 232, 233
Сотовые формы рельефа 134
Спирифер 110
Спутники планет 17, 21
Среда восстановительная 223
— окислительная 223
Срединно-океанический хребет 43,
192, 195, 292, 298
Стадия развития Земли геологиче-
ская 50
— — — догеологическая 50
— — — реки 147
Сталагмит 85, 170
Сталактит 85, 170
Старица 146
Стегоцефал 112
Сток 148
— твердый 151
— химический 17
Стратиграфическая единица 103
— колонка 255, 313
— шкала 103
Стратиграфический перерыв 254
— разрез 255
Стратиграфия 4, 9
Стратовулкан 232
Стресс 287
Строительные грунты 327
Структура 92
— зернистая 93
— кристаллически-зернистая 96, 98
— обломочная 96

Структура пелитовая 96
— порфиновая 93
— реликтовая 100
— скрытокристаллическая 93
— стекловатая 93
Сульфаты 86
Сульфиды 86, 90
Суффозия 170
Суховей 132
Съемка геологическая 307

Тайфун 57
Такыр 139
Талласократон 299
Талик 165
Тальк 92
Текстура 92, 96
— гнейсовидная 100
— массивная 100
— слоистая 96
— сланцеватая 100, 287
Тектоносфера 46
Тенит 34
Тепло Земля 74
— внешнее 74
— внутреннее 74
Тепловой поток 75
Термосфера 52, 55
Терраса 146
— абразионная 200
— аккумулятивная 147, 203
— погребенная 147
— цокольная 147
— эрозионная 147, 151
Террикон 327
Тиллиты 183
Тип извержений 236
— земной коры 77
— — — континентальный 77, 78
— — — океанический 77, 78
— — — аномальный 79
— — — нормальный 78
— — — переходный 79
— сочленения 79
— — атлантический 79
— — тихоокеанский 79
Топаз 91
Топографический профиль 313
Торф 67, 220
Трансгрессия 251
Траппы 300
Трещиноватость 282
Трещины 282
Трилобиты 109
Тропауза 52
Тропосфера 52
Трубка взрыва, см. диатрема 233
Туманность внегалактическая 12
— планетарная 31
Турбидиты 207
Туф 248

Туф известковый 248
Туфобрекция 248
Туффит 248

Углекислота 220
Угол естественного откоса 124
— падения 273
Уголь 67
— антрацит 220
— бурый 220
— каменный 220
Ундуляция 273
Униморфизм 8
Уран 27
Урбанизация 323
Уровень грунтовых вод 156
Устье реки 140, 144
— дельта 144
— эстуарий 144
Ущелье 147

Фавозитес 109
Фаза извержений 236
— складчатости 295
Факелы 19
Фауна 106
Фация 224
— континентальная 224
— — водоемов 224
— — наземная 224
— — — коры выветривания 224
— — — ледниковая 224
— — — эоловая 225
— лагунная 224
— морская 224
— — весьма глубоководная 224
— — глубоководная 224
— — мелководная 224
— — прибрежная 224
— — умеренно глубоководная 224
Фестон 204
Фиксизм 304
Фирн 176
Флагонит 91
Флора 106
Флювиогляциальные отложения 183
Флюорит 89
Фораминиферы 108
Формы залегания 92, 93
Формация 225
Фосфаты 86, 90
Фосфорит 90
Фотосфера 15, 18
Фузулина 108
Фумарола 242

Халцедон 88, 99
Халькопирит 87
Химические соединения 83
— элементы 81
— — петрогенные 82
— — микроэлементы 82

Хордовые 111
Хромосфера 15, 18
Хромосферные вспышки 20

Цементация 223
Центриклиналь 275
Цератитес 111
Циклон 57
Цирк 181
Цунами 267

Черви 109
Членистоногие 109
Членистостебельные 113, 114

Шарнир 275
Шарьяж 285
Шельф 43, 191
Шток 93
Щит кристаллический 296

Эволюционное учение 8
Экзарация 180
Экзогенные процессы 50, 120, 122
— — выветривание 122, 123
— — диагенез 122
— — денудация 122
— — осадконакопление 122
Экзоконтактная зона 289
Экзосфера 52
Эллипсоид вращения 41
— — трехосный 41
— — Красовского 41

Элювий 128
Эндогенные процессы 120, 228
— — землетрясения 228
— — магматизм 228
— — метаморфизм 228
— — тектонические движения 228

Эндоконтактная зона 289
Эоловые отложения 135
Эон 103

— криптозой 103
— фанерозой 103
Эпиплатформа 297
Эпицентр 259
Эпоха 106
— складчатости 295
Эра 103
— архейская 103
— кайнозойская 103
— мезозойская 103
— палеозойская 103
— протерозойская 103
Эратема 103
Эрозия 140
— боковая 140
— ветровая 132
— глубинная 140

Ядро 43, 45
Яшма 113
Яшеры 113

Предисловие	3
Введение	3
Геологические науки и их задачи	3
Краткая история развития геологии	5

Раздел I

Земля в мировом пространстве

Глава I. Строение Вселенной	17
Глава II. Строение Солнечной системы	12
Глава III. Методы изучения космического пространства	35

Раздел II

Общие сведения о Земле

Глава IV. Форма и размеры Земли. Земная поверхность	40
Глава V. Строение Земли	43
Глава VI. Внешние оболочки Земли	51
Атмосфера	51
Гидросфера	58
Биосфера	65
Глава VII. Физические свойства Земли	68

Раздел III

Земная кора

Глава VIII. Строение земной коры	77
Глава IX. Вещественный состав земной коры	83
Минералы	83
Горные породы	92
Глава X. Краткие сведения из истории развития земной коры	101
Глава XI. Общие сведения о геологических процессах	119

Раздел IV

Экзогенные геологические процессы

Глава XII. Выветривание горных пород	123
Глава XIII. Геологическая деятельность ветра	132
Глава XIV. Геологическая деятельность текучих вод	140
Глава XV. Геологическая деятельность подземных вод	154
Глава XVI. Геологическая деятельность ледников	174
Глава XVII. Геологическая деятельность моря	190
Глава XVIII. Геологическая деятельность озер и болот	211
Глава XIX. Геологические результаты деятельности экзогенных процессов	221

Раздел V

Эндогенные геологические процессы

Глава XX. Магматизм	228
Глава XXI. Вулканизм	232
Глава XXII. Движения земной коры	249
Глава XXIII. Землетрясения	256
Глава XXIV. Тектонические нарушения	272
Глава XXV. Метаморфизм	287
Глава XXVI. Основные закономерности развития земной коры	291

Раздел VI

Геологическая деятельность человека и охрана окружающей среды

Глава XXVII. Геологические исследования и документация	307
Глава XXVIII. Геологическая служба в СССР и за рубежом	316
Глава XXIX. Геологическая и техногенная деятельность человека	321
Глава XXX. Охрана недр и окружающей среды	328
Предметный указатель	338

Александр Михайлович Горбачев

ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ

Редактор И. М. Шагирова. Младшие редакторы Л. К. Архипова, И. М. Павлова. Художественный редактор Т. А. Коленкова. Технический редактор Е. И. Герасимова. Корректор С. К. Завьялова

ИБ № 2312

Изд. № Е-391 Сдано в набор 27.05.81. Подписано в печать 09.10.81. Т-25951.
Формат 60×90^{1/16} Бум. тип. № 3 Гарнитура литературная Печать высокая.
Объем 22 усл. печ. л. 22,13 усл. кр.-огт. 24,98 уч.-изд. л. Тираж 20000 экз.
Зак. № 1173 Цена 90 коп.

Издательство «Высшая школа»,
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 113114.
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10