

Г.А.КЕЙЛЬМАН, В.Б.БОЛТЫРОВ

ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ

СРЕДНЕ-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ



**Г.А.КЕЙЛЬМАН,
В.Б.БОЛТЫРОВ**

ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебника для учащихся горных специальностей средних специальных учебных заведений.



МОСКВА „НЕДРА“ 1985

Кейльман Г. А., Болтыров В. Б. Основы геологии: Учебник для техникумов.— М.: Недра, 1985. 264 с., ил.

Изложены основы общей и динамической геологии, минералогии и петрографии, исторической и структурной геологии, учения о полезных ископаемых, инженерной геологии и гидрогеологии. Кратко рассмотрена методика геологической съемки, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, даны представления об опробовании и подсчете запасов полезных ископаемых. Рассмотрены вопросы охраны недр.

Предназначен для горных техникумов, может быть также использован как учебное пособие учащимися геологоразведочных техникумов.

Табл. 8, ил. 86, список лит.— 9 назв.

Рецензенты: *Я. С. Красильщиков*, канд. геол.-мин. наук (Московский горный институт, МГИ), *Н. Т. Шутенкова*, преподаватель (Криворожский горный техникум)

Предисловие

Настоящий учебник написан в соответствии с учебной программой курса «Основы геологии» для специальностей «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» и «Открытая разработка месторождений полезных ископаемых». В книге освещаются основные положения общей и динамической геологии, минералогии и петрографии, учения о полезных ископаемых, методики геологической съемки, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, инженерной геологии и гидрогеологии, необходимые будущим специалистам по горно-эксплуатационным работам.

Учебник состоит из шести частей.

В первой части приводятся общие сведения о Земле, рассматриваются положение планеты в мировом пространстве, ее происхождение, состав и строение Земли в целом и земной коры в частности. Большое внимание в этом разделе уделено анализу форм залегания горных пород, что особенно важно знать горному технику.

Во второй части рассматриваются элементарные вопросы внешней и внутренней геодинамики. При изложении материала авторы старались обратить внимание учащихся на взаимосвязь и взаимообусловленность экзогенных и эндогенных процессов, в результате которых формируются горные породы и месторождения полезных ископаемых.

Третья часть посвящена истории формирования земной коры. При написании ее авторы использовали новейшие данные геологических, океанографических и космических исследований, в доходчивой форме изложили основы классической геосинклинальной теории и концепции новой глобальной тектоники.

В четвертой части изложены вопросы учения о полезных ископаемых, приведена краткая характеристика основных генетических типов месторождений металлических, неметаллических и горючих полезных ископаемых, рассмотрены основы методики поисков и разведки месторождений различных видов минерального сырья, даны представления об опробовании и подсчете запасов полезных ископаемых.

В пятой части содержатся общие положения инженерной геологии и гидрогеологии, в шестой — вопросы охраны недр.

При написании учебника авторы использовали личный опыт чтения курсов «Общая геология» и «Структурная геология и геологическое картирование» в Свердловском горном институте им. В. В. Вахрушева и результаты собственных исследований в области тектоники, геологии метаморфических образований, минерогенеза, а также материалы различных публикаций. Основными из них явились учебники и учебные пособия Г. П. Горшкова и А. Ф. Якушевой, А. И. Кравцова и А. П. Бакалдиной, В. С. Мильничука и М. С. Арабаджи, А. Е. Михайлова, О. Е. Погребницкого и др., М. В. Сенденко, В. И. Смирнова и др.

Авторы благодарны рецензентам за ценные замечания и рекомендации, которые были учтены при подготовке рукописи к изданию.

Геология — наука о строении, происхождении и развитии Земли. Земля — весьма сложный объект для изучения; она состоит из ряда геосфер: атмосферы, гидросферы, литосферы (земной коры) и мантии; в центре Земли располагается двухслойное ядро. В приповерхностной части Земли выделяют: биосферу — область жизни, охватывающую гидросферу, атмосферу и частично литосферу; ноосферу — область, на которую влияет человеческий разум, сферу научного познания и техносферу — сферу практической деятельности человека, вооруженного техникой.

Все ли выделяемые в составе Земли геосферы являются объектом геологии? Очевидно, нет. Атмосферу изучают метеорология, климатология; гидросферу — гидрография, гидрогеология, океанография; биосферу — геоботаника и зоогеография. Из этого следует, что геология не охватывает всех сторон такого сложного объекта, как Земля, и является одной из наук о Земле.

Геология — сложная, многоотраслевая наука, состоящая из многих частных геологических наук. Последние различаются исследуемыми объектами (Земля в целом, литосфера, геологические формации, горные породы, минералы), процессами (тектонизм, магматизм, метаморфизм, литогенез, рудообразование и др.) и методами изучения (геологические, физические, химические и др.). В целом науки геологического цикла объединяются в несколько больших групп, каждая из которых включает ряд специальных дисциплин:

1) науки, изучающие вещественный состав Земли, — минералогия, кристаллография, петрография, литология;

2) науки о строении Земли — структурная геология, тектоника, региональная геология;

3) науки, изучающие историю Земли, — палеонтология, историческая геология, палеогеография, стратиграфия;

4) науки о геологических процессах, происходящих на поверхности Земли и в литосфере, — динамическая геология, вулканология, сейсмология, геотектоника, геология моря и др.;

5) науки прикладного характера об использовании недр Земли — учение о рудных и нерудных полезных ископаемых, геология нефти и газа, геология твердых горючих ископаемых, металлогения, экономика минерального сырья, геологоразведочное дело, шахтная и рудничная геология, инженерная геология, гидрогеология и др.

Таким образом, современная геология — это обширная область научных знаний о нашей планете — ее внутреннем строении; условиях формирования, строении и составе земной коры, слагающих ее минералах и горных породах; истории развития

жизни на Земле; закономерностях формирования и размещения месторождений полезных ископаемых.

В становление и развитие геологии как науки огромный вклад внесли русские и советские ученые: во многие вопросы теории и практики — М. В. Ломоносов, в минералогии и петрографию — В. М. Севергин, Н. И. Кокшаров, Е. С. Федоров, А. К. Болдырев, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, в области динамической геологии, палеонтологии и стратиграфии — А. В. Мушкетов, В. А. Обручев, А. П. Карпинский, А. А. Борисьяк, А. П. Павлов, Ф. Н. Чернышев; в учение о полезных ископаемых — И. М. Губкин, С. С. Смирнов, В. И. Смирнов, А. Е. Ферсман; в области геотектоники Н. С. Шатский, В. В. Белоусов, А. В. Пейве, В. Е. Хаин; в области гидрогеологии и инженерной геологии — Ф. П. Саваренский и многие другие.

Как одна из естественноисторических наук о Земле, геология тесно связана с геофизикой и геохимией — науками, изучающими Землю физическими и химическими методами, а также с почвоведением — наукой, изучающей поверхностный плодородный слой земной коры.

Геология имеет большое познавательное и практическое значение, она способствует прежде всего формированию у человека материалистического представления о природе и природных явлениях.

Велико значение геологии в хозяйственной деятельности человека. Развитие современной индустрии зависит от минерального сырья, добываемого из недр Земли. Экономическая самостоятельность и могущество любого государства во многом определяются состоянием и степенью освоения минерально-сырьевой базы. Поэтому в СССР с первых дней установления Советской власти партия и правительство уделяли и уделяют постоянное внимание расширению и укреплению минерально-сырьевой базы нашей страны, придавая огромное значение значению ее в социалистической экономике. Благодаря успехам советских геологов наше государство располагает в настоящее время самым разнообразным минеральным сырьем и может не только полностью удовлетворить потребности промышленности и сельского хозяйства за счет собственных ресурсов, но и экспортировать многие его виды.

Вопросы дальнейшего развития минерально-сырьевой базы СССР систематически рассматриваются на съездах КПСС в связи с разработкой пятилетних планов. Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года предусматривается обеспечить ускоренное развитие работ по геологическому изучению территории страны, увеличению разведанных запасов минерального сырья (в первую очередь топливно-энергетических), выявлению месторождений нефти и газа в главнейших перспективных районах страны и на континентальном шельфе морей, расширению сырьевых баз действующих горнодобывающих

предприятий, усилению поисков и разведки месторождений богатых и легкообогатимых руд черных и цветных металлов, бокситов, фосфоритов, угля и горючих сланцев, сырья для атомной энергетики, для производства минеральных удобрений, а также подземных вод.

В связи с постоянно возрастающим объемом добычи и потребления минерального сырья все большее значение в настоящее время приобретают вопросы его рациональной разработки и использования. На декабрьском (1983 г.) Пленуме Центрального Комитета КПСС было подчеркнуто, что это задача большой экономической и социальной значимости. Решение ее возможно лишь на основе научно обоснованного и технически грамотного ведения горно-эксплуатационных работ, требующего от специалистов, занимающихся разработкой месторождений полезных ископаемых, знаний основ геологии.

Часть 1. ЗЕМЛЯ И ЗЕМНАЯ КОРА

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ

1.1. ЗЕМЛЯ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Земля как космическое тело — одна из планет солнечной системы. В состав солнечной системы входят Солнце, девять планет с их спутниками и малые тела — астероиды, кометы, метеориты, а также космическая пыль и газы. Все эти тела, начиная от мельчайшей космической пыли и кончая большими планетами, связаны между собой взаимным притяжением и удерживаются на своих орбитах силой притяжения Солнца.

Размеры солнечной системы условно ограничены областью, которую очерчивает при движении самая далекая из известных планет — Плутон. Эта планета имеет почти круговую орбиту с диаметром, в сорок раз превышающим диаметр орбиты Земли.

Солнечная система характеризуется следующими основными свойствами:

1) все планеты солнечной системы и их спутники обращаются вокруг Солнца по эллиптическим, близким к круговым орбитам;

2) все планеты движутся вокруг Солнца в одной и той же плоскости, называемой плоскостью эклиптики;

3) Солнце и планеты (за исключением Урана и Венеры) вращаются в одном и том же направлении;

4) большая часть планетных спутников движется в одной плоскости с планетами;

5) близкие к Солнцу планеты имеют примерно ту же среднюю плотность, что и Земля, более удаленные, начиная с Юпитера, — меньшую плотность (табл. 1);

6) расстояние между орбитами планет приблизительно удваивается при переходе каждой из них к следующей, более удаленной от Солнца.

Все это говорит о том, что планеты и их спутники не просто располагаются случайным образом около Солнца, а образуют упорядоченную систему, подчиняясь некоторым общим, естественным законам.

Солнечная система не представляет исключительного явления во Вселенной, а служит лишь частью более крупной системы, называемой Галактикой Млечного пути.

Галактика Млечного Пути включает более 100 млрд. звезд. По форме она напоминает двояковыпуклую линзу. Поперечник Галактики равен примерно 80—100 тыс. световых лет*,

* Световой год — расстояние, которое свет проходит в течение одного года со скоростью 300 000 км/с.

Таблица 1

Основные характеристики Солнца и планет Солнечной системы

Космические тела	Масса*	Диаметр, км	Плотность, г/см ³	Число спутников	Расстояние от Солнца, а.е.**
Солнце	331 950,00	1 390 600	1,4	—	—
Меркурий	0,05	5 000	5,7	—	0,39
Венера	0,82	12 400	4,9	—	0,72
Земля	1,00	12 742	5,5	1	1,00
Марс	0,11	6 770	4,0	2	1,52
Юпитер	318,00	162 650	1,3	12	5,20
Сатурн	94,90	112 600	0,6	10	9,54
Уран	14,66	51 000	1,5	5	19,19
Нептун	17,16	50 000	2,1	2	30,07
Плутон	0,70	6 000	4,0	—	39,52

* За единицу принята масса Земли.

** 1 а.е. — 149 500 000 км (астрономическая единица, равная среднему удалению Земли от Солнца).

толщина — 10 тыс. световых лет. Галактика вращается, и Солнечная система, расположенная на расстоянии 30 тыс. световых лет от ядра Галактики, совершает с ней полный оборот за 185—200 млн. лет.

Кроме Галактики Млечного Пути существует множество других галактик, и теперь уже вырисовываются грандиозные контуры метagalaktики, в состав которой наша Галактика входит как малая частица. Ближайшая к нашей звездной системе галактика Магеллановы Облака отстоит от нее на 200 тыс. световых лет. Другая близкая галактика — туманность в созвездии Андромеды, находится на расстоянии около 2 млн. световых лет. Известны галактики, удаленные от нашей на расстояние более 2 млрд. световых лет.

Представление о строении Вселенной расширяется по мере совершенствования технических средств астрономии, особенно в связи с достижениями в космических исследованиях, и нет никаких оснований полагать, что где-либо могут быть установлены ее границы. Вселенная бесконечна во времени и пространстве.

По поводу возникновения планетных систем существует много гипотез. Наиболее научно обоснованной из ранних космогонических* гипотез является система предположений, впервые высказанных немецким философом И. Кантом (1755 г.), и спустя несколько десятилетий независимо предложенных французским математиком П. Лапласом (1797 г.).

Точки зрения И. Канта и П. Лапласа в ряде вопросов существенно отличались. И. Кант исходил из эволюционного разви-

* Космогония — наука о происхождении и развитии небесных тел.

тия холодной пылевой туманности, в ходе которого сначала возникло центральное массивное тело — Солнце, а потом уже планеты. П. Лаплас же считал первоначальную туманность газовой и очень горячей, находящейся в состоянии быстрого вращения. В силу больших центробежных сил, возникающих при быстром вращении, от туманности отделялись кольца. В дальнейшем вещество этих колец конденсировалось, образуя планеты. Согласно гипотезе П. Лапласа, планеты образовались раньше Солнца. Несмотря на такое различие, общим в их гипотезах является представление о возникновении солнечной системы в результате закономерной эволюции газовой-пылевой туманности. Поэтому объединенную концепцию и называют гипотезой Канта—Лапласа.

Из числа современных космогонических гипотез о происхождении планет наибольшее значение и популярность приобрели гипотезы О. Ю. Шмидта и В. Г. Фесенкова.

Согласно гипотезе академика О. Ю. Шмидта, Земля и другие планеты солнечной системы образовались из облака межзвездной материи, захваченной Солнцем при его движении в мировом пространстве. В процессе движения мелкие частицы околосолнечного облака постепенно сосредоточились в экваториальной части, и облако превратилось в плоский и быстро вращающийся диск. В уплотненном диске начали образовываться многочисленные сгущения, причем взаимное притяжение частиц увеличивалось. Двигаясь вокруг Солнца, сгущения вычерпывали окружающее их рассеянное вещество диска. В итоге в околосолнечном пространстве образовалась серия тел различных размеров и масс, которые непрерывно росли за счет присоединяющихся к ним более мелких частиц. Это были «зародыши» будущих планет.

Земля и все другие планеты первоначально были холодными телами. Разогрев планет произошел позднее в результате освобождения энергии радиоактивного распада и гравитационной энергии. На разогретой Земле появились вулканы, стали происходить землетрясения, движения земной коры, появились атмосфера и гидросфера.

Одна из главных особенностей гипотезы О. Ю. Шмидта заключается в том, что проблема происхождения планет рассматривается вне связи с процессом образования Солнца.

По гипотезе академика В. Г. Фесенкова, Солнце и планеты образовались почти одновременно из одной и той же исходной среды при уплотнении гигантской газовой-пылевой туманности, находящейся в неустойчивом состоянии. При этом сформировалось звездообразное сгущение — будущее Солнце, окруженное исходной газовой-пылевой средой и вытянутое вместе с окружающим его облаком в плоскости экватора.

Далее, в условиях очень быстрого вращения, свойственного первичному Солнцу, значительная часть газовой-пылевой материи не смогла присоединиться к центральному сгущению и все

больше и больше удалялась от центра туманности по плоскости экватора. Постепенное уплотнение газово-пылевой материи вне центрального сгущения обусловило формирование периферических сгущений, превратившихся затем в современные планеты.

Познание Вселенной, изучение космического пространства осуществляется комплексом методов, среди которых все большее значение приобретают искусственные спутники, космические станции и пилотируемые корабли. Первый в мире искусственный спутник Земли был запущен в нашей стране 4 октября 1957 года. С этого времени началось непосредственное изучение космического пространства. С помощью последующих спутников, космических станций и кораблей, оснащенных специальными приборами, на Землю постоянно передается ценная информация из космоса.

Достижения космонавтики в изучении планет Солнечной системы (Луны, Марса, Венеры, Юпитера) легли в основу новой науки — планетологии и открыли новые перспективы в изучении самой Земли. Так, широкое внедрение космических методов исследований в практику геологосъемочных и поисковых работ ознаменовало новый этап в познании геологического строения и закономерностей размещения полезных ископаемых СССР. В настоящее время составлена космогеологическая карта линейных и кольцевых структур СССР в масштабе 1 : 5 000 000, составляется обзорная космофотогеологическая карта СССР в масштабе 1 : 2 500 000 и др.

1.2. ФОРМА И РАЗМЕРЫ ЗЕМЛИ

До второй половины XVII в. фигуру Земли считали правильным шаром, однако после появления гипотезы о первоначально жидком состоянии Земли и открытия английским ученым Исааком Ньютоном (1643—1727 гг.) закона всемирного тяготения мнение о фигуре Земли несколько изменилось. Стало очевидным, что если Земля некогда была в состоянии жидкой или пластической массы, то в силу вращения она неминуемо должна была сжаться у полюсов и растянуться у экватора, т. е. приобрести форму эллипсоида вращения.

В действительности форма Земли еще сложнее и не соответствует ни одной правильной геометрической фигуре. За фигуру Земли принято тело, ограниченное поверхностью, совпадающей с уровнем воды в океанах в состоянии полного покоя при условии воображаемого отсутствия материков. Такая фигура называется геоидом.

Экваториальный радиус (большая полуось) Земли равен 6 378 245 м; полярный радиус (малая полуось) — 6 356 863 м. Разность полуосей составляет 21 382 м. Отношение разности большой и малой полуосей к большой полуоси, именуемое сжатием Земли, составляет $1/298,3$.

Площадь земной поверхности равна 510 млн. км², из них на океаны приходится 361 млн. км² (70,8 %), на сушу — 149 млн. км² (29,2 %). Объем Земли составляет $1 \cdot 10^{12}$ км³.

1.3. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕМЛИ

Сила тяжести и плотность. Согласно закону всемирного тяготения, все тела Вселенной взаимно притягиваются с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

Сила, с которой тела притягиваются к Земле, называется силой тяжести. В любой точке сила тяжести обусловлена прежде всего общей массой Земли. Так как Земля не идеальный шар, а имеет форму геоида, точки которого находятся на разных расстояниях от центра Земли, сила тяжести в каждом пункте зависит от высоты точки наблюдения и от ее географического положения. Как указывалось выше, Земля немного сжата у полюсов, и точки, находящиеся вблизи полюсов, расположены ближе к центру Земли. Значит, сила тяжести на полюсах несколько больше, чем на экваторе и на других широтах. По этой же причине на вершине высокой горы сила тяжести меньше, чем у ее подножия.

Поскольку Земля вращается, в каждой точке ее действует центробежная сила инерции, направленная по касательной к поверхности Земли в данной точке. Величина центробежной силы прямо пропорциональна угловой скорости и расстоянию от оси вращения. По этой причине центробежная сила имеет максимальное значение на экваторе и равна нулю на полюсах. Сила тяжести на вращающейся Земле в итоге будет равна равнодействующей силы тяжести и центробежной силы. Она оказывается меньше силы притяжения Земли и направлена немного в сторону от центра Земли.

Таким образом, величина силы тяжести определяется двумя факторами: силой притяжения, меняющейся с удаленностью от центра Земли, и центробежной силой, зависящей от широты местности.

На величину силы тяжести влияет еще и неоднородность вещественного состава земной коры. Земная кора сложена различными породами — рыхлыми, цементированными, массивными, обладающими различной плотностью. Так, если плотность воды равна 1,0, то плотность глины составляет 1,0—1,5, гранита 2,4—3,0, железистых кварцитов 3,2—4,3, магнетита 5,0—5,2 г/см³. Очевидно, если на небольшой глубине среди менее плотных пород будет скопление железных руд, то на поверхности Земли над этим участком установится высокое значение силы тяжести, так как общее притяжение Земли в этом направлении будет несколько больше, чем над менее плотными породами. Это обстоятельство обуславливает возможность обнаружения рудных залежей, не выходящих на земную поверхность. Для

решения такой задачи необходимо изучить характер распределения силы тяжести, т. е. провести гравиметрическую *

Основным физическим параметром при расшифровке гравитационных данных является плотность горных пород, т. е. их масса в единице объема.

На основании закона всемирного тяготения И. Ньютоном была определена масса Земли, равная $6 \cdot 10^{24}$ кг. Он же, зная диаметр Земли, рассчитал среднее значение ее плотности, равное $5,52$ г/см³. Из приведенных выше примеров только магнетит обладает такой высокой плотностью; все остальные минералы и породы имеют значительно меньшую плотность. Если учесть, что магнетита в земной коре совсем немного, а значительно большей распространенностью пользуются менее плотные породы — пески, глины, известняки, граниты, гнейсы и т. д., то невольно напрашивается вывод, что в недрах Земли должны быть сосредоточены массы более высокой плотности.

Магнитные свойства Земли. Вокруг Земли существует магнитное поле. В любой точке Земли магнитная стрелка устанавливается в определенном положении, близком к меридиональному, но не совпадающему с географическим меридианом. Угол отклонения магнитной стрелки, или магнитного меридиана, от географического меридиана в данном пункте называется магнитным склонением. Склонение может быть восточным, если стрелка отклоняется к востоку от географического меридиана, и западным, если направлена на запад. Линии, соединяющие точки с одинаковыми значениями склонений, называются изогонами.

Магнитным наклоном называется угол наклона магнитной стрелки к горизонту. В северном полушарии вниз опущен северный конец магнитной стрелки, в южном — южный конец. Линии, соединяющие точки одинакового наклона, называются изоклинами. Изоклина, на которой наклонение равно нулю, называется магнитным экватором. На магнитных полюсах наклонение равно 90° .

Кроме наклона и склонения, магнитное поле Земли характеризуется напряженностью магнитного поля, также различной в разных участках и подверженной изменениям. Напряженность магнитного поля определяется числом качаний стрелки, измеряющей наклона. Линии, соединяющие точки равных значений напряженности, называются изодиннами. Напряженность магнитного поля увеличивается от магнитного экватора к магнитным полюсам. Но в земной коре находятся источники, нарушающие плавность изолиний напряженности и вызывающие местные увеличения и уменьшения напряженности

* Гравиметрия (от латинского *gravis* — тяжелый и греческого *metréo* — измеряю) — наука, изучающая распределение силы тяжести в различных точках земной поверхности.

магнитного поля. Такие отклонения параметров магнитного поля называются магнитными аномалиями.

Чаще всего магнитные аномалии связаны с неглубоко залегающими скоплениями магнитного железняка и некоторых других магнитных пород. Крупнейшая в мире магнитная аномалия известна в Курской области и вызвана скоплениями на глубине 100—150 м магнетитовых кварцитов. На Курской аномалии известно несколько магнитных полюсов — участков, где магнитное склонение составляет 90° .

Наличие магнитных аномалий можно обнаружить и с помощью простого компаса. Так было открыто крупнейшее Соколовско-Сарбайское месторождение магнетитовых руд. Открыл его летчик гражданской авиации М. Сургутанов. При полете над древним урочищем Сарбай в Кустанайской области Казахской ССР он обратил внимание на странное поведение стрелки компаса, которая на этом маршруте всегда резко меняла направление. Позднее геофизики по заявке М. Сургутанова обнаружили крупные магнитные аномалии, при проверке которых выявили богатейшие скопления магнетитовых руд.

Магнитное поле Земли не только влияет на положение магнитной стрелки компаса, но и на ориентировку в горных породах некоторых так называемых ферромагнитных минералов (например, магнетит, титаномagnetит, гематит, пирротин). Это влияние может проявиться тогда, когда указанные минералы кристаллизуются в жидком магматическом расплаве или выпадают в виде механических частиц из воды. После того как расплав полностью раскристаллизуется и из него образуется магматическая горная порода, а осадок уплотнится с образованием осадочной породы, ориентировка ферромагнитных минералов сохраняется. Определив ориентировку этих минералов, можно восстановить то направление магнитного поля, которое существовало во время образования вмещающих пород. Зная возраст намагниченных пород, удается восстановить положение магнитных меридиана и полюсов Земли того времени.

Упругие свойства. Вследствие упругости все твердые тела оказывают сопротивление сжатию или растяжению, а также усилиям, направленным на изменение их формы, например, путем закручивания. Окажем давление на горную породу. Она несколько деформируется. Частицы породы при этом будут сжаты, уплотнены. После того как приложенная сила будет устранена, частицы породы возвратятся в первоначальное состояние. Их взаимное расположение полностью восстановится. Такая деформация называется упругой, а сами породы упругими.

Если в массиве горных пород происходит взрыв, то возникают упругие колебания, распространяющиеся подобно волнам на воде во всех направлениях. Они переходят последовательно от одной частицы горных пород к другой все дальше и дальше

от источника сотрясения. Такие колебания называются упругими, или сейсмическими*, волнами.

Различают два основных типа упругих волн — продольные (P) и поперечные (S). В продольной волне движение частиц горных пород происходит по направлению ее распространения, т. е. вперед и назад подобно толчкам паровоза, которые передаются от одного вагона к другому. Продольные волны иначе называют волнами сжатия и растяжения, они вызывают периодическое изменение объема той среды, через которую проходят. Продольные волны могут распространяться в твердых, жидких и газообразных средах.

Поперечные волны вызываются периодическими сдвигами или кручением вещества в противоположные стороны, т. е. вызывают изменение формы тела без изменения объема. Направление колебаний частиц в поперечных волнах перпендикулярно направлению распространения волны. Поперечные волны могут распространяться только в твердых телах, где частицы достаточно жестко связаны между собой. Скорость распространения продольных волн значительно выше скорости поперечных волн. Сама же скорость упругих волн зависит от особенностей состава и условий залегания горных пород. Установлено, что в плотных породах скорость распространения упругих волн выше, чем в пористых и рыхлых. Так, в песках скорость распространения продольных волн равна 0,3—1,6 км/с, а в известняке 2,8—6,4 км/с. Так как плотность Земли в целом увеличивается с глубиной, то и скорость распространения упругих волн с глубиной увеличивается (рис. 1). Так, на глубине 0—30 км она составляет 5,5—7,8 км/с, а на глубине 30—950 км — 7,8—11,4 км/с, еще глубже (950—2900 км) скорость достигает максимума — 11,4—13,6 км/с. На глубине 2900 км находится ядро Земли, в котором скорость распространения продольных волн снижается до 8,1—11,3 км/с, а поперечные волны вообще не распространяются.

По характеру и скорости прохождения упругих волн от места их появления (например, землетрясения или искусственные взрывы) мы можем изучать особенности геологического строения Земли, предсказывать землетрясения, вести поиски и разведку месторождений нефти и газа, рудных месторождений, решать различные инженерно-геологические задачи.

Теплота Земли. Внутреннее тепло Земли играет важнейшую роль в геологических процессах. Проявление его на поверхности определяется рядом факторов и прежде всего теплопроводностью горных пород.

Теплопроводность — способность вещества передавать тепловую энергию. Чем выше теплопроводность горной породы,

* Сейсмология (от греческого *seismós* — трясение) — наука, изучающая землетрясения и внутреннее строение Земли на основании наблюдений над распространением упругих волн.

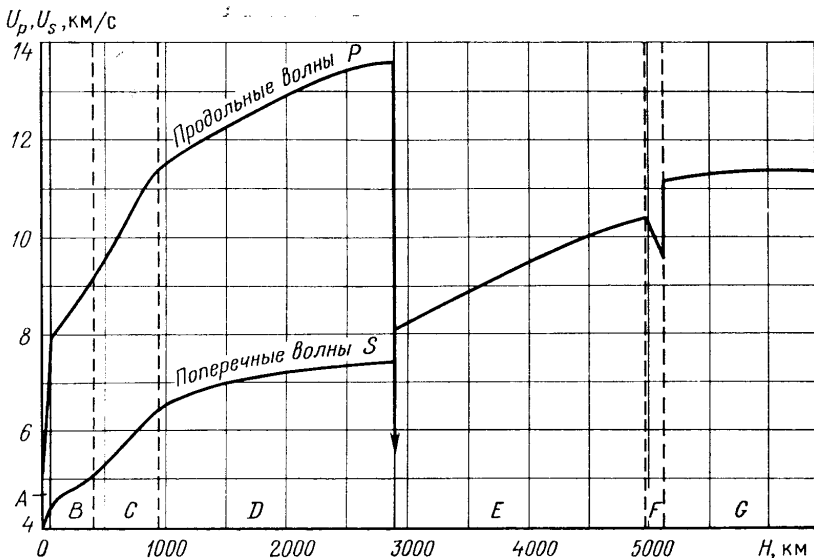


Рис. 1. График скоростей распространения сейсмических волн в Земле. Буквенные обозначения соответствуют слоям Земли, по К. Буллену

тем за меньшее время через нее будет передано большое количество тепла. Теплопроводность характеризуется коэффициентом теплопроводности, который измеряется количеством тепла, проходящего через тело, имеющее форму куба с ребром 1 см в течение 1 с, если на противоположных гранях поддерживается разность температур в 1°C .

В естественных условиях теплопроводность может колебаться в очень широких пределах — от 418,7 до 8,40 Вт/(м·К). Теплопроводность пород зависит от минерального состава, размера зерен, их ориентировки, пористости и влажности пород, температуры и давления и т. д. Теплопроводность океанических осадков равна 0,8 Вт/(м·К), песков 2,5 Вт/(м·К), метаморфических пород 4,2 Вт/(м·К). Для того чтобы охарактеризовать термальный режим земных недр, применяется такой показатель, как геотермический градиент — величина изменения температуры на единицу глубины (100 м или 1 км). Средний геотермический градиент равен $30^\circ\text{C}/\text{км}$. На глубине 10 км температура среды должна составлять 300°C , на 100 км — 3000°C и т. д. Однако это справедливо лишь для поверхностных частей земной коры. Если бы такой градиент сохранился до центра Земли, то во внутренних областях ее температура была бы столь высокой ($200\,000^\circ\text{C}$), что наша планета попросту взорвалась бы. Сейчас нет сомнения, что с глубиной температура повышается все медленнее и медленнее. В центре Земли она, вероятно, не превышает 4000°C .

Но и вблизи дневной поверхности геотермический градиент не постоянен и колеблется от 5 до 180—200 °С/км. Наиболее низок он в областях, закончивших активную жизнь в ранние геологические эпохи. Так, на Украинском кристалличесом щите геотермический градиент равен 8,3 °С/км, в Закарпатской впадине — 35,7 °С/км, а в районах современных действующих вулканов он достигает 150—200 °С/км.

Иногда для характеристики тепловых свойств Земли пользуются таким понятием, как геотермическая ступень. Геотермическая ступень — это число метров, на которые надо погрузиться в глубь Земли, чтобы температура поднялась на 1 °С. Очевидно, в областях с высоким геотермическим градиентом геотермическая ступень будет незначительной (5—10 м/°С) и, наоборот, в областях с низким геотермическим градиентом геотермическая ступень будет максимальной (100—120 м/°С).

Произведение геотермического градиента на теплопроводность среды называется тепловым потоком. Среднее мировое значение теплового потока равно $4,9 \cdot 10^{-6}$ Вт/см². Тепловой поток через поверхность Земли по отдаче энергии в единицу времени в 10—100 раз превосходит среднюю энергию, которая освобождается при землетрясениях и вулканической деятельности.

1.4. СТРОЕНИЕ И СОСТАВ ЗЕМЛИ

Непосредственно с помощью геологических методов (наблюдения в обнажениях, горных выработках и буровых скважинах) можно изучать лишь самые поверхностные слои земной коры. Поэтому недра Земли, ее внутреннее строение исследуются косвенными методами, основанными на изучении гравитационного поля Земли, распространения в ней сейсмических волн и других физических свойств.

Сейсмические волны дают основную информацию о строении и физическом состоянии земных недр. Югославский геофизик А. Мохоровичич в 1909 г. впервые обнаружил существование на глубине около 54 км резкой границы, где скорость сейсмических волн увеличивалась скачкообразно. Эта граница, получившая название границы Мохоровичича, или сокращенно — границы М (Мохо), отделяет самый верхний поверхностный слой Земли — земную кору — от лежащей глубже оболочки, или мантии Земли.

Впоследствии ниже границы Мохо были установлены другие сейсмические границы, где скорости упругих волн меняются скачкообразно или же меняется их производная, т. е. скорость нарастания этих скоростей с глубиной (см. рис. 1). Соответственно были выделены сейсмические разделы первого порядка (граница Мохо, границы между нижней мантией и ядром, между внешним и внутренним ядром) и второго порядка (граница между верхней и нижней мантией). Это дало возможность ав-

стралийскому геофизику К. Буллену разделить недра Земли на семь слоев — *A, B, C, D, E, F, G*.

A — земная кора, располагается между поверхностью Земли и границей Мохо. В пределах материков мощность слоя *A* колеблется в интервале 30—70 км, а в океанах 5—10 км. В свою очередь, в составе земной коры по различию в скоростях распространения сейсмических волн и вещественному составу выделяются три слоя: осадочный ($Vp=2,0-5,0$ км/с), сложенный относительно неплотными породами, гранитный ($Vp=5,5-6,0$ км/с), сложенный гранитами, гнейсами и другими метаморфическими породами; наконец, базальтовый слой ($Vp=6,5-7,8$ км/с), образованный железо-магнезиальными магматическими и метаморфическими породами с повышенной плотностью.

B — верхняя мантия, на глубинах 30—400 км подстилает земную кору. Сложена главным образом ультраосновными породами типа дунита, перидотита.

В пределах верхней мантии в интервале глубин 70—150 км отмечается слой размягчения, или астеносфера. С астеносферой связано положение фокусов многих землетрясений, свидетельствующих о ее активной роли в развитии геологических процессов. Земная кора вместе с частью верхней мантии до слоя астеносферы образует единый жесткий слой, который называется литосферой.

C — промежуточный слой, или переходная зона, размещается на глубинах 400—950 км. Состав его тот же, что и верхней мантии, но здесь в породах увеличивается содержание минералов с повышенной плотностью.

D — нижняя мантия, находится на глубинах 950—2900 км. Высокая плотность вещества в этом слое, очевидно, связана с сильным сжатием и появлением при относительно высоких температурах плотных модификаций кремнезема, окислов железа и магния.

E — внешнее ядро на глубинах 2900—4980 км, состоит предположительно из сжатого жидкого железа с примесью кремния и никеля.

F — промежуточный слой на глубинах 4980—5120 км, выделяется по физическим свойствам.

G — внутреннее ядро Земли, по-видимому, имеет состав внешнего ядра, но в результате сверхвысокого давления находится в твердом состоянии.

1.5. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ И ЗЕМНОЙ КОРЫ

Для определения химического состава Земли мы располагаем непосредственными данными химических анализов, относящимися только к составу поверхностных частей земной коры (15—20 км). Суждения о химическом составе более глубоких частей Земли опираются на косвенные данные, получаемые

Т а б л и ц а 2
Рассчитанный химический состав
Земли, по Б. Мейсону

Элемент	Масса, %	Элемент	Масса, %
Fe	34,63	Na	0,57
O	29,53	Co	0,26
Si	15,20	Cr	0,22
Mg	12,70	Mn	0,13
Ni	2,39	P	0,10
S	1,93	K	0,07
Ca	1,13	Ti	0,05
Al	1,09		

Т а б л и ц а 3
Химический состав земной коры,
по А. П. Виноградову

Элемент	Масса, %	Элемент	Масса, %
O	47,0	Ca	2,96
Si	29,5	Na	2,50
Al	8,05	K	2,50
Fe	4,65	Mg	1,87

с помощью геофизических методов и подкрепляемые изучением вещественного состава метеоритов.

Исходя из предположения, что планеты земной группы и большинство метеоритов этой части Солнечной системы имеют в общем один и тот же состав, допускают, что некоторые метеориты могут соответствовать веществу внутренних частей Земли.

Метеориты в основном состоят из железо-никелевого сплава, силикатов (оливина, пироксена) и их смеси.

По составу различают следующие типы метеоритов:

1) сидериты, или железные метеориты (около 98 % мегалла);

2) сидеролиты, или железо-каменные метеориты (в среднем 50 % металла и 50 % силикатов);

3) аэролиты, или каменные метеориты, состоящие в основном из силикатов. На долю аэролитов приходится более 90—92 % всех метеоритов.

Аэролиты по своим структурным признакам делятся на две группы — хондриты (85 %) и ахондриты (7 %). Хондриты содержат маленькие круглые образования (около 1 мм в диаметре), состоящие из оливина или пироксена и названные хондрами.

Валовой химический состав Земли, очевидно, во многом определяется составом и относительными количествами вещества мантии и ядра. Масса ядра составляет 32,4 % массы Земли, а масса мантии и коры — 67,6 %. По Б. Мейсону, ядро состоит из железо-никелевого сплава, имеющего состав металлической фазы хондритов, плюс 5,3 % троилита, а мантия и кора имеют состав силикатной фазы хондритов (табл. 2).

Эти результаты показывают, что около 90 % массы Земли составляют четыре элемента Fe, O, Si и Mg. В количествах, превышающих 1 %, находятся только Ni, S, Ca и Al. Семь элементов — Na, K, Cr, Co, P, Mn, Ti присутствуют в количествах 0,1—0,6 %. Таким образом, Земля практически полностью построена из 15 элементов, а доля остальных элементов составляет менее 0,1 %.

Характерной особенностью земной коры является существенное преобладание в ее составе легких элементов — кислорода, кремния, алюминия (табл. 3), что обуславливает ее относительно низкую плотность.

Из табл. 3 видно, что на долю восьми элементов приходится 99,03 % массы земной коры. В количествах, соответствующих десятым и сотым долям процента, содержатся Н (0,15 %), Ti (0,45 %), С (0,02 %), Cl (0,02 %). На все остальные элементы, содержащиеся в земной коре в тысячных и миллионных долях, приходится всего 0,33 %.

Глава 2. СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Земная кора представляет собой совокупность геологических тел, образованных различными горными породами. Горные породы в свою очередь состоят из минералов, которые можно рассматривать в качестве элементарных однородных частиц, заполняющих геологическое пространство.

2.1. МИНЕРАЛЫ

Минералами называются природные химические соединения или простые вещества, однородные по составу, внутреннему строению, физическим свойствам, образующиеся в результате естественных физико-химических процессов в земной коре или на ее поверхности.

Вещество земной коры находится в трех агрегатных состояниях — твердом, жидком и газообразном. Большинство минералов — твердые вещества. В жидком и газообразном состояниях находятся вода, ртуть и природные газы.

Твердое вещество в структурном отношении может быть упорядоченным и неупорядоченным. Под упорядоченностью понимается закономерно повторяемое расположение в пространстве молекул, атомов, ионов, образующих данное вещество, а под неупорядоченностью — отсутствие такой закономерности. Вещества с упорядоченным строением называются кристаллическими, вещества с неупорядоченным строением — аморфными.

Большинство минералов представляют собой кристаллические вещества и обладают характерной способностью образовывать многогранники, называемые кристаллами.

2.1.1. Элементы кристаллографии и кристаллохимии

Форма кристаллов зависит от закономерного расположения в пространстве элементарных частиц (молекул, атомов или ионов), образующих кристаллическую решетку.

Пространственную кристаллическую решетку можно представить как систему элементарных частиц, расположенных в вершинах равных, параллельно ориентированных и смежных по целым граням параллелепипедов, без промежутков заполняющих пространство.

Параллелепипеды, совокупность которых образует пространственную решетку кристаллов, называются ее элементарными ячейками.

Представление о правильной пространственной решетке кристалла лежит в основе современной кристаллографии — науки о кристаллах и кристаллическом веществе. Возникло оно еще в середине XIX в. Общую теорию пространственной решетки кристаллов разработал в 1880 г. выдающийся русский кристаллограф Е. С. Федоров. Он математически доказал, что в кристаллах возможно существование 230 различных типов пространственных решеток (пространственных групп).

Расположение элементарных частиц в кристаллах в виде пространственной решетки обуславливает ряд особых свойств кристаллических веществ. Важнейшими из них являются: однородность, анизотропность, способность к росту в виде правильных многогранников или способность самоограняться (полиморфизм).

Однородность означает, что свойства кристалла одинаковы во всех его точках.

Анизотропность (разносвойственность веществ по непараллельным направлениям) выражается в том, что все физические свойства одинаковы в параллельных направлениях и различны в направлениях непараллельных. Характерным примером анизотропности может служить минерал дистен (кианит), удлиненные кристаллы которого имеют резко различную твердость по разным направлениям: они легко царапаются ножом вдоль длинной оси кристалла и не царапаются в поперечном направлении.

Способность самоограняться — одно из основных свойств кристаллических веществ, заключающееся в том, что при благоприятных условиях роста они образуют правильные многогранники, гранями которых являются плоские сетки пространственной решетки.

В кристалле различают следующие элементы: грани — плоскости, ограничивающие кристаллы, ребра — линии пересечения граней, вершины — точки пересечения ребер, граничные углы — углы между гранями кристалла.

У различных кристаллов одного и того же вещества вне зависимости от формы отдельных граней величина двугранных углов между соответственными гранями при данных условиях постоянна. Этот закон постоянства граничных углов — один из важнейших законов кристаллографии. Поскольку грани кристалла представляют собой плоские сетки его пространственной решетки, а углы наклона соответственных сеток постоянны

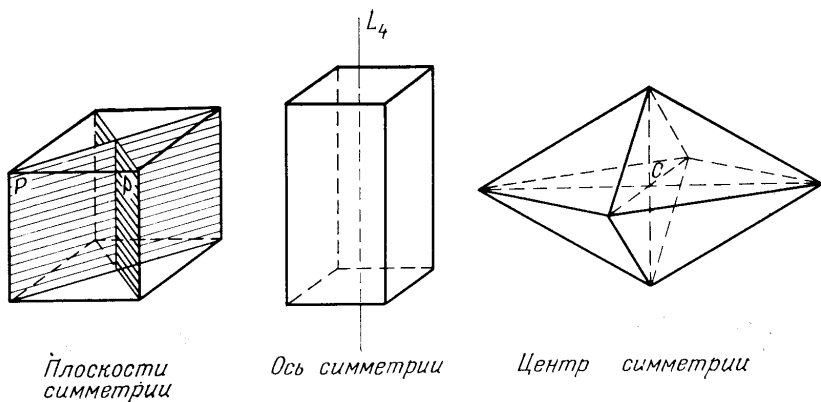


Рис. 2. Элементы симметрии кристаллов

относительно друг друга, то постоянны и углы между гранями кристалла. Этот закон позволяет определять с помощью гониометров — приборов для измерения граничных углов кристалла — минералы даже в мелких обломках, если они сохраняют естественные грани.

Закономерности расположения кристаллографических элементов обуславливают симметрию кристаллов. Важнейшими элементами симметрии кристаллов являются плоскость симметрии, ось симметрии и центр симметрии (рис. 2).

Плоскость симметрии — это плоскость, которая делит фигуру на две равные части, расположенные друг относительно друга как предмет и его зеркальное отражение. Цифра перед буквой P показывает число плоскостей симметрии кристалла.

Ось симметрии — прямая линия, при повороте вокруг которой на 360° несколько раз совмещаются аналогичные части фигуры.

Центр симметрии — точка пересечения линий, соединяющих противоположно равные и обратно параллельные части фигуры.

Оси симметрии принято обозначать буквой L , а центр симметрии C .

Число повторений начального положения кристалла при вращении вокруг оси симметрии называют порядком и соответственно обозначают L_2 , L_3 , L_4 , L_6 . Порядок оси можно определить, разделив 360° на величину угла, на который надо повернуть кристаллический многогранник, чтобы повторилось его начальное положение в пространстве. Например, углам поворота 180 , 120 , 90 , 60° соответствуют оси симметрии второго порядка (L_2), третьего порядка (L_3), четвертого порядка (L_4) и шестого порядка (L_6). В одном и том же кристалле может быть несколько осей симметрии одного порядка или разных порядков.

Элементы симметрии находятся в кристаллах во взаимной связи, и сочетания их весьма ограничены. Полный перечень

Характеристика кристаллографических сингоний

Категория	Сингония	Характерные элементы симметрии
Низшая	Триклинная Моноклинная Ромбическая	C L_2PC $3L_23PC$
Средняя	Тригональная Тетрагональная Гексагональная	L_33L_23PC L_44L_2PC L_66L_27PC
Высшая	Кубическая	$3L_44L_36L_29PC$

всех элементов симметрии одного многогранника определяет его степень симметрии. Многогранники, обладающие одной степенью симметрии, составляют один вид симметрии. Все возможные виды симметрии устанавливаются путем сложения элементов симметрии, возможных в огранении кристаллов: C , P , L_2 , L_3 , L_4 , L_6 . Впервые такое сложение выполнил в 1867 г. русский ученый А. В. Гадолин, который установил 32 вида симметрии. Виды симметрии, имеющие сходную степень симметрии, составляют сингонии, которые по числу единичных направлений объединяются в категории (табл. 4).

По сочетанию элементов внешнего огранения среди кристаллов выделяются простые и сложные формы (рис. 3).

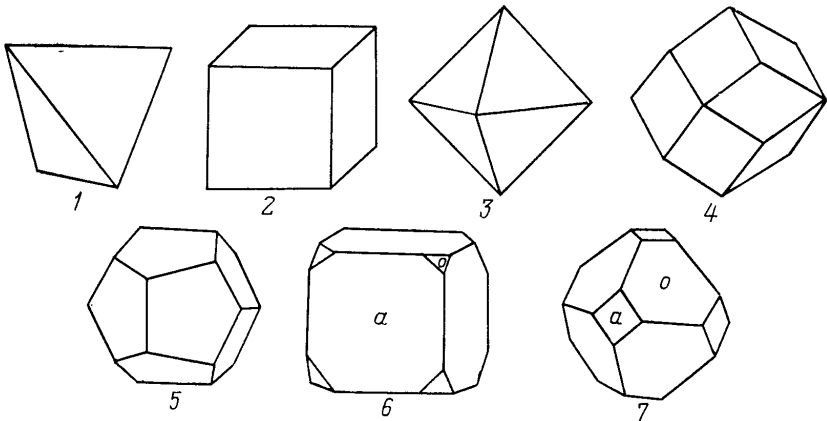


Рис. 3. Простые и сложные формы кристаллов

1—5 — простые: 1 — тетраэдр, 2 — куб, 3 — октаэдр, 4 — ромбододекаэдр, 5 — пентагондодэкаэдр; 6—7 — сложные: 6 — комбинация куба (а) и октаэдра (о), 7 — комбинация октаэдра (о) и куба (а)

Простыми формами называются такие многогранники, которые состоят из одинаковых граней, имеющих симметричное расположение. Примерами простых форм служат моноэдр, октаэдр, тетраэдр, куб, ромбододекаэдр, пентагондодокаэдр* и др.

Сложные формы представляют собой комбинацию в одном кристалле нескольких простых форм. Примером образования комбинации простых форм может служить сочетание тетрагональной призмы с тетрагональной дипирамидой и др.

Некоторые вещества обладают способностью образовывать различные кристаллические решетки при одном и том же химическом составе. Такое явление называется полиморфизмом. Каждая разновидность, называемая полиморфной модификацией,— особый минеральный вид, имеющий свое название. Характерный пример полиморфизма представляет углерод, который кристаллизуется в виде алмаза или графита, резко отличающихся друг от друга по твердости, плотности, прозрачности, цвету, электропроводности и другим свойствам.

К определяющим характеристикам любого минерального вещества относятся его химический состав и кристаллическая структура. Раздел кристаллографии, который изучает связь между составом, характером химического взаимодействия и пространственным расположением молекул, атомов и ионов, называется кристаллохимией.

Помимо простых и однородных химических соединений, в природе широко распространены соединения с непостоянным составом. С кристаллохимической точки зрения переменный состав природных соединений объясняется ограниченной растворимостью составных компонентов в данном соединении. Растворителем служит кристалл— твердое тело, а растворимым телом — структурная примесь, входящая в кристаллическую решетку. Поэтому такие соединения с непостоянным составом получили название твердых растворов.

По способу размещения атомов растворенного вещества в кристаллах-растворителях наиболее распространены твердые растворы замещения, или изоморфные смеси. Изоморфизмом называется свойство элементов (атомов, ионов) замещать друг друга в химических соединениях родственного состава с образованием непрерывно меняющейся по составу смеси одинаковой кристаллической структуры.

Изоморфные замещения могут быть неограниченными, когда соединения смешиваются в любых отношениях (например, золото — серебро), и ограниченными, когда одно вещество растворяется в другом, не превышая некоторого предела (например,

* Названия форм составлены из греческих слов: «моно» — один, «тетра» — четыре, «пента» — пять, «окто» — восемь, «додока» — двенадцать, «гоно» — угол, «эдр» — грань. В сочетании эти слова образуют термины: тетраэдр — четырехгранник, октаэдр — восьмигранник, пентагондодокаэдр — пятиугольный двенадцатигранник и т. д.

золото — цинк до 36 %). Примером изоморфной смеси двух минералов — альбита и анортита — являются плагиоклазы — самая распространенная группа минералов. Состав плагиоклазов может быть предствлен в процентах альбита и анортита. По Е. С. Федорову, плагиоклазы обозначаются номерами анортитового компонента (в % от массы). Шесть основных подразделений плагиоклазов: № 0—10 — альбит, № 11—30 — олигоклаз, № 31—50 — андезин, № 51—70 — лабрадор, № 71—90 — битовнит, № 91—100 — анортит.

При написании формул изоморфных смесей принято ставить в простых скобках через запятые знаки химических элементов, изоморфно замещающих друг друга. Так, формула вольфрамита, являющегося раствором гюбнерита $MnWO_4$ и ферберита $FeWO_4$, изображается так: $(Fe, Mn)WO_4$.

Способность химических соединений образовывать твердые растворы зависит нередко от давления и температуры. Например, растворимость гематита Fe_2O_3 и ильменита $FeTiO_3$ не ограничена температурой 350 °С и выше; при более низкой температуре это соединение, представляющее одну фазу, разрушается — происходит распад твердого раствора с образованием двух фаз — ильменита и гематита. Причем в ильмените сохраняется избыток железа, а в гематите — титана.

В результате распада твердого раствора вновь образованные фазы дают характерные сростания, называемые структурами распада.

Данные кристаллографии и кристаллохимии используются прежде всего в минералогии, изучающей формы выделения минералов, их состав, физические и химические свойства, строение, условия образования, закономерности распространения в природе и практическое применение минералов. Кроме того, данные кристаллохимии, устанавливающей связь между структурой и физико-химическими свойствами соединений, используются в металлургии, позволяют рекомендовать введение некоторых добавок в основное вещество кристалла. Как известно, такие легирующие, облагораживающие добавки в металлические сплавы являются в современной технике основой получения важнейших технологических материалов.

2.1.2. Условия образования и формы нахождения минералов в природе

Процессы минералообразования подразделяются на эндогенные и экзогенные. Среди эндогенных процессов можно выделить магматический, пегматитовый, скарновый, пневматолитовый, гидротермальный и метаморфический типы минералообразования. Образование (генезис) минералов называется магматическим, если минералы кристаллизуются непосредственно из природного силикатного расплава — магмы в процессе ее остывания. Пегматитовый тип минералообразова-

ния связан с кристаллизацией остаточного магматического расплава, обогащенного летучими соединениями. Скарновый тип развивается под воздействием магмы или выделяющихся из нее возгонов на вмещающие породы. Образование минералов за счет газообразных и летучих соединений, выделяющихся из магмы, называется пневматолитовым. Минералообразование, связанное с горячими водными растворами, поднимающимися из магматических очагов по различного рода трещинам и разломам земной коры, именуется гидротермальным. При метаморфическом типе образование минералов происходит под воздействием на вещество горных пород тепла и давления отличных от тех, при которых эти породы образовались.

Среди экзогенных процессов минералообразования различают осадочные, связанные с отложением в водных бассейнах растворенных в воде минеральных веществ и последующим преобразованием осадков, процессы выветривания, при которых в результате химического разложения минералов, неустойчивых в поверхностных условиях, образуются новые, химически устойчивые в этих условиях минералы, а также органогенные процессы, связанные с образованием минералов за счет жизнедеятельности живых организмов.

Кроме природных в настоящее время известно большое число искусственных минералов. Искусственно получают (синтезируются) прежде всего те минералы, ресурсы которых в природе ограничены или добыча их сложнее и дороже, чем выращивание в лабораторных и заводских условиях. Искусственные минералы — пьезокварц, слюда, рубин, алмаз, сапфир и многие другие — широко используются в науке, технике, ювелирном деле.

Формы нахождения минералов в природе бывают чрезвычайно разнообразными. Чаще всего они встречаются в виде скоплений, называемых минеральными агрегатами, реже — отдельных кристаллов или их сростков.

Наиболее характерными минеральными агрегатами являются зернистые и землистые агрегаты, натечные формы, оолиты, конкреции, секрети, друзы и дендриты.

Шире всего распространены зернистые агрегаты, представляющие собой скопления неправильно сросшихся зерен одного или нескольких минералов. Характерным примером является зернистое строение большинства магматических горных пород.

Землистые агрегаты характерны для порошковатых рыхлых минералов и для осадочных горных пород (глин, бокситов и др.). Такие агрегаты обычно пачкают руки, легко распадаются на мелкие комочки, состоящие из мельчайших зернышек.

Натечные образования возникают в пустотах при медленном испарении или охлаждении поступающих туда растворов. Эти образования имеют различную форму: почковидную,

гроздьевидную, неправильную, цилиндрическую. Натёки, свисающие в виде сосулек со сводов пустот, называются сталакти-тами, а поднимающиеся им навстречу со дна пустот — сталаг-митами.

Оолиты представляют собой более или менее округлые, шарообразные агрегаты размером от просяного до бобового зерна. Они образуются в результате последовательного выделе-ния из раствора минеральных веществ на песчинках, осколках раковин и т. п., в результате чего возникает концентрически-скорлуповатое строение агрегата. Оолиты чаще всего сцементи-рованы и слагают горную породу.

Конкреции — также минеральные агрегаты шарообраз-ной, неправильной, округлой сплюснутой формы, имеющие кон-центрическое или радиально-лучистое строение. Конкреции об-разуются в рыхлых осадочных породах в результате стяжения минерального вещества к отдельным центрам.

Секреции возникают при заполнении пустот минеральным веществом, осаждающимся на стенках пустот от периферии к центру. Секреции обычно имеют концентрически-слоистое строение и овальную форму. Среди секреций различают ми-надалины — секреции небольших размеров (примерно 10 мм в поперечнике) и жеоды — крупные, частично выполненные минеральным веществом пустоты.

Друзы — незакономерные сростки более или менее правиль-ных кристаллов, приросших одним концом к породе.

Дендриты — образуются при быстрым росте кристаллов в тонких волосяных трещинках и имеют ветвящееся древовид-ное строение, в связи с чем внешне похожи на отпечатки расте-ний (папоротников, мхов).

Минеральные агрегаты, главным образом зернистые и земли-стые, представляют основную массу горных пород.

2.1.3. Физические свойства минералов

К основным физическим свойствам минералов, позволяющим определять их по внешним признакам, относятся: цвет в об-разце, цвет черты, блеск, прозрачность, спайность, излом, твер-дость, плотность, магнитность. Диагностическое значение имеют и такие физические свойства, как хрупкость, ковкость, упру-гость, радиоактивность и люминесценция (способность светиться при облучении ультрафиолетовыми лучами, нагревании или дав-лении).

Цвет. Окраска минералов обусловлена особенностями хи-мического состава, структурой минералов, наличием в них меха-нических примесей. Обычно различают идио хром а т и ч е-скую окраску (от греческих «идиос» — свой, собственный, и «хрома» — цвет), свойственную самому веществу минерала, и ал л о х р о м а т и ч е с к у ю окраску (от греческого «аллос» — посторонний), связанную с присутствием в минералах посторон-

них примесей элемента, называемого хромофором, т. е. носителем окраски.

Идиохроматическую окраску имеют желтое самородное золото, красная киноварь, латунно-желтый пирит, темно-зеленый малахит, черный магнетит, зеленый изумруд и др. Аллохроматическая окраска характерна для кристаллов кварца (бесцветный горный хрусталь, фиолетовый аметист, золотистый цитрин, черный морюн, дымчатый раухтопаз), флюорита, каменной соли и многих других минералов.

Некоторые минералы меняют окраску в зависимости от освещения. Например, на полированной поверхности лабрадорита при некоторых углах поворота появляются густые синие и зеленовато-синие переливы, вызванные присутствием тончайших пленок ильменита в трещинках спайности плагиоклаза. Такая окраска называется псевдохроматической (от греческого «псевдос» — ложный).

Иногда, кроме основной окраски, минералы имеют дополнительную окраску — побежалость, обусловленную тонкой поверхностной пленкой другого минерала. Побежалость обычно бывает радужной, напоминая окраску тонких пленок нефти на поверхности воды.

Цвет черты — это цвет тонкого слоя порошка минерала, остающегося на поверхности неглазурованной фарфоровой пластинки, если по ней провести минералом. Цвет черты является более надежным признаком по сравнению с окраской минералов. Цвет черты иногда соответствует цвету минерала (черная черта у черного магнетита, красная — у красной киновари). Чаще цвет черты отличается от цвета минерала. Так, у черного гематита черта вишнево-красная, у латунно-желтого пирита — черная и т. д.

Блеск. При отражении световых лучей от поверхности минерала последние приобретают характерный для них блеск, который определяется показателем преломления минерала и коэффициентом поглощения им света. По характеру блеска минералы делятся на две группы.

1. Минералы с металлическим блеском, напоминающим блеск полированной поверхности металла. Такой блеск характерен для непрозрачных минералов с высокой отражательной способностью. К ним относятся самородные металлы, а также пирит, молибденит и др. К этой же группе относятся минералы, обладающие металловидным или полуметаллическим блеском, напоминающим блеск потускневшего металла. Полуметаллический блеск имеют магнетит, гематит, ильменит, графит, киноварь и др.

2. Минералы с неметаллическим блеском. Здесь выделяются несколько разновидностей блеска, свойственных тем или иным минералам:

стеклянный — горный хрусталь, кальцит, лед, флюорит;
алмазный — циркон, касситерит, сфалерит, алмаз;

перламутровый — тальк, гипс, мусковит;
жирный — сера, нефелин, каменная соль;
шелковистый — гипс-селенит, хризотил-асбест;
матовый — каолинит, пиролюзит, аморфный магнетит.

Прозрачность. Прозрачностью называется способность минералов пропускать через себя световые лучи. По степени прозрачности минералы делятся на прозрачные — горный хрусталь, топаз, исландский шпат; полупрозрачные — гипс, изумруд, сфалерит и непрозрачные — пирит, магнетит, галенит, графит и др.

Спайность — свойство минералов раскалываться по определенным направлениям с образованием ровных блестящих плоскостей. По степени совершенства различают следующие виды спайности:

весьма совершенная — минералы легко расщепляются на тонкие листы, чешуйки, пластинки, ограниченные зеркально-гладкими блестящими поверхностями (тальк, мусковит, биотит, гипс);

совершенная — минералы раскалываются на обломки, ограниченные плоскостями спайности, причем отбитые кусочки внешне напоминают кристаллы (галенит, кальцит, галит);

средняя — минералы раскладываются на обломки, ограниченные как плоскостями спайности, так и неровными поверхностями излома по случайным направлениям (полевые шпаты, амфиболы, пироксены);

несовершенная — минералы раскалываются на обломки, ограниченные неровными поверхностями, а спайность обнаруживается с трудом (оливин, сера, халькопирит, гематит, касситерит);

весьма несовершенная — минералы раскалываются по неопределенным направлениям и дают неправильные поверхности излома (магнетит, золото, платина).

Излом. Изломом называются неровные поверхности раскола минералов. Различают несколько видов излома:

раковистый излом — похожий на внутреннюю поверхность раковины с концентрически расходящимися ребрами (опал, кварц);

занозистый излом — характерен для игольчатых или волокнистых минералов (асбест, селенит);

землистый излом — свойствен землистым агрегатам минералов, имеющих шероховатую, матовую поверхности скола (каолинит, гётит, пиролюзит);

зернистый излом — на поверхности излома отчетливо видны отдельные зерна, слагающие агрегат (хромит, магнетит);

неровный излом — поверхность раскола неровная (апатит).

Твердость. Под твердостью минерала подразумевается степень его сопротивляемости внешним механическим воздействиям. Твердость определяется царапанием по свежей, невыветрелой поверхности испытуемого минерала другим минералом или предметом, твердость которых известна. Эталоном

Тальк—	1	Ортоклаз—	6
Гипс —	2	Кварц—	7
Кальцит—	3	Топаз—	8
Флюорит —	4	Корунд—	9
Апатит —	5	Алмаз—	10

твердости приняты десять минералов, входящих в шкалу Мооса*:

Твердость минералов в шкале условно обозначена целыми числами, не соответствующими действительной твердости указанных минералов. Так, например, твердость алмаза по шкале Мооса равна 10, кварца — 7, а талька — 1. На самом деле алмаз тверже талька в 3500 раз, а кварца — в 1150 раз.

Для определения твердости какого-либо минерала устанавливают, какой из эталонных минералов он царапает последним по порядку. Например, если исследуемый минерал оставляет царапину на кальците, но сам царапается флюоритом, то его твердость 3,5.

Относительную твердость минералов можно определить, имея минералов, приведенных в шкале Мооса. Так, минералы с твердостью 1—2 чертятся ногтем, минералы с твердостью 3 царапаются медной монетой. Обычное оконное стекло имеет твердость 5, и соответственно минералы с твердостью менее 5 его не царапают, а с твердостью 6 и более легко царапают.

Плотность. По плотности минералы делятся на три группы:

- легкие — плотность менее 2,5 (гипс, сера, галит);
- средние — плотность от 2,5 до 4,0 (силикаты, карбонаты, кварц);
- тяжелые — плотность более 4,0 (барит, гематит, самородные металлы).

Магнитность. Магнитность минерала определяется путем притягивания магнитом или его способностью воздействовать на магнитную стрелку компаса. Магнитностью обладает сравнительно небольшое число минералов, в состав которых входят железо, кобальт, никель, марганец (магнетит, титаномагнетит, пирротин, железистая платина).

Кроме физических свойств минералов, для их определения в полевых условиях используются и некоторые химические свойства, к которым можно отнести: растворимость в воде (галит, сильвин), вскипание под действием разбавленной соляной кислоты (кальцит, доломит в тонком порошке) и др.

2.1.4. Классификация минералов

По химическому составу и внутреннему строению все минералы подразделяются на несколько классов, из которых важнейшими являются: самородные элементы, сульфиды (сернистые соединения), окислы и гидроокислы, галоидные соединения, карбонаты, сульфаты, фосфаты, силикаты.

* Фридрих Моос (1773—1839 гг.) — немецкий минералог.

Самородные элементы, по подсчетам академика А. Е. Фермана, составляют 0,1 % массы земной коры. В самородном состоянии в земной коре и в составе метеоритов установлено 50 элементов. К ним относятся металлы — золото, серебро, платина, медь; полуметаллы — мышьяк, сурьма, висмут; неметаллы — алмаз, графит и др. Многие самородные элементы имеют большое практическое значение.

Золото Au. Сингония кубическая. Кристаллы редки; встречается в виде неправильной формы зерен, пластинок, чешуек, дендритов, в россыпях — окатанные зерна, изредка крупные массы — самородки (весом до 70 кг). Цвет золотисто-желтый, бледно-желтый. Черта желто-золотистая. Блеск металлический. Твердость 2,5—3. Легко режется ножом, ковкое и тягучее. Спайности нет. Плотность 19,3—19,6. Происхождение преимущественно гидротермальное, накапливается также в россыпях.

Золото — это валютный металл; используется для изготовления физических и химических приборов, в ювелирном и зубо врачебном деле.

Серебро Ag. Сингония кубическая. Кристаллы редки, встречается в виде дендритов, тонких пластинок и листочков. Цвет и черта серебряно-белые. Блеск металлический. Твердость 2,5. Плотность 10,5.

Происхождение гидротермальное. Применяется в ювелирном деле, для чеканки монет, серебрения и получения химических соединений серебра и пр.

Платина Pt. Сингония кубическая. Встречается в виде агрегатов зерен неправильной формы и самородков. Цвет от серебряно-белого до стально-черного. Черта стально-серая. Блеск металлический. Излом неровный. Твердость 4—5. Плотность 21,5—21,9. Магнитна железистая разновидность платины.

Происхождение магматическое. Применяется в химической промышленности, медицине, электротехнике, для изготовления ювелирных изделий.

Сера S. Сингония ромбическая. Кристаллы пирамидальные или усеченно-пирамидальные, таблитчатые. Агрегаты — землистые, натечные, почковидные, налеты, друзы. Цвет желтый различных оттенков. Черта светло-желтая. Блеск алмазный, жирный. Твердость 1—2,5. Очень хрупкая. Спайность несовершенная. Излом неровный, раковистый. Плотность 2,0.

Происхождение различное: образуется при химическом разложении сульфидов и сульфатов, в результате жизнедеятельности серных бактерий, а также при вулканических извержениях, выпадая из газовых возгонов. Сера применяется в резиновой промышленности, для получения серной кислоты, в производстве красок, для изготовления спичек, борьбы с сельскохозяйственными вредителями, устройства фейерверков и т. д.

Алмаз С. Сингония кубическая. Встречается в виде кристаллов, имеющих форму октаэдров; в агрегатах — зерна, желваки, сплошные массы. По окраске обычно бесцветный, водяно-прозрачный, желтоватый, синеватый, редко зеленый, красный, черный; имеет сильный алмазный блеск. Твердость 10; хрупок. Спайность совершенная. Плотность 3,5.

Образование связано с магматическими породами: кимберлитами, перидотитами и др. Алмаз устойчив в экзогенных условиях и встречается в россыпях.

Прозрачные бесцветные или слабо окрашенные разновидности алмаза используются в ювелирном деле как драгоценные камни. Бурые, желтые и черные алмазы (карбонадо, борт) применяются для армирования буровых коронок, дисковых алмазных пил, штампов-фильер, а также для шлифования очень твердых материалов например, синтетического корунда или самого алмаза.

Графит С. Сингония гексагональная. Кристаллы редки (в виде шестиугольных пластинок или табличек), чаще встречается в виде плотных, землистых, зернистых или тонкочешуйчатых агрегатов. Цвет железо-черный до темного стально-серого. Черта черная блестящая. Блеск сильный, металловидный, матовый, жирный. Твердость 1; жирный на ощупь, оставляет след на бумаге. Спайность весьма совершенная в одном направлении. Плотность 2—2,3.

Происхождение метаморфическое, образуется за счет преобразования осадочных пород и ископаемых углей.

Графит широко применяется в технике для производства тиглей, электродов, в качестве составной части машинных смазок, для футеровки высокотемпературных печей и т. д. Из него изготавливают грифели карандашей.

Сульфиды (сернистые соединения)

Сульфиды составляют 0,25 % от массы земной коры, объединяя свыше 250 минералов. Многие минералы этого класса имеют важное промышленное значение, являясь рудами различных металлов.

Пирит (серный колчедан, железный колчедан) FeS_2 . Сингония кубическая. Часто встречается в виде крупных, хорошо образованных кристаллов кубической формы с характерной штриховкой на гранях параллельно ребрам куба. Агрегаты — сплошные зернистые массы, конкреции, секретиции, гроздьевидные или почковидные образования. Цвет соломенно-желтый, золотисто-желтый. Черта буровато- или зеленовато-черная. Блеск сильный металлический. Твердость 6—6,5. Спайность весьма несовершенная; излом неровный, иногда раковистый. Плотность около 5.

Происхождение магматическое, гидротермальное, осадочное.

Пирит является основным сырьем для производства серной кислоты. Получаемые в результате обжига пиритные огарки применяются как железная руда и краски (в зависимости от чистоты).

Сфалерит (цинковая обманка) ZnS . Сингония кубическая. Чаще всего встречается в виде вкрапленников и кристаллически-зернистых масс вместе с пиритом, халькопиритом (полиметаллические руды). Цвет бурый, коричневый, черный. Черта желтая, буроватая, коричневатая. Блеск алмазный до полуметаллического. Твердость 3—4. Хрупок. Спайность совершенная. Плотность 3,5—4,2.

Происхождение гидротермальное. Сфалерит является основным сырьем для получения металлического цинка и его соединений. Кроме того, из сфалерита добывают некоторые рассеянные элементы: кадмий, индий и галлий.

Галенит (свинцовый блеск) PbS . Сингония кубическая. Кристаллы кубической формы. Агрегаты — друзы, зернистые скопления. Часто образует неправильной формы вкрапленники. Цвет свинцо-серый. Черта серовато-черная. Блеск металлический, реже матовый. Твердость 2—3. Хрупок. Спайность совершенная по кубу. Плотность 7,4—7,6.

Происхождение гидротермальное. Галенит является основной рудой на свинец.

Халькопирит (медный колчедан) $CuFeS_2$. Сингония тетрагональная. Кристаллы редки; агрегаты — сплошные массы, реже почковидные, гроздьевидные, часто встречаются в виде неправильной формы вкрапленных зерен. Цвет лагунно-желтый, с темно-желтой или пестрой побежалостью. Черта черная с зеленоватым оттенком. Блеск — сильный металлический. Твердость 3—4. Спайность несовершенная. Излом неровный. Плотность 4,1—4,3.

Происхождение магматическое, гидротермальное, скарновое, реже осадочное.

Халькопирит является наиболее важной рудой для получения меди.

Арсенопирит (мышьяковый колчедан) $FeAsS$. Сингония моноклиная. Кристаллы призматические со штриховкой на гранях. Двойники часто крестообразные. Агрегаты зернистые и шестоватые. Цвет от серебристо-белого, оловяно-белого до стально-серого, часто с желтой побежалостью. Черта серовато-черная. Блеск металлический. Твердость 5,5—6. Хрупок. Спайность ясная. Плотность 5,9—6,2. При ударе молотком издает чесночный запах.

Происхождение гидротермальное, скарновое.

Арсенопирит — основная мышьяковая руда.

Кинноварь HgS . Сингония тригональная. Кристаллы редки. Агрегаты — сплошные, порошковатые, примазки и налеты. Часто встречается в виде вкрапленных зерен неправильной формы. Цвет красный, иногда свинцово-серый до черного.

Черта красная. Блеск алмазный, полуметаллический, матовый. Твердость 2—2,5. Хрупкая. Спайность совершенная. Плотность 8,09—8,20.

Происхождение гидротермальное и экзогенное.

Киноварь является единственным источником для получения ртути; также используется при изготовлении красной краски для живописи.

Антимонит (сурьмяный блеск, стибнит) Sb_2S_3 . Сингония ромбическая. Кристаллы призматические, столбчатые, игольчатые с вертикальной штриховкой на гранях. Агрегаты — сплошные, зернистые, радиально-лучистые, реже спутанно-волокнистые, друзы. Цвет свинцово-серый. На гранях кристаллов часто наблюдается темная синеватая или радужная побежалость. Черта свинцово-серая. Блеск металлический. Твердость 2—2,5. Хрупок. Спайность совершенная. На плоскостях спайности поперечная штриховка. Плотность 4,5—4.

Происхождение гидротермальное.

Антимонит — основная руда для получения металлической сурьмы и ее соединений.

Молибденит (молибденовый блеск) MoS_2 . Сингония гексагональная. Кристаллы — таблички со штриховкой на гранях. Агрегаты — листовые, чешуйчатые, звездчатые. Цвет свинцово-серый с фиолетовым оттенком. Черта серая с зеленоватым или голубоватым оттенком. Блеск металлический. Твердость 1. Жирный на ощупь, на бумаге оставляет черту как графит. Спайность весьма совершенная. Плотность 4,7—5.

Происхождение гидротермальное, скарновое.

Молибденит — важнейшая руда на молибден. Он широко применяется в металлургии в качестве добавки для получения твердой быстрорежущей стали, а также в производстве жароупорных сплавов, химических реактивов.

Окислы и гидроокислы

Окислы и гидроокислы широко распространены в земной коре, составляя 17 % ее массы, причем на долю одного лишь кремнезема приходится 12,6 %, а окислы железа составляют 3—4 % от массы земной коры. В настоящее время известно около двухсот минералов этого класса. Некоторые из них являются породообразующими минералами (например, кварц), другие относятся к рудам (например, гематит, магнетит, хромит).

Кварц SiO_2 . Известны следующие основные разновидности кварца: горный хрусталь — бесцветный, водяно-прозрачный; аметист — фиолетового оттенка; раухтопаз — дымчатой, буроватой окраски; морион — черного цвета; цитрин — золотисто-желтый или лимонно-желтый; молочный жильный кварц — непрозрачный, белого цвета.

Сингония тригональная. Агрегаты — зернистые, плотные массы, друзы. Блеск стеклянный до жирного. Твердость 7. Спайности нет. Излом раковистый. Плотность 2,65.

Происхождение магматическое, пневматолитовое, гидротермальное, метаморфическое.

Наибольшее практическое значение имеет жильный кварц, используемый в фарфоровом и фаянсовом производстве, а также в качестве плавня в металлургии. Горный хрусталь и дымчатый кварц широко применяются для изготовления радиотехнических деталей и при выплавке кварцевого стекла. Окрашенные и прозрачные его разновидности применяются в ювелирном деле. Кварцевые пески представляют собой важнейшее сырье для стекольной промышленности и для приготовления формовочных смесей в литейном производстве.

Халцедон SiO_2 . Это скрытокристаллическая разновидность кварца. Имеются следующие его разновидности: собственно халцедон — бесцветный, бледно-голубоватый, слегка просвечивающий; сердолик — желтый, красный, оранжевый; агаты — полосчатые (ониксы) или сложно-узорчатые разновидности. Халцедон, загрязненный примесями песка и глины, называется кремнем.

Халцедон кристаллов не образует. Обычно он встречается в сплошных, натечных, слоистых массах, часто радиально-лучистого и сферолитового строения. Блеск восковой до матового. Твердость 6,5. Вязкий. Спайности нет. Излом раковистый. Плотность 2,65.

Происхождение экзогенное. Халцедон применяется как поделочный камень в ювелирном деле, для изготовления подпятников часов, весов, ступок и пр.

Корунд Al_2O_3 . Известно много разновидностей корунда как обычного, так и прозрачного (благородного). Главными среди прозрачных корундов являются сапфир — синий, лейкосапфир — бесцветный, рубин — красный, восточный топаз — желтый; восточный аметист — фиолетовый; восточный изумруд — зеленый. Выделяют еще наждак, представляющий собой смесь мелкозернистого корунда с магнетитом, гематитом, полевым шпатом и кварцем.

Сингония тригональная. Кристаллы корунда бочонковидные, столбчатые, пирамидальные. Агрегаты сплошные зернистые. Цвет обычно синеватый или желтовато-серый, желтый, зеленый. Блеск стеклянный. Твердость 9. Спайности нет. Излом неровный до раковистого. Плотность 3,95—4,10.

Происхождение магматическое, пегматитовое, скарновое.

Обычный непрозрачный корунд представляет собой ценный огнеупорный и абразивный материал. Прозрачные разновидности корунда используются в ювелирном деле и в точной механике.

Гематит (красный железняк, железный блеск) Fe_2O_3 . Известны разновидности: железная слюдка — тонкопластинчатая разность; железная сметана — тонкочешуйчатая порошко-

ватая разность; красный железняк — плотная скрытокристаллическая разновидность.

Сингония тригональная. Кристаллы пластинчатые, таблитчатые. Агрегаты листоватые, чешуйчатые, сплошные плотные скрытокристаллические, почкообразные с радиально-волоконистым строением. Цвет железо-черный до стально-серого; землистые разности красного цвета. Черта вишнево-красная до красновато-бурой. Блеск металлический, иногда матовый. Твердость 5,5—6. Спайности нет. Излом полураковистый. Плотность 5,0—5,3.

Происхождение гидротермальное, скарновое, метаморфическое, осадочное. Гематит является важной железной рудой. Порошковатая разновидность используется для изготовления красной краски и грифелей карандашей.

Магнетит (магнитный железняк) Fe_3O_4 . Сингония кубическая. Кристаллы — октаэдры, реже ромбододекаэдры, на гранях кристаллов часто имеется штриховка. Агрегаты — сплошные, зернистые массы, друзы. Цвет железо-черный, иногда с синеватой побегалостью. Черта черная. Блеск металлический, полуметаллический. Твердость 5,5—6. Спайности нет. Излом неяснораковистый до неровного. Плотность 4,9—5,2. Магнитен.

Происхождение магматическое, скарновое, гидротермальное, метаморфическое. Магнетит является важнейшей железной рудой.

Хромит (хромистый железняк) $FeCr_2O_4$. Сингония кубическая. Кристаллы — октаэдры. Агрегаты — сплошные зернистые, плотные. Цвет черный. Черта слабо окрашенная буровато-серая. Блеск металлоидный до металлического. Твердость 5,5—7,5. Хрупок. Спайности нет. Излом неровный. Плотность 4,5—4,8.

Происхождение магматическое. Основная хромовая руда.

Ильменит (титанистый железняк) $FeTiO_3$. Сингония тригональная. Кристаллы толстотаблитчатые, пластинчатые; обычно образует вкрапленники неправильной формы. Агрегаты сплошные зернистые. Цвет железо-черный, стально-серый. Черта черная, бурая, буровато-красная. Блеск полуметаллический до металлического. Твердость 5—6. Хрупок. Спайности нет. Излом раковистый до неровного. Плотность 4,72—5,0. Слабомагнитен.

Происхождение магматическое и пневматолитовое. Ильменит является важной титановой рудой.

Рутил TiO_2 . Сингония тетрагональная. Имеются две полиморфные модификации: брукит и анатаз. Кристаллы рутила призматические, столбчатые до игольчатых. Часто на гранях кристаллов наблюдается штриховка. Сетчатые сростки игольчатого рутила называют сагенимом. Цвет темно-желтый, бурый, красный, черный. Черта желтая, светло-бурая. Блеск алмазный, металлоидный. Твердость 6. Хрупок. Спайность совершенная и средняя. Плотность 4,2—4,3.

Происхождение магматическое, гидротермальное, метаморфическое.

Рутил применяется для получения титана, белой краски (титановых белил), а также в радиотехнике.

Касситерит (оловянный камень) SnO_2 .

Сингония тетрагональная. Кристаллы призматические, столбчатые, игольчатые, неправильной формы вкрапленники. Агрегаты — сплошные, зернистые, лучистые, натеchnые, друзы. Цвет коричнево-бурый, темно-бурый до смоляно-черного, реже желтый; бесцветен. Черта слабо окрашенная буроватая. Блеск алмазный, в изломе смоляной, слегка жирный, иногда полуметаллический. Твердость 6—7. Хрупкий. Спайность несовершенная. Излом раковистый, неровный. Плотность 6,8—7,0.

Происхождение гидротермальное, пегматитовое, скарновое, осадочное. Касситерит — основная руда на олово.

Бурый железняк (лимонит) $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Не образует четких кристаллических форм, а является скрытокристаллическим или аморфным. Обычно встречается в виде плотных и землистых масс, часто с примесью глинистых частиц, нередко образует оолиты, концентрически-скорлуповатые агрегаты. Цвет темно-бурый до черного. Черта желтовато-бурая. Блеск полуметаллический, шелковистый, стеклянный, матовый. Твердость 1—5,5. Спайности нет. Излом неровный, раковистый, землистый. Плотность 3,3—4,0.

Происхождение экзогенное. Используется как железная руда.

Галоидные соединения

Всего известно около 120 минеральных видов галоидов, составляющих 1,5—2,0 % массы земной коры.

Галит (каменная соль) NaCl . Сингония кубическая. Кристаллы кубические. Агрегаты — сростки кристаллов, сплошные, зернистые, плотные, столбчатые. Бесцветен, снежно-белый, желтый, серый, бурый, синий, черный. Блеск стеклянный, жирный. Твердость 2,5. Очень хрупок. Спайность весьма совершенная по кубу. Плотность 2,1—2,2. Соленый на вкус. Легко растворим в воде.

Происхождение осадочное. Галит применяется главным образом как пищевой продукт и консервирующее средство, а также в химической, металлургической, кожевенной и других отраслях промышленности.

Сильвин KCl . Сингония кубическая. Кристаллы редки — кубические. Агрегаты — сплошные зернистые массы, иногда с характерной слоистой структурой. Окраска водяно-прозрачная, бесцветная, молочно-белая, часто розовато-красная или желтоватая и синеватая. Блеск стеклянный, жирный. Твердость 1,5—2. Хрупок. Спайность весьма совершенная по кубу.

Плотность 1,97—1,99. Горько-соленый на вкус. Легко растворим в воде.

Происхождение осадочное. Важнейший источник калия (для производства удобрений), кроме того, сильвин используется в химической промышленности.

Карналлит $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$. Сингония ромбическая. Встречается в сплошных массах. Цвет белый, розовый, красный. Блеск стеклянный, жирный. Твердость 2,5. Плотность 1,6. Вкус горький. Легко растворяется в воде и расплывается на воздухе при высокой влажности.

Происхождение осадочное. Применяется для приготовления удобрений, в химической промышленности, для получения магния.

Флюорит (плавиковый шпат) CaF_2 . Сингония кубическая. Кристаллы — обычно хорошо образованные куб и октаэдр. Агрегаты — друзы, вкрапленники, сплошные, зернистые, натёки столбчатого сложения. Цвет часто полихромный, желтый, зеленый, голубой, фиолетовый, реже бесцветный, водяно-прозрачный. Блеск слабо стеклянный, неровный. Твердость 4. Плотность 3,11—3,25.

Происхождение гидротермальное, пневматолитовое.

Флюорит применяется в металлургии в качестве плавня при выплавке различных металлов. В химической промышленности он является основным сырьем для получения плавиковой кислоты и других фтористых соединений. В стекловарении его используют при изготовлении некоторых сортов оптических стекол. Кристаллы бесцветного прозрачного флюорита используются в оптической технике.

Карбонаты

Карбонаты составляют 1,7 % от массы земной коры, объединяя 80 минералов.

Кальцит (известковый шпат) $CaCO_3$. Имеет разновидности: исландский шпат — прозрачный двупреломляющий кальцит, который «раздваивает» рассматриваемые через него изображения; бумажный шпат — листоватый кальцит; собственно кальцит — в виде непрозрачных кристаллов и зернистых агрегатов; жемчуг — отлагается внутри раковин некоторых моллюсков.

Сингония тригональная. Кристаллы очень разнообразны по форме: таблитчатые, пластинчатые, призматические и др. Агрегаты — крупнозернистые, натечные, сплошные, зернистые, плотные скрытокристаллические, рыхлые, оолитовые, ноздреватые, друзы. Цвет молочно-белый, желтый, серый, розовый, красный, бурый, черный, перламутровый; бесцветен. Твердость 3. Хрупок. Спайность совершенная. Плотность 2,6—2,8. При взаимодействии с разбавленной соляной кислотой бурно вскипает.

Происхождение осадочное, гидротермальное, метаморфическое.

Исландский шпат применяется в оптике для изготовления специальных микроскопов и других приборов. Жемчуг применяется в ювелирном деле. Мрамор, состоящий из кальцита, является строительным и поделочным материалами.

Магнезит (магнезиальный шпат) $MgCO_3$. Сингония тригональная. Агрегаты — крупнозернистые, мраморовидные, фарфоровидные, метаколлоидные массы, напоминающие цветную капусту, натечные желваки, землистые. Встречается также аморфный магнезит. Цвет белый с сероватым или желтоватым оттенками, иногда снежно-белый. Блеск стеклянный, матовый. Твердость 4—4,5. Хрупок. Спайность совершенная. Излом неровный, для фарфоровидных разновидностей раковистый. Плотность 2,9—3,1. Реагирует с нагретой соляной кислотой. Происхождение осадочное, гидротермальное.

Магнезит применяют в основном для производства высокоогнеупорных магнезитовых материалов и металлического магния, специальных цементов; он применяется также в бумажной, резиновой и других отраслях промышленности.

Доломит $CaMg[CO_3]_2$. Сингония тригональная. Агрегаты — кристаллически-зернистые, часто пористые, почковидные, ячеистые, шаровидные. Цвет белый, зеленоватый, бурый, черный, серый. Блеск стеклянный. Твердость 3,5—4. Хрупок. Спайность совершенная. Плоскости спайности обычно искривлены. Плотность 2,8—2,9. Реагирует с соляной кислотой в порошке. Происхождение гидротермальное и осадочное.

Применяется для получения различных огнеупорных материалов, извести и магнезиального цемента, в качестве флюса при плавке руд и как агрохимическое удобрение.

Сидерит (железный шпат) $FeCO_3$. Сингония тригональная. Агрегаты — кристаллически-зернистые, натечные, землистые, конкреции. Цвет желтовато-белый, сероватый, иногда с буроватым оттенком. Блеск стеклянный. Твердость 3,5—4,5. Плотность 4. Капля соляной кислоты на сидерите желтеет.

Происхождение гидротермальное и осадочное. Применяется как руда на железо.

Малахит $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$. Сингония моноклиная. Кристаллы очень редки — призматические. Агрегаты — натечные с радиально-волокнистым строением, а также землистые. Цвет от ярко-зеленого до бледно-зеленого. Черта бледно-зеленая. Блеск стеклянный до алмазного, шелковистый, матовый. Твердость 3,5—4. Хрупок. Спайность средняя. Излом неровный, неяснораковистый. Плотность 3,9—4,1. Вскипает под воздействием соляной кислоты. Происхождение экзогенное.

Малахит — первоклассный поделочный материал для внутренней отделки зданий, а также для производства различных художественных изделий. Землистые разновидности малахита используются для изготовления зеленой краски.

Фосфаты

Апатит. К его разновидностям относятся: фтор-apatит, $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3\text{F}$, хлор-apatит $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3\text{Cl}$, фосфорит — скопления апатита в виде шарообразных конкреций, содержащих примеси глинистых частиц, кварца, гидроокислов железа, кальцита и т. д.

Сингония гексагональная. Кристаллы — часто хорошо образованные шестигранные призмы или иглы, реже короткостолбчатые или таблитчатые. Агрегаты — зернистые, плотные, тонкокристаллические, иногда землистые массы, изредка — друзы. Цвет белый, бледно-зеленый, голубой, желтый, фиолетовый, бурый. Блеск стеклянный, жирный. Твердость 5. Хрупок. Спайность несовершенная. Излом неровный, раковистый до занозистого. Плотность 3,18—3,21.

Происхождение магматическое, скарновое, пегматитовое.

Апатит используется как сырье для фосфорных удобрений, для получения фосфорной кислоты и ее солей, в керамическом производстве.

Сульфаты

В природе известно около 260 представителей класса сульфатов, составляющих по массе около 0,1 % всей земной коры.

Барит (тяжелый шпат) BaSO_4 . Сингония ромбическая. Кристаллы таблитчатые, реже призматические, столбчатые со штриховкой на гранях. Агрегаты — зернистые, листоватые, плотные, скрытокристаллические, землистые конкреции. Цвет белый, при наличии примесей — розовый, желтый, бурый, голубоватый, серый, черный. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Твердость 3—3,5. Спайность совершенная. Плотность 4,3—4,7.

Происхождение гидротермальное и экзогенное.

Барит широко применяется в различных отраслях народного хозяйства: для изготовления белил, в резиновом и бумажном производстве — в качестве наполнителя, в химической промышленности для получения препаратов бария, в сахарном производстве и полиграфической промышленности.

Гипс (легкий шпат) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Известны следующие его разновидности: селенит — параллельно-волокнистая с шелковым блеском, алебастр — снежно-белая тонкозернистая.

Сингония моноклиновая. Кристаллы таблитчатые, редко — столбчатые или призматические. Агрегаты — обычно плотные крупнокристаллические, а также параллельно-волокнистые массы. Цвет белый, серый, медово-желтый, красный, бурый, черный; бесцветен. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Твердость 2. Спайность весьма совершенная. Плотность 2,3. Происхождение осадочное.

Гипс широко применяется в различных отраслях промышленности — в качестве добавки в портландцементу, для получения вяжущих веществ, изготовления архитектурных деталей, перегородок, плит, в бумажном производстве, для приготовления различных красок, эмалей, глазурей и т. д. Селенит используется как поделочный камень.

Ангидрит CaSO_4 . Сингония ромбическая. Агрегаты — сплошные, мелкозернистые массы. Цвет серый, голубоватый. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 3,5. Плотность 3,0. При увлажнении в обычных условиях легко переходит в гипс.

Происхождение осадочное. Используется для производства цемента, как поделочный камень.

Силикаты

Силикаты представляют собой многочисленный класс минералов, включающий в себя совместно с разновидностями до пятисот представителей, что составляет около четверти всех известных минералов. На долю силикатов приходится примерно 80 % массы всей земной коры. Они являются важнейшими породообразующими минералами.

Классификация силикатов в настоящее время проводится по структурному принципу. В основе строения минералов этого класса лежит кремнекислородный тетраэдр $[\text{SiO}_4]^{4-}$. В центре этой структурной формы находится ион кремния, а в вершинах тетраэдра — ионы кислорода.

Когда кремнекислородные тетраэдры изолированы друг от друга и объединяются в кристаллической решетке с помощью катионов других металлов, образуются островные силикаты. При соединении кремнекислородных тетраэдров в кольца возникают кольцевые структуры, при дальнейшем усложнении связей — цепные, ленточные, листовые (слоевые) и каркасные силикаты.

Островные силикаты

Оливин $(\text{Mg, Fe})_2[\text{SiO}_4]$. Оливин является средним членом изоморфного* ряда минералов форстерита $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$ и фаялита $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$.

Сингония ромбическая. Правильные кристаллы редки, обычно распространен в виде зернистых агрегатов. Цвет зеленовато-желтый. Блеск стеклянный, жирный. Твердость 6,5—7. Спайность средняя. Хрупок. Излом раковистый, неровный. Плотность 3,2—3,5. Происхождение магматическое.

* Изоморфизм — способность кристаллических веществ различного состава образовывать непрерывно меняющиеся по составу смеси одинаковой кристаллической структуры (см. с. 32).

Прозрачная разновидность оливина желтовато-зеленого цвета — хризолит — драгоценный камень.

Гранаты представляют собой изоморфный ряд минералов, включающий гроссуляр $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$, пироп $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$, спессартин $\text{Mn}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$, альмандин $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ и уваровит $\text{Ca}_3\text{Cr}_2[\text{SiO}_4]_3$.

Сингония всех минералов группы граната кубическая. Встречаются в виде хорошо образованных кристаллов. Агрегаты сплошные, зернистые. Цвет варьирует в зависимости от состава: альмандин — красный, буровато-красный, черный; пироп — темно-красный, розовато-красный, черный; андрадит — желтый, зеленоватый, буровато-красный, черный; спессартин — розовый, красный, желтовато-бурый; гроссуляр — медово-желтый, бледно-зеленый, бурый, красный; уваровит — изумрудно-зеленый. Блеск стеклянный, алмазный, в изломе жирный. Твердость 6,5—7,5. Хрупкие. Спайность отсутствует. Излом неясно-раковистый до неровного. Плотность 3,5—4,2. Происхождение метаморфическое, скарновое.

Прозрачные красиво окрашенные разновидности гранатов (альмандин, пироп, гроссуляр) применяются в ювелирном деле как полудрагоценные камни. Непрозрачные разновидности гранатов широко используются в качестве абразивного материала.

Циркон $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$. Сингония тетрагональная. Кристаллы короткостолбчатые, призматические. Агрегаты зернистые. Цвет светло-желтый, желтовато-зеленый, оранжевый, красный, темно-коричневый, реже — бесцветный, серый. Блеск стеклянный, алмазный, иногда жирный. Твердость 7—8. Хрупок. Спайность несовершенная. Излом неровный. Плотность 4,70. Происхождение магматическое.

Прозрачные разности (гиацинты) используются в ювелирном деле как драгоценные камни. Обычно циркон применяется для получения металлического циркония и окиси циркония, отличающейся высокой огне- и кислотоупорностью.

Группа силлиманита. В эту группу входят три минерала одинакового химического состава $\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{O}$ — силлиманит, андалузит и дистен (кианит), являющиеся полиморфными разновидностями одного и того же вещества.

Дистен (кианит). Сингония триклинная. Кристаллы удлиненные, пластинчатые. Цвет голубой, синий, желтый, белый, серый, бесцветный. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Твердость в разных направлениях неодинакова: на грани, параллельной удлинению кристалла, она равна 4,5; в поперечном направлении 6. Хрупок. Спайность совершенная. Плотность 3,56—3,68.

Андалузит. Сингония ромбическая. Кристаллы крупно-призматические с сечением, близким к квадратному, столбчатые. Агрегаты лучисто-шестоватые, зернистые. Цвет серый, желтый, бурый, розовый, красный, темно-зеленый, редко — бес-

цветный. Блеск стеклянный. Твердость 7—7,5. Спайность ясная. Излом неровный, занозистый. Плотность 3,1—3,2.

Силлиманит. Разновидность силлиманита, образованная переплетающимися игольчатыми кристаллами, называется фибролитом. Сингония ромбическая. Кристаллы игольчатые, обычно без концевых граней. Агрегаты плотные, лучистые, волокнистые. Цвет серый, светло-бурый, бледно-зеленый. Блеск стеклянный. Твердость 7. Спайность совершенная. Плотность 3,23—3,25. Происхождение метаморфическое.

Минералы группы силлиманита являются сырьем для производства высококачественных керамических, огне- и кислотоупорных изделий.

Топаз $Al_2[SiO_4][F, OH]_2$. Сингония ромбическая. Кристаллы часто хорошо образованные, призматические с вертикальной штриховкой на гранях призмы. Агрегаты зернистые. Цвет желтый, белый, сероватый, розоватый, голубой; бесцветен. Блеск стеклянный. Твердость 8. Хрупок. Спайность совершенная. Излом неяснораковистый, неровный. Плотность 3,52—3,57. Происхождение пегматитовое, гидротермальное.

Используется как драгоценный камень, абразив, а также для изготовления опор, подпятников и других частей точных приборов.

Эпидот $Ca_2(Al, Fe)_3Si_3O_{12}[OH]$. Сложный силикат алюминия, кальция, железа. Сингония моноклинная. Кристаллы призматические, шестоватые, на гранях кристаллов грубая штриховка. Агрегаты — друзы, сплошные зернистые, радиально-лучистые, параллельно-шестоватые, плотные. Цвет зеленый различных оттенков (часто фисташково-зеленый). Блеск стеклянный, сильный. Твердость 6,5. Спайность совершенная. Плотность 3,35—3,45. Происхождение метаморфическое.

Кольцевые силикаты

Берилл $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$. Сингония гексагональная. Кристаллы призматические, столбчатые. Агрегаты — друзы, шестоватые, лучистые, зернистые, сплошные. Цвет зеленовато-белый, желтый, желтовато-зеленый. Блеск стеклянный. Твердость 7,5—8. Хрупок. Спайность несовершенная. Излом неровный, раковистый. Плотность 2,63—2,91. Происхождение пегматитовое.

Непрозрачные разновидности берилла используют для получения окиси бериллия и металлического бериллия. Прозрачные разновидности (аквамарин, изумруд, воробьевит, гелиодор) являются драгоценными камнями.

Турмалин $(Na, Ca)(Mg, Al)_6[B_3Al_3Si_6(O, OH)_{30}]$. Сложный алюмоборосиликат. Сингония тригональная. Кристаллы призматические, тонкоигольчатые, бочонкообразные. На гранях призмы вертикальная штриховка. Поперечное сечение кристаллов — сферический треугольник. Агрегаты — лучистые

(«турмалиновые солнца»), шестоватые, спутанно-игольчатые, волокнистые, реже сплошные, зернистые. Цвет черный, бурый, зеленый, желтый, розовый, синий. Блеск стеклянный. Твердость 7—7,5. Спайность отсутствует. Излом неровный. Плотность 2,90—3,25. Происхождение гидротермальное, пегматитовое, пневматолитовое.

Используется в оптике и радиотехнике.

Цепные силикаты

Группа пироксенов. Основные представители группы пироксенов: энстатит, гиперстен, диопсид, авгит, эгирин.

Гиперстен $(Mg, Fe)_2[Si_2O_6]$. Сингония ромбическая. Часто встречается в кристаллах, имеющих короткопризматический облик. Цвет зеленый до зеленовато- или буровато-черного. Блеск стеклянный. Твердость 5—6. Спайность средняя. Плотность 3,3—3,5.

Диопсид $CaMg[Si_2O_6]$. Сингония моноклинная. Кристаллы короткостолбчатые, призматические. Агрегаты зернистые, шестоватые, радиально-лучистые. Цвет грязно-зеленый или серовато-зеленый. Блеск стеклянный. Твердость 5,5—6. Спайность средняя. Плотность 3,27—3,38. Происхождение пироксенов магматическое, метаморфическое.

Ленточные силикаты

Группа амфиболов. К амфиболам относятся тремолит, актинолит, роговая обманка.

Тремолит $Ca_2Mg_5[Si_4O_{11}]_2[OH]_2$. Тонкозернистая разновидность тремолита называется тремолит-асбестом, а плотная скрытокристаллическая — нефритом. Сингония моноклинная. Кристаллы длиннопризматические, игольчатые, волосовидные. Агрегаты тонколучистые, шестоватые, волокнистые, плотные. Цвет белый, серый до темно-серого, светло-зеленый, желтоватый; иногда бесцветен. Блеск стеклянный, шелковистый, перламутровый. Твердость 5,5—6. Хрупок. Нефрит очень вязкий и обладает повышенной твердостью (7). Спайность совершенная. Излом занозистый. Плотность 2,9—3,1.

Тремолит-асбест используется для изготовления кислотоупорных фильтров. Нефрит — поделочный камень.

Актинолит (лучистый камень) $Ca_2(Mg, Fe)_5[Si_4O_{11}]_2[OH]_2$. По физическим свойствам актинолит близко к тремолиту, от которого отличается более темной, имеющей разные оттенки, зеленой окраской и оптическими свойствами, которые несколько варьируют в зависимости от содержания железа. Тонковолокнистая разновидность актинолита называется актинолит-асбестом, плотная скрытокристаллическая разновидность относится к нефритам.

Роговая обманка. Химический состав сложный. Сингония моноклиная. Кристаллы призматические, реже изометрические. Агрегаты шестоватые, зернистые. Цвет от зеленого до черного иногда с буроватыми оттенками; реже голубой, темно-синей окраски. Блеск стеклянный, шелковистый. Твердость 5,5—6. Хрупкая. Спайность совершенная. Излом занозистый.

Происхождение амфиболов метаморфическое, магматическое.

Листовые (слоевые) силикаты

Группа слюд. К этой группе относятся мусковит, биотит, вермикулит, флогопит, лепидолит.

Мусковит $KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$. Разновидности мусковита: серицит — тонкочешуйчатая или волокнистая разновидность с шелковистым блеском; фуксит — хромовая слюда изумрудно-зеленого цвета.

Сингония моноклиная. Кристаллы таблитчатые либо пластинчатые. Агрегаты сплошные листовато-зернистые или чешуйчатые. Бесцветен, часто с желтоватым, сероватым, зеленоватым оттенками. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый, серебристый. Твердость 2—3, обладает гибкостью. Спайность весьма совершенная. Плотность 2,75—3,10.

Мусковит используется как диэлектрик в электропромышленности. Мелкие обрезки мусковита склеивают шеллаком и получают электроизоляционный материал, называемый миканитом.

Биотит $K(Mg, Fe)_3[AlSi_3O_{10}][OH, F]_2$. Сингония моноклиная. Кристаллы таблитчатые, часто столбчатые, пирамидальные. Агрегаты — сплошные, пластинчато- и чешуйчато-зернистые, изредка друзы. Цвет черный, коричневый, бурый, иногда с красноватым и зеленоватым оттенками. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности с перламутровым отливом. Твердость 2—3. Спайность весьма совершенная. Плотность 3,02—3,12.

Вермикулит $(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+})_3[(Si, Al)_4O_{10}][OH]_2 \cdot 4H_2O$. Вермикулит имеет сложный химический состав. Сингония моноклиная. Агрегаты чешуйчатые, листоватые, плотные. Цвет бурый, желтовато-бурый, бронзово-желтый, иногда с зеленоватым оттенком. Блеск жирный до матового. Твердость 1—1,5. Спайность совершенная. Излом неровный. Плотность 2,4—2,7. При нагревании увеличивается в объеме в 3—5 раз.

Вермикулит в обожженном виде используется как строительный материал с хорошими теплоизоляционными свойствами.

Происхождение слюд метаморфическое и магматическое.

Тальк $Mg_3[OH]_2[Si_4O_{10}]$. Сингония моноклиная. Агрегаты листоватые, чешуйчатые, плотные. Цвет бледно-зеленый, белый с желтоватым, буроватым, зеленоватым оттенками. Блеск стеклянный с перламутровым отливом, жирный. Твердость 1. Хру-

пок. Спайность весьма совершенная. Листочки гибки, но не упруги. Плотность 2,7—2,8. Происхождение метаморфическое.

Тальк применяется в качестве кислото- и огнеупорного материала. Применяется в медицине, парфюмерии, бумажном и резиновом производстве, а также в сельском хозяйстве.

Каолинит $Al_4[OH]_8[Si_4O_{10}]$. Сингония моноклиная. Кристаллы весьма редки и очень мелки. Агрегаты рыхлые, чешуйчатые, плотные, тонкозернистые, иногда натечные. Цвет белый, желтоватый, красноватый, буроватый, голубоватый. Блеск матовый у сплошных масс, перламутровый у отдельных пластинок и чешуек. Твердость 1. Спайность весьма совершенная. Излом неровный. Плотность 2,58—2,60. Происхождение экзогенное.

Каолинит является главной составной частью многих глин, употребляемых как сырье для керамических и огнеупорных изделий, как строительный материал, в качестве наполнителя при производстве бумаги, линолеума и т. п.

Хлориты. К хлоритам относятся слюдоподобные минералы сложного химического состава. Сингония моноклиная. Кристаллы таблитчатые, чешуйчатые. Агрегаты — чешуйчатые, листоватые, сплошные, рыхлые, землистые массы. Цвет обычно зеленый различных оттенков, реже желтый до красноватого. Черта зеленовато-белая, серая. Блеск стеклянный до перламутрового. Твердость 1,5—3. Спайность весьма совершенная.

Серпентин (змеевик) $Mg_6[OH]_8[Si_4O_{10}]$. Известны следующие его разновидности: офит — плотная просвечивающая по краям; антигорит — чешуйчатая, скорлуповатая; хризотил-асбест — волокнистая. Сингония моноклиная. Хороших кристаллов не образует. Агрегаты — плотные скрытокристаллические массы, иногда с прожилками хризотил-асбеста. Цвет темно-зеленый, зеленовато-черный. Офит оливково-зеленый с желтым оттенком. Антигорит серый с синеватым оттенком. Блеск стеклянный, жирный. Твердость 2,5—3. Спайность только у антигорита совершенная. Излом раковистый, зернистый. Плотность 2,5—2,7. Происхождение метаморфическое.

Серпентин используется как облицовочный и поделочный камень, как высокосортное огнеупорное сырье. Хризотил-асбест обладает огнестойкостью и щелочеупорностью, он плохо проводит тепло, электричество и звук, что определяет его большое значение при производстве жаростойких и кислотоупорных материалов, картона, пряжи, специальных костюмов. В электро- и радиотехнике он применяется как изоляционный материал. Наиболее ценится длиноволокнистый асбест, называемый текстильным, ибо он пригоден для изготовления несгораемых тканей и тормозных лент.

Каркасные силикаты

Полевые шпаты. Это наиболее распространенные породообразующие минералы, составляющие около 60 % от массы земной коры. По химическому составу полевые шпаты разделяются на две подгруппы: калиево-натровые полевые шпаты — ортоклаз, микроклин и известково-натровые, или плагиоклазы.

Ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$. Сингония моноклинная. Кристаллы короткопризматические, толстотаблитчатые. Часты двойники простые, реже двойники прорастания. Агрегаты зернистые, крупнокристаллические. Цвет белый, розовый, буровато-желтоватый, красновато-белый, иногда — мясо-красный, серо-зеленый. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности иногда перламутровый. Твердость 6—6,5. Хрупок. Спайность совершенная в двух направлениях под углом, близким к 90° . Излом ступенчатый до неровного. Плотность 2,5—2,6.

Сырье для производства фарфора, фаянса, эмалей, глазурей.

Микроклин $K[AlSi_3O_8]$. Как и ортоклаз, содержит примерно 5—7 % Na_2O . Сингония триклинная. Кристаллы короткопризматические, толстотаблитчатые. Агрегаты — крупнокристаллические, пластинчатые, зернистые, друзы. Цвет розовый, буровато-желтый, красновато-белый, мясо-красный, реже белый, голубовато-зеленый (амазонит). Блеск стеклянный, на плоскостях спайности частью перламутровый. Твердость 6—6,5. Хрупок. Спайность совершенная. Излом неровный. Плотность 2,5.

Как и ортоклаз, является сырьем для стекольной и керамической промышленности (производства фарфора и фаянса). Амазонит применяется в качестве поделочного камня.

Плагиоклазы представляют собой изоморфный ряд альбита $Na[AlSi_3O_8]$ и анортита $Ca[Al_2Si_2O_8]$.

Кристаллизуются плагиоклазы в триклинной сингонии. Кристаллы таблитчатые, таблитчато-призматические, короткостолбчатые. Агрегаты — зернистые массы, редко — друзы. Цвет белый, зеленовато-серый. Блеск стеклянный. Твердость 6—6,5. Хрупки. Спайность совершенная в двух направлениях под углом 87° . Излом ступенчатый до неровного. Плотность 2,62—2,76.

Происхождение полевых шпатов магматическое и метаморфическое.

Нефелин $Na[AlSiO_4]$. Относится к группе породообразующих минералов, называемых фельдшпатами.

Сингония гексагональная. Кристаллы призматические, короткостолбчатые, толстотаблитчатые. Обычно встречается в виде зерен неправильной формы. Агрегаты — сплошные, зернистые массы, обычно крупнозернистые. Цвет серовато-белый или серый с желтоватым, буроватым, красноватым, зеленоватым оттенками. Иногда наблюдается неоднородная окраска. Блеск

стеклянный, жирный. Твердость 5—6. Хрупок. Излом раковистый, неровный. Плотность 2,6. Происхождение магматическое.

Нефелин применяется в химической промышленности для получения окиси алюминия. Может служить рудой для получения металлического алюминия.

2.2. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

2.2.1. Общие сведения

Горными породами называются минеральные агрегаты определенного состава и строения, образовавшиеся в результате природных физико-химических процессов.

Горные породы сложены относительно небольшим числом минералов, иногда одним минералом. Соответственно различают полиминеральные и мономинеральные породы. Относительно небольшая группа минералов, слагающая основную, подавляющую часть массы горных пород и определяющая их химический состав, называется породобразующими минералами. Второстепенные минералы называются акцессорными минералами, или аксессуарами. Кроме того, в породах, испытавших наложенные преобразования, выделяют наряду с первичными минералами вторичные, или эпигенетические, минералы.

Важное классификационное и диагностическое значение имеют структура и текстура горных пород. Структурой называются особенности внутреннего строения пород, определяемые формой, абсолютным и относительным размером слагающих их кристаллов, а текстурой — особенности сложения горных пород, определяемые взаимным расположением их составных частей, а также характером и способом заполнения занимаемого пространства минеральным веществом.

Наиболее распространенными структурами являются полнокристаллическая (порода полностью сложена кристаллическими зернами), скрытокристаллическая (кристаллы в породе различимы только под микроскопом), стекловатая (порода состоит из нераскристаллизовавшегося стекловатого вещества), обломочная (порода состоит из обломков минералов и горных пород), порфировая (порода состоит из стекловатой или скрытокристаллической основной массы и отдельных кристаллов, называемых порфировыми включениями).

Среди текстур различают следующие основные виды: массивная (в породе не наблюдается закономерной ориентировки минералов); ориентированная (минералы в породе располагаются параллельно друг другу), разновидностями которой являются слоистая (порода состоит из слоев разного состава или структуры) и сланцеватая (порода имеет

тонкую делимость, обусловленную расположением в одном направлении чешуйчатых, листоватых минералов), полосчатая (в породе наблюдаются полосы различного состава или окраски), пористая (в породе имеются пустоты, поры), миндалекаменная (пустоты и поры в породе заполнены вторичными минералами); такситовая (в породе отдельные участки отличаются друг от друга по составу или структуре) и др.

По происхождению горные породы подразделяются на три крупные естественные ассоциации: осадочные, магматические и метаморфические.

Осадочными называются горные породы, образующиеся на поверхности земли за счет накопления и некоторого преобразования продуктов разрушения ранее существовавших пород, а также при химическом осаждении в водных бассейнах с участием или без участия организмов. Осадочные породы в объеме земной коры составляют не более 5—8 % и в то же время занимают около 75 % площади земной поверхности.

Магматические, или изверженные, горные породы образуются в результате кристаллизации жидкого силикатного расплава, называемого магмой (или лавой). Когда магматический расплав застывает и кристаллизуется в земной коре, не достигнув ее поверхности, образуются интрузивные породы. Если магматический расплав, выброшенный при вулканических извержениях, застывает на поверхности, образуются эффузивные, или излившиеся горные породы. Различают также группу жильных магматических пород, образовавшихся при застывании магмы в трещинах земной коры. В земной коре магматические породы составляют 50 % от ее объема.

Метаморфические горные породы образуются в результате преобразования (метаморфизма) исходных магматических или осадочных пород под воздействием температуры, давления и химически активных веществ. Метаморфические породы составляют около 45 % от объема земной коры.

Минеральный и химический состав горных пород, строение и условия их залегания изучает и описывает один из разделов геологии — петрография. При изучении горных пород в петрографии используются полевые и лабораторные методы.

Задача полевых методов петрографических исследований — установить минеральный состав горных пород, их структуру и характер залегания и взаимоотношения с окружающими породами.

Лабораторные методы заключаются в детальном изучении минерального состава, определении качественных и количественных соотношений минералов в тонких срезах горных пород, называемых шлифами, под микроскопом; разделении минералов на различные фракции в тяжелых жидкостях или механическим и электромагнитным способами; дальнейшем изучении

горных пород в целом или отдельных монофракций минералов с помощью минералогического, химического, спектрального, рентгеноструктурного, термического и других видов анализов.

2.2.2. Осадочные горные породы

Осадочные горные породы образуются в поверхностных условиях в результате накопления и цементации обломочного материала, выпадения различных веществ из растворов или под воздействием жизнедеятельности организмов.

Соответственно в составе осадочных горных пород различают:

1) обломки ранее существовавших горных пород или слагавших их минералов. Наиболее распространенными минералами являются кварц, полевые шпаты, слюды, пироксены, амфиболы;

2) цементы, связующие между собой отдельные обломки пород и минералов. Чаще встречаются цементы, состоящие из углекислого кальция и магнезия (известковый и доломитовый цементы), аморфных разновидностей кремнезёма (кремнистый цемент), водных окислов железа (железистый цемент) или из глинистых частиц (глинистый цемент). Часто цемент имеет комбинированный состав, например, известково-глинистый, железисто-кремнистый и т. д.:

3) минералы, образующиеся в процессе химического разложения полевых шпатов, слюд или других минералов, — каолинит, гидрослюда, глауконит, нонтронит и др.;

4) минералы, кристаллизующиеся при выпадении из водных растворов различных солей или окислов кремнезёма, — гипс, каменная и калийная соли, халцедон, опал и др.;

5) остатки организмов;

6) конкреции, представляющие собой стяжения вещества, отличающиеся обычно по составу от окружающей среды. Например, конкреции пирита в глинах, фосфорита в различных осадочных породах и т. д.

В основу классификации осадочных горных пород положено с одной стороны, их происхождение, а с другой — их химический и минеральный состав. Так, по способу накопления осадков различают породы обломочные, химические и органогенные. В особую группу выделены глинистые породы. Существенным отличием глинистых пород от обломочных является не только чрезвычайная измельченность частиц, но и условия их образования: частицы глинистых пород являются не механическими обломками, а продуктами разложения некоторых минералов, имеющих характерный состав.

Важное диагностическое значение имеют структурно-текстурные особенности осадочных пород. Обломочные породы имеют соответственно обломочные, или кластические структуры. Различают следующие кластические структуры: псефитовые обломки (более 2 мм диаметром), псаммитовые (от 2 до 0,1 мм), алеври-

Классификация осадочных горных пород

Группы пород		Осадки и рыхлые породы		Сцементированные породы	
		окатанные обломки	угловатые обломки	окатанные обломки	неокатанные обломки
Обломочные	грубообломочные (псефиты)	валуны, галечник, гравий	глыбы, щебень дресва	конгломераты, гравелиты	брекчии
	песчаные (псаммиты)	пески		песчаники	
	пылеватые (алевриты)	алевриты, лёсс		алевролиты	
Глинистые (пелиты)		глины		аргиллиты, глинистые сланцы, углисто-глинистые сланцы	
		известковые глины		мергели, известково-глинистые сланцы	
Химические и органогенные	железистые и марганцевые	глауконитовые пески, рыхлые осадки гидрокислов железа и марганца		глауконитовые песчаники, бурые железняки, марганцевые руды	
	глиноземистые фосфатные кремнистые карбонатные галогидные сернокислые каустобиолиты			сапропель, отложения	гумусовые

товые (от 0,1 до 0,01 мм) и пелитовые (частицы менее 0,01 мм). Среди псаммитов по размеру зерен выделяют грубозернистые (2—1 мм), крупнозернистые (1—0,5 мм), среднезернистые (0,5—0,25 мм) и мелкозернистые (0,26—0,1 мм) разновидности. В породах химического и органогенного происхождения структуры различают по размерам зерен или по составу организмов, слагающих породу, например, крупно- или мелкозернистые структуры, биоморфная или органогенно-детритовая структуры.

Характерными текстурами осадочных пород являются слоистые и полосчатые. Слоистость не всегда проявляется в образцах, иногда она обнаруживается лишь при наблюдении крупных выходов скальных обнажений.

В табл. 5 приведена классификация осадочных пород.

Среди грубообломочных пород, или псефитов, различают сцементированные и несцементированные, или рыхлые, породы. Несцементированные разности представлены глыбами, валунами, щебнем, дресвой, галечником и гравием.

Глыбы, щебень и дресва — скопления угловатых неокатанных обломков размером от 100 мм (глыбы) до 2 мм (дресва). Их образование связано с механическим разрушением горных пород.

Валуны, галечники и гравий — округлые обломки горных пород тех же размеров. Они образуются при окатывании обломков водами рек, морей, озер, ледников, т. е. имеют речное, морское, озерное или ледниковое происхождение.

Сцементированные грубообломочные породы представлены брекчиями, конгломератами и гравелитами.

Брекчии — крупнообломочные осадочные породы, состоящие из неокатанных обломков (глыб, щебня, дресвы) различных пород, скрепленных цементом. Брекчии образуются при обвалах, оползнях, в зонах разрывных тектонических нарушений, а также при вулканических извержениях.

Конгломераты и гравелиты — осадочные горные породы, состоящие из сцементированного галечника и гравия. Имеют речное, морское, озерное, ледниковое происхождение.

Песчаные породы состоят из обломков зерен размером от 2 до 0,1 мм и подразделяются на грубозернистые (2—1 мм), крупнозернистые (1,0—0,5 мм), среднезернистые (0,5—0,25 мм) и мелкозернистые (0,25—0,1 мм).

Песчаные породы, или псаммиты, подразделяются на рыхлые — пески и сцементированные — песчаники.

Пески и песчаники подразделяют по минеральному составу на мономинеральные, состоящие из одного минерала (чаще всего кварцевые, глауконитовые и др.), олигомиктовые, образованные двумя минералами (кварц и полевой шпат, кварц и глауконит), и полимиктовые, состоящие из нескольких минералов.

Среди полимиктовых песков и песчаников различают: аркозовые, сложенные полевыми шпатами, кварцем, слюдой и темноцветными минералами; граувакковые, состоящие из обломков минералов и пород; туфогенные, обогащенные обломочными продуктами извержения вулканов. Песчаники могут иметь карбонатный, кремнистый, глинистый и другой цемент.

Происхождение песчаников может быть морским и континентальным. Среди последних различают речные, озерные, ледниковые, эоловые (ветровые) и т. д.

Алевриты представляют собой тонкозернистые пылеватые породы с частицами размером от 0,1 до 0,01 мм. Несцементированные рыхлые разности называются алевритами, сцементированные — алевrolитами.

По минеральному составу алевритовые породы разделяются на мономинеральные, олигомиктовые и полиминеральные.

Аркозы и граувакки встречаются редко. По внешнему виду алевроитовые породы напоминают песчаные, хотя их зернистость заметна только в лупу. Происхождение алевроитов морское, озерное, эоловое.

К алевроитам относится лёсс, представляющий собой неслоистую тонкообломочную породу. Цвет лёсса светло-желтый, палевый. В состав лёсса входят кварц, глинистые минералы, карбонаты.

Алевриты — плотные тонкослоистые породы серой, темно-серой, буроватой, зеленовато-серой, пестрой окраски. При ударе раскалываются на плитки. В отличие от алевроитов алевриты не размокают в воде.

Глинистые породы (пелиты) сложены частицами размером менее 0,01 мм. Рыхлые разновидности их относятся к глинам, сцементированные — к аргиллитам.

Глинистые породы широко распространены в природе, составляя более 50% всех осадочных пород.

По происхождению различают глины континентального и морского генезиса. Среди континентальных глин выделяют первичные и вторичные образования. Первичные, или остаточные, глины образуются при химическом разрушении горных пород. Для этих глин характерно отсутствие ясной слоистости и наличие неразложившихся, более устойчивых к разрушению минералов (кварца и др.). Вторичные, или переотложенные, глины образуются в результате осаждения из воды тонковзмученного глинистого материала, который был вынесен текучими водами с места разложения материнских пород. Для этих глин характерна тонкая слоистость и меньшая однородность глинистого состава. Те и другие глины, как правило, содержат некоторое количество (до 50%) обломочного материала — алевроита, песка любого состава. Минеральный состав глин смешанный, чистых мономинеральных глин обычно мало. В мелкодисперсной фракции глин (менее 0,001 мм) присутствуют каолинит, монтмориллонит, гидрослюда и др., в грубой фракции (более 0,001 мм) — кварц, полевые шпаты, реже слюды.

Аргиллиты — сцементированные и уплотненные глинистые породы слоистой и неслоистой текстуры, серой, темно-серой, зеленовато-серой, бурой, пестрой окраски. В воде не размокают. По минеральному составу они часто соответствуют гидрослюдистым и полиминеральным глинам. Кроме глинистых частиц, в аргиллитах всегда присутствуют кварц, слюда, полевые шпаты, карбонаты и т. д. Многие аргиллиты содержат значительное количество органического вещества.

Химические, или хемогенные, породы образуются при выпадении солей из насыщенных водных раствором или в результате химических реакций, происходящих в земной коре и на ее поверхности.

Органогенные, или биогенные, породы образуются целиком или частично из остатков животных и растительных ор-

ганизмов. Часто хемогенный и биогенный процессы протекают в природе одновременно, и тогда образуются биохимические породы (многие железистые породы, некоторые фосфориты).

К химическим и органогенным породам относятся кремнистые, карбонатные, железистые и марганцевые породы, бокситы, фосфориты, галоидные и сернокислые соединения.

Кремнистые породы почти целиком сложены кремнеземом химического или биохимического происхождения и скелетами кремниевых организмов. К кремнистым породам относятся радиоляриты, диатомиты, трепелы, опоки, яшмы, кремни, гейзериты, или кремнистые туфы.

Карбонатные породы — известняки, доломиты, мергели — широко распространены среди осадочных пород.

Известняки состоят главным образом из зерен кальцита или кальцитизированных скелетных остатков организмов. Они могут содержать примесь алевритового или глинистого материала, гидроокислов железа. Окраска известняков меняется от светлых тонов до темных. Все известняки бурно реагируют (вскипают) с разбавленной соляной кислотой. По происхождению различают известняки хемогенные, органогенные (биогенные), обломочные.

К хемогенным карбонатным породам относят известковый туф (травертин), образующийся на месте выхода горячих и холодных минеральных источников. Макроскопически травертин светло-бурый, иногда белый или серый, пористый (ячеистый). Образует натечные формы и часто содержит раковины наземных организмов.

К органогенным карбонатным породам относят пишущий мел. Это порода белого цвета, состоящая на 70—80% из остатков одноклеточных известковых водорослей и их фрагментов, а также мелких раковин.

Доломиты по внешнему виду похожи на известняки. Это желтовато-белые, иногда с буроватым оттенком, плотные, скрытокристаллические породы. Доломиты образуются как за счет замещения в известняке кальция магнезией, так и путем химического выпадения из раствора при большом содержании в воде магнезия. В отличие от известняка порошок доломита слабо вскипает при действии на него 10%-ного раствора соляной кислоты.

Мергели — известково-глинистые породы. В зависимости от преобладания глинистых минералов или карбоната кальция намечается ряд: глинистые известняки — мергели — известковистые глины. Цвет мергелей серый, встречается пестрая окраска. Они вскипают с соляной кислотой, оставляя после реакции темное пятно. Образуются в морских и озерных условиях.

Железистые осадочные породы образуются при разложении магматических и метаморфических пород, богатых железосодержащими минералами. В результате химического разложения

минералов железо переходит в гидроокисные соединения и выносятся водами в виде механической взвеси и коллоидов. Иногда перенос осуществляется в сульфатной или бикарбонатной форме. Осаждение железа происходит в прибрежно-морских и озерно-болотных условиях (бобовые руды) путем хемогенного осаждения, а иногда с участием бактерий. Железистые породы образуются также на суше в зоне окисления сульфидных месторождений, причем возникают так называемые «железные шляпы».

Образование марганцевых осадочных пород происходит в результате разрушения кристаллических пород и выноса марганца водами в основном в виде гидроокислов, часто совместно с железом. Осаждение марганца происходит в мелководных морских, прибрежно-морских и озерно-болотных условиях и хемогенным путем при активном участии бактерий.

Глиноземистые породы, или бокситы, являются рудой на алюминий (при содержании глинозёма не менее 28%). Породообразующими минералами бокситов являются гиббсит, бёмит, диаспор, гидрогётит, лимонит, каолинит.

Бокситы — тонкодисперсные мягкие или плотные породы белого, серого, желтого цвета, а также темно-красного оттенка (в зависимости от содержания железа). Преобладают бокситы красного цвета и темно-красной окраски. Структура — оолитовая (бобовая). Текстура массивная, реже слоистая. Иногда встречаются бокситы, похожие на глинистые породы.

Фосфатные осадочные горные породы, сложенные аморфными или микрокристаллическими фосфатами кальция с примесью глинистого или песчаного материала, называются фосфоритами. Обычно к фосфатным относятся породы, содержащие не менее 10% P_2O_5 .

Фосфориты по цвету обычно черные и серые породы, имеющие массивную, желваковую, зернистую или конгломератовую структуру. Текстура слоистая, натечная. Фосфориты часто образуют пласты, внешне похожие на известняки, песчаники, или образуют скопления зерен, желваков, конкреций.

Галоидные и сернокислые соединения — типичные хемогенные осадочные породы, состоящие из минералов класса сульфатов и хлоридов. Главные минералы этих пород: ангидрит, гипс, галит, сильвин, карналлит. В виде примеси в них присутствуют, глинистые, алевроитовые и песчаные частицы.

Среди них различают сульфатные, сложенные гипсом и ангидритом, и хлоридные: каменная соль (в основном галит), карналлитовая порода (карналлит 50—80%, галит 20—50%), сильвиновая порода (галит 25—60%, сильвин 15—40%) и др.

Структура пород в основном кристаллическая, натечная, текстура массивная, слоистая и др. Соли залегают в виде крупных пластовых залежей, прослоев, линз, иногда слагают ядра соляных куполов. Мощность крупных соляных залежей может достигать 500 м, распространение по площади — десятки и сотни км².

Образование солей происходит в прибрежно-морских, лагунных, озерных (бессточных) водоемах в условиях жаркого климата, когда испарение в несколько раз превышает количество выпадающих осадков.

Каустобиолиты — горючие ископаемые, горные породы органического происхождения. К каустобиолитам относятся торф, ископаемые угли, горючие сланцы, нефть и нефтяные битумы.

Торф представляет собой бурую, темно-бурую полуразложившуюся массу, состоящую из растительных остатков и углеводородных соединений.

Ископаемые угли представляют собой органическую горную породу и относятся к твердым горючим ископаемым. Исходным материалом для них послужили высшие и низшие (в основном водоросли) растения, а также простейшие организмы, богатые жирами. В зависимости от исходного материала различают угли гумусовые, или гумиты, образовавшиеся из остатков растительных тканей высших растений, и сапропелевые, или сапропелиты, образовавшиеся из остатков водорослей и простейших организмов.

В формировании углей различают две стадии: 1) оторфованния, или гумификации, и 2) углефикации. В первую стадию образуются торф и сапропель, а во вторую из торфа и сапропеля — ископаемые угли. При этом торф и сапропель сначала превращаются в бурый, а затем в каменный уголь и при благоприятных условиях — в антрацит.

Бурый уголь представляет собой горючую ископаемую породу, имеющую черную, коричневатую или темно-бурую окраску, матовый блеск и бурую черту. Содержание углерода составляет в среднем 65—75%.

Каменный уголь внешне отличается от бурого большей твердостью, более плотным сложением, постоянным черным цветом и черной чертой. Содержание углерода составляет 75—90%.

Антрацит представляет однородный плотный и блестящий уголь черного цвета, обычно с раковистым изломом. Содержание углерода 90—97,5%.

Горючие сланцы — это глинистые, известковистые, песчаные породы, содержащие органическое вещество. В зависимости от его происхождения выделяют следующие природные типы горючих сланцев: битуминозные (пропитанные нефтяными битумами), гумусовые (за счет разложения высших растений), сапропелевые (за счет разложения низших растений и простейших организмов).

Нефть — природная горючая маслянистая жидкость, состоящая из смеси углеводородов, кислородных, азотистых и сернистых соединений. Основную часть нефти составляют углеводороды (около 96—98%). По окраске нефть желтовато-темно-коричневая, реже бесцветная или черная.

Асфальт является продуктом окисления нефти. Состоит из углерода (80 %), водорода (10 %), кислорода (10 %). Окраска буро-черная. Блеск смолистый; мягкий; легко плавится и горит; имеет своеобразный запах.

Озокерит (горный воск) образуется за счет естественной перегонки нефти. Состоит из углерода (84 %) и водорода (16 %). Окраска зеленовато-коричневая, черно-бурая. Блеск жирный; мягкий; жирный на ощупь. Легко плавится и горит.

2.2.3. Магматические горные породы

Магматические горные породы различаются и называются прежде всего по их минеральному составу, структуре и текстуре, в основу же петрографической классификации положен их химический состав.

Главными породообразующими минералами магматических горных пород являются кварц, полевые шпаты, слюды, роговая обманка, пироксен, оливин, второстепенными (акцессорными) — апатит, циркон, магнетит, гематит, рутил, ильменит, сфен. Вторичными могут быть хлорит, серицит, серпентин, эпидот, карбонаты и многие другие минералы. Второстепенные и вторичные минералы не играют существенной роли при определении типа магматических горных пород. Ведущее значение при этом имеют содержание кварца, состав полевых шпатов, а также относительное количество темноцветных и светлоокрашенных породообразующих минералов.

Структура магматических пород определяется степенью кристалличности и относительным количеством стекла (полнокристаллические, неполнокристаллические и стекловатые структуры), абсолютным размером зерен минералов (крупно-, средне-, мелко-, тонкозернистые и скрытокристаллические структуры) и относительным размером зерен (равномернозернистые, неравномернозернистые, порфириовидные и порфириовые структуры).

Текстуры магматических горных пород выделяются по признаку однородности вещества породы (однородные и неоднородные — пятнистые, полосчатые, флюидалные текстуры), по ориентировке слагающих минералов (ориентированные и неориентированные) и по степени заполнения пространства (компактные, массивные и пористые, пузыристые, миндалекаменные текстуры).

Интрузивные породы характеризуются яснозернистыми структурами, потому что вся масса породы представляет собой агрегат кристаллических зерен. Для эффузивных пород характерны порфириовые или афировые, неполнокристаллические или стекловатые структуры. Излияние лавы сопровождается выделением газов и паров, что приводит к образованию пористых, шлаковых, пузыристых текстур. Когда пустоты от выделившихся газов впоследствии заполняются вторичными минералами (опал, халцедон, эпидот и др.), появляется миндалекаменная текстура эф-

фузивов. Следы течения лавы обнаруживаются нередко в параллельном расположении ранее выделившихся минералов, в струйчатой окраске застывшей стекловатой массы. Соответствующая текстура эффузивной породы носит название флюидальной.

Наряду с эффузивными значительным распространением пользуются вулканогенно-обломочные породы. К ним относятся породы обломочной структуры, сложенные вулканическим и одновременно выпавшим с ним осадочным материалом, а также образованные из переотложенного вулканического материала. Таким образом, эти породы имеют черты сходства, с одной стороны, с магматическими (вулканический материал), с другой — с нормальными осадочными породами (по способу отложения, накопления материала), поэтому в их классификации сочетаются принципы расчленения обеих групп горных пород (табл. 6).

По соотношению вулканического и осадочного материала выделяются две группы пород: 1) вулканогенно-обломочные и 2) вулканогенно-осадочные породы. В первую группу включены породы, сложенные или только вулканическим материалом (лавокластические и пирокластические), или вулканическим и синхронно с ним образованным осадочным материалом в количестве не более 50 % (осадочно-пирокластические). Во вторую группу включены породы, сложенные преимущественно осадочным материалом (более 50 %) с примесью пирокластического материала (пирокласто-осадочные породы), и осадочные породы, целиком или существенно состоящие из переотложенного вулканического материала (вулканомиктовые породы).

Как упоминалось выше, основой классификации магматических горных пород является их химический состав. Все магматические горные породы разделяются по содержанию кремнезема (SiO_2) на группы: ультраосновные (менее 45 %), основные (от 45 до 52 %), средние (от 52 до 65 %), кислые (от 65 до 75 %). В отдельную группу выделяются щелочные породы, содержащие примерно 20 % щелочей и около 40—55 % SiO_2 .

Ультраосновные породы состоят из оливина, пироксена и роговой обманки. Характерной особенностью их состава является отсутствие полевых шпатов и кварца. Черная и темно-зеленая окраска основных породообразующих минералов обуславливает темный и черный с зеленоватым оттенком цвет ультраосновных пород. Интрузивные разности этих пород представлены дунитами, перидотитами и пироксенитами, имеющими полнокристаллическую, яснозернистую структуру и массивную или полосчатую текстуру. К ультраосновным породам относятся также кимберлиты — породы, имеющие порфиновую структуру и брекчиевидную текстуру. Материал, слагающий кимберлитовые тела, представляет собой обычно брекчии от мелкообломочных до крупнообломочных разностей преимущественно серой и зеленой окраски. Среди разнородных включений в составе кимберлитов обязательно присутствуют ультраосновные породы

Классификация вулканогенных обломочных пород (размер обломков в мм)

Вулканогенно-обломочные		Вулканогенно-осадочные	
Лавокластические	Пирокластические	Осадочно-пирокластические	Пирокласто-осадочные
Лавобрекчи, лавовые ксенобрекчи: агломе- ратовые лавы (≥ 10)	Грубообломочные туфы: бомбовые и глыбовые (≥ 50)	Грубообломочные туф- фиты	Валуны туфоконгло- мераты и глыбовые брекчи ($< 200,0$)
	Крупнообломочные ту- фы, лапиллиевые (≥ 10)	Крупнообломочные туф- фиты	Туфоконгломераты и туфобрекчи (200,0— 10,0)
Туфолавы (< 10)	Среднеобломочные туфы (5,0—1,0)	Среднеобломочные (псаммитовые) туффиты Мелкообломочные (алев- ритовые) туффиты	Туфогравелиты (10,0— 1,0)
	Мелкообломочные туфы (1,0—0,1)		Туфопесчаники (1,0— 0,1)
	Тонкообломочные ($< 0,1$)	Тонкообломочные (пелитовые) туффиты	Туфоалевролиты и ту- фоаргиллиты (0,1)
			Вулканомиктовые песчаники
			Вулканомиктовые гра- велиты
			Вулканомиктовые кон- гломераты и вулканомик- товые брекчи
			Вулканомиктовые алев- ролиты и аргиллиты

(перидотиты, пироксениты), свидетельствующие о глубинном происхождении материала кимберлитов.

Дуниты — существенно оливиновые породы, содержащие (до 3%) магнетит и хромит, иногда платину.

Перидотиты состоят из оливина и авгита, нередко содержат хромит, магнетит, ильменит.

Пироксениты — породы, в которых пироксен (авгит) резко преобладает над оливином.

Основные породы имеют в своем составе пироксены и основные плагиоклазы (от лабрадора до анортита). В меньшем количестве присутствуют оливин, роговая обманка, биотит, характерно отсутствие кварца. Окраска пород темная. У интрузивных пород на темном фоне выделяются зерна плагиоклазов. Основные представители: габбро, лабрадориты, их излившиеся и жильные аналоги — базальты и диабазы.

Габбро состоит из пироксена (50%) и плагиоклаза (50%). Окраска темно-серая, темно-зеленая до черной. Структура габбро крупно-и среднезернистая, текстура массивная, полосчатая, такситовая.

Анортозиты — породы из группы габбро, состоящие почти целиком из основного плагиоклаза. Крупнозернистые лабрадоритовые анортозиты называются лабрадоритами.

Базальты — очень плотные черные или темно-серые породы, являющиеся излившимися аналогами габбро. Минеральный состав их соответствует подобен составу габбро: авгит, основной плагиоклаз, роговая обманка. Структура основной массы скрытокристаллическая, мелкозернистая. Иногда в основной массе содержатся порфиновые выделения авгита, оливина, плагиоклазов.

Базальты, содержащие кислый плагиоклаз (альбит) за счет альбитизации первичного основного плагиоклаза и образовавшиеся при подводных излияниях, о чем свидетельствует наличие в них подушечной отдельности, называются спилитами.

Диабазы — преимущественно жильные породы, по минеральному составу аналогичен базальтам и габбро. Это яснозернистые породы, состоящие из основного плагиоклаза и пироксена. В основной массе диабаза встречается хорошо различимые удлиненные кристаллы серого плагиоклаза или темного авгита, образующие как бы войлок минералов (офитовая структура).

Средние породы, занимающие промежуточное положение между основными и кислыми, состоят из средних плагиоклазов, калиевых полевых шпатов и роговой обманки, реже авгита и биотита; кварц обычно отсутствует. Интрузивные породы представлены диоритами и сиенитами, их эффузивные аналоги соответственно — андезитами, андезитовыми порфиритами, трахитами и трахитовыми порфирами.

Диориты состоят из среднего плагиоклаза, роговой об-

манки, иногда авгита, слюды, реже кварца. При наличии кварца различают кварцсодержащий (до 5%) и кварцевый (5—10%) диориты. Структура полнокристаллическая, зернистая, текстура массивная. Плаггиоклазы встречаются в виде зерен таблитчатой формы серой или светло-зеленой окраски. Роговая обманка в виде удлиненных кристаллов темно-зеленых или черных.

Положение диоритов между основными и кислыми породами и изменение в этом ряду основности плаггиоклазов обусловило наличие переходных интрузивных пород — габбро-диоритов и гранодиоритов.

Андезиты имеют часто порфировую структуру, текстура пористая. Вкрапленники представлены средним плаггиоклазом, реже роговой обманкой, авгитом, биотитом.

Андезитовые порфиры представляют собой измененные аналоги андезитов. Структура порфировая с вкрапленниками среднего плаггиоклаза, роговой обманки или авгита.

Сиениты — бескварцевые породы, состоящие в основном из калиевого полевого шпата, кислого плаггиоклаза и одного или нескольких цветных минералов (обычно роговой обманки, реже биотита или авгита). Окраска сиенитов светлая, розоватая. Структура полнокристаллическая среднезернистая, текстура массивная, однородная.

Трахиты — излившиеся аналоги сиенитов. Окраска светло-желтая, желтовато-серая. Структура порфировая с вкрапленниками калиевого полевого шпата и темноцветных минералов (роговой обманки, пироксена).

Трахитовые порфиры являются измененными аналогами трахитов. В отличие от трахитов имеют рыжевато-бурую окраску.

Весьма существенная роль в строении земной коры континентов принадлежит кислым горным породам. Интрузивные породы — граниты и гранодиориты, их эффузивные аналоги — липариты и кварцевые порфиры. К вулканическим аналогам кислых пород относятся также обсидиан и пемза.

Гранит состоит из калиевого полевого шпата, плаггиоклаза, кварца, биотита; реже в их состав входят мусковит и роговая обманка. Окраска серая, красная, розоватая, желтоватая. Структура полнокристаллическая, яснозернистая, текстура массивная. В зависимости от состава темноцветных минералов граниты подразделяются на биотитовые, роговообманковые и т. д. Граниты, в которых количество темноцветных минералов незначительно (менее 3%), называются лейкократовыми. Граниты, почти лишённые темноцветных минералов и состоящие из щелочного полевого шпата и кварца, называются аляскитами. С повышением основности плаггиоклазов, уменьшением содержания кварца и увеличением числа темных минералов граниты переходят в гранодиориты.

Пегматиты по составу отвечают гранитам, но залегают в виде жильных тел и отличаются от гранитов крупно- и гиган-

тозернистой структурой, наличием крупных кристаллов и зональным строением.

А п л и т ы—обычно мелкозернистые, плотные лейкократовые породы, состоящие из кварца и щелочных полевых шпатов.

Л и п а р и т ы—эффузивные породы порфировой структуры. Порфировые вкрапленники—полевой шпат, кварц, слюда. Текстура липаритов пористая, чаще флюидальная.

К в а р ц е в ы е п о р ф и р ы—сильно измененные излившиеся аналоги гранитов. Отличаются от липаритов более темной окраской—бурой, красно-бурой, серо-зеленой. Структура порфировая.

О б с и д и а н—вулканическое стекло, отвечает по составу липаритам. Окраска от светлой до черной, преобладает черная.

П е м з а—стекловатая тонкопористая ячеистая горная порода. Образуется преимущественно при подводных излияниях вязкой кислой лавы, насыщенной газами. Окрашен в серые, желтоватые, бурые тона.

Особую группу составляют щелочные горные породы, к числу которых относятся щелочные ультраосновные породы, щелочные габброиды и базальтоиды, щелочные граниты и липариты, нефелиновые сиениты и фонолиты, а также щелочные сиениты и трахиты. Последние состоят из калиевого полевого шпата и щелочных темноцветных минералов.

2.2.4. Метаморфические горные породы

Метаморфические горные породы образуются в результате минерального и структурно-текстурного преобразования ранее существовавших осадочных и магматических пород под воздействием внутриземного тепла и химически активных веществ. Основными факторами метаморфизма являются температура, давление и состав циркулирующих через породы растворов и газов. Степень изменения первичных пород зависит от интенсивности воздействия факторов метаморфизма, в связи с чем можно говорить о рядах метаморфических горных пород, начиная от исходных и кончая глубокометаморфизованными породами, например: аргиллит — глинистый сланец — филлит — слюдяной сланец—гнейс. В метаморфизме как геологическом явлении различают собственно метаморфизм, протекающий без изменения химического состава, и метасоматоз, сопровождающийся изменением химического состава исходных пород. К собственно метаморфическим изменениям относятся перекристаллизация, сегрегация, метаморфическая дифференциация, ведущие к образованию новых минералов в результате перераспределения атомов (ионов) без существенного расплавления, т. е. в твердом состоянии. Однако на наиболее высокой ступени метаморфизма — ультраметаморфизме — может произойти частичное (анатексис) или полное (палингенезис) переплавление исходных пород с образованием разнообразных мигматитов, анатектических и палингенных гранитоидов.

Основным условием метасоматоза является химическая неравновесность исходных пород и протекающих сквозь них растворов. Разновидностями метасоматоза являются: гранитизация, заключающаяся в привносе щелочей, в меньшей мере алюминия и кремния; базификация — привнос Fe, Mg и Ca; кислотное выщелачивание — вынос щелочных и щелочноземельных элементов. Кроме того, выделяют метасоматические процессы по минералам, приобретающим господствующее значение в породе; хлоритизация — замещение железисто-магнезиальных минералов хлоритом; серицитизация — замещение полевых шпатов серицитом; серпентинизация — замещение железисто-магнезиальных минералов серпентином и др. Особое место занимает рудный метасоматоз, приводящий к концентрации железа, меди, полиметаллов, редких элементов и др.

Минеральный состав метаморфических пород зависит от состава исходных пород и условий метаморфизма. Главными породообразующими минералами метаморфических пород являются: кварц, полевые шпаты, слюды, пироксены, роговая обманка, гранаты, тальк, хлориты, актинолит, эпидот, карбонаты.

Большинство метаморфических пород имеют полнокристаллическую (кристаллобластическую) структуру, образующуюся в результате их перекристаллизации (бластеза). Встречаются также реликтовые (остаточные) структуры с элементами структур исходных пород и каткластические структуры, возникающие при тектоническом дроблении.

Основными текстурами метаморфических пород являются: сланцеватая, когда совершенно однородная порода распадается на тонкие пластинки и плиты; полосчатая, проявляющаяся в чередовании различных по составу пород; пятнистая — наличие в породе участков — пятен, отличающихся составом и окраской; пльчатая — наличие в породе мелких складочек; массивная.

Наиболее широкое распространение имеют горные породы — продукты регионального метаморфизма, проявляющегося на обширных площадях под действием регионального теплового потока и повышенного давления. К таким породам относятся филлиты, кристаллические сланцы, мраморы, кварциты, амфиболиты, гнейсы.

Филлит образуется при региональном низкотемпературном метаморфизме глинистых сланцев и аргиллитов и в отличие от них не содержит глинистых минералов. Это полнокристаллическая тонкосланцеватая порода, состоящая из кварца, серицита, альбита, хлорита, биотита, кальцита, доломита и др. Преобладают кварц и серицит. Цвет зеленовато-серый, черный, блеск по плоскостям сланцеватости шелковистый.

Кристаллические сланцы — полнокристаллические, отчетливо сланцеватые, нередко пльчатые породы. Наиболее распространены среди кристаллических сланцев слюдяные сланцы, состоящие из слюды и кварца. Кроме слюд, в кристал-

лических сланцах могут присутствовать гранат, дистен, амфибол, ставролит, силлиманит и другие минералы. Соответственно различают дистеновые, ставролитовые, силлиманитовые и другие кристаллические сланцы.

Мрамор — зернистая метаморфическая порода, состоящая из кальцита. Образуется при перекристаллизации известняков, доломитов. Чистые разновидности мрамора белые. Примеси (графит, тальк, слюда, амфиболы и др.) придают ему серый, голубоватый, розоватый оттенки.

Кварцит — плотная, мелкозернистая, реже сланцеватая порода белой, серой, буровато-красной и темно-серой окраски. Образуются при метаморфизме кварцевых песков и песчаников. Кварциты, обогащенные гематитом и магнетитом, называются железистыми кварцитами. Тонкополосчатые яшмовидные разновидности железистых кварцитов называются *джеспилитами*.

Амфиболит — метаморфическая порода, состоящая в основном из роговой обманки и плагноклаза. По происхождению амфиболиты делятся на ортоамфиболиты, возникшие за счет средних и основных магматических пород, и параамфиболиты, образующиеся в результате метаморфизма осадочных пород (например, мергелей).

Гнейс — глубоко метаморфизованная порода, сложенная в основном кварцем, полевыми шпатами, биотитом, роговой обманкой и авгитом. Наиболее распространены биотитовые и роговообманковые гнейсы. По составу гнейсы близки к гранитам, но образуются в результате метаморфизма магматических (ортогнейсы) и осадочных (парагнейсы) пород. Между гнейсами и гранитами существуют взаимные переходы. Разгнейсованные граниты называются гнейсогранитами, а гранитизированные гнейсы — гранитогнейсами.

К этой группе примыкают *мигматиты* — смешанного типа породы, образующиеся при проникновении, пронизывании гранитной магмой метаморфических горных пород или за счет частичного их расплавления (ультраметаморфизм). В зависимости от формы гранитоидных образований выделяются морфологические разновидности мигматитов — полосчатые, линзовидные, «очковые», ветвистые и др.

Филлиты, кристаллические сланцы, мраморы, гнейсы и амфиболиты представляют продукты регионального метаморфизма, проявляющегося на больших площадях.

При контактовом метаморфизме, проявляющемся в узких зонах под воздействием горячего, насыщенного летучими компонентами магматического расплава не вмещающие породы, образуются роговики, скарны и грейзены.

Роговик — плотная полнокристаллическая порода с раковистым изломом. В состав роговика входят кварц, слюды, полевые шпаты, гранат, андалузит, силлиманит, кордиерит, реже роговая обманка, пироксен и др.

Скарнами называются контактово-метаморфические породы, состоящие из граната (гроссуляр-андрадит), пироксенов и некоторых других известково-железистых силикатов, возникшие за счет преобразования карбонатных и реже силикатных пород. Со скарнами часто ассоциируют месторождения железа, меди, свинца и цинка; олова, вольфрама и др.

Грейзены — метасоматические горные породы, состоящие из мусковита, кварца, турмалина, флюорита и других минералов, связаны с поздними стадиями формирования гранитных интрузий. Часто содержат берилл, молибденит, вольфрамит и другие рудные минералы.

При динамическом (катакластическом) метаморфизме, обусловленном механическим разрушением горных пород в зонах смятия и разломов, возникают брекчии, катаклазиты и милониты.

Брекчия представляет собой агрегат относительно крупных обломков, сцементированных мелкозернистой массой. Обычно обладает массивной текстурой.

Катаклазит характеризуется неполным разрушением материала, в нем можно видеть реликты исходных пород, в той или иной степени деформированных.

Милонит представляет собой тонко измельченную массу, образующую породу, часто обладающую сланцеватой или линзовидно-полосчатой текстурой.

Породы, претерпевшие после дробления или одновременно с ним перекристаллизацию, называются бластомилонитами.

Глава 3. СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

ОСНОВЫ СТРУКТУРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Широкий круг вопросов, касающихся строения и закономерностей формирования и развития земной коры и более глубоких геосфер, составляет предмет науки, именуемой геотектоникой. Основной задачей при изучении строения земной коры является определение форм, взаимоотношений и внутреннего строения слагающих ее элементов — геологических тел, образованных различными горными породами. Этими вопросами занимается один из разделов геотектоники — структурная геология.

Изучение условий залегания осадочных, магматических и метаморфических горных пород позволяет устанавливать связи с определенными структурными формами разнообразных полезных ископаемых. Данные структурной геологии имеют большое значение при выполнении гидрогеологических и инженерно-геологических изысканий, при закладке карьеров и шахт, при проходке подземных горных выработок и т. д. Определение пространственного взаимоотношения горных пород дает возмож-

ность установить условия и последовательность их формирования, служит основой для решения многих теоретических вопросов и создания геотектонических концепций.

Важнейшим средством анализа структур и их наглядного представления является геологическая карта, на которой особыми условными знаками изображаются все разновидности горных пород, условия их залегания, возраст, характер вторичных изменений и т. д. Геологическая карта — необходимая основа для всех видов геологических работ, поисков, разведки и эксплуатации месторождений полезных ископаемых. Описание геологических карт и методы их составления изложены в гл. 12.

3.1. УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Форма и положение геологических тел в пространстве свидетельствуют о том, что они являются результатом, во-первых, процессов, связанных с их первоначальным образованием и, во-вторых, всех затронувших их позднейших процессов. В соответствии с этим выделяются первичные структуры, возникшие при образовании породы, и вторичные структуры, обусловленные последующей деформацией.

3.2. ПЕРВИЧНЫЕ СТРУКТУРЫ

Первичные структуры горных пород, особенности залегания и взаимоотношения образуемых ими геологических тел зависят от условий их формирования. Осадочные, вулканические и глубинные магматические породы обладают, как правило, существенно различными формами залегания.

3.2.1. Структуры осадочных пород

Первичной структурной формой для осадочных горных пород является слой.

Слоем называется геологическое тело плоской формы большой протяженности, ограниченное двумя приблизительно параллельными плоскостями, обладающее более или менее однородным составом.

В строении слоя выделяются следующие элементы: подошва слоя — нижняя его граница, кровля слоя — верхняя граница, мощность слоя — расстояние по нормали от кровли до подошвы (рис. 4).

Кроме того, различают видимую и неполную мощность слоя. Мощность части слоя, доступная наблюдению, называется видимой мощностью. Неполная мощность — это расстояние по перпендикуляру к поверхности наслоения от кровли или подошвы до любой точки слоя. Изменения мощности слоя, имеющие плавный характер, могут представлять раздувы, пережимы, выклинивания, замещения (рис. 5).

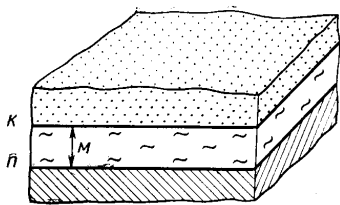


Рис. 4. Элементы слоя

к — кровля, п — подошва, м — мощность слоя.
Разнородные слои показаны различными значками

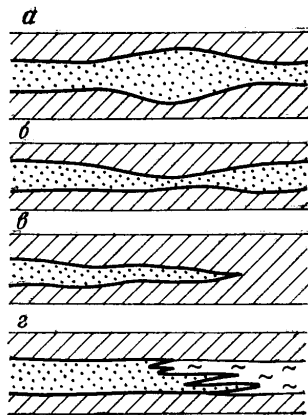


Рис. 5. Изменения мощности слоя

а — раздув, б — пережим, в — выклинивание, г — замещение слоя

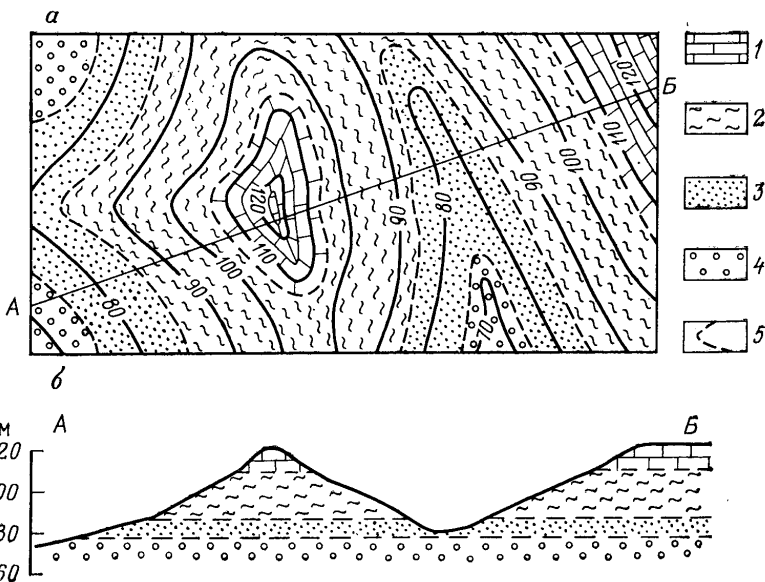


Рис. 6. Горизонтальное залегание слоев

а — в плане, б — в разрезе; 1 — известняки, 2 — глинистые сланцы, 3 — песчаники, 4 — конгломераты, 5 — границы слоев

Слой является не только элементарной структурной формой, но и обладает мощностью, т. е. его образование занимает некоторый отрезок времени. В связи с этим слой является элементарной стратиграфической — временной единицей. Каждый слой

как правило, отличается от подстилающих и перекрывающих пород составом слагающих его осадков, что связано с изменением условий их накопления.

В процессе формирования слоёв осадочных горных пород имеют преимущественно горизонтальное залегание, значительно реже они слабо наклонены, обычно под углом не более $1-2^\circ$. При горизонтальном залегании абсолютные высоты границ между слоями в принципе одинаковы, и выходы слоев на дневную поверхность повторяют в плане контуры рельефа (рис. 6).

Слоистость — чередование слоев представляет собой проявление первичной неоднородности осадка. Сочетания слоев, связанных единством условий или времени образования, образуют пачки, толщи, свиты.

Характер перехода от одного слоя к другому позволяет судить о физико-химических изменениях среды, которые произошли при отложении осадка. Этот переход может быть резким или постепенным, незаметным. В тех случаях, когда в пределах слоя наблюдается постепенный переход от грубозернистых осадков в основании до тонкозернистых в верхней его части, говорят о градиционной слоистости. Закономерно повторяющееся чередование слоев, отличающихся по составу или структуре, называется ритмичной слоистостью.

При изучении слоистости следует обращать внимание на форму, мощность и взаимоотношение слоев. Особенности слоистости отражают характер движения той среды, в которой происходит накопление осадков.

Выделяется четыре типа слоистости: параллельная, волнистая, косая, линзовидная.

Параллельная слоистость характеризуется одинаковым расположением поверхностей наслоения, которые по своему пространственному соотношению близки к параллельным плоскостям (рис. 7, а).

Волнистая слоистость имеет волнисто-изогнутое расположение поверхностей наслоения (рис. 7, б). Образуется при движениях водной среды осадкообразования, имеющих периодическую смену или повторяемость направления — отливные и приливные течения, волнения в прибрежных мелководных зонах.

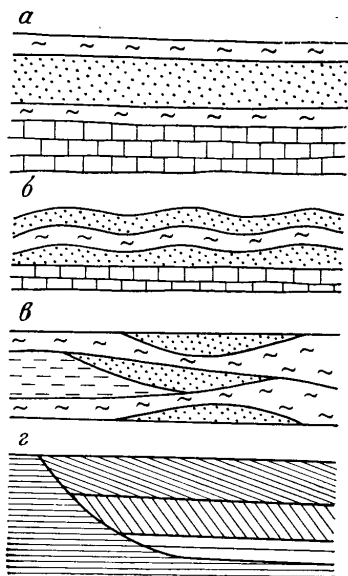


Рис. 7. Типы слоистости

а — параллельная, б — волнистая, в — линзовидная, г — косая слоистость. Разные значки обозначают различные породы

Линзовидная слоистость характеризуется разнообразием формы и изменением мощности отдельных слоев до полного их выклинивания. Такая слоистость образуется при быстром и изменчивом движении водной или воздушной среды, например, во временных потоках или в зоне прибоя (рис. 7, в).

Косая слоистость обладает сложным относительным расположением прослоек в некоторых типах отложений (особенно в песках) с первичным наклоном к общей поверхности накопления осадков. Косая слоистость возникает в результате неравномерно переменного движения воздушных и водных масс. Она обнаруживается в дельтах рек, на песчаных откосах, в эоловых отложениях и т. п. (рис. 7, г).

3.2.2. Согласное и несогласное залегание слоистых толщ

Если отложение осадков в данной области продолжалось длительное время, испытывая лишь незначительные колебания энергии транспортирующего агента, слои могут различаться структурой и составом, будучи связаны постепенными переходами. При этом слои, образующие непрерывную последовательность, обычно параллельны между собой. Такое соотношение толщ горных пород называют **согласным**.

Согласное залегание отражает непрерывность процесса накопления осадков.

В ряде случаев между вышележащими и подстилающими слоями стратиграфическая последовательность нарушается, и отложения тех или иных стратиграфических горизонтов отсутствуют. Такие взаимоотношения являются результатом перерыва осадконакопления и создают несогласное залегание пород. Перерыв осадконакопления может быть как кратковременным, так и весьма длительным.

Различают несколько видов несогласного залегания толщ.

Параллельное несогласие выражается перерывом среди слоев, залегающих изначально параллельно. Обе серии слоев, выше или ниже поверхности несогласия, располагаются параллельно друг другу. К признаку несогласия в этом случае обычно относится то, что они существенно отличаются по составу

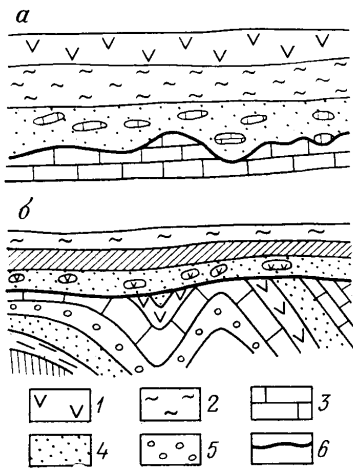


Рис. 8. Виды несогласного залегания толщ

a — параллельное несогласие, *b* — угловое несогласие; 1 — изверженные породы, 2 — глины, 3 — известняки, 4 — песчаники, 5 — конгломераты, 6 — граница несогласного залегания

пород и заключенным в них окаменелостям. Поверхность несогласия выражена более или менее резко. Эта поверхность представляет собой древний рельеф со следами размыва и выветривания. Иногда в основании молодых отложений располагаются базальные конгломераты, содержащие обломки подстилающих пород (рис. 8, а).

Параллельное несогласие, выраженное нерезко, называют скрытым несогласием.

Угловое несогласие проявляется в налегании относительно молодого стратиграфического комплекса на уже дислоцированные, наклонно залегающие более древние образования. Это, как правило, свидетельствует о значительном по времени перерыве в осадконакоплении. При этом поверхность несогласия срезает под углом разные слои древней толщи и располагается более или менее параллельно границам между отдельными слоями молодой серии осадков (рис. 8, б). Величина угла несогласия может колебаться в широких пределах — от 0 до 90°.

Угловое несогласие часто сопровождается различием в простирации контактирующих свит. Такое несогласие называется асимметричным.

По площади распространения выделяют региональные и локальные (местные) несогласия. Региональные несогласия проявляются на огромных территориях и вызываются общими для больших площадей положительными вертикальными движениями земной коры. Локальные несогласия не имеют широкого распространения и отражают движение и развитие отдельных структур.

3.2.3. Структуры вулканогенных комплексов

Вулканогенные образования в виде потоков застывших лав, слоев рыхлых или спекшихся туфов и туффитов, куполов и обелисков, образованных застывшим расплавом, чрезвычайно широко развиты в земной коре. Только на территории СССР вулканогенные породы занимают площадь более 2,5 млн. км².

Форма геологических тел, сложенных вулканогенными породами, и условия их залегания зависят от многих факторов, важнейшие среди которых:

1) состав вулканических продуктов (основные, средние или кислые лавы);

2) характер и условия проявления вулканизма (наземные или подводные извержения);

3) степень удаленности от вулканического аппарата.

Эффузивные породы среднего и основного состава — лавы, бедные кремнеземом, весьма подвижны и чаще, чем лавы кислого состава, распространяются на значительные расстояния от центров излияния.

Кислые лавы, содержащие большое количество кремнезёма, нередко накапливаются вблизи вулканических аппаратов, образуя вокруг кратера в совокупности с обломочным материалом



Рис. 9. Туфовый поток. Камчатка (фото И. В. Мелекесцева)

высокие вулканические конусы с крутыми склонами. Излияния кислых лав обычно сопровождаются взрывами и выделением большого количества пирокластических продуктов в виде вулканических бомб, песка и пепла.

Лавы основного (базальтового) состава образуют потоки разной протяженности и покровы, занимающие обширные площади порой в несколько сотен тысяч квадратных километров (сибирские траппы покрывают территорию 1550 тыс. км²). Образование покровов обычно связывают с излияниями трещинного типа. Отдельные потоки лав основного состава, связанные с трещинными излияниями, имеют протяженность в несколько десятков километров при ширине 3—5 км и мощности 40—50 м.

Меньше по размерам потоки связаны с излияниями центрального типа. Мощность их обычно не превышает первых метров, лишь в углублениях рельефа достигая 30—40 м, ширина колеблется от 200—400 м вблизи кратера до 1,5—2 км на значительном удалении от него. Протяженность этих потоков нередко превышает 10 км.

Размеры лавовых потоков кислого состава очень разнообразны. Мощность их колеблется от единиц до десятков, реже сотен метров, а протяженность — от сотен метров до нескольких километров. Лавы кислого состава образуют также плато-потоки, состоящие из нескольких отдельных потоков и характеризующиеся большими размерами и изометричной в плане формой. В Йеллоустонском парке США такие плато-потоки занимают площадь более 2500 км².

В особую группу выделяются экструзивные породы, представляющие собой выдавленные на поверхность массы вязкой магмы кислого состава, которые не растекаются на поверх-

ности, а нагромождаются над устьем вулканического жерла в виде куполов и обелисков.

Купола и обелиски обладают изометричной в плане и караваеобразной или столбчатой в разрезе формой и характеризуются отсутствием вертикальной зональности.

Формирование и условия залегания пирокластических (вулканогенно-обломочных) пород зависят от двух факторов: эндогенных — дробление материала при извержении и экзогенных — разрушение, перемещение и отложение на поверхности под влиянием ветра, водных потоков, морских течений и т. д. Форма залегания пирокластического материала, отложившегося сразу же после выброса, во многом определяется направлением взрыва (вертикальное, наклонное, горизонтальное) и в зависимости от этого может быть круговой, овалоподобной, секторной, лучевой. При извержениях в кратерных озерах или во время сильного дождя пирокластический материал отлагается в виде грязевых потоков на склонах и у подножия вулканов, иногда веерообразно. Скатываясь по склону вулканов, пирокластический материал образует туфовые и песчаные потоки (рис. 9).

Большое значение для понимания условий образования вулканогенных пород имеет выявление центров извержения, тем более что к вулканическим очагам нередко пространственно приурочены некоторые типы оруденения.

Прямое выделение вулканических аппаратов возможно в основном для молодых и современных вулканов. Они хорошо выделяются в рельефе, особенно если их продукты представлены кислыми лавами. Выявление центров извержения в областях древнего вулканизма проводится по совокупности прямых и косвенных признаков. Прямые признаки — это остатки жерловин и других характерных структур, которые нередко хорошо выделяются с помощью аэрометодов. К косвенным признакам относятся: формы залегания, структурные особенности, пространственное размещение различных типов вулканических образований и т. д. Главнейшие признаки близкорасположенного вулканического аппарата следующие:

- возрастание насыщенности разреза эффузивами;
- увеличение мощности отдельных лавовых потоков;
- возрастание количества грубообломочных пирокластических образований (вулканических брекчий, бомбовых горизонтов);
- наличие экструзивных куполов, радиальных и концентрических даек;

- появление субвулканических тел;
- изменение характера залегания лавовых потоков — увеличение углов падения по мере приближения к центру извержения.

Существенно различны условия формирования вулканогенных комплексов в наземных и подводных условиях.

При наземных извержениях застывшие лавы чередуются с туфами, нередко с обломочным материалом грязевых потоков.



Рис. 10. Столбчатая отдельность в наземных базальтах. Эльбрус (по Л. Боровикову)



Рис. 11. Подушечная отдельность в подводных лавах. Южный Урал (по Л. П. Зоненшайну)

Лавы застывают медленно, образуя характерную столбчатую отдельность (рис. 10). Обломочный материал обладает лишь грубой сортировкой. Продукты наземных извержений часто окрашены в красный цвет в связи с окислением минералов железа.

При подводных извержениях образуются выдержанные по мощности покровы, часто переслаивающиеся с морскими осадками. Пирокластический материал характеризуется хорошей от-

сортированностью. При подводных излияниях образуются лавы с шаровой или подушечной отдельностью (рис. 11). Морские вулканогенные образования обычно претерпевают зеленокаменное изменение.

3.2.4. Структуры интрузивных комплексов

Глубинные магматические породы образуют разнообразные интрузивные тела, форма и размеры которых зависят от глубины формирования, состава магмы, характера вмещающих структур и т. д.

По соотношению с вмещающими породами выделяются согласные, секущие и частично согласные интрузии. К числу согласных относятся силлы, лакколиты, лополиты и факолиты.

Силл, или пластовая интрузия, представляет собой плоское магматическое тело, внедрившееся по слоистости осадочных пород (рис. 12, а). Силлы формируются на сравнительно небольшой глубине и нередко представлены эффузивными породами, обладающими лишь формой залегания, характерной для интрузивных пород. В большинстве случаев силлы имеют основной состав.

Лакколит — грибо- или караваяобразное тело (рис. 12, б), внедрившееся между слоями пород и приподнявшее над собой кровлю в форме купола, формируется также на небольшой глубине. Представлены лакколиты обычно породами среднего и щелочного состава, имеющими повышенную вязкость в расплаве (андезиты, нефелиновые сиениты и т. д.). Размеры лакколитов

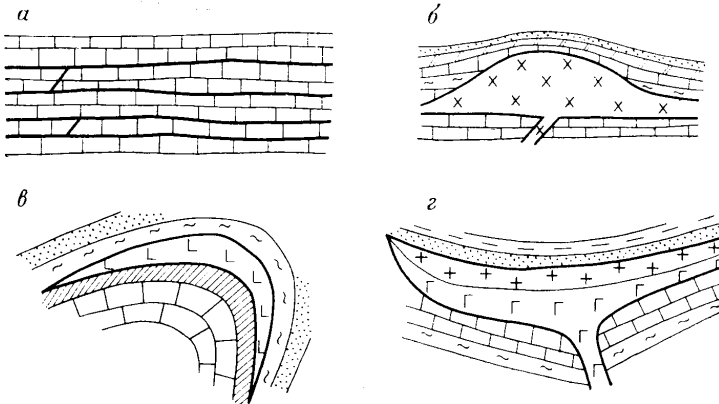


Рис. 12. Формы согласных интрузивных тел
а — силлы, *б* — лакколит, *в* — лополит, *г* — факолит. Разные значки обозначают различные по составу породы, жирная линия — граница интрузий

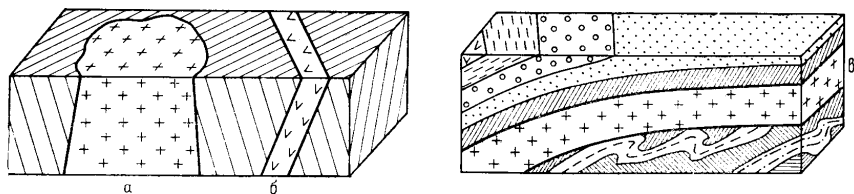


Рис. 13. Формы секущих и частично секущих интрузивных тел
а — шток, *б* — дайка, *в* — гарполит. Разными значками показаны различные по составу породы

в поперечнике обычно не более 10 км. Типичным примером таких интрузий могут служить лакколиты Крыма и Кавказа.

Лополит — чашеобразное тело (рис. 12, *в*), образованное преимущественно основными породами, обычно располагается в синеклизах — пологих синклинорных структурах чехла платформы. Классическим примером лополита является Бушвельдский интрузивный комплекс в Африке, имеющий диаметр около 300 км.

Факолит — линзообразной и серповидной формы интрузия, заполняющая полости отслоения в замках складок (рис. 12, *г*). В отличие от рассмотренных выше тел факколиты представляют пример пассивного механического воздействия на породы, внедрения послескладчатых интрузий.

К числу секущих интрузий относятся в основном относительно мелкие магматические тела, формирование которых происходит в связи с возникновением разрывных тектонических структур.

Шток — субизометричное магматическое тело, залегающее обычно круто (рис. 13, *а*). К штокам условно относятся интрузивные тела, имеющие площадь не более 100 км². Штоки с параллельными вертикальными контактами иногда именуют хонолитами, конусообразные штоки — этмолитами. Весьма характерны некки — вулканические жерла — круто залегающие, обычно цилиндрические магматические тела, составляющие часть вулканического аппарата. Диаметр их колеблется от десятков метров до 1,5 км. Разновидностью некка являются так называемые кимберлитовые трубки, заполненные пирокластическими образованиями основного состава и обломками прорываемых пород. И наконец, чрезвычайно распространенной разновидностью секущих интрузивных тел являются дайки (рис. 13, *б*). Они представляют собой плитообразные магматические тела, vyplняющие трещины в земной коре.

Дайки могут иметь самый различный состав; формируются они и в абиссальных (глубинных), и субвулканических условиях. Мощность их обычно измеряется дециметрами или первыми метрами, длина — десятками и сотнями метров. Известны дайки протяженностью более 100 км при мощности около 250 м.

К числу частично согласных интрузий относятся гарполиты и батолиты.

Гарполит — межформационная интрузия, т. е. магматическое тело, залегающее вдоль поверхностей несогласия, разделяющих геологические формации различного возраста. При этом подошва интрузии занимает секущее положение по отношению к структуре подстилающего комплекса, а кровля согласна с поверхностью наложения в перекрывающей толще (рис. 13, в).

Батолит — самое крупное глубинное образование. Понятие «батолит» имеет длительную историю развития. Известный австрийский геолог Э. Зюсс, впервые применивший этот термин в прошлом веке, относил к числу батолитов крупные массивы гранитов, не имеющие дна, т. е. соединяющиеся непосредственно с гранитным слоем. Эта точка зрения сохраняется до настоящего времени.

Почти с самого зарождения представления о батолитах геологи пытались решить так называемую проблему пространства. Объем батолитов измеряется десятками тысяч кубических километров. Представить себе полные камеры таких размеров, тем более на значительных глубинах, невозможно, и для объяснения механизма образования батолитов выдвигалось несколько различных гипотез, например, последовательного обрушения кровли, растворения вмещающих пород в магме, метасоматического замещения и т. д. В настоящее время можно считать установленным, что батолиты представляют собой сложные образования, которые формировались в процессе метасоматического замещения горных пород, возникновения магмы на месте или перемещения ее в верхние горизонты.

Для расшифровки условий формирования магматических тел большое значение имеет изучение их внутреннего строения. Разнообразные структурные элементы, обусловленные вещественной и структурной неоднородностью интрузий, особенно ярко выражены в их приконтактных зонах. Здесь внедряющаяся магма взаимодействует с окружающими породами. При этом под влиянием высокой температуры, паров и газов, выделяющихся из расплава, вмещающие породы изменяются и перекристаллизуются с образованием ороговикованных пород, роговиков, скарнов и других контактно-метаморфических пород (экзоконтактные явления). Одновременно приконтактные изменения происходят и в самих интрузивных породах (эндоконтактные явления). Они могут выражаться в возникновении относительно мелкозернистых разновидностей пород, а также пород более кислого или основного состава. При внедрении магмы в нее попадают обломки вмещающих пород — ксенолиты. Скопление ксенолитов, располагающихся в краевой части интрузии, именуют эруптивными брекчиями (рис. 14).

Положение ксенолитов может в определенной мере указывать на генезис породы. Внутренняя структура разных ксенолитов иногда обладает постоянной ориентировкой, свидетельствующей



Рис. 14. Эруптивная брекчия. Казахстан

об их относительной неподвижности. Это может служить основанием для предположения о метасоматической природе пород. Такие ксенолиты именуются скиалитами. Если ориентировка ксенолитов разнообразна в результате перемещения их в подвижной среде, вероятнее магматическое происхождение породы.

Широко распространенной неоднородностью в магматических массах являются шлиры. Так называют минеральные скопления, отличающиеся от остальной породы иными количественными соотношениями составных частей или структурой. Например, в гранитах — это участки, обогащенные темноцветными минералами.

В вязком материале магмы течение имеет ламинарный (спокойный) характер, и текущие слои стремятся расположиться параллельно внешним контурам массива. При этом возникают плоскостные линейные структуры течения, подчеркиваемые закономерным расположением минералов, ксенолитов, шлиров и т. д.

После затвердевания внешней оболочки интрузивного тела внутренняя часть его может целиком или частично оставаться жидкой. В эту фазу формирования интрузивных массивов в них появляются первичные трещины, компенсирующие уменьшение

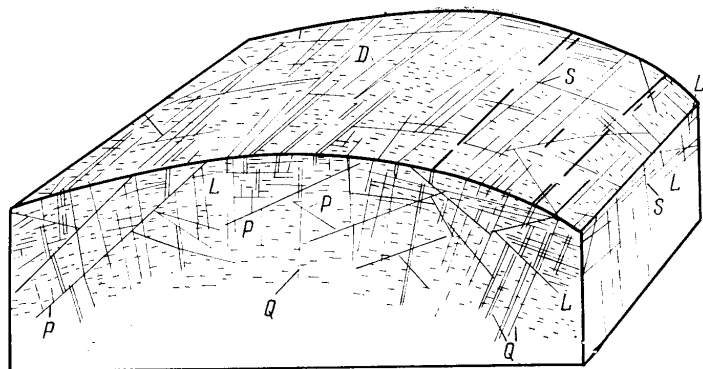


Рис. 15. Системы трещин (обозначены латинскими буквами) в интрузивном массиве (по Г. Клоосу)

объема при застывании и охлаждении магматических масс. Возникающие трещины имеют различное направление (рис. 15).

Поперечные трещины, известные под названием трещин *Q*, развиваются перпендикулярно к ориентировке структур течения.

Продольные трещины (трещины *S*) располагаются по простиранию линейных структур течения.

Пластовые трещины (*L*) образуются в верхних и периферических частях интрузий. Они совпадают с поверхностью первичных структур течения и полого залегают в верхних частях массивов.

Диагональные трещины (*D*) располагаются косо к направлению структур течения, пересекаясь под углом, близким к 90° . Образуются они на поздних стадиях формирования массива. Эти трещины часто выполняются жилами аплитов, гранит-порфиоров и других пород.

3.3. ВТОРИЧНЫЕ СТРУКТУРЫ

Под воздействием различных факторов, ведущая роль среди которых принадлежит тектоническим движениям, первичные структуры горных пород нарушаются, деформируются, и возникают новые — вторичные структуры.

Деформация может быть вызвана внешними механическими силами, приложенными к телу, а также такими причинами, как колебание температуры, физико-химические превращения, с которыми связано изменение объема вещества, и т. п.

Деформация называется упругой, если она исчезает после прекращения действия вызвавших ее сил. Пластической называют деформацию, остающуюся после прекращения механического воздействия на тело, если она не сопровождается

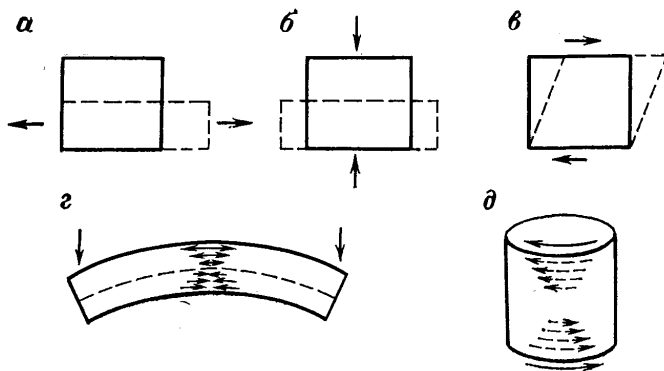


Рис. 16. Простые виды деформаций
 а — растяжение, б — сжатие, в — сдвиг, г — изгиб, д — кручение

существенным его разрушением. И наконец, разрывными (хрупкими) деформациями называются те, которые приводят к полному разрушению материала.

Выделяются следующие простые виды деформации: растяжение, сжатие; сдвиг, изгиб и кручение (рис. 16). В природе обычно наблюдается сочетание нескольких видов деформаций.

3.3.1. Наклонное залегание слоистых толщ

Горизонтально залегающие слои осадочных горных пород при воздействии внешних механических сил утрачивают свое первичное положение, приобретая некоторый наклон. Существуют регионы, в которых слои на обширных пространствах наклонены в одном направлении. Такое залегание, именуемое моноклинальным, наблюдается, например, в осадочных отложениях Крыма и Северного Кавказа, где толщи пород повсеместно наклонены на север-северо-восток с углами падения, достигающими 30° и более.

Ориентировка слоев в пространстве определяется элементами залегания, в которые входят понятия о линии простирания, линии падения и угле падения.

Линией простирания называется линия пересечения поверхности слоя с горизонтальной плоскостью или, другими словами, любая горизонтальная линия на поверхности слоя.

Линией падения называется линия, перпендикулярная к линии простирания, лежащая на поверхности слоя и направленная в сторону падения. Линия падения образует с горизонтальной плоскостью некоторый угол.

Углом падения называется угол, заключенный между линией падения и проекцией ее на горизонтальную плоскость.

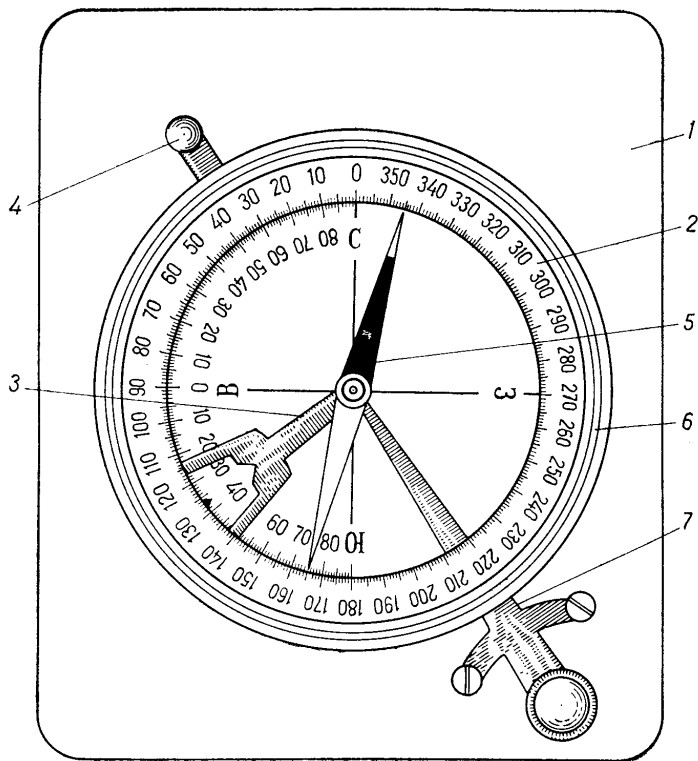


Рис. 17. Горный компас

1 — основание компаса, 2 — лимб, 3 — отвес (клинометр),
 4 — стопорный зажим отвеса, 5 — магнитная стрелка, 6 —
 пружина, удерживающая покрывное стекло, 7 — стопорный
 зажим магнитной стрелки

Положение линии простирания и линии падения в пространстве определяется их азимутами.

Азимутом простирания называется угол между направлением на север и направлением линии простирания.

Азимутом падения называется угол между северным направлением и проекцией линии падения на горизонтальную плоскость.

Элементы залегания измеряются с помощью горного компаса. От обычного компаса он отличается тем, что лимб его градуирован не по часовой стрелке, а в обратном направлении (рис. 17). Кроме того, в горном компасе есть небольшой отвес — клинометр, позволяющий измерять углы в вертикальной плоскости — углы падения. Магнитная стрелка компаса и отвес с помощью специальных стопорных зажимов могут приводиться в неподвижное состояние, что способствует продлению срока службы прибора.

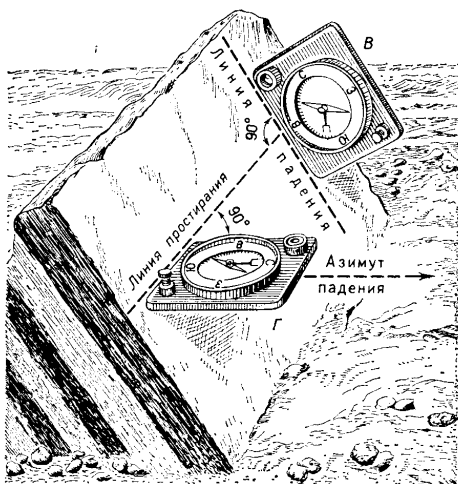


Рис. 18. Измерение горным компасом элементов залегания слоя

Пластинка компаса в горизонтальном (Г) и вертикальном (В) положениях (угол наклона отсчитывается по отвесу)

Для определения азимута простирания компас в горизонтальном положении прикладывают длинным ребром к поверхности слоя (рис. 18) и берут отсчет на лимбе против того конца стрелки, который находится в пределах северных румбов. Для определения азимута падения компас прикладывают коротким ребром к поверхности слоя так, чтобы север на лимбе был направлен в сторону падения, и берут отсчет против северного конца стрелки. Угол падения измеряют, прикладывая компас в вертикальном положении длинным ребром к линии падения. Отсчет берут против зубца отвеса по дополнительной

шкале на дне коробка компаса, градуированной от 0 до 90° в обе стороны от нулевой точки.

Запись результатов измерения элементов залегания производят с указанием начальных букв стран света, значок градуса обычно не ставится. Запись замера элементов залегания при этом имеет следующий вид: *аз. прост.* СВ 25; *аз. пад.* ЮВ 115∠35.

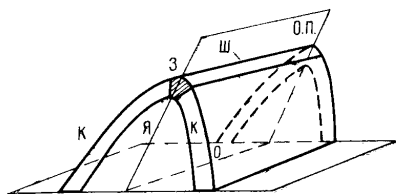
В практике нередко измеряют лишь азимут и угол падения, так как азимут простирания может быть найден путем прибавления или вычитания от значения азимута падения 90°. Запись в этом случае выглядит так: *аз. пад.* ЮВ 115∠35.

Азимутальные замеры, выполненные горным компасом, дают углы между магнитным меридианом и определяемым направлением, т. е. магнитные азимуты. Для получения истинного азимута необходимо вводить поправку на величину магнитного склонения, обусловленного несопадением магнитного и географического полюсов. Величина магнитного склонения указывается на географических картах. В случае восточного магнитного склонения поправки к значению магнитного азимута прибавляются, в случае западного — вычитаются из него.

При наклонном положении слоев возможны два случая их залегания — нормальное и опрокинутое. При нормальном залегании кровля слоя располагается выше его подошвы, при опрокинутом залегании подошва слоя оказывается выше его кровли. При повороте слоев до того момента, пока угол их наклона

Рис. 19. Элементы складки

З — замок, К — крылья, Я — ядро,
О. П. — осевая плоскость, Ш — шарнир,
О — ось складки



не станет равным 90° , они будут залегать нормально, т. е. их кровля будет располагаться выше подошвы, а молодые пласты будут налегать на более древние. При повороте на больший угол слои окажутся в опрокинутом залегании, т. е. их подошва будет лежать выше кровли, а древние пласты расположатся выше молодых.

Наклонное залегание слоев в большинстве случаев связано с формированием более сложных вторичных структур. Среди таких структур выделяют два типа: при пластических деформациях, осуществляющихся без существенного разрушения породы, образуются складчатые (пликативные) структуры, а при хрупких деформациях материала — разрывные (дизъюнктивные) структуры.

Основной формой складчатых структур, как следует из названия, является складка, кроме того, иногда особо выделяют крупные изгибы. Главными элементами складки являются замок и крылья ее: замок — место перегиба слоев, крылья — участки однообразного залегания слоев. Внутренняя часть складки называется ядром. Плоскость симметрии, проходящая через замок и равноудаленную от крыльев, называют осевой плоскостью складки. Линию пересечения осевой плоскости с замком именуют шарниром, а линию пересечения той же плоскости с горизонтальной поверхностью — осью складки (рис. 19).

Складчатые структуры чрезвычайно многообразны, как и все природные явления они определенным образом классифицируются. Существует две главные классификации складок — морфологическая и кинематическая; первая разделяет складки по форме, вторая — по условиям их формирования. Эти классификации отражают различные свойства складок, способствуя их всесторонней характеристике.

3.3.2. Морфологические типы складок

Все складки разделяются на антиклинальные и синклинали. Антиклинальные — положительные складчатые структуры, в ядрах которых располагаются более древние породы, чем на крыльях. Синклинали, наоборот, — отрицательные структуры, в ядрах которых располагаются наиболее молодые породы. Первые обычно обращены замками вверх, вторые — вниз (рис. 20).

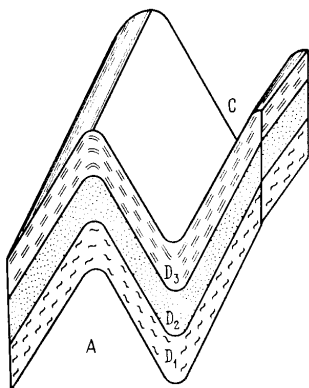


Рис. 20. Основные виды складок

А — антиклиналь, С — синклираль, D_1 , D_2 , D_3 — возрастная последовательность слоев. Различные по составу породы обозначены разными значками

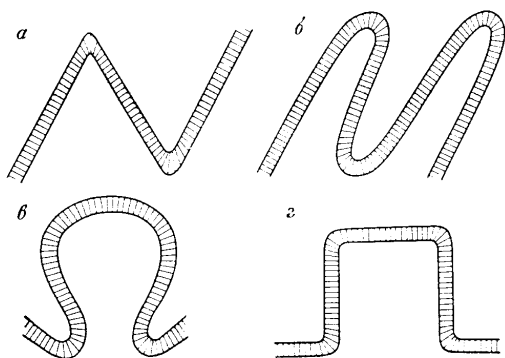


Рис. 21. Типы складок по соотношению крыльев

a — открытые, *б* — изоклиальные, *в* — веерообразная, *г* — сундучная складка

Зона погружения шарнира антиклинальной складки называется периклиналью, а зона воздымания шарнира синклиальной складки — центриклиналью.

По относительному положению и характеру сопряжения крыльев выделяются открытые складки, крылья которых расходятся от замка в разные стороны (рис. 21, *a*), и закрытые — в том случае, если крылья взаимно параллельны или сходятся по мере удаления от замка.

Среди закрытых складок выделяются: изоклиальные — с параллельным расположением крыльев (рис. 21, *б*);

веерообразные, крылья которых в некоторой части имеют обратное падение (рис. 21, *в*);

сундучные (коробчатые) с плоскими замками и крутыми крыльями (рис. 21, *г*).

По положению осевой поверхности и углу наклона крыльев складки подразделяются на:

нормальные (симметричные) — с вертикальной осевой поверхностью и одинаковыми углами наклона крыльев (рис. 22, *a*);

косые (асимметричные) — с наклонной осевой поверхностью и разными углами падения крыльев (рис. 22, *б*), наклоненных в разные стороны от осевой поверхности;

опрокинутые — с наклонной осевой поверхностью и с крыльями, обращенными в одну сторону (рис. 22, *в*);

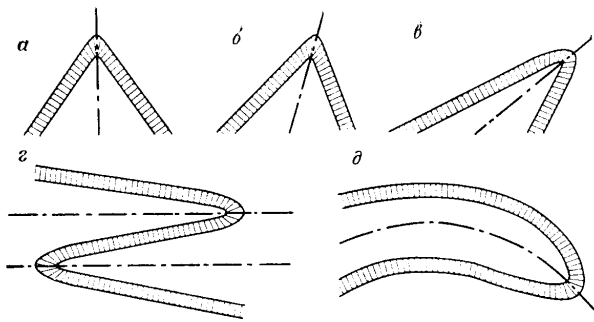


Рис. 22. Типы складок по положению осевой поверхности и углу наклона крыльев

Складки: *а* — нормальная (симметричная), *б* — косая (асимметричная), *в* — опрокинутая, *г* — лежащая, *д* — ныряющая

лежащие — с горизонтальным положением осевых поверхностей (рис. 22, *г*);

ныряющие — с осевой поверхностью, изогнутой до обратного падения (рис. 22, *д*).

По наклону шарнира складки делятся на горизонтальные, наклонные и вертикальные.

По соотношению мощностей слоев на крыльях и в сводовой части складок выделяются параллельные и подобные складки.

Параллельные (концентрические) складки — те, у которых мощность слоев на крыльях и в замковых частях одинакова. С глубиной радиус кривизны свода таких складок изменяется, и антиклинали становятся более резкими, а синклинали — более пологими (рис. 23, *а*). Образуются такие складки при свободном перемещении слоев вдоль плоскостей напластования.

В случае, если возможность свободного скольжения слоев отсутствует, т. е. слои в пачке как бы закреплены (блокированы), они сминаются в замковых частях, образуя вторичные блокированные складки. В замках блокированных складок образуются отслоения, благоприятные для циркуляции различных растворов, в частности рудоносных.

Подобные складки — те, у которых поверхности напластования имеют одинаковую форму, а мощность слоев непостоянна. На крыльях она уменьшается, а в сводовых частях увеличивается (рис. 23, *б*).

И наконец, по соотношению продольной и поперечной осей в плане складки делятся на две группы — линейные и брахиформные.

Линейными называются складки, длинная ось которых значительно больше короткой.

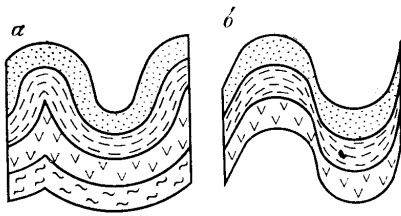


Рис. 23. Типы складок по соотношению мощностей в замке и на крыльях
a — параллельная, *б* — подобная складка. Разные значки обозначают различные породы

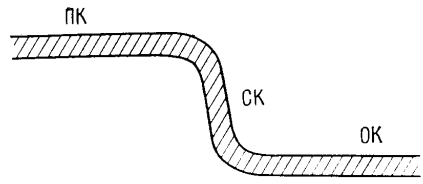


Рис. 24. Флексура
 ПК — приподнятое крыло, ОК — опущенное крыло, СК — смыкающее крыло

Брахиформными называются складки, у которых размеры длинной и короткой осей близко соизмеримы.

Брахантиклинали именуют куполами, брахисинклинальные складки называют мульдами.

Несколько обособленное положение в классификационной схеме занимают флексуры — коленчатые изгибы в слоистых толщах, характеризующиеся наклонным положением слоев при общем их горизонтальном залегании или более крутым падением на фоне общего наклонного залегания (рис. 24). Среди флексур различают вертикальные, обусловленные вертикальными движениями земной коры, у которых шарниры располагаются горизонтально, и горизонтальные, у которых шарниры расположены вертикально. Второй тип флексур сопровождается сдвиги.

3.3.3. Кинематические типы складок

По характеру перемещения вещества при складкообразовании выделяют три главных типа складок: складки изгиба, течения и скальвания (рис. 25).

Складки изгиба возникают при сдавливании слоистой пачки. Складки, образующиеся при сжатии, направленном вдоль слоистости, именуются складками продольного изгиба (рис. 25, *a*). Складки поперечного изгиба возникают при сдавливании, ориентированном перпендикулярно к слоистости (рис. 25, *б*).

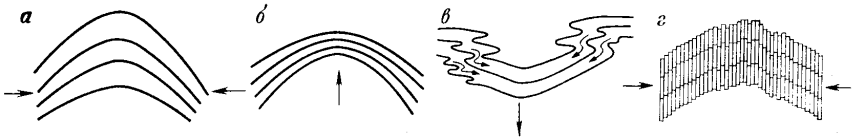


Рис. 25. Кинематические типы складок
a — продольного изгиба, *б* — поперечного изгиба, *в* — складки течения, *г* — складки скальвания. (по Г. Д. Аджирею)

Складки течения (рис. 25, в) образуются при пластичном течении вещества вдоль слоистости или при проникновении материала одного геологического тела внутрь другого (внутрислойное и межслоевое течение). Такие складки часто наблюдаются в породах, обладающих наиболее высокой пластичностью (глины, гипс, соль), или в зонах высокого метаморфизма, где породы приобретают пластичность в результате высокого давления, температуры и насыщения флюидами (растворами).

Складки скалывания возникают при относительном перемещении тончайших пластин (микролитонов) вдоль поверхностей расплющивания, ориентированных в общем случае перпендикулярно к направлению сжатия (рис. 25, г). Замковые части складок образуются там, где относительное перемещение пластин имеет минимальную амплитуду, возрастающую на крыльях складок. В результате формируются подобные складки, отличительной особенностью которых является постоянство мощности деформированного слоя, измеряемой в плоскости перемещения.

Складки скалывания занимают промежуточное положение между складчатыми и разрывными дислокациями.

3.3.4. Разрывные нарушения

При возникновении в земной коре тектонических напряжений, превышающих пределы прочности горных пород, в них образуются разрывы. Разрывные нарушения могут происходить без существенного перемещения горных масс и проявляться в виде трещин или же сопровождаться относительным перемещением разобщенных блоков, образуя иногда весьма протяженные разломы.

Трещины. Все горные породы, претерпевшие тектоническое воздействие, обладают трещиноватостью. По степени проявления трещины можно разделить на открытые, закрытые и скрытые. Открытые трещины обладают четко видимой полостью, обычно более или менее открытой. В закрытых трещинах разрыв заметен невооруженным глазом, но стенки трещин сближены настолько, что полость практически отсутствует. Скрытые трещины при обычных наблюдениях не видны, они обнаруживаются лишь при раскалывании горной породы. Степень проявления трещин зависит от многих причин. Известно, что сеть трещин в породах, вскрытых в глубоких горных выработках, кажется значительно более редкой, чем в тех же породах, обнажающихся на поверхности, трещины в выработках более сжаты. Раскрытие их у поверхности обусловлено расширением горных пород, разгруженных от давления вышележащих толщ, а также процессами выветривания.

При тектонических деформациях возникает три главных вида трещин: трещины отрыва, скалывания и сжатия (рис. 26).

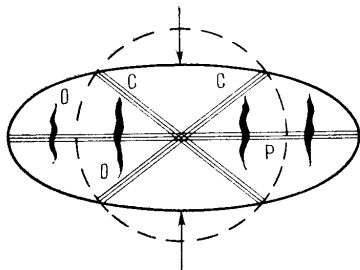


Рис. 26. Виды трещин

Трещины: О — отрыва, С — скальвания, Р — расплющивания (сжатия)

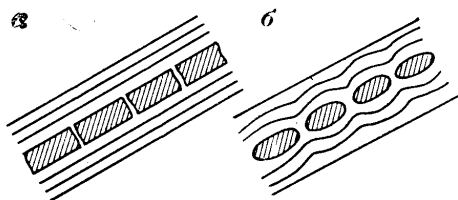


Рис. 27. Развитие структуры будинажа

а — образование трещин отрыва, б — разлинзование, образование будин

Трещины отрыва возникают при растяжении. Они нередко в той или иной степени открыты или заполнены минеральным веществом. Протяженность каждой трещины обычно невелика, но системы трещин, часто располагающихся кулисообразно, могут проследиваться на значительное расстояние. Образуются трещины отрыва главным образом в зонах растяжения, возникающих вблизи разломов на перегибах структур, в сводовых частях куполов. Трещины отрыва возникают и при сжатии, параллельно оси главного напряжения. Наиболее яркое выражение они получают при явлениях будинажа* (рис. 27). Трещины скальвания ориентированы под углом, близким к 45° , по отношению к направлению сжатия. Эти трещины, обычно закрытые, обладают большой протяженностью. Поверхность их ровная, нередко со следами скольжения. Трещины скальвания сопровождаются взбросы и сдвиги, а также складчатые дислокации. Трещины сжатия (расплющивания) ориентированы перпендикулярно к оси главного сжатия. Они развиваются вдоль ослабленных направлений, возникающих при пластичном течении вещества под нагрузкой тектонического сжатия. Наиболее яркое выражение трещин сжатия представляет кливаж**.

Кливаж — совокупность параллельных плоскостей, разделяющих горные породы на тончайшие пластинки; образуется при различных тектонических деформациях. Из многочисленных разновидностей кливажа можно выделить две главных: послойный кливаж и кливаж осевой плоскости складчатых структур. Послойный кливаж возникает в результате внутреннего течения вещества в ходе пластической деформации. Особенно

* Будинаж — от французского слова *boudin* — валик, колбаска; означает разделение пластов малопластичных пород, залегающих среди более пластичного материала, на линзы и блоки, отделенные друг от друга или соединенные тонкими шейками.

** Кливаж — в переводе с французского языка означает — раскалывание, рассланцевание.

характерен он для метаморфических пород (см. ниже). Кливаж осевой плоскости возникает при формировании складок продольного изгиба. Он ориентирован перпендикулярно к направлению сжатия и имеет слоистость как в замках складок, так и на крыльях (рис. 28).

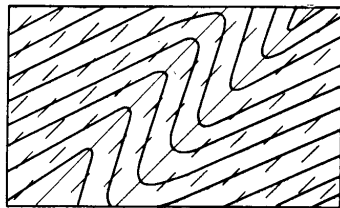


Рис. 28. Кливаж осевой плоскости

В основе изучения трещинных структур должны лежать непосредственные полевые наблюдения. При этом, кроме определения пространственной ориентировки трещин и последовательности их формирования, необходимо выяснить генетическую природу трещин. Определение ориентировки трещин производится так же, как и замеры элементов залегания слоя. При описании трещинных структур обязательно отмечается форма трещин, характер их поверхности, степень проявления, наличие минерального заполнения, взаимные пересечения. Наблюдения над трещинами следует вести так, чтобы отразить особенности их проявления в различных частях тектонических структур: в замках и на крыльях складок, вблизи и в удалении от разрывных нарушений и т. д. Если наблюдения трещин носят массовый характер, то для выявления преобладающей ориентировки, относительной интенсивности их видов и решения других задач применяются статистические и графические методы. Самый простой и широко распространенный метод графического отображения трещиноватости горных пород — построение роз-диаграмм. На таких диаграммах можно выявить и отразить преобладающие простирания трещин, направления и углы их падения.

В качестве примера рассмотрим построение роз-диаграмм простираний. На полукруге произвольного размера через 5 или 10° проводятся радиусы-меридианы (рис. 29). Затем в качестве масштаба выбирается произвольный отрезок, соответствующий одному замеру. Этот отрезок откладывается от центра диаграммы вдоль соответствующего меридиана столько раз, сколько замеров данного значения (усредненных по 5 или 10°) оказалось при изучении трещиноватости данного объекта. После этого конечные точки на радиусах-меридианах последовательно соединяются прямыми линиями и образовавшийся контур затушевывается.

Разломы. Все разрывные нарушения, сопровождающиеся смещением блоков, можно подразделить на две группы:

- а) разрывные нарушения, связанные с растяжением земной коры, — сбросы и раздвиги;
- б) разрывные нарушения, связанные со сжатием земной коры, — взбросы, надвиги, шарьяжи и сдвиги.

Сбросами называются разрывные нарушения, у которых поверхность разрыва наклонена в сторону опущенного блока

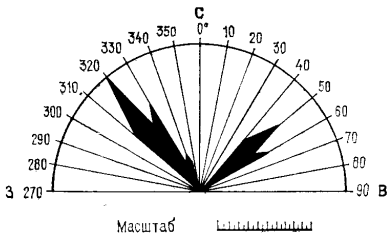


Рис. 29. Роза-диаграмма простирающий

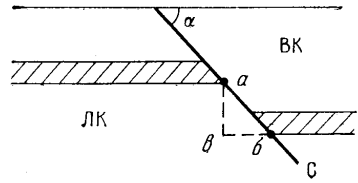


Рис. 30. Элементы сброса

ВК — висячее крыло, ЛК — лежащее крыло, С — сместитель, α — угол падения сместителя; ab — полная амплитуда, $бв$ — горизонтальная амплитуда, $ав$ — вертикальная амплитуда сброса

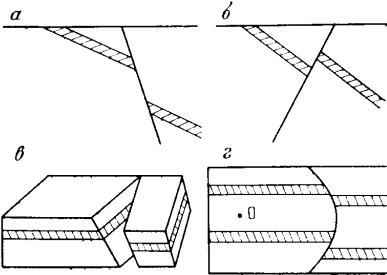
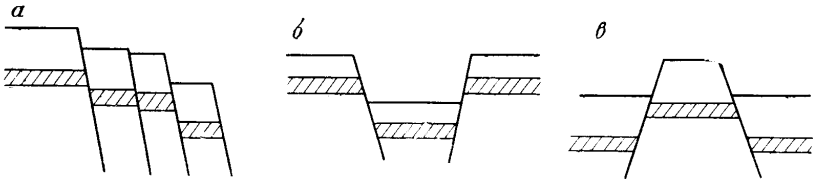


Рис. 31. Разновидности сбросов

a — согласный; b — несогласный; $в$ — шарнирный; $г$ — цилиндрический, O — ось вращения

Рис. 32. Групповые сбросы

a — ступенчатые, $б$ — грабен, $в$ — горст



пород. В структуре сброса выделяют крылья, сместитель и амплитуды, измеряемые в нескольких направлениях (рис. 30).

Сбросы так же, как и другие разломы, классифицируются по нескольким признакам.

1. По углу наклона сместителя выделяются: пологопадающие сбросы с углом наклона сместителя до 45° ; крутые сбросы с углом наклона сместителя $45-80^\circ$; вертикальные сбросы с углом наклона сместителя около 90° .

2. По соотношению сместителя и нарушаемых пластов выделяются согласные и несогласные, шарнирные и цилиндрические сбросы.

У согласных сбросов наклон пород и сместителя направлен в одну и ту же сторону (рис. 31, a).

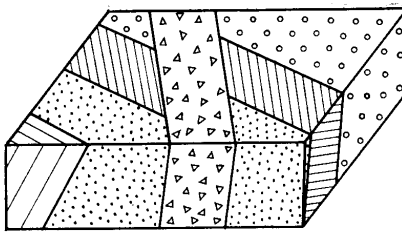


Рис. 33. Раздвиг

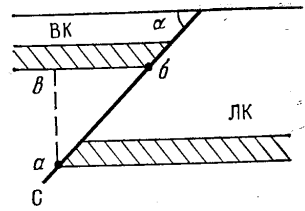


Рис. 34. Элементы взброса
 ВК — висячее крыло, ЛК —
 лежащее крыло, С — смести-
 тель, α — угол падения сме-
 стителя, ab — полная ам-
 плитуда взброса, $вб$ — го-
 ризонтальная амплитуда
 взброса

У несогласных сбросов породы и сместитель падают в противоположные стороны (рис. 31, б).

Шарнирные сбросы осуществляются с вращением блока относительно оси, перпендикулярной к сместителю (рис. 31, в).

Цилиндрические сбросы осуществляются с вращением относительно оси, параллельной сместителю (рис. 31, г).

Сбросы, как и большинство разрывных нарушений вообще, нередко проявляются как совокупность частных перемещений вдоль нескольких плоскостей. При этом выделяются ступенчатые сбросы, грабены, горсты (рис. 32).

Раздвиги. По предложению В. В. Белоусова, разрывы, при формировании которых перемещение крыльев происходит перпендикулярно к плоскости отрыва, выделяются как раздвиги (рис. 33). Возникающие при этом полости обычно заполняются обломочным материалом или дайками различных магматических пород.

Взбросы — разломы, поверхность разрыва которых наклонена в сторону приподнятых пород. Как видно из рис. 34, взбросы в отличие от сбросов сопровождаются сокращением участка земной коры. Классифицируются взбросы так же, как и сбросы: среди них выделяются крутые, пологие, согласные, несогласные и другие разновидности, они также образуют групповые разломы, в том числе горсты и грабены.

Надвиги. Разрывы взбросового характера с пологим, часто переменным падением сместителя называются надвигами. Надвиг — это сложная форма залегания толщ горных пород, развивающаяся преимущественно в результате тангенциального сжатия, причем одна часть складки или слоя надвигается на другую вдоль поверхности, имеющей положение, близкое к горизонтальному.

Надвиги обладают рядом характерных черт. Они зарождаются преимущественно из сильно сжатых, наклонных или

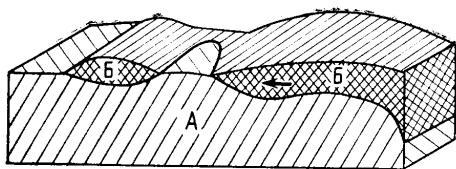


Рис. 35. Тектонический покров
А — автохтон, Б — аллохтон

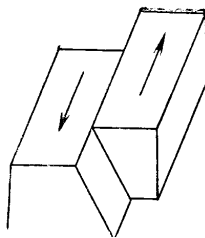


Рис. 36. Сдвиг

опрокинутых складок, хотя могут занимать и секущее положение относительно всех структур. Нередко надвиги развиваются как групповые разломы с субпараллельными сместителями. Такие надвиги называются чешуйчатыми. Гигантские надвиги, сопровождающиеся смещением мощных пластин горных пород на десятки километров, называют тектоническими покровами или шарьяжами. Всякое перемещенное крыло тектонического покрова называют аллохтоном, лежащее, обычно неподвижное крыло — автохтоном (рис. 35). Перемещение тектонических покровов в ряде случаев происходит под действием гравитационных сил.

Сдвиги — разломы, смещения по которым происходят в горизонтальном направлении (рис. 36). У сдвигов, как и у других разломов, различают крылья, сместитель, амплитуду смещения. По отношению к нарушаемой структуре сдвиги могут быть продольными, поперечными и диагональными. Кроме того, различают правые и левые сдвиги. Правыми называют сдвиги с относительным перемещением по направлению движения часовой стрелки, левыми — с перемещением против часовой стрелки.

3.4. СТРУКТУРЫ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Метаморфические породы представляют вторичное образование, возникающее за счет осадочных или магматических горных пород. Поэтому структуры метаморфических комплексов также являются вторичными, исключения составляют лишь реликтовые структуры, унаследованные от исходных осадочных или магматических пород.

Одной из важнейших задач при изучении метаморфических горных пород является определение первичной природы и условий их залегания. Ведущая роль при этом принадлежит выявлению упомянутых реликтовых структур и определению их положения в пространстве. Такими структурами для первично-осадочных пород могут являться более или менее сохранившиеся ритмическая или косая слоистости, знаки волноприбойной или эоловой ряби и т. д. В измененных эффузивах могут

наблюдаться не полностью затушеванные метаморфизмом порфиновые, флюидалные, миндалекаменные структуры. Для измененных интрузивных пород характерны массивные текстуры, секущие контакты и другие особенности, рассмотренные в предыдущих разделах.

Наиболее типичными структурами, возникающими в процессе метаморфизма, которые можно систематически наблюдать, замерять элементы их залегания и наносить на карту, являются полосчатость, кристаллизационная сланцеватость и линейность.

Полосчатость в метаморфических породах проявляется, как правило, в наличии двух типов прослоев — относительно лейкократовых (светлых) и более меланократовых (темных). Она может быть первичной и вторичной. Первичная полосчатость представляет собой слоистость двучленного ритма; такое явление встречается относительно редко. Вторичная полосчатость распространена весьма широко. Она может быть обусловлена метаморфической дифференциацией — разделением вещества при метаморфизме, а также действием на породу растворов или инъекцией расплава. В последнем случае породы именуются мигматитами.

Наиболее широко распространенным структурным элементом метаморфических пород, поддающимся массовому анализу, является кристаллизационная сланцеватость, представляющая собой закономерную ориентировку минералов по их уплощенности, удлинению или по кристаллографическим направлениям.

Большинство исследователей считают, что кристаллизационная сланцеватость в глубоко метаморфизованных толщах является миметической, т. е. унаследованной от первичной слоистости. Однако это явление имеет, по-видимому, в ряде случаев более сложную природу. Формирование кристаллизационной сланцеватости происходит в условиях ориентированного давления и дифференциальных движений, при которых тончайшие пластинки породы испытывают относительно перемещение. В условиях метаморфизма высоких фаций при формировании мигматитовых комплексов дифференциальные движения настолько значительны, что в результате пластического течения или скалывания все текстурные элементы перестраиваются до положения, параллельного направлению этого движения, и ориентировка различных элементов сближается.

Линейность — характерная структурная особенность метаморфических образований, хотя она наблюдается также и в осадочных и магматических горных породах. Выражается линейность в закономерной ориентировке различных структурных элементов вдоль некоторых линейных направлений.

Выделяется два вида линейности: минеральная и структурная. Минеральная линейность проявляется в закономерной ориентировке удлинённых минералов или их скоплений. Струк-

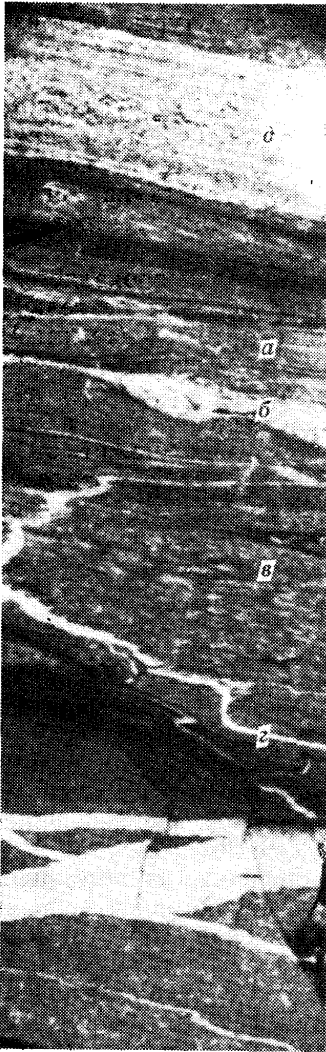


Рис. 37. Типы мигматитов
a — послойный, *б* — линзовидный, *в* — очковый, *г* — птигматитовый, *д* — теневой

щими породами выделяется ряд морфологических типов мигматитов. Наиболее распространены следующие из них (рис. 37).

Послойные мигматиты — полосчатые породы, в которых гранитоидный материал располагается по слоистости вмещающих пород.

Линзовидные мигматиты — гранитоидный материал имеет

турная линейность — закономерная ориентировка шарниров складок, линий пересечения слоистости со сланцеватостью, слоистости с кливажом и т. п.

Если минеральная линейность образуется в результате течения вещества, минералы ориентируются вдоль направления его перемещения. Линейность, возникающая при вращении минералов, наоборот, ориентирована перпендикулярно к направлению перемещения. Закономерная ориентировка минералов может возникать также при перекристаллизации вещества в условиях высокого метаморфизма под действием одностороннего давления.

Структурная линейность отражает распределение напряжений в блоке горных пород при тектонических движениях.

Среди метаморфических образований особое место занимают геологические комплексы, претерпевшие наиболее высокотемпературное воздействие, сопровождающееся легкотопкого гранитного материала. Такой вид преобразования пород получил название ультраметаморфизма, а образующиеся при этом сложные породы именуется мигматитами.

В мигматитах выделяются относительно древняя часть, представленная метаморфической породой — гнейсом, амфиболитом и т. п., и новообразованные прожилки гранитоидного состава.

По характеру соотношения жильного материала с вмещаю-

форму удлинённых линз и быстро выклинивающихся прослоев. Разновидностью линзовидных мигматитов являются очковые мигматиты, в которых гранитоидные образования имеют округлую форму, что свидетельствует о мигматизации в условиях интенсивных дифференциальных движений.

Порфиробластические мигматиты — полевошпатовые или кварц-полевошпатовые обособления в виде отдельных крупных кристаллов или их агрегатов развиваются на фоне относительно мелкозернистой основной массы метаморфических пород.

Птигматитовым мигматитам (птигматиты) свойственна сложноскладчатая форма, причем складчатость вплоть до тонкой плейчатости характерна для вмещающих пород и гранитных прожилков.

Теневые мигматиты — породы, претерпевшие настолько глубокую гранитизацию, что в этих образованиях, по составу и облику представляющих гранит, улавливаются лишь тени древних структур замещенной породы.

Мигматитовые комплексы, широко развитые в кристаллических щитах и крупных поднятиях подвижных поясов, образуют брахиантиклинальные структуры, получившие название гнейсовых куполов. Эти структуры развиваются в связи с гранитизацией, увеличением объема и разуплотнением горных масс так, что происходит вертикально прорывающее (диапироидное) перемещение гранитизирующихся масс с глубин в верхние структурные этажи.

Древние дometаморфические разрывные структуры в таких комплексах обычно бывают затушеваны более поздними процессами, а относительно молодые разломы фиксируются бластомилонитами — образованиями, в которых деформация и перекристаллизация происходили одновременно.

3.5. КРУПНЕЙШИЕ СТРУКТУРЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ

По структурным и вещественным признакам в земной коре может быть выделено несколько групп структурных элементов различного порядка. Наиболее крупными геоструктурными элементами являются континенты, океаны и переходные зоны между ними. Соответственно и земная кора делится на три типа — континентальную, океаническую и переходную.

Континентальная кора обладает наибольшей мощностью — от 30 до 75 км и характеризуется наиболее сложным строением. Под толщей осадочных и вулканогенных пород, именуемой осадочным слоем, выделяется гранитный слой, представленный метаморфическими и магматическими комплексами гранитного состава и породами, близкими к ним по физическим свойствам. Ниже гранитного слоя располагается базальтовый слой, образованный глубоко метаморфизованными породами основного состава, близкими по свойствам к базальтам (рис. 38).

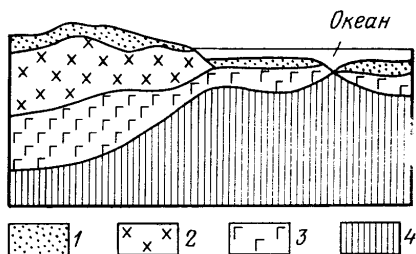


Рис. 38. Строение земной коры
 1 — осадочный слой, 2 — гранитный слой, 3 — базальтовый слой, 4 — мантия

Океаническая кора обладает относительно небольшой мощностью 4—10 км, увеличивающейся в прибрежных областях до 25 км. Непосредственно под осадочным слоем располагается базальтовый слой, состоящий в основном из габброидов и серпентинитов.

В переходных зонах мощность коры имеет промежуточное значение, меняясь в значительном интервале. Для этих зон характерно широкое развитие вулканических пород среднего состава — андезитов.

Вторая группа глобальных структур, выделяемая по особенностям тектонического развития, — платформы и подвижные пояса. Платформами называют обширные стабильные, малоподвижные области, территория которых составляет сотни тысяч квадратных километров. В строении платформ выделяются два структурно-вещественных комплекса: нижний

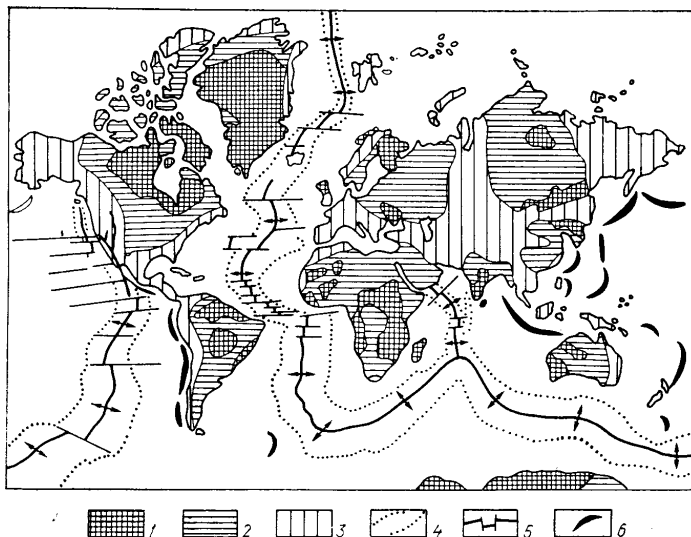


Рис. 39. Главнейшие структурные элементы земной коры
 1 — щиты, 2 — платформы, 3 — подвижные пояса на континентах, 4 — контуры срединно-океанических хребтов, 5 — рифтовые долины и поперечные разломы, 6 — глубоководные желоба. Стрелки указывают на предполагаемое перемещение литосферных плит

сложноскладчатый, образованный в значительной мере метаморфизованными породами, часто пронизанный различными интрузиями, именуется фундаментом, или цоколем, платформы. Верхний комплекс, или чехол, залегает на фундаменте несогласно. Образован он преимущественно осадочными породами, залегающими горизонтально или слабонаклонно. Породы чехла характеризуются выдержанностью состава на обширных площадях, постоянством мощности. Участки платформы, лишенные осадочного чехла, называют кристаллическими щитами. Так, например, Украинский кристаллический щит, представляющий собой обширную область выхода глубоко метаморфизованных древних пород на дневную поверхность, является частью Восточно-Европейской платформы, в пределах которой мощность чехла осадочных образований местами достигает трех и более километров.

Подвижными поясами называются области большой подвижности, характеризующиеся сложноскладчатым строением, обилием разрывных нарушений, большой мощностью осадочных образований, широким развитием вулканизма, интрузивного магматизма и метаморфизма. Подвижные пояса окаймляют платформы или расчленяют их (рис. 39).

Подвижные пояса можно рассматривать как совокупность геосинклиналей разного возраста. Геосинклинали называют линейно-вытянутые, дугообразные, реже мозаичные зоны значительной расчлененности и повышенной проницаемости земной коры; на начальных стадиях своего развития они характеризуются преобладанием погружений, на поздних стадиях — преобладанием поднятий. Эпоха осадконакопления при этом сменяется здесь эпохой горообразования.

В океанах подвижными зонами являются срединноокеанические хребты, области интенсивного проявления разрывной тектоники, рифтообразования и подводного вулканизма. И наконец, весьма активны в тектоническом отношении зоны сочленения океана и континента. Здесь в определенной геотектонической ситуации возникают своеобразные структуры — глубоководные желоба, островные дуги, окраинные моря. Наиболее полно такие структуры развиты вдоль западной окраины Тихого океана. Именно в этих зонах располагаются цепи современных вулканов, здесь проявляются наиболее глубоководные землетрясения. По мнению многих исследователей, эти зоны представляют собой современные геосинклинали.

Часть 2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Под влиянием внешних, или экзогенных, и внутренних, или эндогенных, сил земная кора испытывает постоянные изменения, которые называются геологическими процессами. Соответственно различают экзогенные (извне рожденные) и эндогенные (внутри рожденные) процессы.

Экзогенные процессы развиваются на поверхности Земли, и их интенсивность связана с активностью атмосферных явлений, деятельностью поверхностных и подземных вод, озер и болот, ледников, морей и океанов.

Эндогенные процессы, наоборот, мало зависят от внешних влияний и определяются процессами, протекающими внутри Земли. Под воздействием эндогенных процессов на поверхности Земли возникают горные хребты и впадины, происходят вулканические извержения и землетрясения. Эндогенные процессы характеризуются большой сложностью и разнообразием.

Сформировавшийся под воздействием эндогенных процессов рельеф молодых горных областей подвергается действию экзогенных сил, направленных на сглаживание, выравнивание рельефа. Таким образом, эндогенные и экзогенные процессы развиваются одновременно, взаимосвязано и взаимообусловлено. В этом проявляется диалектический закон единства противоположностей в развитии земной коры.

Глава 4. ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

К экзогенным процессам относятся выветривание, геологическая деятельность ветра, поверхностных и подземных вод, болот, озер, морей и ледников.

4.1. ВЫВЕТРИВАНИЕ

Выветриванием называется процесс физического разрушения и химического разложения горных пород, находящихся на дневной поверхности или вблизи нее, под действием атмосферных факторов, при активном участии микроорганизмов.

4.1.1. Типы выветривания

В зависимости от факторов, воздействующих на горные породы, различают: физическое выветривание, обусловленное главным образом суточными и сезонными колебаниями температуры; химическое выветривание, происходящее преимущественно под действием поверхностных и подзем-

ных вод, а также в результате химического взаимодействия горных пород с атмосферой; органическое выветривание, связанное с жизнедеятельностью организмов.

Физическое выветривание выражается в измельчении горных пород и превращении их в скопления рыхлых образований. При повышении температуры горная порода расширяется, при охлаждении—сжимается. Так как горные породы по своему строению и составу неоднородны и каждая составляющая ее частица (минерал) характеризуется своими коэффициентами объемного и линейного расширения, то регулярные (например, суточные) изменения температуры нарушают механическую связь между отдельными частицами породы, и последняя разрушается. Чем мельче и однороднее частицы горных пород, тем они устойчивее по отношению к процессам физического выветривания. На интенсивность физического выветривания влияют также окраска (темные породы разрушаются быстрее), строение (однородные породы более устойчивы, чем неоднородные, сланцеватые породы), минеральный состав пород (породообразующие минералы имеют неодинаковое термическое расширение).

Кроме температурного фактора, на физическое разрушение пород оказывает влияние вода, проникающая в трещины. При замерзании объем воды увеличивается и она раздвигает частицы породы, вызывая появление новых трещин и дальнейшую дезинтеграцию, разрушение пород. Этот вид физического разрушения горных пород называется морозным выветриванием.

Химическое выветривание связано с присутствием воды и ее растворяющим, разлагающим действием. Воды, циркулирующие в горных породах вблизи дневной поверхности, всегда содержат то или иное количество растворенного кислорода, углекислого газа, органические кислоты, что делает их достаточно агрессивными. Сущность химического выветривания заключается в изменении химического состава минералов, неустойчивых в поверхностных условиях, с образованием новых, вторичных минералов.

Основными химическими реакциями, обуславливающими химическое выветривание, являются окисление, гидратация, растворение и гидролиз.

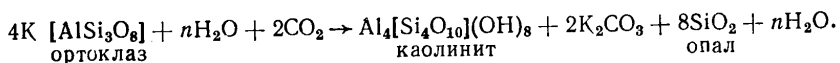
Окисление связано с переходом закисных соединений в окисные и сопровождается присоединением кислорода. В результате окисления образуются новые минералы, устойчивые в зоне выветривания. Примером может служить окисление пирита и переход его в лимонит.

Гидратация характеризуется образованием новых водных соединений в результате поглощения, присоединения воды (например, переход ангидрита в гипс).

Растворение очень широко распространено в природе. Оно особенно интенсивно проявляется в карбонатных породах

и приводит к образованию специфических форм рельефа — карстовых пустот.

Гидролиз — это процесс обменного разложения минералов под влиянием воды и углекислоты. Особенно широко подвергаются гидролизу полевые шпаты. Вода, содержащая углекислоту, выщелачивает из полевых шпатов калий, натрий и кальций и уносит их в виде карбонатных растворов. При этом выделяется кремнезем, служащий материалом для образования опала и халцедона, а силикат глинозема, соединяясь с двумя молекулами воды, образует каолинит:



Органическое выветривание происходит под влиянием кислот, выделяемых микроорганизмами и низшими растениями. Органические кислоты усиливают, ускоряют процесс химического разложения горных пород. На разрушенной, взрыхленной микроорганизмами поверхности горных пород поселяются низшие и высшие растения, корневая система которых проникает еще глубже, раскалывая, дезинтегрируя породу. Физическому разрушению породы способствуют также роющие животные и черви. Таким образом, можно различать химическое и физическое разрушение пород организмами.

4.1.2. Продукты выветривания

В результате выветривания образуются подвижные продукты, которые уносятся от места разрушения под действием силы тяжести, смыва, ветра и т. д., и продукты, которые остаются на месте разрушения исходных, или материнских, пород. Эти остаточные продукты выветривания называются элювием (рис. 40).

Совокупность остаточных или частично преобразованных продуктов выветривания, залегающих на месте своего образования или перемещенных на небольшое расстояние, но не потерявших связи с материнской породой, называют корой выветривания.

Кора выветривания характеризуется следующими особенностями:

- 1) кора выветривания генетически связана с материнскими породами;
- 2) разница между составом коры выветривания и материнскими породами нарастает снизу вверх;
- 3) кора выветривания имеет более или менее отчетливое зональное строение, связанное со стадийностью процесса выветривания;
- 4) минеральный состав коры выветривания разнообразен, но самым характерным для нее является преобладание глинистых минералов.

По возрасту различают современные и древние коры выветривания. В современных корях выветривания элювий недифференцирован из-за недоразвитости кор выветривания. Наибольший интерес представляют древние коры выветривания, так как с ними связаны такие полезные ископаемые, как бокситы, каолиниты, гидросиликаты никеля, гидрокислы и окислы железа, гидрокислы марганца, опалы, гипсы, малахит, азурит, платина, золото, алмазы.

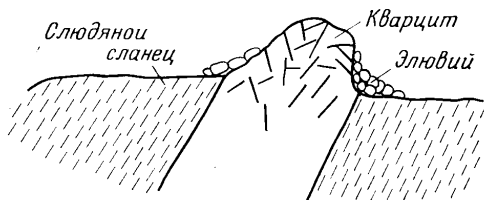


Рис. 40. Схема развития элювия

По характеру распространения различают площадные и линейные коры выветривания. Площадные коры выветривания развиты преимущественно на территориях, геологическое развитие которых было связано с длительными по времени континентальными перерывами в осадконакоплении. Линейные коры выветривания приурочены главным образом к геологически активным областям, где они накапливаются вдоль зон разрывных нарушений, по контакту различных пород и т. п.

По характеру и составу образующихся продуктов различают три основных типа коры выветривания: каолиновая, латеритная и нонtronитовая (рис. 41).

Каолиновая кора выветривания образуется чаще всего по кислым магматическим породам. Каолин является полезным ископаемым. Они применяются в различных отраслях промышленности (бумажная, керамическая, химическая, резиновая, пищевая и др.).

Латеритная кора выветривания образуется по алюмосиликатным магмати-

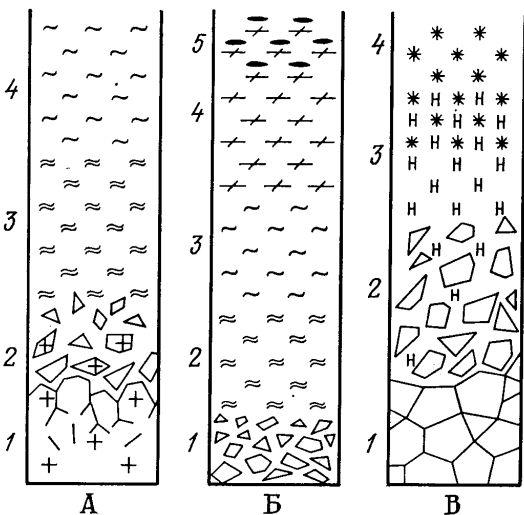


Рис. 41. Типы кор выветривания

А — каолиновая (1 — граниты, 2 — зона дров, 3 — гидрослюдястая зона, 4 — каолиновая зона); Б — латеритная (1 — зона дров, 2 — гидрослюдястая зона, 3 — каолиновая зона, 4 — латеритная зона, 5 — зона железистой корки); В — нонtronитовая (1 — неизменные серпентиниты, 2 — разрушенные серпентиниты, 3 — нонtronиты, 4 — зона железистых охр

ческим породам, преимущественно основным или щелочным. Латериты, содержащие гидроокислы алюминия, называются бокситами. Они образуются в коре выветривания, являются элювиальными остаточными образованиями. Бокситы могут быть и осадочного происхождения, представляя собой коллоидно-химические осадки.

Нонtronитовая кора выветривания образуется на богатых железом и магнием породах и широко развита, например, на массивах ультраосновных пород. Нонtronиты обогащены гидроокислами никеля, иногда до промышленных концентраций.

4.2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВЕТРА

Геологическая работа ветра выражается в физическом разрушении горных пород, образовании рыхло-обломочного материала, его транспортировке и отложении, или аккумуляции.

4.2.1. Дефляция и коррозия

Геологическая деятельность ветра прежде всего приводит к развеиванию, выдуванию образовавшихся в результате выветривания продуктов разрушения коренных пород. Эта работа по выдуванию называется дефляцией. Одновременно с выдуванием ветер производит и разрушительную работу. По-



Рис. 42. Скала «Сфинкс» — результат коррозии гранитов

стоянно бомбардируя выходы горных пород переносимыми им частицами, ветер обтачивает и разрушает их. Процесс этот происходит очень интенсивно, так как продукты разрушения, которые могли бы защитить породу, сразу же выдуваются. Эта деятельность ветра по обтачиванию горных пород называется **корразией**.

Совокупное проявление дефляции и корразии создает оригинальные формы рельефа земной поверхности. Эти формы бывают положительными и отрицательными. Крупные положительные формы рельефа — гребни, вершины и отроги, а отрицательные — долины, ущелья, котловины выдувания. Из мелких форм, которые придают своеобразную оригинальность местности, различают положительные формы — башни, столбы, иглы, столы, грибы (рис. 42), а также отрицательные формы — ниши, карманы, трубы, соты, ячеи.

4.2.2. Эоловые отложения

Продукты разрушения горных пород переносятся ветром нередко на значительные расстояния. При этом размеры частиц, переносимых ветром, определяются его скоростью. Чем выше скорость ветра, тем крупность обломочного материала, переносимого ветром, больше, а расстояние — дальше.

С ослаблением силы ветра, а также в зависимости от рельефа местности, наличия растительности и других факторов происходит отложение обломочного материала. Образующиеся песчано-алеврито-глинистые породы называются **эоловыми отложениями**.

К положительным формам эоловой (ветровой) деятельности относятся барханы и дюны.

Барханами называются распространенные в пустынях песчаные холмы серповидной формы, заканчивающиеся по бокам остроугольными «рогами», вытянутыми в направлении движения ветра (рис. 43). Бархан образуется следующим образом. После сильного ветра в пустыне на поверхности возникают небольшие скопления песка высотой 35—40 см. Ветер уже не в состоянии его плавно сгладить, и на подветренной стороне начинается завихрение. Оно приводит к образованию полуворонки. Этот момент и является временем зарождения бархана. Бархан разрастается до 4—5 м в высоту и до 40—70 м в поперечнике. Когда развивается сложная групповая цепь барханов, то высота песчаных возвышенностей достигает 70—100 м.

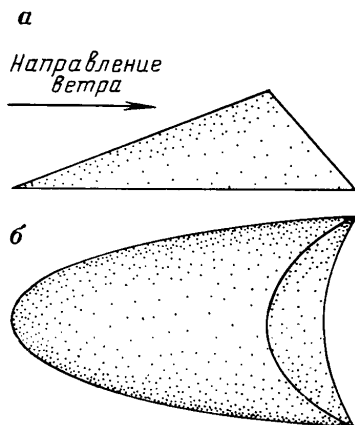


Рис. 43. Бархан

а — вид сбоку, б — вид сверху

Цепи барханов передвигаются ветром со скоростью до 12 м в месяц. Ветер гонит песок вдоль пологого наветренного склона, наращивая крутой подветренный склон. Причина образования барханов — появление на пути движения ветра препятствия, вызывающего его торможение и завихрение.

Дюны и называются песчаные холмы на берегах морей, озер и рек, нанесенные ветром, дующим по направлению к берегу. «Рога» у дюн обычно направлены не вперед, как у барханов, а назад по отношению к движению дюн. Это связано с тем, что на окраинах дюны песок снизу пропитан водой, поэтому сухая высокая центральная часть дюны легче перемещается ветром. Дюны, как и барханы, имеют пологий наветренный и крутой подветренный склоны. На морских берегах дюны имеют высоту 20—30 м, а иногда и 100 м. Скорость движения дюн от 1 до 20 м в год в зависимости от режима ветра, рельефа и т. д.

В СССР дюны развиты на берегах Балтийского моря, озерные дюны — на берегах Аральского, Ладожского и других озер, речные — по берегам Волги, Дона, Днепра.

Движущиеся пески представляют собой страшный бич для окрестного населения. Они засыпают посевы, жилища, оросительные системы. На берегах Балтийского, Северного морей и Атлантического океанов немало погибших таким образом лесов и жилищ. Движение песков стараются остановить посадками кустов, трав, растений, связывающих почву корнями. Мало-помалу цепи дюн можно превратить в сплошные леса и совершенно остановить их движение.

В образовании барханов и дюн, основным материалом, а в случае корразии действующей силой, является песок. Но кроме песка, ветер переносит и более тонкий материал разрушения — пыль. Благодаря своей легкости пыль переносится на большие расстояния, но в конце концов оседает на землю вместе с дождем и снегом.

Основными поставщиками песка и пыли являются пустыни, где из-за отсутствия растительного покрова и резких колебаний температур интенсивно развивается физическое выветривание. К тому же в пустынях дуют частые ветры. Они в пустынях обычно направлены из центра к окраинам, очищают пустыню, «выметают» ее, удаляют продукты выветривания на окраины. Не будь ветров, все холмы и горы в пустынях были бы давно погребены под мощным чехлом продуктов выветривания. Между тем в пустынях чаще, чем в местах с влажным климатом, встречаются выходы обнаженных коренных пород.

На окраинах пустынь накапливаются песчаные, более грубые продукты выветривания, а дальше, за пределами пустынь, где имеется растительность и выпадают дожди, осаждаются пылинки, образуя лёсс, или желтозём.

В СССР лёсс распространен в Средней Азии, на Украине, занимая более 14 % континентальной поверхности.

4.3. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Геологическая деятельность поверхностных текучих вод выражается в разрушении горных пород (эрозия), переносе осадочного материала (транспортировка) и его накоплении (аккумуляция).

Среди текучих вод следует различать: 1) дождевые и талые воды; 2) временные водотоки и 3) реки.

4.3.1. Плоскостной смыв и делювий

Дождевые и талые воды производят плоскостной смыв рыхлого осадочного материала, образовавшегося в результате выветривания. Причиной такого смыва является поверхностный сток атмосферных осадков тонкими переплетающимися струйками, густой сетью стекающими со склонов. Дождевые и талые воды распределяются по поверхности склона более или менее равномерно. Сила воды этих тонких струек невелика, поэтому происходит смыв самых тонких, мелких частиц продуктов выветривания. У основания склона, вследствие выполаживания наклона его поверхности и соответственно уменьшения скорости течения, эти частицы оседают. Таким образом, у подножий склонов накапливается покров осадков, которые называются делювием.

Делювиальные отложения залегают в виде шлейфа с наибольшей мощностью у основания склона. Иногда мощность делювия достигает 15—20 м. Делювиальный шлейф не является однородным. В его вершине отлагается относительно грубый материал — песчаный, ниже все более и более мелкий, и в конец шлейфа — тонкие пылеватые и глинистые частицы.

4.3.2. Временные водотоки и пролювий

Не менее часто поверхностный сток атмосферных осадков осуществляется в форме линейно-направленных потоков в рытвинах, оврагах и речных долинах. Из-за неровности склонов отдельные тонкие струйки сливаются друг с другом, образуя более мощные струи, обладающие большей силой. Такие струи быстро разрушают склон, в результате чего образуются промоины или рытвины. Во время дождя или таяния снега в таких рытвинах накапливаются атмосферные осадки, и она начинает расти в глубину, ширину и вверх по уклону. Этот процесс разрушения называется эрозией. Со временем рытвины растут и превращаются в овраги.

Если дно оврага достигает уровня грунтовых вод, то в русле возникает постоянный водоток — ручей, что приводит к дальнейшему углублению, расширению и удлинению оврага и превращению его в речную долину.

При обильных дождях или массовом таянии снега рытвины, вымоины заполняются водой, бурно несущейся вниз по склону.

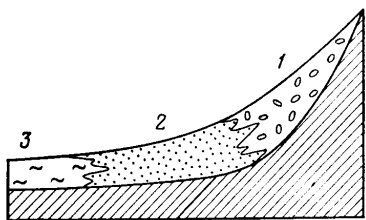


Рис. 44. Конус выноса в разрезе
 1 — вершинная зона конуса (галечник, гравий, песок), 2 — средняя зона (песок, супесь, суглинок), 3 — периферическая зона (суглинок, глина). Штриховкой показаны коренные породы ложа долины

Эти временные потоки несут много песка, щебня, а порой валуны и глыбы. При выходе в предгорную равнину от резкого падения скорости движения воды временный водный поток разливается по равнине в виде веера и откладывает весь принесенный материал. Так образуется конус выноса.

В конусах выноса часто наблюдается закономерная сортировка материала по крупности обломков (рис. 44).

Отложения конусов выноса выделяются в самостоятельный генетический тип континентальных отложений — пролювий.

Мощность пролювиальных отложений достигает сотен и первых тысяч метров. В них наряду с грубообломочным материалом в местах выходов потоков из гор встречаются тонкозернистые лёссовые отложения, торфяные залежи, а в засушливых районах — солончаки.

Пролювиальные отложения широко развиты среди древних континентальных образований. Каждый раз, когда поднимались горные цепи, на предгорных равнинах накапливались мощные толщи продуктов размыва этих гор, которые называются молассами. Например, мощность моласс Ферганской долины достигает 5 км.

4.3.3. Геологическая работа рек

Постоянные водотоки, или реки, совершают огромную работу по разрушению горных пород, транспортировке продуктов разрушения и их аккумуляции. Разрушительная деятельность рек выражается в глубинной (донной) и боковой эрозии. Глубинная эрозия преобладает в начальную стадию развития реки. Водный поток в этот период времени стремится выработать профиль дна применительно к уровню озера или моря, в который впадает река. Этот уровень называется базисом эрозии. Глубинная эрозия особенно велика в горных районах, где реки нередко прорезают глубокие долины с отвесными склонами, которые называются ущельями или каньонами. На следующей стадии река имеет уже более выработанное ложе. В результате боковой эрозии долина реки расширяется и заполняется речными отложениями.

Эрозионная деятельность реки прекращается тогда, когда устанавливается равновесие между эрозией и прочностью пород. Кривая дна реки, на всем протяжении которой устано-

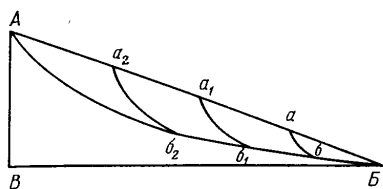


Рис. 45. Продольный профиль равновесия

A — верховье реки; *B* — базис эрозии; *AB* — первоначальное положение долины; *Aa₁B*, *Aa₂B* — последующие положения; *Aβ₁B*, *Aβ₂B* — продольный профиль равновесия

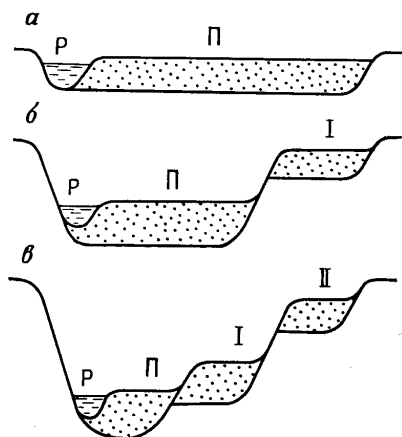


Рис. 46. Строеие долины реки

P — русло, *П* — пойма, *I* — первая надпойменная терраса, *II* — вторая надпойменная терраса; *a*, *б*, *в* — последовательные стадии развития речной долины

вилось такое равновесие, называется продольным профилем равновесия (рис. 45).

В заключительную стадию развития реки продольный профиль ее русла достигает предельного профиля равновесия и скорость течения уменьшается. Долина реки становится широкой с многочисленными меандрами и старицами, склоны долины пологими, дно реки плоским, заполненным аллювиальными — обломочными речными отложениями. При понижении базиса эрозии происходит омоложение реки — усиливается глубинная эрозионная деятельность, русло спрямляется. Аллювиальные отложения, слагавшие пойму реки, оказываются выше новых пойменных осадков при новом базисе эрозии. Неразмывшие остатки древних пойм образуют ступенчатые уступы, называемые надпойменными террасами (рис. 46).

Аллювиальные отложения, или аллювий, отличаются от других продуктов разрушения (элювия, делювия) своей сортированностью и окатанностью. В аллювиальных отложениях часто концентрируются вымытые из коренных пород ценные минералы. Такие скопления минералов в речных отложениях называются аллювиальными россыпями, или россыпными месторождениями полезных ископаемых — золота, алмазов, рубинов, касситерита, ильменита, рутила и др.

4.4. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Атмосферные осадки, попадая на земную поверхность, разделяются обыкновенно на три неравные части. Одна часть стекает прямо по поверхности и образует ручьи, реки и озера;

другая — испаряется, возвращается снова в атмосферу и отчасти расходуется организмами; третья — поглощается почвой, проникает на разную глубину внутрь земной коры и служит источником питания подземных вод.

4.4.1. Происхождение подземных вод

Процесс проникновения поверхностной воды в земную кору называется инфильтрацией. Часть подземных вод образуется и путем конденсации паров воды, проникающих в рыхлые породы. Первые называются инфильтрационными, вторые — конденсационными водами.

Как те, так и другие принимают участие в широком круговороте воды между земной корой, атмосферой и гидросферой, почему они называются блуждающими, или вадозовыми. Кроме того, часть подземных вод образуется за счет тех, которые поднимаются из недр Земли. Такие подземные воды называются ювенильными.

4.4.2. Водопроницаемость горных пород

По отношению к воде горные породы подразделяются на водопроницаемые и водонепроницаемые. Водопроницаемостью называется способность горных пород пропускать через себя (фильтровать) воду. Соответственно породы, легко пропускающие воду, называют водопроницаемыми, а трудно — водонепроницаемыми, или водупорными.

Глины являются типичным примером водонепроницаемых пород. Это, однако, не говорит о том, что в глинах нет воды. Капиллярная пористость глин достигает 60 %, так что глины очень влагоемки. Под влагоемкостью понимается способность пород вмещать в себя то или иное количество влаги. Капиллярная связь воды в глинах и делает их неспособными пропускать через себя воду.

Типичным примером водопроницаемых пород является песок. Пористость его значительно меньше, чем у глин, и обычно не превышает 35 %, но сами поры значительно крупнее капиллярной пористости. В результате пески очень легко пропускают через себя воду.

4.4.3. Типы подземных вод

По условиям залегания выделяются следующие типы подземных вод: почвенные, верховодка, грунтовые, межпластовые, карстовые и трещинные.

Почвенные воды располагаются у поверхности и заполняют пустоты в почве (рис. 47).

Верховодка залегает на небольшой глубине в зоне свободного проникновения воздуха, образуя скопления над линзами водонепроницаемых пород.

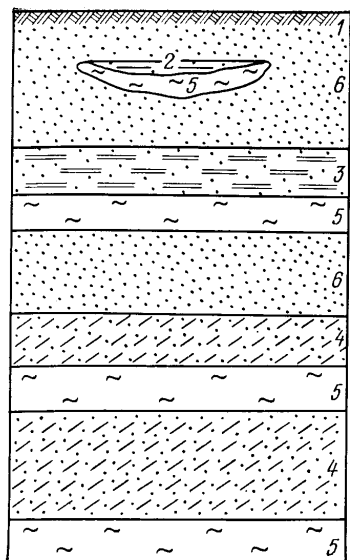
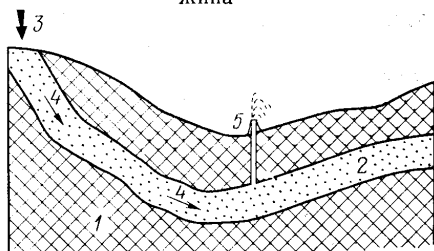


Рис. 47. Типы подземных вод

1 — почвенные воды, 2 — верховодка, 3 — грунтовые воды, 4 — межпластовые воды, 5 — водонепроницаемый горизонт, 6 — водопроницаемый горизонт

Рис. 48. Схема строения артезианского бассейна

1 — водонепроницаемые породы, 2 — водопроницаемые породы, с напорной водой, 3 — поступление метеорных вод, 4 — направление стока подземных вод, 5 — скважина



Грунтовые воды залегают в виде постоянного водоносного горизонта на первом от поверхности, более или менее выдержанном водонепроницаемом слое. Грунтовые воды обладают свободной поверхностью, которая называется зеркалом, или уровнем грунтовых вод.

Межпластовые воды заключены между водупорными слоями (пластами). Межпластовые воды, находящиеся под напором, называются напорными, или артезианскими (рис. 48).

Карстовые воды залегают в карстовых пустотах, образовавшихся за счет растворения и выщелачивания горных пород.

Трещинные воды заполняют трещины горных пород и могут быть как напорными, так и безнапорными.

По содержанию растворенных солей подземные воды подразделяются на следующие виды: 1) пресные, содержащие до 1 г/л растворенных веществ; 2) солоноватые, содержащие 1—10 г/л солей; 3) соленые (10—50 г/л); 4) рассолы (свыше 50 г/л).

По температуре подземные воды подразделяются на четыре типа: 1) холодные с температурой ниже 20 °С; 2) теплые (20—37 °С); 3) горячие (37—42 °С); 4) очень горячие (термы) с температурой свыше 42 °С.

В зависимости от преобладания растворенных солей в воде различают воды гидрокарбонатные, сульфатные и хлоридные.

Подземные воды, обладающие теми или иными лечебными свойствами, называются бальнеологическими. В этой связи различают углекислые, сероводородные, радоновые и другие виды подземных вод.

4.4.4. Геологическая работа подземных вод

Подземные воды играют существенную роль в геологическом развитии земной коры. Их чрезвычайно широкое распространение и подвижность приводят к постоянному взаимодействию с горными породами, к перераспределению вещества в земной коре, образованию месторождений полезных ископаемых.

Геологическая работа подземных вод сводится к химическому взаимодействию с горными породами: растворению, гидратации, гидролизу, карбонатизации, окислению, выщелачиванию, а также переносу и переотложению вещества. Кроме того, подземные воды производят и механический вынос из горных пород мелких минеральных частиц, называемый суффозией. Процессы суффозии приводят, в частности, к возникновению оползней. Оползнями называются передвижения масс горных пород вниз по склону под влиянием силы тяжести (рис. 49).

В обычное время вода стоит ниже водопроницаемого (песчаного) горизонта (рис. 49, I). Во время паводка вода поднимается выше горизонта песков (рис. 49, II). Сток подземных вод прекращается. В песках накапливается много воды. Когда

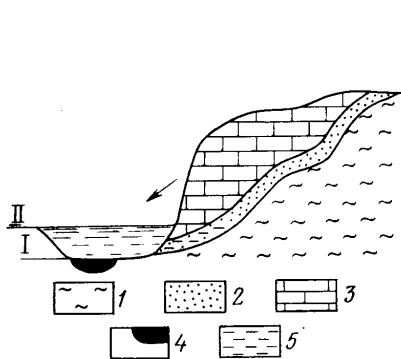


Рис. 49. Схема развития суффозионного оползня.

1 — глины; 2 — пески; 3 — известняки; 4—5 — уровень воды в реке: 4 — в межень (I), 5 — в половодье (II). Стрелкой показано направление сползания водопроницаемых пород по водоупорному слою

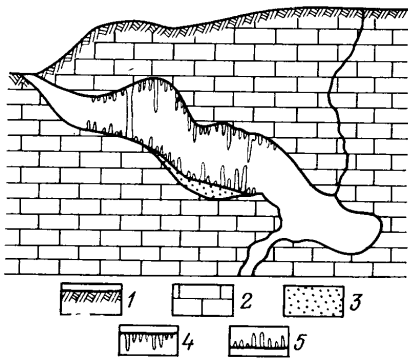


Рис. 50. Карстообразование

1 — почвенный слой; 2 — известняки; 3 — песчаники; 4 — сталактиты; 5 — сталагмиты

паводок спадает, вода устремляется к выходу, увлекая за собой песчаные частицы, вынося в реку тысячи тонн песка. Связь с подстилающим водоупорным слоем ослабляется, и вышележащая толща пород вместе с пластом песка сползает вниз.

Карстовые явления связаны с выщелачиванием подземными водами карбонатных и других растворимых пород. Выщелачивание обычно начинается с поверхности. Образуется воронка, затем глубокие борозды, или карры. В дальнейшем выщелачивание проникает вглубь. В результате на дне карра образуется нечто вроде природного колодца, в который устремляется вода. Такие колодцы называются понорами. В конечном итоге в горных породах образуются многочисленные каналы и пещеры, часто поглощающие целые ручьи и реки (рис. 50).

Классическим примером развития карста считается плато Карст в Югославии, с которым связано название этого явления. Плато Карст — каменная пустыня, поражающая своим унылым видом. Здесь нет ни воды, ни зелени. Поверхность его покрыта трещинами, ямами, рывтинами, воронками. Есть тут реки, но они текут под землей в закрытых руслах.

Подземные воды не только выщелачивают горные породы, но и при благоприятных условиях отлагают растворенные вещества, образуя разнообразные натечные образования: сталактиты и сталагмиты. Сталактиты представляют собой удлиненные, растущие вниз от кровли пещеры сосульки, состоящие чаще всего из кальцита. Сталагмиты, наоборот, растут снизу вверх, образуя более толстые натечные формы (см. рис. 50).

Кроме натечных форм, подземные воды отлагают минеральные вещества в пустотах рыхлых пород, цементируя их. В результате цементации образуются новые породы: песчаники, конгломераты, брекчии и др.

4.5. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЛЕДНИКОВ

В природе наблюдаются различные формы существования льда. Зимой лед образуется в водоемах и почве. Это так называемый сезонный лед. Широко развит лед в областях распространения многолетней мерзлоты, занимающих половину территории нашей страны. Глубина распространения многолетней мерзлоты колеблется от первого десятка метров до 500—600 м. Многолетние льды, кроме того, слагают ледники.

4.5.1. Типы ледников

Ледники занимают значительное место на Земле. Только на суше они покрывают около 16 млн. км² (11 % поверхности суши). Общий объем льда, содержащегося в ледниках, оценивается в 30 млн. км³.

Ледники образуются в местах, расположенных выше так называемой снеговой линии. Снеговая линия — это уровень, выше которого снег не успевает растаять за лето. Гипсометрическое положение этой линии зависит от климатических условий. В полярных районах снеговая линия располагается на высотах, близких к уровню моря (от нуля до 50—70 м), в средних широтах — на высоте от 1500 до 6000 м.

Различают три основных типа ледников: горные, покровные и промежуточного типа.

Горными, или альпийскими, называют сравнительно маломощные ледники высокогорных районов, приуроченные к различного рода углублениям в рельефе: впадинам, долинам рек, ущельям и т. п. Ледники такого типа развиты в Альпах, Гималаях, на Тянь-Шане, Памире, Кавказе.

Хотя ледники альпийского типа играют скромную роль в общем балансе оледенений (их общая площадь составляет менее 0,5% площади ледников), отдельные высокогорные ледники достигают значительных размеров.

Покровные ледники обычно образуются в полярных районах (Антарктика, Гренландия, о. Новая Земля и др.) и располагаются почти на уровне моря. Как правило, эти ледники занимают огромные площади и имеют значительную мощность ледникового покрова.

К ледникам промежуточного типа относятся плоскогорные ледники, которые образуются на горах с плоской (столообразной) или плоско-выпуклой вершиной. Такие ледники развиты в Скандинавии, поэтому их иногда называют ледниками скандинавского типа.

4.5.2. Геологическая работа ледников

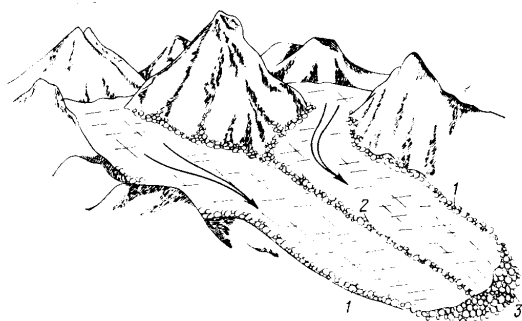
Передвигаясь, ледники производят огромную работу по разрушению горных пород, обработке (вспахиванию и истиранию) поверхности, по которой они движутся, и переносу разнообразного обломочного материала.

Работа ледника по разрушению и истиранию пород называется экзарацией. При движении льда образуются выровненные, выположенные формы рельефа. Округлые асимметричные скалы со следами полировки, штриховки называются бараньими лбами, а их скопления образуют ландшафт курчавых скал. Долина, по которой движется ледник с вмержшими в лед обломками пород, приобретает корытообразную форму с плоским дном и отвесными боковыми стенками. Такая долина называется трогом.

Обломочный материал, образующийся в результате деятельности ледников, получил название морены. По своему составу морены подразделяются на движущиеся и неподвижные. Первые движутся вместе со льдом, а вторые представляют собой обломочный материал, оставшийся на месте

Рис. 51. Схема движения ледника и образование морен

1 — боковая морена, 2 — срединная морена, 3 — конечная морена



после таяния ледников. Неподвижные морены подразделяются на конечные и основные. Неподвижная морена, образовавшаяся у нижней границы ледникового языка, называется конечной (рис. 51). Основная морена — это отложения, оставшиеся после таяния ледника на всем протяжении троговой долины.

С деятельностью ледников связаны также флювиогляциальные отложения, которые возникают в результате деятельности временных водных потоков, образующихся при таянии ледников. Такие водные потоки, как правило, размывают морену и выносят рыхло-обломочный материал за ее пределы. При этом вблизи границы ледника откладывается более грубо-обломочный материал, далее — мелкий песчаный и затем тонкий, глинистый. Таким образом, флювиогляциальные отложения в отличие от моренных характеризуются сравнительной отсортированностью и слоистостью и в этом отношении близки к речным. Однако по сравнению с ними флювиогляциальные образования менее окатаны, так как являются составной частью перемытой морены и переносятся водным потоком лишь на незначительные расстояния.

4.5.3. Древние оледенения

Изучение древних ледниковых отложений позволило установить, что в истории Земли неоднократно наблюдались периоды оледенения. Последние сменялись межледниковыми эпохами. Сейчас удалось установить семь периодов материковых оледенений (табл. 7). Из табл. 7, в которой сплошными линиями отмечены материка, где достоверно установлены ледниковые отложения, а прерывистыми — материка, где имеются признаки существовавших древних оледенений, видно, что практически все континенты в разное время в значительной степени покрывались ледниками. Так, в последний ледниковый период льдом была покрыта $\frac{1}{3}$ часть суши (около 45 млн. км²), включая большую часть Северной Америки, Гренландии и $\frac{1}{4}$ часть Евразии.

Распределение оледенений в различные геологические эпохи (по М. Е. Раабен, 1976 г.)

Возраст, млн. лет	Евразия	Северная Америка с Гренландией	Южная Америка	Африка	Австралия	Антарктида
50—0	—————	—————	-----	—————	—————	—————
280—240	—————	—————	—————	—————	—————	—————
440—410	—————	-----	-----	-----	-----	-----
650—610	—————	—————	—————	—————	—————	—————
850—745	—————	—————	—————	—————	—————	—————
2100—2000	-----	—————	—————	—————	—————	—————
2500—2400	-----	—————	-----	-----	-----	-----

Существует ряд гипотез, объясняющих причины древних оледенений. Одни гипотезы связывают оледенение с процессами, протекающими на поверхности Земли или в глубоких слоях земной коры и верхней мантии, другие — с астрономическими или космическими явлениями. В частности, в геологической истории Земли отчетливо выступает связь между оледенениями и важнейшими тектоно-магматическими (вулканическими) событиями. Подмечено, что оледенения обычно наступают после крупнейших горообразовательных процессов, сопровождающихся активной вулканической деятельностью. Вполне вероятно, что похолодания были обусловлены вулканической деятельностью, уменьшавшей за счет выброса колоссального количества пепла прозрачность атмосферы, и сокращавшей относительную солнечную радиацию. Бурение многослойных ледовых панцирей Гренландии и Антарктиды показало, что наиболее низкие температуры отмечаются в тех слоях, где были выявлены самые мощные отложения вулканического пепла.

В современную эпоху все возрастающую роль в изменении климата Земли играет деятельность человека. Сжигание топлива, выброс в атмосферу газов и мелких частиц промышленными предприятиями приводит, с одной стороны, к изменению газового состава воздушной оболочки Земли, а с другой —

к увеличению содержания пыли в атмосфере. Увеличение содержания углекислоты в атмосфере за счет так называемого «парникового эффекта» может привести к существенному потеплению климата и растоплению ледникового покрова Земли. Загрязнение атмосферы пылью, наоборот, снижает поступление солнечного тепла. Как считают климатологи, достаточно на 1 % уменьшить освещенность Земли, чтобы вызвать на планете резкое похолодание или крупномасштабное оледенение. Отсюда становится понятным, насколько важно соблюдение рационального режима и поддержание установившегося природного равновесия в тепловом балансе планеты.

4.6. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОЗЕР И БОЛОТ

Озерами называются замкнутые впадины на поверхности суши, заполненные водой.

Болотами называются избыточно увлажненные участки суши, на которых происходит накопление неразложившегося органического вещества, переходящего в дальнейшем в торф.

Озерами и болотами занято 8,3 % поверхности нашей страны, из них 1,3 % приходится на долю озер, а 7 % — на долю болот.

4.6.1. Озера и их геологическая деятельность

По составу воды озёра делятся на: а) пресные, б) соленые. По химическому составу соленые озера делятся на: а) карбонатные, или содовые, б) сульфатные, в) хлоридные.

На разнообразие, характер и состав озерных осадков влияют климат, размер и форма озера, его глубина, способ питания осадочным материалом, характер берегов и рельеф водосборной площади, состав пород на этой площади.

Во влажном климате озера получают много воды, мало испаряют, поэтому они, как правило, пресные. Растворенные вещества в таких озерах не накапливаются, а выносятся.

В некоторых озерах вода обладает большой жесткостью вследствие привноса грунтовыми водами карбонатов кальция. Жесткость воды может увеличиваться до концентраций, приводящих к химическому осаждению тонкозернистого карбоната, образующего в донных осадках прослойки озерного мела и мергеля. Кроме того, с речными водами в пресноводные озера поступает нередко большое количество коллоидных веществ, образующихся в процессе выветривания и почвообразования. Такими коллоидами являются гидроокислы железа, алюминия, марганца, которые осаждаются на дно. Так формируются нередко значительные скопления железных руд — бурых железняков. В тропических и субтропических областях с мощной корой латеритного выветривания в озерных впадинах накапливаются наряду с железными рудами окислы алюминия — бокситы.

Органогенные осадки пресных озер представлены органиче-

ским илом — сапропелем. Сапропель образуется в водоемах, богатых микроскопическими простейшими животными и растительными организмами. Все органические остатки, падающие на дно озера, разлагаются без доступа кислорода воздуха. В результате деятельности микроорганизмов возникают углеводороды, происходит частичная битуминизация органического вещества. Во влажном состоянии сапропель — темная серо-зеленая или коричневая студенистая масса. В ходе дальнейшего накопления сапропелевые осадки уплотняются, твердеют и превращаются в разновидность угля, называемую сапропелитом.

И наконец, в крупных пресноводных озерах широко развиты терригенные осадки: пески, галечники, гравий и др.

Характер озерных осадков в засушливых зонах существенно отличается от отложений, формирующихся во влажном климате. Озера получают воды меньше, чем ее испаряется. Поэтому озера часто бессточные и, как правило, соленые. В таких озерах накапливается не только терригенный материал, но и растворенные вещества. Усиленное испарение приводит к пересыщению раствора, образованию рассола, в результате чего начинается осаждение солей. Соленые озера встречаются в настоящее время в Западной Сибири (Кулундинские степи), в Прикаспии и других местах.

4.6.2. Геологическая деятельность болот

Одним из основных результатов образования болот является процесс накопления торфа. Растительность болот связана еще с минеральным дном водоема, или с грунтом, а у торфяников мощность отмерших растительных остатков (торфа) на-

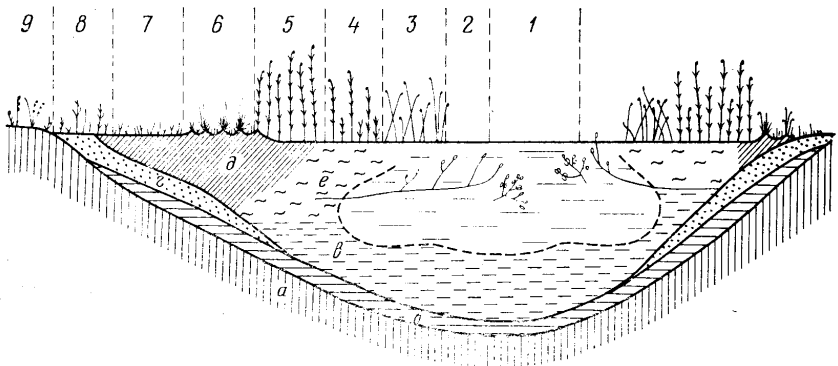


Рис. 52. Схема зарастания озера (по В. Р. Вильямсу)

а — минеральное дно озера, *б-в* — известковистый сапропелевый ил, *г* — землистый торф, *д-е* — камышово-тростниковый торф, *1* — свободноплавающие растения, *2* — рдесты и кувшинки, *3* — камыши, *4* — рогоз, *5* — тростник, *6* — крупные осоки, *7-8* — корневищные злаки, *9* — злаки

столько велика, что живые растения не имеют непосредственной связи с минеральным грунтом и вместе со всей корневой системой как бы висят в торфе (рис. 52).

Торф образуется за счет различной болотной растительности — мхов, трав, кустарников и деревьев. Эти органические остатки подвергаются после отмирания сложным процессам разложения и преобразования — гумификации. В конечном итоге торф имеет вид землистой массы коричневого, бурого или почти черного цвета.

Советский Союз располагает 50 % мировых запасов торфа. Общая площадь болот в СССР около 2,1 млн. км².

Наряду с торфом в болотах наблюдается накопление хемогенных осадков — болотной извести и болотных железных руд, а также руд марганца и сульфидов железа.

4.7. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МОРЯ

Моря и океаны занимают около 71 % поверхности Земли. В них сосредоточено почти 1,5 млрд. км³, или 97 % всех водных запасов планеты. Эта масса воды находится в постоянном движении, что приводит к разрушению берегов (абразии), перемещению огромного количества обломочного материала и растворенных веществ, выносимых реками, и, наконец, их отложению с образованием разнообразных осадков. Широкое развитие на континентах осадочных пород морского происхождения свидетельствует о периодическом изменении в геологическом прошлом границ морей и Мирового океана.

В рельефе дна океанов выделяются следующие элементы: материковая отмель, или шельф (до глубины 200 м); материковый склон (от 200 до 2500 м); ложе океана (от 2500 до 6000 м); глубоководные желоба (свыше 6000 м). Шельф занимает 7,6 %; материковый склон 15 %; ложе океана 76,2 % и глубоководные желоба 1,2 % поверхности дна Мирового океана.

Главные факторы, определяющие тип морских отложений, — характер рельефа и глубина морского дна, степень удаленности от берега и климатические условия. В пределах океана выделяются следующие зоны осадконакопления: литоральная, неритовая, батинальная и абиссальная (рис. 53).

Литоральной зоной называется прибрежная мелководная часть моря, периодически заливаемая во время приливов и осушаемая при отливах. В литоральной зоне много воздуха, света и питательных веществ. Осадки литоральной зоны характеризуются прежде всего сильной изменчивостью, являющейся следствием периодически меняющегося гидродинамического режима воды.

В литоральной зоне формируется пляж. Пляж представляет собой скопление обломочного материала в зоне действия прибоя. Сложены пляжи самым разнообразным материалом — от крупных глыб до тонкого песка. Волны, набегающие на

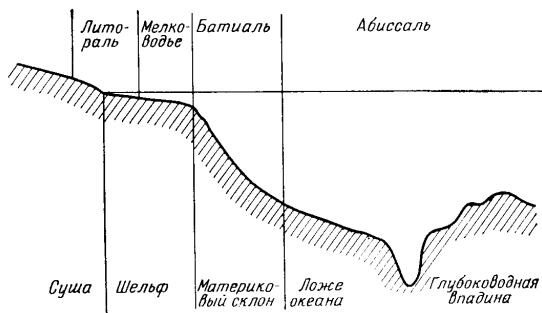


Рис. 53. Рельеф дна Мирового Океана и зоны осадконакопления

пляж, сортируют выносимый ими материал. В результате в зоне пляжа могут появиться участки, обогащенные тяжелыми минералами, что приводит к формированию прибрежно-морских россыпей. Современные прибрежные россыпи расположены вдоль берегов Австралии, Новой Зеландии, Индонезии, Индии, Африки и в других местах. Прибрежно-морские россыпи известны также в ископаемом состоянии на Урале, Украине и в других регионах.

На участках литорали, где не бывает сильных волнений, характер отложений существенно иной. Осадки здесь преимущественно тонкозернистые — алевритовые и глинистые. Иногда вся приливно-отливная зона занята песчано-глинистыми илами.

Неритовой зоной называется область мелководья, тянущаяся с глубины, где перестает сказываться волнение, до внешнего края шельфа. В этой зоне идет накопление терригенных, органогенных и хемогенных осадков.

Терригенные осадки имеют наибольшее распространение, что обусловлено близостью суши. Среди них выделяются грубообломочные осадки — глыбы, валуны, галечники и гравий; песчаные, алевритовые и, наконец, глинистые осадки. В целом в шельфовой зоне наблюдается следующее распределение осадков: около берега накапливаются грубообломочный материал и пески, за песками следуют алевритовые, а еще дальше глинистые осадки (илы). Сортировка осадков ухудшается по мере удаления от берега в связи с ослаблением с глубиной сортирующей работы волн.

В зоне шельфа чрезвычайно многообразен органический мир. Основными веществами, которые извлекаются из морской воды организмами, являются углекислый кальций, кремнезем и в меньшей степени фосфор. Для области шельфа особенное значение имеют организмы, которые извлекают из морской воды углекислый кальций, а затем, отмирая, образуют на дне водоемов мощные накопления осадков. Из этих осадков форми-

руются впоследствии известняки-ракушняка, ракушечники. Ракушняковые отложения характерны для теплых морей, так как в зонах с холодным климатом, несмотря на большие биомассы моллюсков, их раковины, попадая в осадок, растворяются вследствие низкой температуры воды и не дают значительных накоплений.

Другая группа животных с известковым скелетом — кишечнополостные, среди которых особая роль принадлежит кораллам. Рифостроящие кораллы живут лишь в строго определенных условиях: на небольшой глубине, в чистой воде нормальной солености при температуре не ниже 22 °С. Кораллы живут колониями, каждый коралл (полип) занимает одну из известковых трубообразных камер, а в целом колония кораллов, разрастаясь, образует рифы — массивные известковые постройки с крутыми склонами, иногда выступающие на поверхность моря (рис. 54).

Так как рифостроящие организмы (прежде всего кораллы, а также мшанки, водоросли) живут в мелководье, рифы образуются только в результате медленного опускания морского дна. Если опускание было быстрое, то колония погибала. При благоприятных условиях рифовый комплекс может достигать значительной мощности (до нескольких сотен и тысяч метров).

На внешнем склоне рифа в результате абразии наблюдается накопление обломочного материала. Во внутренней части его располагается лагуна, где формируются в основном известковые илы, иногда обогащенные глинистым материалом. Илы богаты органическими остатками. Для некоторых участков лагун характерны мангровые заросли, впоследствии образующие залежи прибрежно-морских, или паралических, углей. Нередко древние рифовые постройки являются аккумуляторами нефти и природного газа. Примером такого явления могут служить месторождения Ишимбаевского Приуралья. Самые большие нефтяные месторождения в этом районе приурочены именно к рифовым известнякам.

Батимальной зоной называется область морского дна, расположенная между шельфом и океаническим ложе. В целом батимальные осадки гораздо более тонкообломочные, чем осадки шельфа. В среднем глины составляют в них около 60 %,

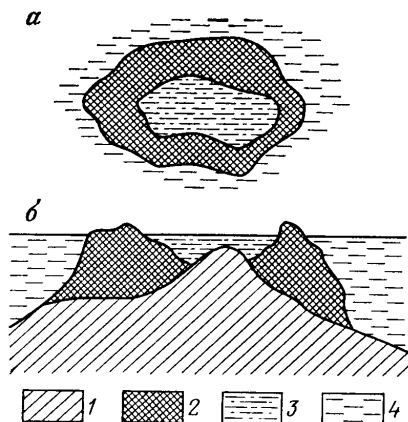


Рис. 54. Коралловые рифы

а — в плане, б — в разрезе, 1 — породы основания, 2 — коралловая постройка, 3 — лагуна, 4 — морской бассейн

пески — около 25 %, грубые осадки 10 %. Таким образом, и в батинальной зоне еще преобладают терригенные образования. Одним из характерных отложений батинальной зоны является синий ил. Он состоит из тончайших иловатых и глинистых частиц. Синевато-серая окраска осадка, обусловленная закисью железа, указывает на образование осадка в условиях недостатка кислорода в восстановительной среде.

Кроме синего ила, в батинальной зоне распространен красный ил, по составу близкий к синему, но отличающийся окраской — красной, бурой, желтой за счет присутствия в них окислов железа.

И наконец, в батинальной зоне встречается зеленый ил, отличающийся от синего и красного большей грубозернистостью и нередко представленный мелкими песками. Зеленый цвет обусловлен присутствием глауконита.

Кроме отмеченных выше терригенных илов, в батинальной зоне нередко развиты органогенные илы. В их образовании главную роль играют планктонные организмы, населяющие верхние слои морской воды. Отмирая, эти организмы падают на дно и, накапливаясь, образуют илы, представленные в основном скоплениями мельчайших известковых скелетов фораминифер — одноклеточных организмов или брюхоногих моллюсков — птеропод. Соответственно илы называются фораминиферовыми или птероподовыми.

Абиссальные осадки покрывают дно океанов на глубинах более 2000—3000 м. Скорость накопления абиссальных илов ничтожна и составляет максимум несколько сантиметров за тысячу лет.

Из осадков абиссальной зоны наиболее характерна красная глубоководная глина. Отложения ее в Тихом океане, например, занимают около 50 % площади его дна. Образуется красная глина на глубинах более 4500 м. Красная глина — очень тонкая осадочная порода, с размерами частиц 0,001 мм.

Среди осадков абиссальной зоны часто присутствуют железомарганцевые конкреции. В Индийском и Тихом океанах они покрывают местами 20—50 % площади дна. В состав конкреций входят марганец (около 40 %), железо (4—20 %), кобальт (до 1 %), никель (до 1,5 %), медь (до 1,8 %) и ряд других элементов.

Из органогенных осадков наибольшим распространением в абиссальной зоне пользуются фораминиферовые илы. Их особенно много в Атлантическом океане, где они занимают около 60 % площади дна. Отмечаются также и птероподовые илы.

Из кремнистых осадков в абиссальной зоне встречаются радиоляриевые и диатомовые илы. Радиоляриевые илы состоят из скоплений опаловых скорлупок одноклеточных планктонных организмов — радиолярий. Распространены эти илы на глубинах от 4000 до 8000 м, где постепенно замещаются красными

глинами. Диатомовые илы — это скопление остатков диатомей — одноклеточных водорослей, строящих свои панцири из кремнистого материала. Наиболее распространены диатомовые илы в приантарктической части Мирового океана. Сами водоросли живут в верхних слоях морской воды, куда проникает солнечный свет. После их гибели остатки панцирей за счет слабой растворимости в воде достигают океанического дна.

Кроме терригенных и органогенных осадков в абиссальной зоне распространены также вулканогенные образования, приуроченные в основном к районам активной вулканической деятельности.

4.8. ЛИТОГЕНЕЗ

В предыдущих разделах рассмотрены экзогенные геологические процессы, приводящие к физическому и химическому разрушению горных пород, образованию осадочного материала, его удалению и переносу к конечным водоемам стока (озерам, морям). Удаление осадочного материала с водораздельных пространств осуществляется в основном с помощью поверхностных вод, в меньшей мере другими транспортирующими агентами (ветер, лед). Совокупность процессов сноса рыхлых твердых продуктов выветривания получила название механической денудации, а вынос растворенных веществ — химической денудации.

В зависимости от форм, в которых поступает в конечные водоемы стока осадочный материал, транспортируемый поверхностными водами, различают четыре группы минеральных веществ.

Первая группа включает легкорастворимые соли. Они переносятся только в виде истинных растворов.

Вторую группу компонентов поверхностного стока составляют карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов и кремнезем, обладающие умеренной растворимостью.

Третья группа включает соединения Fe, Mn, P и малых элементов. Для них характерна низкая растворимость, что предопределяет их нахождение преимущественно в виде коллоидных соединений или механических взвесей.

Четвертую группу компонентов поверхностного стока образуют кварц и разнообразные силикаты и алюмосиликаты. Растворимость их ничтожна, поэтому они переносятся как тонкая взвесь или более грубозернистый материал, перемещаемый волочением по дну.

Процессы перемещения и осаждения вещества, внесенного в морские водоемы, весьма многообразны. Прежде всего поступающий с суши материал разносится по акватории бассейна и осваивается им, т. е. смешивается с веществом, уже имеющимся в бассейне. При этом происходит механическое осаждение частиц, внесенных в водоем во взвешенном состоянии, и

химико-биологическое осаждение растворенных в воде соединений с образованием новых твердых фаз, погружающихся на дно.

Распределение осадочного материала по акватории бассейна осуществляется движением воды (волны, приливы — отливы, течения, вертикальное перемешивание).

Одновременно с разносом поступивший в бассейн материал осаждается, и образуется осадок. У обломочных частиц и гелевых сгустков, привнесенных в бассейн во взвешенном состоянии, осаждение сводится к постепенному падению частиц вниз, на дно бассейна. Осаждение же растворенных веществ из морской воды осуществляется химическим путем, биогенно или сорбцией вещества уже имеющимися в воде твердыми частицами.

Таким образом, в результате мобилизации, денудации и аккумуляции в конечных водоемах стока или на путях перемещения к нему разнообразного материала образуется осадок. Процессы мобилизации осадочного материала, денудации и аккумуляции объединяются в стадию седиментогенеза.

Только что образовавшийся осадок представляет собой рыхлое или текучее тело, обильно обводненное, богатое микроорганизмами и состоящее из весьма разнородного материала, частью твердого, частью жидкого и газообразного.

Главная особенность свежесформированного осадка — отсутствие равновесия между входящими в его состав реакционно-способными соединениями. Из-за такой неравновесности свежий осадок представляет собой неустойчивую физико-химическую систему. Так, в осадке имеется много кислорода и богатых им веществ, здесь же — живые организмы, нуждающиеся в кислороде для своего существования, и органическое вещество, которое способно к окислению и сгоранию. Пропитывающая иловый осадок вода по составу почти не отличается в первый момент от воды наддонной. Эта вода не насыщена карбонатами, кремнеземом, фосфатами и другими компонентами; в то же время в осадках очень много биогенно осажденных или перенесенных в виде взвеси кальцита, магнезита, кремнезема и других веществ. В состав глинистых минералов в виде примеси входят также поглощенные ими катионы многих металлов.

После фиксации осадка на дне естественно начинается процесс уравнивания этой системы. Совокупность физико-химических преобразований сложной, многокомпонентной системы реакционно-способных веществ в термодинамических условиях поверхности земной коры называется диагенезом. Физико-химическое равновесие происходит при процессах обезвоживания, разложения органических остатков, уплотнения и цементации осадков, образования конкреций.

Совокупность процессов образования осадка (седиментогенез) и осадочной горной породы (диагенез) называется литогенезом.

И наконец, только что сформированная осадочная порода по мере захоронения и погружения на все более значительные глубины, испытывает дальнейшие изменения, носящие название эпигенеза. Движущим фактором и причиной эпигенетических изменений осадочных пород являются не внутренние противоречия (как при диагенезе), а противоречие между вещественным составом породы и теми термодинамическими условиями, в которые она попадает.

Глава 5. ЭНДОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

К числу эндогенных процессов относятся магматизм, метаморфизм и тектонические, в том числе и сейсмические, движения.

5.1. МАГМАТИЗМ

Магматизмом называют явления, связанные с образованием в недрах Земли, изменением и перемещением к ее поверхности жидких силикатных расплавов — магмы. Вещество Земли на больших глубинах в силу господствующих там высоких давлений, несмотря на температуру 1300—1500 °С и более (температуры плавления самых тугоплавких горных пород на поверхности Земли составляют 1100—1350 °С), находится в твердом состоянии. При нарушении физико-химического равновесия — в первую очередь в зонах глубинных разломов — в сторону снижения давления устремляются легкоподвижные продукты (газы, растворы) внутрипланетарной дифференциации вещества Земли. На уровнях глубин с температурами, равными или превышающими температуры плавления, эти газы и растворы могут привести к расплавлению вещества.

Таким образом, образованию магмы способствуют движения земной коры, сопровождающиеся развитием глубинных разломов, и потоки тепла и растворов, которые поднимаются по этим разломам к поверхности Земли.

Образовавшаяся магма по тем же ослабленным зонам (глубинным разломам) внедряется в земную кору, иногда достигая поверхности Земли и извергаясь на ее поверхность. Соответственно различают интрузивный и эффузивный магматизм.

Интрузивным, или глубинным, магматизмом называются процессы внедрения и перемещения магмы в пределах земной коры, а эффузивным магматизмом — процессы, сопровождающиеся извержением, излиянием магмы на поверхность Земли.

5.1.1. Интрузивный магматизм

Современное учение о магматических процессах предполагает существование в природе трех или четырех родоначальных первичных магм: перидотитовой (ультраосновной), базальтовой (габбровой) и гранитной (риолитовой); существование первичной андезитовой магмы относится к числу невыясненных вопросов.

Перидотитовые и базальтовые магмы образуются в недрах верхней мантии, а гранитные и андезитовые магмы являются, по-видимому, продуктами плавления вещества земной коры. Гранитные и андезитовые магмы в пределах океанических секторов земной коры отсутствуют.

Несмотря на существование в природе всего трех или четырех типов родоначальных магм, магматические горные породы характеризуются огромным разнообразием. Причина этого кажущегося противоречия — дифференциация и ассимиляция, нарушающие однообразие первичной магмы и приводящие к образованию различных по составу магматических пород.

Дифференциация — очень сложный физико-химический процесс разделения, расщепления магмы на различные по химическому составу фракции. Различают магматическую дифференциацию, происходящую в жидкой фазе до появления первых кристаллов и характеризующуюся расслоением магмы на две различные по плотности и несмешивающиеся жидкости (ликвация), и кристаллизационную дифференциацию, происходящую при остывании магмы с последовательной кристаллизацией силикатов от наиболее тугоплавких и тяжелых (железо-магнезиальные силикаты и основные плагиоклазы) до легкоплавких (кислые плагиоклазы, калиевые полевые шпаты и кварц).

Ассимиляция — процесс образования смешанной магмы в результате усвоения и плавления постороннего материала боковых (вмещающих) пород. Расплавляя и растворяя вмещающие породы, магма тем самым изменяет свой состав.

5.1.2. Эффузивный магматизм

Эффузивный магматизм, или вулканизм, — одно из наиболее грандиозных разрушительных и в той же степени созидательных явлений природы, известное человеку с глубокой древности. На поверхность Земли извергаются твердые, жидкие и газообразные продукты вулканической деятельности. Образовавшаяся в недрах Земли магма при появлении разломов может подняться и излиться на поверхность. Такая магма, потерявшая при выходе на поверхность Земли часть газово-жидких компонентов, называется лавой.

В зависимости от формы выводного канала, по которому к поверхности поднимается вулканический материал, вулканы

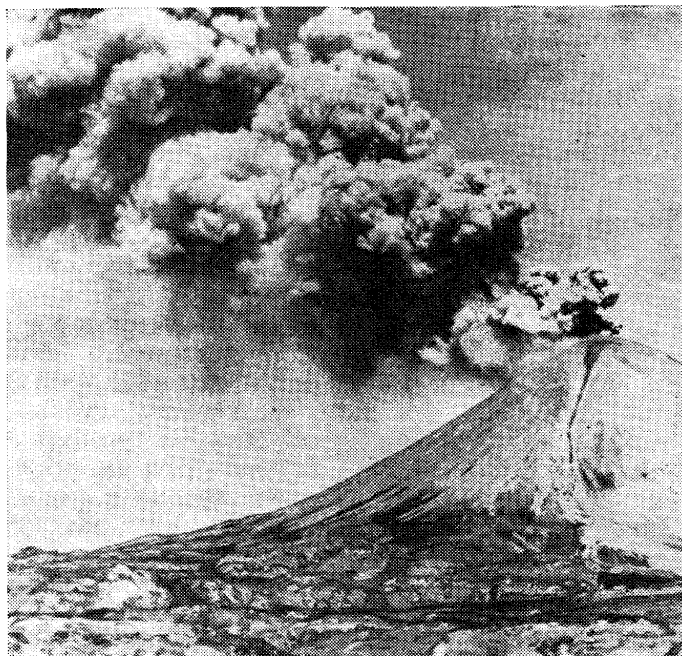


Рис. 55. Карымский вулкан. Камчатка

подразделяются на трещинные и центральные. У вулкана трещинного типа подводящий канал имеет форму трещины (вулканы Лаки в Исландии, Толбачик на Камчатке). Вулканы центрального типа обычно конусообразной формы (рис. 55), а извержения происходят из трубообразного выводного канала, называемого жерлом. Большинство современных вулканов относятся к центральному типу (Ключевская сопка и Карымский на п-ове Камчатке, Везувий, Этна и Вулькано на побережье Средиземного моря и др.).

Жидкие продукты извержения — лавы, существенно различаются по физическим свойствам в зависимости от их состава, в первую очередь от содержания кремнезема. Кислые (риолитовые) лавы характеризуются большой вязкостью, средние (андезитовые) и основные (базальтовые) лавы — значительной подвижностью, что обуславливает существование нескольких типов вулканических извержений (рис. 56).

При застывании лавы образуются эффузивные, или излившиеся, горные породы.

К твердым продуктам вулканической деятельности относятся вулканические бомбы — крупные, от нескольких сантиметров до метров в поперечнике куски затвердевшей лавы; лапилли — обломки вулканического шлака величиной

1,5—2,0 см; вулканический песок — застывшие частицы размером не более 1—2 мм и вулканическая пыль — мельчайшие (менее 1 мм) частицы лавы, вулканического стекла и других пород.

Любое вулканическое извержение сопровождается выбросом большого количества газообразных продуктов, среди которых выделяются высокотемпературные фумаролы ($t=100-300\text{ }^{\circ}\text{C}$) и низкотемпературные ($t < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) сольфатары — сернистые, а мофеты — углекислые возгоны. Фумаролы имеют разнообразный газовый состав: водяные пары, углекислый газ, азот, сернистый газ, водород, окись углерода, хлор и др. Сольфатары состоят преимущественно из водяных паров и сероводорода, а мофеты — главным образом из водяных паров и углекислого газа.

В вулканической деятельности четко различаются два этапа. Первый — сравнительно кратковременный этап активного вулканизма, во время которого происходит энергичное формирование вулканического аппарата в результате выброса огромного количества шлаков и пепла, излияния лавы, и второй (последующий) — значительно более длительный, сравнительно спокойный этап поствулканических явлений. Второй этап характеризуется поступлением на поверхность Земли разнооб-

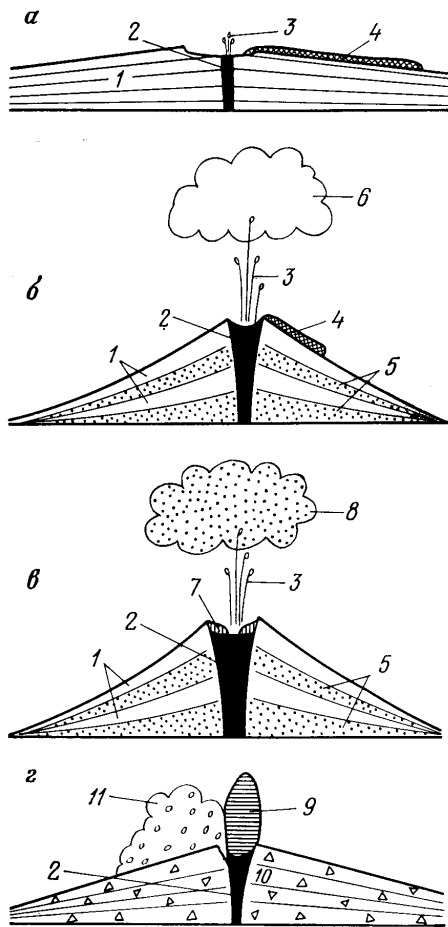


Рис. 56. Типы вулканических извержений

а — гавайский, *б* — стромболианский, *в* — везувийанский, *г* — пелейский; 1 — слои застывшей лавы, 2 — раскаленная лава, 3 — лавовые выбросы, 4 — лавовые потоки, 5 — слои пирокластического материала, 6 — газовое облако, 7 — лавовая корка, 8 — облако газов, пепла и обломков лавовой корки, 9 — обелиск лавы, 10 — грубообломочные продукты разрушения обелиска, 11 — «палящая» туча газов и раскаленного пепла

разных летучих соединений, выделяющихся из излившейся лавы или из остывающего на глубине магматического очага. По многочисленным трещинам в кратере и на склонах вулканического сооружения в течение длительного времени (десятки, сотни и даже тысячи лет) поднимаются газы и разнообразные по составу и температуре горячие воды, которые производят интенсивные поствулканические изменения окружающих пород.

5.1.3. Географическое распространение вулканов

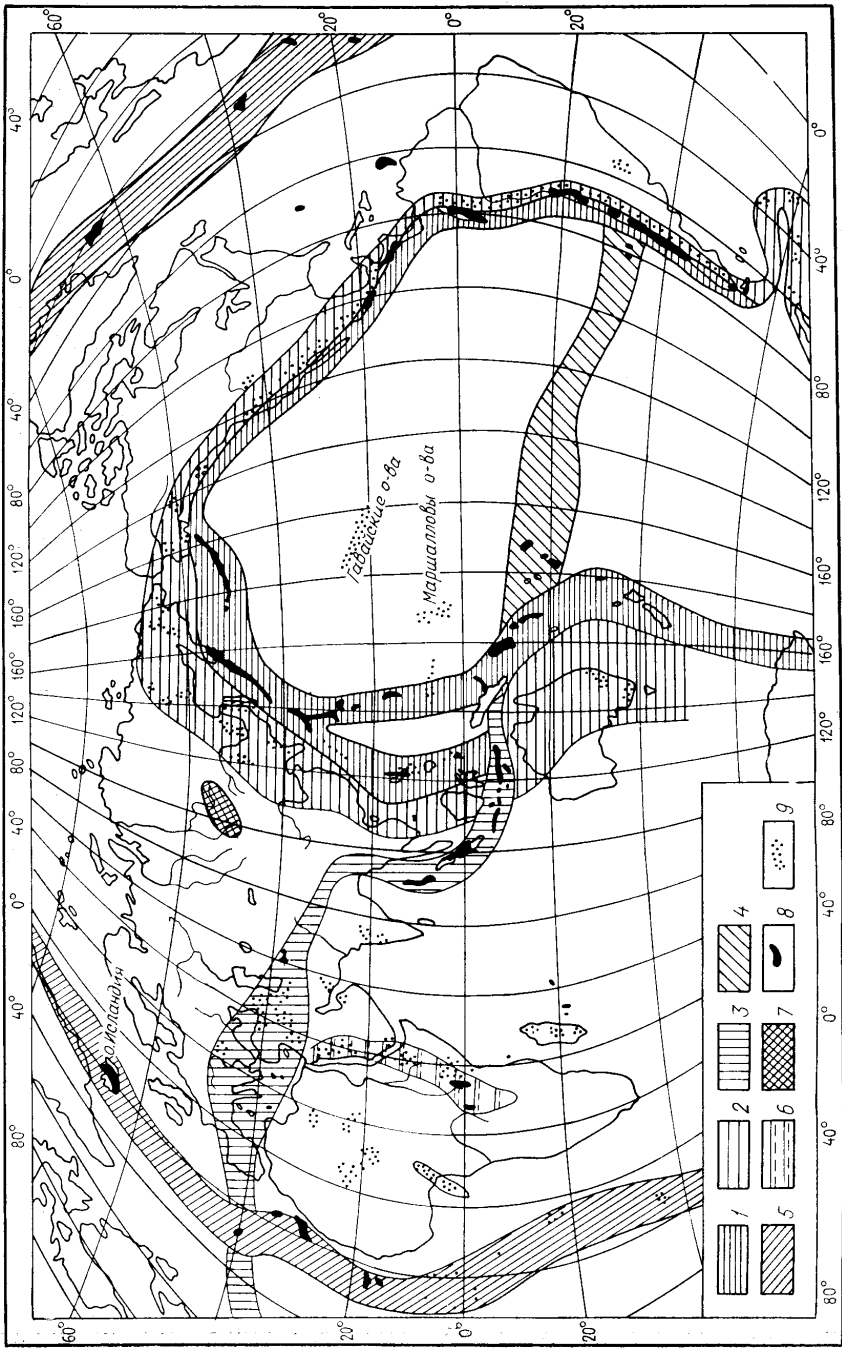
В настоящее время на суше известно более 700 действующих вулканов. На дне океанов действующих вулканов еще больше. Срединный Атлантический хребет, южная часть Индийского океана, обширные пространства Тихого океана представляют собой активные вулканические области. Три четверти действующих вулканов Земли приурочено к зоне так называемого Тихоокеанского огненного кольца, или Тихоокеанского вулканического пояса, включающего Алеутские острова, п-ов Камчатку, Курильские острова, Японию, Филиппины, о. Новую Гвинею, острова Фиджи, Новую Зеландию, о. Огненную Землю, западное побережье Южной и Северной Америки, п-ов Аляску (рис. 57).

Другой зоной повышенной вулканической деятельности является Средиземноморско - Индонезийский пояс, в пределах которого находятся такие известные действующие и недавно потухшие вулканы, как Везувий, Этна, Стромболи, Карадаг, Арарат, Казбек, Эльбрус и др.

Атлантический пояс прослеживается от Исландии через Азорские и Канарские острова до островов Зеленого Мыса, о. Вознесенья, о. Святой Елены, островов Тристан-да-Кунья.

Небольшая группа вулканов приурочена к зоне Восточно-Африканских разломов.

Изучение распространения действующих вулканов показывает, что вулканизм развивается в тех областях земного шара, которые характеризуются высокой сейсмичностью, или тектонической активностью, хотя крупные сейсмические пояса имеют значительно бóльшую протяженность, чем включенные в них зоны вулканизма. В пределах Тихоокеанского пояса выделяется 80 % всей сейсмической энергии Земли, Средиземноморско-Индонезийского пояса — 15 %, а на все остальные сейсмически активные участки земного шара приходится 5 % этой энергии. В геологическом прошлом Земли также отмечается общая географическая корреляция между вулканической и тектонической деятельностью. На платформах, характеризующихся тектонической стабильностью и асейсмичностью, вулканические процессы не проявляются. Все это говорит о том, что вулканическая деятельность приурочена к тектонически активным зонам земного шара — геосинклинальным областям геологического прошлого и настоящего.



5.2. МЕТАМОРФИЗМ

Под метаморфизмом понимается изменение горных пород под воздействием температуры, давления и химически активных веществ, выделяющихся из недр Земли. Горные породы, в результате тектонических движений, попадая в иные физико-химические условия по сравнению с первоначальными условиями их формирования, испытывают различные преобразования, т. е. метаморфизуются. В результате метаморфизма из исходной горной породы — магматической или осадочной — образуется новая горная порода — метаморфическая. Различают два рода метаморфических преобразований горных пород:

а) собственно метаморфизм — образование новых метаморфических пород, не сопровождающееся изменением химического состава исходных пород (не считая воды и углекислоты), например, преобразование известняка в мрамор в результате перекристаллизации;

б) метасоматизм — преобразование горных пород в результате привноса новых веществ, сопровождающееся изменением химического состава исходных пород (например, образование рудных скарнов по известнякам).

Основными факторами метаморфизма являются: 1) температура; 2) всестороннее давление, вызываемое массой вышележащих пород; 3) одностороннее давление, или стресс, обусловленное тектоническими движениями; 4) химически активные вещества (различные растворы и газы). В зависимости от характера и интенсивности воздействия этих факторов на горные породы различают следующие виды метаморфизма: региональный, контактовый, гидротермальный, динамический (катакластический).

Региональный метаморфизм проявляется на больших площадях, измеряемых сотнями и тысячами квадратных километров, вне зависимости от каких-либо местных источников тепла. Это наиболее важный и широко распространенный вид метаморфизма. Региональный метаморфизм развивается почти исключительно в подвижных зонах земной коры в геосинклинальных областях. Региональный метаморфизм часто носит зональный характер. При этом в центрах метаморфической зональности наблюдаются наиболее глубокие преобразования исходных горных пород, сопровождающиеся метасоматизмом, частичным или полным расплавлением пород.

Рис. 57. Географическое распространение вулканов (по М. М. Жукову и др. с изменениями)

1 — Тихоокеанский вулканический пояс; 2 — зона потухших вулканов этого пояса; 3 — Средиземноморско-Индонезийский вулканический пояс; 4 — Индонезийско-Тихоокеанский вулканический пояс; 5 — Атлантический пояс; 6 — вулканическая область Африканской рифтовой зоны; 7 — вулканическая область Байкальской рифтовой зоны; 8 — область современного вулканизма; 9 — группы потухших вулканов

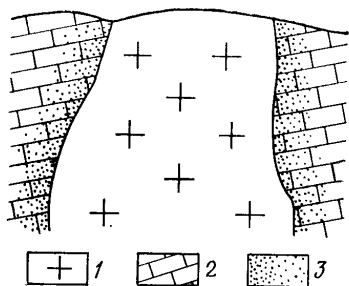


Рис. 58. Контактный метаморфизм

1 — граниты, 2 — известняки, 3 — скарны

Контактный метаморфизм развивается на контакте интрузии с вмещающими породами (рис. 58). Различают контакто-термальный метаморфизм, происходящий под воздействием тепла магмы и сопровождающийся преимущественно перекристаллизацией пород в контакте с интрузией, и контакто-метасоматический метаморфизм, обусловленный привнесом во вмещающие породы или выносом из них различных веществ, в связи с чем наблюдаются существенные изменения и химического, и минерального состава вмещающих и самих интрузивных пород.

Гидротермальный метаморфизм представляет собой процесс изменения горных пород под влиянием растворов, источником которых могут быть остывающие магматические очаги (постмагматические изменения) или более глубокие зоны земной коры. Гидротермальный метаморфизм сопровождается процессами выполнения полостей (например, гидротермальные жилы выполнения) и замещения горных пород (например, околожильные метасоматические изменения).

Динамический, или катакластический, метаморфизм развивается под влиянием одностороннего давления, возникающего при тектонических движениях. Горные породы подвергаются дроблению, перетиранию, катаклазу с образованием тектонических брекчий, катаклизитов и милонитов.

5.3. ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ

В течение геологической истории земная кора испытывает сложные перемещения, которые называются тектоническими движениями.

5.3.1. Эпейрогенические и орогенические движения

Различаются две основные разновидности тектонических движений: колебательные, или эпейрогенические, и горообразующие, или орогенические.

Колебательными, или эпейрогеническими, движениями земной коры называются медленные («вековые») тектонические движения, охватывающие большие пространства поверхности Земли. Направление движения с течением времени меняется, и вследствие этого поднятия сменяются погружениями.

Эпейрогенические движения проявляются повсеместно, однако направленность, амплитуда и скорости их неодинаковы

в разных местах. Так, побережья Дании, Нидерландов и Бельгии опускаются со скоростью 0,5—1,5 мм/год, тогда как Скандинавский полуостров поднимается со скоростью до 1 см/год. Многие портовые города Норвегии находятся сейчас в 20—50 км от побережья, а жители прибрежных районов Дании — под постоянной угрозой наводнения.

Периодические опускания и поднятия земной поверхности наблюдаются и на территории нашей страны. Так, в районе Апшеронского полуострова море отступает, на глазах человека мелеют проливы, расширяется пляж, увеличиваются в размерах острова. За 26 лет западная часть Апшерона поднялась на 19 см. Буквально рядом, в 50—100 км к югу, долина р. Куры медленно опускается, море наступает, отвоевывая год за годом все новые и новые участки Куринской низменности. За те же 26 лет она опустилась на 16,6 см.

Из приведенных примеров видно, что опускание суши в прибрежных странах сопровождается наступанием моря, или трансгрессией, а поднятие — отступанием моря, или регрессией. Однако наступание или отступление моря в прибрежной полосе может быть связано также с эвстатическими колебаниями уровня моря, вызванными увеличением или уменьшением объема морской воды. Так, подсчитано, что если бы растаяли все льды Антарктиды и Гренландии, то уровень Мирового океана поднялся бы на 30 м. Однако приведенные примеры не связаны с эвстатическими колебаниями уровня моря, так как в одно и то же время в разных местах наблюдаются противоположно направленные тектонические движения.

Орогенические, или горообразующие, движения развиваются в геосинклинальных областях и сопровождаются образованием складчатых и разрывных тектонических нарушений (см. гл. 3). От эпейрогенических движений орогенические движения отличаются относительной кратковременностью и узкой локализованностью в пространстве.

Разновидностью орогенических движений являются сейсмические движения, возникающие при землетрясениях.

5.3.2. Землетрясения

Землетрясением называется любое сотрясение, колебание земной коры, вызванное тектоническими и др. причинами. Землетрясения проявляются в виде подземных толчков.

Сила землетрясения оценивается по особой шкале в баллах. С 1953 г. в СССР введена 12-балльная сейсмическая шкала ГОСТ 6249—52. По этой шкале классификация результатов землетрясений производится с учетом степени повреждения различных типов сооружений, а также характера деформаций почвы. Землетрясения в 1 балл — очень слабые и не ощущаются людьми; в 2—3 балла — слабые, регистрируются

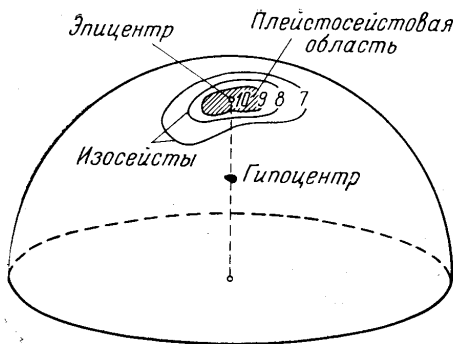


Рис. 59. Эпицентр и гипоцентр землетрясения. Цифры — значения изосейст в баллах последовательности напластования

только приборами; в 4 балла — умеренные; в 5—6 баллов — сильные, ощущаются всеми людьми, наблюдаются повреждения зданий; в 7 баллов — очень сильные, образуются трещины, наблюдаются оползни, осыпи, отмечаются значительные повреждения зданий; в 8 баллов — разрушительные, обваливаются и сильно повреждаются здания; в 9—10 баллов — опустошительные, уничтожающие, рушатся здания, образуются трещины до нескольких дециметров; в 11—12 баллов — катастрофические, происходят общие разрушения и обвалы зданий, изменение рельефа с вертикальными и горизонтальными смещениями. Так, Ашхабадское землетрясение в 1948 г., при котором в эпицентре возникло много трещин, а в городе были разрушения, оценивается в 10 баллов, а Ташкентское землетрясение 1966 г., при котором многие здания в городе были повреждены — в 8 баллов.

Место возникновения землетрясения в недрах Земли называется его фокусом, или гипоцентром (рис. 59). Точка на поверхности Земли, расположенная на кратчайшем расстоянии от гипоцентра, называется эпицентром. Максимальной разрушительной силы землетрясение достигает в эпицентре, по мере удаления от которого сила землетрясения убывает.

Линии разных значений силы землетрясения называют изосейстами, а внутреннюю зону вокруг эпицентра, ограниченную максимальной изосейстой — плейстосейстовой областью.

Гипоцентры многих землетрясений располагаются под океанами. В таких случаях возникают моретрясения. При моретрясениях возникают огромные волны — цунами, образующиеся при быстрых провалах дна океана. При резком изменении объема воды в зоне моретрясения формируются волны давления, которые на поверхности преобразуются в водяной вал, распространяющийся со скоростью примерно 800 км/ч. В открытом океане высота цунами растет, достигая 30—40 м. Обрушиваясь на берег, цунами проходят далеко в глубь побережья и причиняют огромные разрушения.

Анализ распространения землетрясений на Земле показывает, что они приурочены в основном к сейсмически активным областям. Наибольшей сейсмической активностью характеризуется периферия Тихого океана, на которую прихо-

дится около 80 % всех землетрясений. Высока сейсмическая активность в Средиземноморском подвижном поясе, включая Прикарпатье, Южную часть Крыма, Кавказ, южную часть Туркмении, Памир. Заметная сейсмическая активность отмечается в Среднем Атлантическом хребте и Восточно-Африканской зоне рифтов.

Около 95 % всех землетрясений относятся к типу тектонических. Они связаны с мгновенными разгрузками механических напряжений, возникающих в земной коре при тектонических процессах. Тектонические напряжения накапливаются медленно и постепенно; при напряжениях, превышающих предел прочности горных пород, происходит внезапный разрыв их сплошности с освобождением механической энергии.

Кроме тектонических, выделяются вулканические и денудационные землетрясения. Первые возникают при вулканических извержениях, а вторые связаны с обвалами в горах, крупными оползнями или провалами подземных пустот.

Часть 3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Глава 6. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ИСТОРИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

Историческая геология — раздел наук о Земле, изучающий историю, закономерности формирования и развития Земли и земной коры. В ее задачу входит восстановление физико-географической обстановки накопления осадков в различные эпохи, последовательности формирования горных пород и их распределения по относительному возрасту, изучение истории развития органического мира от древнейших эпох до настоящего времени.

Восстановление геологических событий прошлого осуществляется с помощью ряда методов, большая часть которых базируется на принципе актуализма. Суть этого принципа заключается в познании минувших явлений посредством сравнения их с наблюдаемыми в настоящее время. Так, например, мы знаем, что прибрежные морские осадки обычно представлены крупнообломочным материалом, а по мере возрастания глубины бассейна осадочный материал становится все более тонким. Поэтому, наблюдая в разрезе смену снизу вверх грубых осадков мелкообломочным материалом, мы можем достаточно уверенно полагать, что на данном участке в эпоху образования осадочного комплекса происходила трансгрессия — наступание моря. Наличие ледниковых отложений свидетельствует о континентальном режиме осадкообразования в пределах области их развития и холодном климате. Шаровая отдельность в лавах указывает на подводный характер вулканических извержений и т. д. Следует, однако, иметь в виду, что принцип актуализма применим до определенного предела — на ранних стадиях развития Земли физико-химические условия в ее недрах и на поверхности, объем, состав и другие свойства гидросферы и атмосферы были существенно иными, чем сейчас, и при восстановлении событий геологического прошлого все эти обстоятельства должны быть учтены.

Для выяснения истории различных геологических образований необходимо знать последовательность их возникновения. Важнейшее значение при определении относительного возраста геологических тел имеют стратиграфический, палеонтологический и петрографический методы. Абсолютный возраст горных пород определяется радиологическими методами.

6.1. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ВОЗРАСТА ГОРНЫХ ПОРОД

Стратиграфический метод основан на том, что при нормальном, непрокинутом, залегании слоев осадочных пород, нижележащий слой образовался раньше вышележащего (рис. 60, *а*). Если слои залегают в опрокинутом положении, то прежде чем применить этот метод, необходимо установить положение кровли и подошвы слоя и восстановить нормальную последовательность отложения осадочных пород (рис. 60, *б*).

Палеонтологический метод — один из важнейших и наиболее распространенных методов определения относительного возраста горных пород. Этот метод основан на изучении остатков древних вымерших организмов. Изменчивость органического мира, его эволюционное развитие позволили выделить ряд руководящих ископаемых организмов, живших в строго определенные отрезки геологического времени. Руководящие окаменелости должны обладать следующими свойствами: встречаться в вертикальном разрезе в ограниченном числе слоев, иметь широкое горизонтальное распространение, легко распознаваться и часто встречаться.

Петрографический метод основан на детальном изучении и сравнении горных пород по их составу. Полученные при этом результаты могут быть использованы для сопоставления геологических разрезов в пределах ограниченных участков земной поверхности, на которых в течение определенных промежутков времени сохранялись одинаковые физико-географичес-

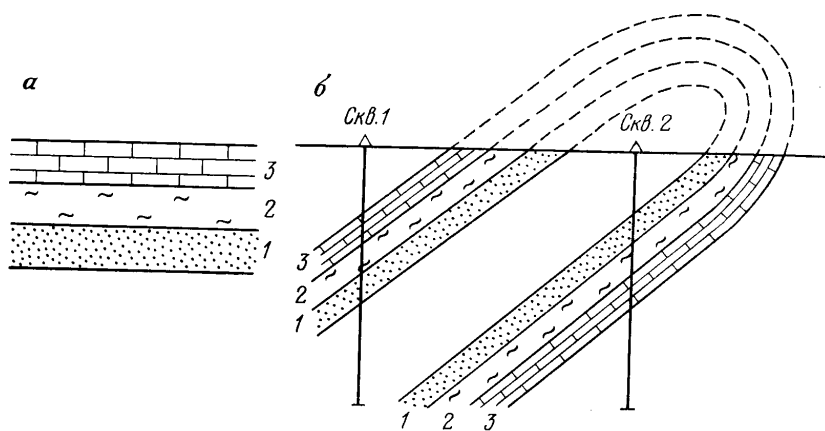


Рис. 60. Определение последовательности напластования

а — нормальная последовательность слоев в ненарушенном залегании, *б* — обратная последовательность слоев в опрокинутом крыле складки; 1 — слой песчаника, образовавшийся раньше всех остальных слоев, 2 — слой глинистых сланцев, 3 — самый молодой слой известняка

кие условия. Так, с помощью петрографического метода обычно изучают и сравнивают породы в соседних скважинах, пробуренных друг от друга в нескольких десятках метров.

Петрографический метод часто применяется при определении относительного возраста магматических и метаморфических пород. Например, наблюдается контакт гранитов и известняков. Известняки в контакте мраморизованы и ороговикованы. Так как изменение известняка произошло под воздействием внедрившейся интрузии, то можно сказать, что гранит (магматическая порода) моложе известняка (осадочная порода).

6.2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АБСОЛЮТНОГО ВОЗРАСТА ГОРНЫХ ПОРОД И МИНЕРАЛОВ

Для определения абсолютного возраста Земли, горных пород и минералов применяют радиоактивные, или радиологические, методы.

Сущность этих методов довольно проста. Процессы радиоактивного распада идут с постоянной, практически неизменной скоростью, различной у разных радиоактивных элементов, которая может быть достаточно точно определена экспериментальным путем. Поэтому, если в составе какого-либо минерала встречается некоторое количество радиоактивного элемента, например, тория или урана, и совместно с ним продукты его распада — свинец или гелий, то, зная скорость процесса распада данного элемента, можно путем расчета определить продолжительность времени, которое потребовалось для образования из данного количества исходного радиоактивного элемента наличного количества продуктов его распада.

Основными радиологическими методами являются: калий-аргоновый, рубидий-стронциевый, свинцовый и радиоуглеродный. Материалом для определения абсолютного возраста служат разнообразные горные породы и минералы.

Калий-аргоновым методом, в принципе, можно определять возраст по минералам и горным породам, содержащим калий. Этот метод позволяет определить истинный абсолютный возраст пород и минералов, которые образовались вблизи земной поверхности или на ней и впоследствии не подвергались хотя бы слабому, но продолжительному нагреванию, а также действию больших нагрузок (давления). В противном случае наблюдается утечка аргона и соответственно искажение значения возраста.

Рубидий-стронциевый метод лишен недостатков калий-аргонового метода — нагревание пород обычно не влияет на определение их возраста. Однако в соответствующей геохимической обстановке может происходить ионный обмен между сосуществующими минералами. Этот недостаток исключается использованием для анализа не отдельных минералов, а пород в целом. Благодаря освоению в последние годы чувствительной

и точной техники изотопного разбавления, этот метод становится сейчас одним из наиболее перспективных в области ядерной геохронологии.

Свинцовый метод используется в различных вариантах и до настоящего времени остается одним из наиболее совершенных. Хорошим материалом для определения возраста этим методом служат некоторые радиоактивные минералы (уранинит, настуран), а также акцессорные минералы, содержащие уран и торий, — циркон, монацит, ортит, титано- и танталониобаты и др.

Существенным недостатком перечисленных методов является невозможность определения с их помощью небольших отрезков времени, особенно датирование последнего миллиона лет геологической истории. Здесь на помощь геологам приходит радиоуглеродный метод, который основан на относительно быстром радиоактивном распаде ^{14}C и позволяет датировать ископаемые растительные и животные остатки (древесину, торф, кости и т. д.) недавнего геологического прошлого.

Методы абсолютной геохронологии дают возможность оценить возраст Земли и земной коры. Минимальный возраст земной коры определяется наибольшими цифрами абсолютного возраста, установленными для древнейших горных пород планеты. Всем недавно этот возраст оценивался примерно в 3,6 млрд. лет. В настоящее время известны горные породы с возрастом 4,0—4,2 млрд. лет. Возраст Земли как планеты оценивается в 6—7 млрд. лет, а возраст химических элементов в 7—9 млрд. лет.

6.3. ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ И СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ШКАЛЫ

На основании анализа развития многообразных форм органического мира и данных абсолютной геохронологии, с учетом различия в составе и характере комплексов горных пород, последовательно сменяющих друг друга по вертикали, в истории развития земной коры выделен ряд временных подразделений, составляющих геохронологическую шкалу.

Геохронологическая шкала показывает расположение в определенной последовательности и соподчиненности условных отрезков времени, на которые делится история Земли. Основными подразделениями этой шкалы являются эры, периоды и эпохи (табл. 8).

Как видно из шкалы, в основу геохронологических подразделений положен объективный ход времени. Отрезки геологического времени разной длительности, но следуют друг за другом без пропусков и перекрытий.

Кроме геохронологической шкалы существует еще и другая международная шкала — стратиграфическая, представ-

Стратиграфические и геохронологические шкалы

Группа (эра), продолжительность, млн. лет	Система (период), продолжительность, млн. лет	Отдел (эпоха)
Кайнозойская KZ 67—70	Четвертичная — Q (четвертичный) 1,0—1,5	Современный — Q ₄ (современная) Верхнечетвертичный — Q ₃ (позднечетвертичная) Среднечетвертичный — Q ₂ (среднечетвертичная) Нижнечетвертичный — Q ₁ (раннечетвертичная)
	Неогеновая — N (неогеновый) 25	Плиоценовый — N ₂ (плиоценовая) Миоценовый — N ₁ (миоценовая)
	Палеогеновая — P (палеогеновый) 41	Олигоценый — P ₃ (олигоценая) Эоценовый — P ₂ (эоценовая) Палеоценовый — P ₁ (палеоценовая)
Мезозойская MZ 165—170	Меловая — K (меловой) 70	Верхнемеловой — K ₂ (позднемеловая) Нижнемеловой — K ₁ (раннемеловая)
	Юрская — J (юрский) 55—58	Верхнеюрский — J ₃ (позднеюрский) Среднеюрский — J ₂ (среднеюрская) Нижнеюрский — J ₁ (раннеюрская)
	Триасовая — T (триасовый) 45	Верхнетриасовый — T ₃ (позднетриасовая) Среднетриасовый — T ₂ (среднетриасовая) Нижнетриасовый — T ₁ (раннетриасовая)

Группа (эра), продолжительность, млн. лет	Система (период), продолжительность, млн. лет	Отдел (эпоха)	
Палеозойская PZ 310—385	Верхний палеозой — PZ ₃ (поздний палеозой)	Пермская — P (пермский) 45	Верхнепермский — P ₂ (позднепермская) Нижнепермский — P ₁ (раннепермская)
		Каменноугольная — C (каменноугольный) 65—70	Верхнекаменноугольный — C ₃ (позднекаменноугольная) Среднекаменноугольный — C ₂ (среднекаменноугольная) Нижнекаменноугольный — C ₁ (раннекаменноугольная)
	Средний палеозой — PZ ₂ (средний палеозой)	Девонская — D (девонский) 55—60	Верхнедевонский — D ₃ (позднедевонская) Среднедевонская — D ₂ (среднедевонская) Нижнедевонский — D ₁ (раннедевонская)
		Силурийская — S (силурийский) 30—35	Верхнесилурийский — S ₂ (позднесилурийская) Нижнесилурийский — S ₁ (раннесилурийская)
	Нижний палеозой — PZ ₁ (ранний палеозой)	Ордовикская — O (ордовикский) 60—70	Верхнеордовикский — O ₃ (позднеордовикская) Среднеордовикский — O ₂ (среднеордовикская) Нижнеордовикский — O ₁ (раннеордовикская)
		Кембрийская — E (кембрийский) 70—80	Верхнекембрийский — E ₃ (позднекембрийская) Среднекембрийский — E ₂ (среднекембрийская) Нижнекембрийский — E ₁ (раннекембрийская)
Протерозойская * PR около 2000			
Архейская * AR 1500—2000			

* Архейская и Протерозойская группы преимущественно делятся на две местные стратиграфические единицы, чаще всего выделяются два подразделения, соответственно — ранний и поздний архей и протерозой.

ляющая собой материализованные, воплощенные в отложении горных пород отрезки геологического времени.

Так, в течение самых крупных временных подразделений — эр — накопились, естественно, и самые мощные наложения горных пород, или самые крупные стратиграфические подразделения. Эти самые крупные стратиграфические подразделения называются группами. В течение более мелких отрезков геологического времени — периодов и эпох соответственно отлагались менее мощные наложения пород — системы и отделы.

Подразделения стратиграфической шкалы обычно имеют те же названия, что и подразделения геохронологической шкалы (см. табл. 8). Так, палеозойской эре соответствует палеозойская группа пород, а в течение юрского периода образовалась юрская система отложений и т. д. Однако названия отделов отчасти не совпадают с названиями эпох. При трехчленном делении периодов обычно применяются названия — поздняя, средняя и ранняя эпохи, тогда как соответствующие этим эпохам отделы носят названия — верхний, средний и нижний. При двухчленном делении эпохи носят названия — поздняя и ранняя, а отделы — верхний и нижний согласно последовательности их залегания в разрезе земной коры.

6.4. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

В истории развития Земли выделяются эпохи длительного, более или менее спокойного, эволюционного развития земной коры и периоды кратковременных, революционных изменений, вызывающих общую коренную перестройку лика планеты. Периодичность этих крупных геологических явлений позволила выделить естественные этапы развития Земли.

6.4.1. Докембрий

Первый этап геологической истории Земли называется докембрийским, или просто докембрием, и охватывает время, в шесть — восемь раз превышающее всю последующую историю развития Земли.

Почти полное отсутствие органических остатков в докембрии не позволяет применение палеонтологического метода при его изучении. Основную роль в расчленении и сопоставлении докембрийских образований имеют радиоактивные методы.

Выходы докембрийских пород известны в Северной Америке, Бразилии, Африке, Австралии, КНР, на п-ве Индостан, в Скандинавии. В Советском Союзе докембрий широко развит на Кольском полуострове, на Украине и в Сибири, более мелкие площади развития докембрия известны на Урале и Тянь-Шане.

Докембрийские образования представлены обычно глубоко-метаморфизованными породами, залегающими в основании

платформ. В пределах СССР такими платформами являются Восточно-Европейская и Сибирская.

В результате обособления платформ в конце докембрия происходит заложение крупных геосинклинальных поясов: Тихоокеанского, Средиземноморского, Атлантического, Урало-Монгольского. Здесь устанавливается геосинклинальный режим с мощными движениями различных направлений, проявлениями складчатости, процессами магматизма и метаморфизма. Складкообразовательные процессы конца докембрия известны под названием байкальской складчатости. Они проявились на относительно небольших территориях в пределах Урало-Монгольского пояса (Тимано-Печорский район, западное обрамление Сибирской платформы) и в других регионах.

6.4.2. Палеозой

Геологическая история развития земной коры в течение палеозойской эры может быть разделена на два крупных этапа: ранний палеозой (кембрий, ордовик, силур) и поздний палеозой (девон, карбон, пермь).

В раннем палеозое в пределах геосинклинальных поясов происходило накопление мощных толщ морских осадков, переслаивающихся с вулканическими образованиями. Начиная с конца кембрия, в отдельных участках геосинклинальных поясов проходили интенсивные складкообразовательные процессы, сопровождающиеся магматической и метаморфической деятельностью, воздыманием отдельных областей с образованием горноскладчатых систем. Эта складчатость называется каледонской, а горные сооружения — каледониды. На территории СССР в конце раннего палеозоя известны следующие районы каледонид: Восточные Саяны, Кузнецкий Алатау и Прибайкалье.

Платформенные области в раннем палеозое характеризуются интенсивными погружениями обширных участков и развитием трансгрессий с образованием морских осадков.

В результате завершения каледонской складчатости, в конце силура происходят поднятия как в геосинклинальных областях, так и на платформах. На последних устанавливается континентальный режим.

В начале позднего палеозоя в геосинклинальных областях завершается формирование каледонских горноскладчатых систем и наступает длительное погружение земной коры, сопровождающееся многократными трансгрессиями и подводным вулканизмом. Во второй половине позднего палеозоя (средний карбон — пермь) происходит активное горообразование, сопровождающееся интрузивным и эффузивным магматизмом. Эти тектонические движения получили название герцинской складчатости. Образование складчатых сооружений сопровождалось прогибанием земной коры на границе платформ и подвижных поясов, приводящим к возникновению краевых про-

гибов. Так, например, к концу карбона вдоль западного края Урала оформился Предуральский краевой прогиб. В связи с герцинской складчатостью возникали горные сооружения Восточного Казахстана, Прибалхашья, Юго-Западного Алтая и Южного Тянь-Шаня.

С окончанием герцинской складчатости каледонские и герцинские области вступают в платформенный этап развития и в их пределах формируется платформенный чехол (Скифская, Западно-Сибирская, Туранская и другие плиты).

К началу девона на древних платформах устанавливается континентальный режим. Во вновь образующихся молодых складчатых областях в первой половине девона происходит интенсивное разрушение воздымающихся каледонских горных сооружений. В это же время в фундаменте платформ возникают глубокие разломы, закладываются новые впадины. На Сибирской платформе, например, в западной ее части, в конце перми проявляется интенсивная магматическая деятельность. По трещинам и разломам происходило внедрение и излияние магмы основного состава на площади в 1,5 млн. км². Такой тип магматических проявлений на платформах называется трапповым вулканизмом.

Колебательные движения в девоне, каменноугольном периоде, перми привели к развитию неоднократных трансгрессий и регрессий моря. К концу пермского периода на платформах повсеместно установилась суша, за исключением сравнительно небольших участков.

6.4.3. Мезозой

В триасовом периоде продолжали развиваться Средиземноморский и Тихоокеанский геосинклинальные пояса. По-видимому, к началу мезозоя приурочено возникновение Атлантического и Индийского океанов. В конце триасового периода и в течение юрского времени происходит складкообразование, особенно в пределах Тихоокеанского пояса. Эта складчатость получила название киммерийской.

Вдоль берегов Тихого океана возник мощный пояс горных сооружений. В Верхояно-Чукотской области геосинклинальный режим полностью прекратил свое существование в конце юры — начале мела, и в позднем мелу вся эта территория представляет собой горно-складчатое сооружение. На границе с Сибирской платформой заложился Предверхоянский краевой прогиб.

Континентальный режим, установившийся на платформах в пермское время, сохранялся в течение триаса. В этот период продолжало усложняться строение континентов, образованных герцинской складчатостью. В их пределах формировались узкие грабенообразные впадины, прогибы (Зауралье, Туранская плита), в которых накапливались продукты разрушения герци-

нид. На Сибирской платформе продолжалось излияние базальтов.

В средней и поздней юре Восточно-Европейская платформа неоднократно прогибалась, особенно в южной части, и море проникало в глубь платформы. В позднеюрскую эпоху развилась одна из величайших на земном шаре трансгрессий — широкое наступание моря на сушу. Море перекрыло почти всю Восточно-Европейскую платформу.

6.4.4. Кайнозой

В начале кайнозоя в пределах Средиземноморского и Тихоокеанского поясов происходит интенсивное погружение. На границе эоцена и олигоцена погружение сменяется воздыманием, сопровождающимся складкообразовательными движениями, получившими название альпийской складчатости. В связи с последней сформировались две зоны крупных горных сооружений. Первая из них, приуроченная к Средиземноморскому поясу, включает Альпы, Карпаты, Крым, Кавказ, Памир, Гималаи. Вторая охватывает западное и восточное побережья Тихого океана. В нее входят: Корякский хребет, п-ов Камчатка, п-ов Сахалин, острова Японии и т. д. Эта зона характеризуется высокой сейсмичностью и вулканизмом, особенно в западной части Тихого океана.

На платформах почти до конца палеогена сохранялась обстановка, сформировавшаяся в позднемеловую эпоху — все впадины, прогибы пониженные участки платформ были покрыты морем (Западно-Сибирская низменность, юг Восточно-Европейской платформы и др.).

В конце олигоцена и в неогене в связи с общим поднятием, охватившим почти все платформенные области, произошла регрессия моря, и вся территория платформ стала сушей. Интенсивные тектонические движения, проявившиеся в конце плиоцена, привели к омоложению рельефа в пределах древних складчатых сооружений мезозоид, герцинид, каледонид и даже докембрийских платформ, связанному с активным проявлением разрывных движений, блоковыми перемещениями и т. п.

В конце неогена распределение суши и моря на земном шаре стало близким к современному. Однако в течение четвертичного времени медленные колебательные движения обусловили погружение и воздымание ряда районов Европы, Азии, Северной Америки. В раннечетвертичное время Берингова пролива не было и Азия соединялась с Аляской, не существовало также и Гибралтарского пролива и Европа соединялась с Африкой, Черное море было отделено от Средиземного и т. д.

Таким образом, в истории развития земной коры прослеживаются несколько этапов, каждый из которых начинался погружениями, а заканчивался поднятиями в континентальных областях. Во время преобладающих отрицательных движений

наступала трансгрессия. В морских бассейнах отлагались огромные массы осадков, преобразованных впоследствии в разнообразные осадочные породы. В эпохи преобладающих восходящих движений, когда поднимались платформы, а некоторые геосинклинальные области прекращали свое существование, море отступало, начиналась регрессия и устанавливался континентальный режим.

6.4.5. Основные этапы развития органического мира

Периодичность геологических процессов, формирующих земную кору, сочетается с их необратимостью, что свидетельствует о поступательном и непрерывном движении материи и о всеобщей связи и взаимосвязанности явлений природы, в том числе и органического мира.

Органический мир прошел длительную и сложную эволюцию от зарождения простейших одноклеточных организмов до появления человека. В развитии растительного мира Земли можно выделить пять основных этапов.

Первый этап характеризуется развитием водорослей и почти полным отсутствием наземных форм; начало его уходит в глубь догеологических времен, конец же приурочивается к середине силура.

Второй этап начинается с развитием древнейших наземных растений — псилофитов, широко развитых в силуре и девоне.

С начала раннего девона псилофиты уступают место папоротникообразным, и с этого времени начинается третий этап. Наибольшего развития флора папоротникообразных достигает в середине каменноугольного периода. В это время растительность такого типа дает начало образованию залежей каменного угля.

С середины пермского времени начинается четвертый этап в развитии флоры. Вытесняя папоротникообразные, все большее и большее развитие получают голосеменные растения (хвойные, саговые). Господство голосеменных продолжалось в течение мезозоя вплоть до середины мелового периода.

С позднемелового времени начинается пятый этап развития флоры, характеризующийся господством покрытосеменных растений. Этот этап продолжается и до настоящего времени.

Несколько иначе распределяются во времени основные этапы развития животного мира. Всего их выделяется четыре: кембрийский, палеозойский, мезозойский и кайнозойский.

Первый этап развития фауны относится к кембрийскому периоду. В отложениях кембрия широко представлены три группы животных: археоциаты, беззамковые плеченогие моллюски, трилобиты (рис. 61, а).

С начала ордовикского периода начинается второй этап развития животного мира — палеозойский. Широкое развитие

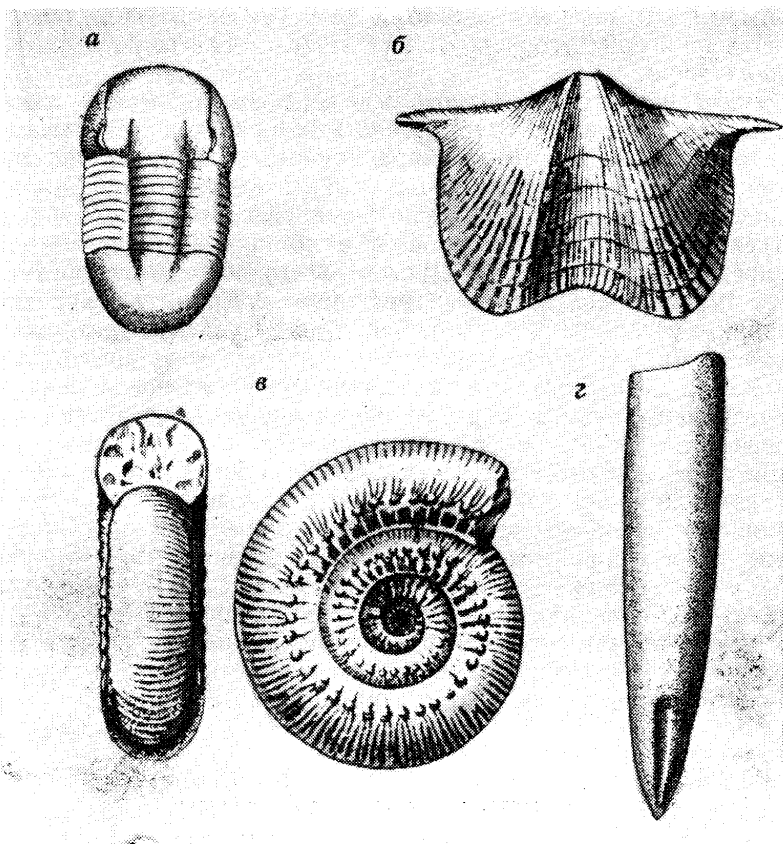


Рис. 61. Ископаемые остатки вымерших животных

а — панцирь трилобита, *б* — раковина брахиоподы, *в* — раковина аммонита, *г* — раковина (ростр) белемнита

получают брахиоподы (рис. 61, б), граптолиты, четырехлучевые, кораллы, иглокожие, амфибии, рептилии.

К концу пермского периода большинство палеозойских групп животных вымирает. В то же время с начала триасового периода получают быстрое развитие многие другие группы животных, которые в палеозое отсутствовали — аммониты, белемниты (рис. 61, в, г), шестилучевые кораллы, высшие рептилии, т. е. на границе палеозоя и мезозоя происходит обновление фауны беспозвоночных животных, что и определяет начало мезозойского, или третьего этапа, развития животного мира.

К концу мелового периода вымирают наиболее характерные представители мезозойской фауны: аммониты и белемниты, плезиозавры, динозавры и другие пресмыкающиеся, господство

переходит к птицам и млекопитающим. Тем самым определяется начало кайнозойского, или четвертого этапа, развития животного мира.

Этапы развития животного мира не имеют резких границ, смены тех или иных групп животных происходят постепенно, хотя обновление животного мира при переходе от одного этапа к другому выражено достаточно отчетливо. Отчего же моменты пышного расцвета одних групп животных сменялись эпохами медленного, постепенного упадка и полного вымирания ранее процветавших животных? Прежде всего изменение органического мира определялось изменением физико-географических условий, связанным с крупнейшими горообразовательными движениями, неоднократно проявлявшимися в процессе развития Земли. Эти движения оказывали существенное влияние на распределение суши и моря, на изменение рельефа древних континентов и глубины морей. Они вызывали резкие изменения климата, т. е. в итоге резко нарушили обстановку, к которой приспособивались организмы. Одни организмы быстро приспособились к новой обстановке и выдержали борьбу за существование. Другие животные, особенно обладающие резко выраженной специализацией, не сумели приспособиться к новым условиям существования, не выдержали конкуренции с другими видами животных и полностью вымерли. Таким образом, в течение всего геологического времени среди органического мира наблюдается непрерывный естественный отбор.

Глава 7. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ФОРМИРОВАНИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Представления о закономерностях формирования земной коры развивались на протяжении длительного времени, по мере накопления фактического материала, совершенствования геологических и геофизических методов исследований. Особое значение на современном этапе развития теоретической геологии имеют данные, полученные при изучении обширных океанических территорий, и результаты космических исследований.

Одной из наиболее ранних общепринятых геотектонических концепций была теория контракции. Эта теория базировалась на представлении об изначально огненно-жидком состоянии планеты. Предполагалось, что по мере остывания Земли внешние, уже затвердевшие оболочки при продолжающемся затвердении внутренних ее частей испытывали сжатие, приводившее к возникновению расколов и складчатости вдоль некоторых направлений, которые и сформировались в наблюдаемые складчатые пояса. Контракционная концепция окончательно утратила свое значение после того, как академиком О. Ю. Шмидтом была разработана и математически обоснована теория происхождения

Земли из твердых космических частиц. При этом предполагается, что планета в целом хотя и испытала последующий разогрев, никогда не претерпела полного плавления.

Следующей геотектонической концепцией была ла геосинклинальная теория. Эта теория рассматривает развитие подвижных поясов как длительный процесс, в котором выделяется три главные стадии.

Первая стадия — возникновение разломов и формирование погружения, в пределах которого накапливаются осадки за счет разрушения окружающих, относительно приподнятых областей. На этой же стадии проявляется вулканизм, главной формой которого было излияние лав основного состава.

Вторая стадия характеризуется интенсивным смятием образовавшихся осадочных и вулканогенных комплексов с образованием повсеместной складчатости и разрывов, по которым происходят пологие и субгоризонтальные перемещения.

И наконец, третья, заключительная стадия является собственно горообразующей, знаменующейся подъемом деформированных осадков, образованием гранитных батолитов и накоплением в межгорных депрессиях толщ грубообломочных осадков, именуемых молассами.

Обе рассмотренные концепции возникли на основании изучения геологии континентов. Интенсивное накопление геолого-геофизических данных о строении дна океана за последние два десятилетия и общее развитие геологической науки послужило основой для возникновения новой глобальной геотектонической гипотезы, получившей название тектоники литосферных плит.

Еще в начале текущего столетия немецкий геофизик А. Вегнер высказал предположение о дрейфе — медленном перемещении континентов относительно друг друга. Одним из наиболее выразительных аргументов в пользу такого предположения было близкое геометрическое подобие контуров восточного побережья

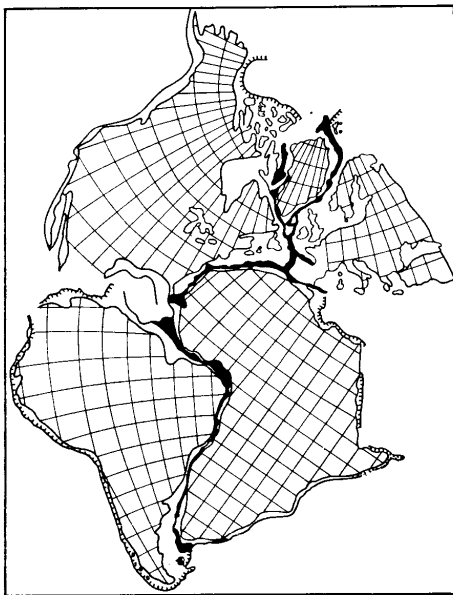


Рис. 62. Совмещение границ приатлантических (по Э. Булларду, Дж. Эверетту и А. Смитту). Затушевана площадь перекрытия по изобате 2000 м

Северной и Южной Америки с одной стороны Атлантического океана и западного побережья Европы и Африки — с другой его стороны (рис. 62). Интересно отметить, что упомянутое подобие отмечалось еще в прошлом веке Е. В. Быхановым и А. Снейдер-Пеллигрини.

За последние десятилетия накоплено много новых данных, которые привели исследователей к представлению о перемещении по поверхности астеносферы не континентов, а ряда крупных и более мелких литосферных плит. Решающее значение при этом имело обнаружение планетарной системы срединно-океанических хребтов с рифтовыми долинами вдоль их осевых зон, а также выделение наклонных сейсмических поверхностей, располагающихся вдоль границ Тихого океана, получивших название зон Заварицкого — Беньофа. Срединно-океанические рифты и зоны Заварицкого — Беньофа и представляют границы наиболее крупных литосферных плит.

Предполагается, что срединно-океанические хребты представляют собой область образования новой океанической коры за счет поступления вдоль этих зон материала из разогретой и уплотненной мантии. Этот процесс сопровождается расширением акватории Атлантического и Индийского океанов и относительным удалением окружающих их континентов. В обрамлении же Тихого океана наблюдается в определенном отношении обратная картина. Здесь литосферные плиты сталкиваются, и океанические плиты погружаются под Азиатский и Американские континенты по наклонным поверхностям, характеризующимся высокой сейсмической активностью.

Восходящие движения в срединноокеанических хребтах и нисходящие — в зонах поддвига океанических плит под континентальные большинством исследователей связываются с тепловой конвекцией в мантии.

Ряд положений тектоники литосферных плит подтверждается палеомагнитными данными. Так, в пределах новообразованной океанической коры фиксируются полосовые магнитные аномалии, параллельные и попарно симметричные по отношению к осям срединно-океанических хребтов. Время формирования этих аномалий возрастает от срединных хребтов к окраинам океана (особенно детально это изучено в Атлантическом океане к югу от Исландии). Сопоставление палеомагнитных данных с определением абсолютного возраста пород, добытых со дна океана путем драгирования, позволяет восстановить историю его развития. Оказывается, что возраст пород в приосевой зоне, например, Атлантического океана составляет десятки тысяч лет, у подножья срединного хребта — десятки миллионов лет, а у побережья Северной Америки — около 200 млн. лет. Таким образом устанавливается, что Атлантический океан начал формироваться в раннем мезозое и продолжает свое развитие до настоящего времени. С помощью высокоточной аппаратуры, установленной на космических спутниках, определено, что ско-

рость перемещения побережья континентов составляет от 4 до 10 см/год.

Новая геотектоническая гипотеза в значительной мере объясняет и кажущуюся миграцию магнитных полюсов в геологическом прошлом. Если раньше считалось, что меняют свое положение магнитные полюса, сейчас выясняется, что главная роль в этом явлении принадлежит относительному перемещению континентов. И если реставрировать древнее положение крупнейших геоструктурных элементов, то палеомагнитные полюса разных территорий достаточно точно совмещаются.

Сейчас уже предпринят ряд попыток объяснить с точки зрения новой гипотезы и основные закономерности размещения полезных ископаемых.

Следует сказать, что еще не все ясно в новой глобальной тектонике, и не все исследователи согласны с ее положениями. Создание всеобъемлющей теории развития земной коры требует еще большой работы, но основы этой будущей теории заложены уже сейчас.

Часть 4. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

Важнейший раздел геологии, решающий обширные прикладные задачи, представляет учение о полезных ископаемых.

Полезным ископаемым называется минеральное вещество, которое может быть использовано в практических целях.

Месторождением полезного ископаемого называется природное скопление полезного ископаемого в земной коре, разработка которого в количественном, качественном и экономическом отношении удовлетворяет требованиям промышленности.

При оценке промышленного значения месторождения, кроме его масштаба, качества руд, возможности их технологической обработки, важное значение имеют горнотехнические условия, т. е. применение дешевых систем разработки, в частности добыча открытым способом, использование несложной сортировки и обогащения и т. п.

Кроме месторождений, в природе наблюдается большое число скоплений различных рудных минералов, оценка которых до проведения поисково-разведочных работ остается неясной. Такие рудные скопления называются рудными проявлениями или рудопроявлениями.

Глава 8. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

8.1. ПОНЯТИЕ О РУДНЫХ ТЕЛАХ И РУДАХ

Месторождение полезного ископаемого может быть представлено одним, несколькими и даже многими обособленными рудными телами, сгруппированными на ограниченном участке.

Рудное тело, или рудная залежь,— обособленное скопление полезного ископаемого (руды), отчетливо ограниченное от окружающих пород.

Разнообразие процессов и условий образования месторождений обуславливает разнообразие формы рудных тел, изучение которых имеет первостепенное значение как для подсчета запасов полезного ископаемого, так и для определения горнотехнических условий разработки месторождений.

В зависимости от соотношений величин главных или характерных сечений академик В. И. Смирнов выделяет четыре основ-

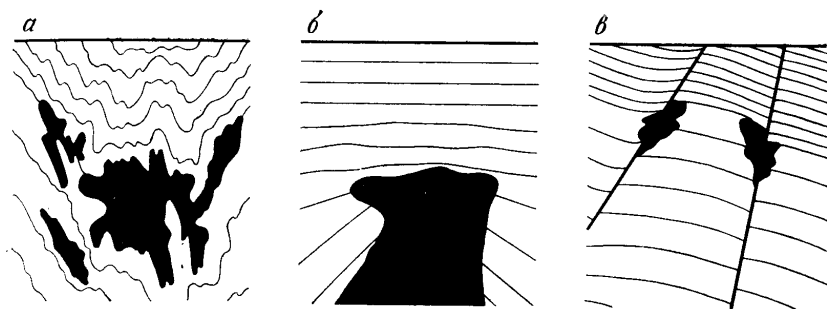


Рис. 63. Рудные тела изометричной формы
a — рудный массив, *б* — шток, *в* — гнёзда

ных типа рудных тел: 1) изометрические или близкие к ним, 2) плитообразные, 3) трубообразные, 4) сложной формы, имеющие неправильные, резко изменяющиеся очертания.

К рудным телам первого типа относятся рудные или оруденелые массивы со сплошным или вкрапленным оруденением, например, некоторые железорудные месторождения, массивы нефелиновых сиенитов, месторождения асбеста и др. Такие массивы (рис. 63, *a*) имеют большие размеры (1 км и более) и часто являются объектами промышленной разработки в очень крупных масштабах.

К более мелким формам первого типа относятся штоки и гнёзда (рис. 63, *б, в*). Штоки — изометрические рудные тела средних размеров, измеряемые первыми сотнями метров. Они характерны для многих полиметаллических, колчеданных, железорудных и других месторождений.

Гнёзда — небольшие по размерам (от нескольких до десятков метров) изометрические рудные тела, характерные для многих хромитовых, платиновых, ртутных, сурьмяных, пьезокварцевых и других месторождений.

Среди рудных тел плитообразной формы различают пластообразные и жилообразные тела. К пластообразным телам относятся рудные пласты (рис. 64, *a*), залегающие согласно с вмещающими породами (месторождения осадочных полезных ископаемых — некоторых железных руд, минеральных солей, ископаемых углей, бокситов, золотоносных и ураноносных конгломератов и многих др.); пластообразные залежи (рис. 64, *б*), отличающиеся от рудных пластов меньшей выдержанностью по мощности, простиранию и падению, а также прерывистостью (месторождения медистых песчаников, фосфоритов, некоторых свинцово-цинковых месторождений и др.); линзы — сравнительно короткие, быстро выклинивающиеся рудные тела (медноколчеданные, свинцово-цинковые, апатитовые и другие

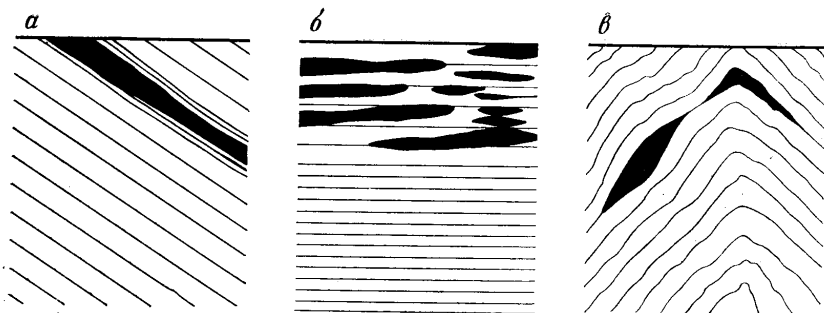


Рис. 64. Рудные тела пластообразной формы

a — рудный пласт, *б* — пластообразные залежи, *в* — линза и седловидная залежь

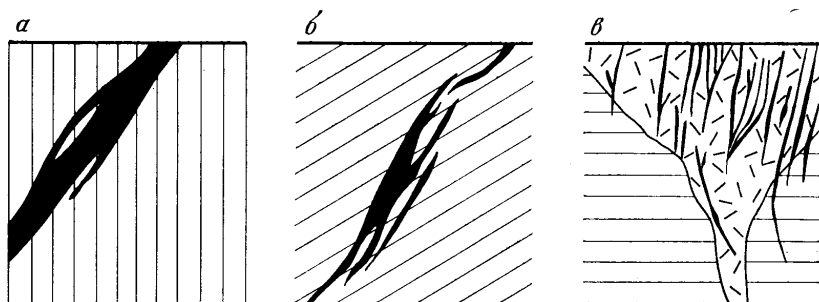


Рис. 65. Рудные тела (залито черным) жилообразной формы

a — простая жила, *б* — ветвящаяся жила, *в* — прожилковая зона (штокверк). Штриховка и разноориентированные черточки обозначают различные вмещающие породы

месторождения); седловидные залежи — согласные, изогнутой формы тела, образующиеся в сводовых (рис. 64, *в*) частях куполов и антиклиналей (месторождения сурьмы, ртути, золота и др.).

К жилообразным рудным телам относятся: жилы (рис. 65, *a*), характеризующиеся несложной формой без разветвлений и резких изменений мощности и залегания (кварцевые, кварц-вольфрамитовые и другие жилы); ветвящиеся, или сложные, жилы — обычная форма рудных тел многих золоторудных, меднорудных, оловорудных, вольфрамовых и других месторождений (рис. 65, *б*); прожилковые зоны и штокверки — широко распространенная в природе форма рудных тел многих крупных месторождений меди, свинца, цинка, золота и других металлов. В отличие от простых и сложных жил прожилковые зоны характеризуются большим числом мелких жил или прожилков (рис. 65, *в*).

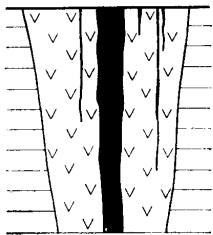


Рис. 66. Рудные тела трубообразной формы. Штриховка и галочки — вмещающие породы



Рис. 67. Рудное тело сложной формы. Штриховка и крестики — вмещающие породы

Трубообразные рудные тела часто контролируются трещинными структурами сопряжения и пересечения. Нередко они приурочены к древним вулканическим жерлам. Они характерны для некоторых свинцово-цинковых, оловорудных, медных и молибденовых месторождений (рис. 66).

Рудные тела сложной, или неправильной, формы часто залегают в карбонатных и других благоприятных для замещения породах, а также в зонах смятия или других крупных разрывных структурах. Сложные тела замещения в карбонатных породах являются широко распространенной формой проявления свинцово-цинковых и некоторых медных месторождений (рис. 67).

Рудные тела сложены рудами — минеральными агрегатами, из которых технологически возможно и экономически целесообразно извлекать металл или металлическое соединение. Раньше термин «руда» применялся только для металлических полезных ископаемых, сейчас им широко пользуются и при классификации неметаллических полезных ископаемых (графитовые, асбестовые, серные и другие руды).

Руды могут быть мономинеральными, состоящими из одного рудного минерала, но гораздо чаще — полиминеральными, представленными несколькими минералами.

В состав руд входят не только рудные, но и нерудные минералы. В зависимости от количественного соотношения рудных и нерудных минералов различают руды сплошные, состоящие преимущественно из рудных минералов, и вкрапленные, где рудные минералы распределены в виде вкрапленности. Вкрапленность рудных минералов может быть густой, если рудные минералы составляют 20—50 % общей массы, и бедной, если они составляют менее 20 %.

По содержанию полезного компонента руды могут быть простыми и комплексными. Простыми называются такие руды, из которых извлекается один полезный компонент, например,

железо, алюминий, марганец, фосфор, графит и др. Комплексными называются руды, из которых может извлекаться несколько полезных компонентов, например, железо и титан, тантал и ниобий, свинец и цинк, медь, золото, серебро, мышьяк, сурьма, кадмий и др.

В рудах кроме основного полезного компонента обычно присутствуют примеси, которые могут быть полезными и вредными. Полезными примесями называются такие, которые могут наряду с основными компонентами быть извлечены из руд и тем самым повысить ценность руд. Например, присутствие примеси серебра, золота, кадмия и некоторых других элементов увеличивает ценность свинцово-цинковых руд, присутствие примеси кобальта, платины и палладия — руд медно-никелевых месторождений и т. д. Некоторые металлы добываются вообще из таких руд, где они являются только примесями. К таким металлам, в частности, относятся кадмий, гафний, индий, рений, иридий, палладий, висмут и др. К вредным примесям относятся такие, которые усложняют или затрудняют технологическую обработку руд и их металлургический передел или же ухудшают качество получаемого продукта. Так, например, присутствие повышенных количеств серы, фосфора или мышьяка в железных рудах усложняет металлургию производства чугуна и стали, а присутствие значительных количеств железа в бокситах делает их неприменимыми для получения алюминия.

По геологическим условиям образования, месторождения полезных ископаемых делятся на группы: седиментогенные, магматогенные и метаморфогенные.

8.2. СЕДИМЕНТОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Седиментогенные месторождения представляют собой обширную группу месторождений, которые образуются в ходе экзогенных процессов в результате химической, биохимической и в меньшей степени механической дифференциации вещества земной коры. В данную серию входят месторождения химического, керамического и цементного сырья, разнообразных строительных материалов, каменного угля, а также многие месторождения железа, марганца, бокситов, ряда благородных и редких металлов. По способу накопления осадочного материала среди седиментогенных месторождений различают месторождения выветривания и осадочные.

К месторождениям выветривания относятся элювиально-делювиальные россыпи, остаточные и инфильтрационные месторождения.

Элювиально-делювиальные россыпи образуются в результате разрушения горных пород или руд процессами выветривания. Элювиальные россыпи приурочены к выходам коренных пород, содержащих ценный минерал, и в общих чер-

тах повторяют контуры последних. Содержание полезного компонента в элювиальных россыпях обычно выше, чем во вмещающих коренных породах. Например, элювиальные россыпи алмазов над кимберлитовыми трубками богаче, чем сами кимберлиты, элювиальные россыпи над золотоносными жилами содержат больше золота, чем рудный кварц, и т. д.

Делювиальные россыпи формируются при сползании разрушенного материала вниз по склону. Различают собственно делювиальные россыпи, залегающие на склонах, и коллювиальные россыпи, залегающие у подножий склонов. Делювиальные россыпи имеют значение не только как объекты возможной добычи тех или иных полезных минералов, но и как важнейший поисковый признак, приводящий к установлению коренного месторождения.

Остаточные месторождения полезных ископаемых образуются при химическом выветривании горных пород, которое сопровождается гидролизом породообразующих минералов, растворением и выносом неустойчивых компонентов. В результате в остаточных продуктах выветривания происходит накопление в виде труднорастворимого остатка таких полезных ископаемых, как каолин, бокситы, нонтрониты, бурые железняки, марганец и др.

Растворенные и перемещенные от места образования вещества при определенных физико-химических условиях могут выпастать в осадок, образуя инфильтрационные скопления железа, урана, меди, ванадия и т. д.

К осадочным месторождениям относятся аллювиальные и прибрежно-морские россыпи, химические и биохимические осадочные месторождения.

Аллювиальные россыпи широко распространены и имеют промышленное значение. В них сосредоточены золото, платина, касситерит и многие другие. Аллювиальные россыпи образуются в результате переноса и отложения обломочного материала водными потоками. В строении аллювиальных россыпей выделяют следующие элементы: 1) почвенный слой; 2) торф, представляющий собой пустые отложения; 3) металлоносный песок; 4) плотик, представленный коренными или уплотненными породами. Обычно наиболее богатые концентрации ценных минералов отмечаются в нижней части песков, в углублениях плотика.

Прибрежно-морские россыпи приобрели промышленное значение в последние десятилетия. С ними связаны месторождения титана, циркона, ниобия, тория, редких земель и др.

Прибрежно-морские россыпи располагаются в виде узких протяженных полос вдоль берега на уровне моря или ниже его. Ширина россыпей различна, но обычно составляет несколько десятков метров. Протяженность — от сотен метров до десятков и даже сотен километров.

К числу осадочных относятся, кроме того, месторождения химического и биохимического происхождения (фосфориты, карбонаты, кремнистые породы, угли, горючие сланцы, различные соли, руды железа, марганца, алюминия). И наконец, осадочные месторождения могут образовываться в результате поступления в бассейн осадконакопления продуктов вулканической деятельности.

8.3. МАГМАТОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Магматогенные месторождения подразделяются на собственно магматические, пегматитовые и постмагматические.

Магматическими называются месторождения, образующиеся из жидких магматических расплавов в процессе их внедрения и раскристаллизации. При подъеме магматических расплавов в верхние горизонты земной коры и остывании происходит их дифференциация, с чем связана концентрация, а иногда и полное обособление рудных компонентов. Процессы образования магматических месторождений достаточно сложны. В одних случаях месторождения образуются в результате внедрения магмы, обогащенной рудными компонентами еще на глубине, в других — рудные концентрации возникают из магмы при ее подъеме, в третьих — лишь на месте становления интрузива.

Главной особенностью всех магматических месторождений является их связь с материнскими интрузивами, которые рассматриваются как источник оруденения.

Магматические месторождения разделяются на следующие генетические группы: ликвационные, раннемагматические и позднемагматические.

Ликвационные месторождения образуются из расплавов и связанных с ними растворов в результате процессов магматической дифференциации в глубинных или близповерхностных условиях. Наиболее характерными ликвационными магматическими образованиями являются сульфидные медно-никелевые месторождения в основных и ультраосновных породах.

Раннемагматические месторождения характеризуются отчетливыми признаками наиболее ранней кристаллизации полезных минералов, сцементированных позднее выделившимися пороодообразующими минералами. К раннемагматическим относятся месторождения алмазов.

Позднемагматическими называются такие месторождения, которые образуются путем обособления обогащенных рудным веществом остаточных рудных расплавов и их кристаллизации на поздних стадиях затвердевания интрузива. К типу позднемагматических относятся месторождения хромита и титаномагнетита. Они генетически связаны с ультраосновными или основными интрузивами, причем для хромитов установлена связь с дунитами и перидотитами, а для титаномагнетитовых месторождений — с основными интрузивами, а иногда со сложными

интрузивными комплексами, обладающими первичной стратификацией и чередованием полос различных ультраосновных и основных пород.

Пегматитовыми называются месторождения, образующиеся при формировании пегматитов, являющихся промежуточными образованиями между магматическими породами и рудными жильными телами. Будучи тесно пространственно и генетически связаны с магматическими породами, они характеризуются тождественным с ними составом, отличаясь малыми размерами тел и некоторыми типичными чертами внутреннего строения. Последние выражаются в образовании пегматитовых структур, представляющих собой характерные прорастания кварца и полевого шпата, часто с крупными кристаллами различных минералов, в том числе редких.

По составу выделяются гранитные, щелочные и основные пегматиты. Промышленные месторождения редких и радиоактивных металлов связаны с гранитными и щелочными пегматитами, месторождения слюды и керамического сырья — только с гранитными. Пегматитовые месторождения являются важным источником получения таких редких металлов, как литий, тантал, бериллий, отчасти — урана, тория, редких земель, слюды, керамического сырья.

Пегматиты располагаются как в эндо- или экзоконтактных зонах интрузивных массивов, так и вне непосредственной связи с ними. В первом случае они представляют собой магматические тела, выкристаллизовавшиеся из расплава, во втором — являются метасоматическими образованиями.

Существует несколько классификаций пегматитовых месторождений. Наиболее рациональной можно считать следующую классификацию.

1. Пегматитовые месторождения, связанные с гранитами (гранитные пегматиты), среди которых выделяются редкоземельные, редкометалльные, мусковитовые и хрусталеносные пегматиты.

2. Пегматитовые месторождения, связанные с нефелиновыми сиенитами (щелочные пегматиты), среди которых выделяются ниобиево-редкоземельные и циркониевые пегматиты.

Под постмагматическими и месторождениями понимаются месторождения, образованные под воздействием газовых или жидких растворов в связи с прямым или косвенным участием магматизма.

Постмагматические месторождения имеют огромное распространение и очень важное народнохозяйственное значение. К этой большой группе относятся многие месторождения цветных, благородных, редких, радиоактивных и отчасти черных металлов, являющихся основной базой различных отраслей промышленности.

Постмагматические явления в основном сводятся к гидротермальному процессу, обычно сочетающемуся с метасоматозом.

Постмагматическая минерализация является логическим продолжением магматического процесса и тесно связана с ним. Следовательно, постмагматическая минерализация завершает формирование магматических комплексов, характеризующих собой этапы тектоно-магматического развития геосинклинальных областей или зон активизации.

К постмагматическим месторождениям относятся скарновые, албититовые, грейзеновые, карбонатитовые, колчеданные, плутоногенные гидротермальные и вулканогенные гидротермальные месторождения.

8.4. МЕТАМОРФОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Различают две группы метаморфогенных месторождений: метаморфизованные и метаморфические.

Метаморфизованными называют месторождения любого происхождения, испытавшие метаморфические преобразования одновременно с вмещающими породами. При этом процессы метаморфизма могут выражаться в изменении и преобразовании структуры и текстуры руд с образованием новых структур и текстур, изменении характера минерального состава руд [например, вместо лимонита образуется гематит или магнетит, вместо пиролюзита (MnO_2) — браунит (Mn_2O_3) и т. п.], а также в переотложении рудного вещества, изменении формы рудных тел, расщеплении и изменении состава вмещающих пород.

Под метаморфическими месторождениями понимают такие месторождения, которые возникли в результате метаморфизма горных пород, до того не содержащих промышленных рудных скоплений и не представляющих собой полезного ископаемого. К возникающим в процессе метаморфизма собственно метаморфическим месторождениям относятся месторождения высокоглиноземистого сырья (кианит, андалузит, силлиманит), графита, гранулированного кварца, слюды, амфибол-асбеста, корунда, наждака, граната, титана и др.

8.5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Месторождения полезных ископаемых размещены в земной коре крайне неравномерно. Наряду с районами, практически лишенными месторождений, встречаются участки, насыщенные проявлениями разнообразных полезных ископаемых, в некоторых местах отмечаются месторождения лишь определенных полезных ископаемых. Изучением закономерностей размещения различных по составу и происхождению месторождений в разных по строению и истории геологического развития участках земной коры занимается металлогения — раздел учения о месторождениях полезных ископаемых.

Отрезок геологического времени, в течение которого развивается определенный комплекс месторождений полезных ископаемых, называется металлогенической эпохой. Обычно металлогенические эпохи совпадают с крупными периодами складчатости и магматизма, в связи с чем выделяют докембрийскую, каледонскую, герцинскую, киммерийскую и альпийскую металлогенические эпохи.

Для докембрийской металлогенической эпохи характерны метаморфогенные месторождения железа и марганца, образующие концентрации в железистых кварцитах и гондитах; золота и урана в золото-ураноносных конгломератах; концентрации никеля и платиноидов в ликвационных месторождениях; редких металлов — в пегматитах; золота и урана — в постмагматических гидротермальных месторождениях.

Каледонская металлогеническая эпоха характеризуется месторождениями меди, свинца и цинка, титана, железа, золота, редких металлов, асбеста.

Герцинская металлогеническая эпоха богата золотом, медью, свинцом, цинком, оловом и вольфрамом, редкими металлами, ураном, хромитом, асбестом, цветными камнями.

В киммерийскую металлогеническую эпоху образовались месторождения олова и вольфрама, концентрации золота, сурьмы и осадочные месторождения железа.

В альпийскую металлогеническую эпоху большое распространение приобретают гидротермальные месторождения молибдена, меди, серебра и ртути, велика роль осадочных месторождений марганцевых руд.

Участок земной коры, характеризующийся общностью геологического строения и развития и, следовательно, общностью и определенной спецификой рудной минерализации, называется металлогенической провинцией. Металлогенические провинции охватывают площади, измеряемые сотнями тысяч квадратных километров. Металлогенические провинции объединяются в металлогенические пояса. Металлогенические пояса достигают в длину более десяти тысяч километров, в ширину — нескольких сотен километров, занимая площади порядка 10—15 млн. км².

Наиболее крупными металлогеническими поясами являются Средиземноморский и Тихоокеанский, несколько меньшие размеры имеют Норвежско-Аппалачский и Урало-Монгольский металлогенические пояса.

Средиземноморский металлогенический пояс охватывает бассейн Средиземного моря в пределах стран Южной Европы и Северо-Западной Африки, распространяясь на восток в Малую Азию, на Южный берег Крыма и Черноморское побережье Кавказа, в Иран, Афганистан, Индию, Индонезию. Простирается почти широтное, протяженность около 18 000 км при средней ширине пояса 800—1000 км. Рудная минерализация в пределах Средиземноморского пояса развивалась в основ-

ном в альпийскую металлогеническую эпоху и представлена в Карпатской области проявлениями ртути, бария, алюминия, свинца, цинка, меди, калия и серы и др., на Кавказе — месторождениями полиметаллов, олова, молибдена, вольфрама, мышьяка, сурьмы, железа, кобальта, никеля, марганца, алюминия и др., на Памире — месторождениями полиметаллов, вольфрама, молибдена и олова.

Тихоокеанский металлогенический пояс обрамляет Тихий океан, располагаясь по восточной окраине Азии и западному побережью Северной и Южной Америки. Общая протяженность пояса свыше 40 000 км при средней ширине от 200 до 2000 км. В пределах азиатской части Тихоокеанского пояса установлено три типа земной коры: океанический, переходный и континентальный и соответственно выделяются три типа металлогенических провинций: притихоокеанский, окраинно-материковых вулканогенных поясов и восточноазиатский. Важнейшее значение для восточноазиатской провинции имела киммерийская металлогеническая эпоха, во время которой образовались значительные месторождения золота, олова и вольфрама. Для окраинно-материковых провинций характерны проявления медноколчеданных, золото-серебряных, хромитовых руд, латеритных руд железа, гидросиликатного никеля, осадочных руд марганца. В притихоокеанской провинции рудная минерализация представлена проявлениями меди, хрома и ртути, меньше — серы, титана, асбеста и др.

В пределах Урало-Монгольского и Норвежско-Аппалачского металлогенических поясов наиболее интенсивные проявления складчатости, магматизма, метаморфизма, разнообразной и богатой минерализации происходили в каледонскую и герцинскую эпохи. Так, для герцинской металлогении Урала наиболее характерны железо, титан, ванадий, хром, медь, вольфрам и многие другие. Из неметаллических полезных ископаемых на Урале широко распространены асбест, корунд, слюда, графит, драгоценные и поделочные камни и др.

Металлогения платформ значительно отличается от металлогении геосинклинальных областей, с которыми пространственно совпадают рассмотренные выше металлогенические пояса. В пределах самих платформ наблюдаются существенные различия в закономерностях развития минерализации щитов и платформенного чехла.

Металлогения щитов сформировалась в докембрийскую металлогеническую эпоху и характеризуется метаморфогенными месторождениями железа, марганца, золото-ураноносных конгломератов и кварцитов, редкометалльных пегматитов.

Металлогения платформенного чехла сформировалась в интервале от верхнего протерозоя до мезозоя — кайнозоя, т. е. в несколько металлогенических эпох, и представлена месторождениями меди, свинца и цинка и медно-никелевыми

месторождениями, связанными с основными — ультраосновными породами.

С процессами активизации платформ связаны месторождения редкометалльных пегматитов, карбонатитов, алмазов.

Глава 9. МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Металлическими, или рудными, полезными ископаемыми называются минеральные образования, из которых путем переработки извлекают различные металлы или их соединения, используемые в промышленности. К металлическим полезным ископаемым относятся руды черных, цветных, благородных, редких рассеянных и радиоактивных металлов.

9.1. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕРНЫХ И ЛЕГИРУЮЩИХ МЕТАЛЛОВ

К группе названных месторождений относятся железо, марганец, хром, титан, ванадий, никель, кобальт, молибден и вольфрам, руды которых используются в черной металлургии для выплавки металла или как легирующие добавки к сталям. Руды никеля, кобальта, вольфрама и молибдена используются также и в цветной металлургии.

9.1.1. Месторождения железа

Главнейшие минералы железных руд: магнетит Fe_3O_4 , гематит Fe_2O_3 , лимонит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, гётит $\text{FeO} \cdot \text{OH}$, сидерит FeCO_3 .

Из железных руд выплавляется чугун (2,5—4% С), сталь (0,2—1,7 % С), железо (0,04—0,2 % С). Для получения легированных сталей обыкновенные стали переплавляются с добавлением марганца, хрома, ванадия, никеля, кобальта, молибдена, вольфрама, которые придают сталям вязкость, твердость и другие ценные свойства.

Седиментогенные месторождения.

В этой группе известны вулканогенно-осадочные, осадочные месторождения и месторождения кор выветривания.

К вулканогенно-осадочным месторождениям относятся Западный Каражал в Казахстане и Холзунское в Горном Алтае. За рубежом к этому типу принадлежат месторождения Лан и Дилла в ФРГ и др. Вулканогенно-осадочные месторождения располагаются в тесной связи с вулканогенными и осадочными породами. Например, на Холзунском месторождении наблюдается связь руд с вулканогенными образованиями, выражающаяся в залегании рудных пластов среди туфов и туффигов с наличием прослоев и линз вулканических пород в самом рудном пласте, а также в присутствии в составе руд пироклаستي-

ческих частиц. На других месторождениях, например Западном Каражале, вмещающими рудные пласты и линзы породами служат переслаивающиеся известняки, кремнисто-карбонатные яшмовидные и аргиллитовые породы, а подстилается рудоносная толща вулканогенно-осадочными породами.

Рудные пласты и линзы на этих месторождениях деформированы складчатыми и разрывными нарушениями вместе с вмещающей толщей, что обуславливает их согласное залегание в складчатых структурах рудных полей.

Руды сложены гематитом, в меньшей мере магнетитом и сидеритом, в них встречаются сульфиды — пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит и галенит, а среди нерудных минералов — хлорит, серицит, кварц, халцедон, опал, доломит, анкерит, апатит.

Среди осадочных месторождений железа различают геосинклинальные и платформенные морские месторождения. Геосинклинальные морские гематитовые месторождения в терригенно-карбонатных отложениях известны в Ангаро-Питском железорудном бассейне на правом берегу нижнего течения р. Ангары. Рудные залежи являются прибрежными фациями верхнепротерозойских геосинклинальных отложений. За рубежом подобные месторождения известны в США, Африке и Северной Австралии.

Платформенные морские месторождения сидерит-гидрогематитовых бобово-оолитовых руд в карбонатно-терригенных отложениях представлены в Советском Союзе тремя мезозойско-кайнозойскими железорудными бассейнами — Керченским, Аятским и Западно-Сибирским.

Керченский железорудный бассейн представляет одно из известнейших в мире осадочных скоплений железных руд. Рудные пласты приурочены к синклинальным структурам — мульдам и прогибам. Наиболее крупными рудоносными мульдами являются: Камыш-Бурунская, Кызаульская, Эльтигенская, Северная, Акманайская. Рудный горизонт обычно залегает почти горизонтально, с падением по крыльям мульды под углом 10—15°; мощность рудного пласта возрастает с краев мульды от нескольких метров до 25—40 м к осевой части (рис. 68).

Рудные пласты сложены оолитовыми рудами, содержащими (в %) 20—51 Fe; 0,1—11 Mn; 0,4—1,5 P; 0,01—0,6 S, также небольшие количества V и As. Ценными примесями являются Mn и V, вредными — S, P и As.

Главная масса руд относится к двум типам: коричневой (гидрогётитовой) и табачной (гидрогётит, лептохлорит, нонтролит). К второстепенным, малораспространенным рудам относятся марганцево-железистые икряные руды.

За рубежом месторождения данного типа представлены Лотарингским железорудным бассейном (Франция, ФРГ).

Месторождения кор выветривания формируются в зонах окисления месторождений сидеритовых и скарново-маг-

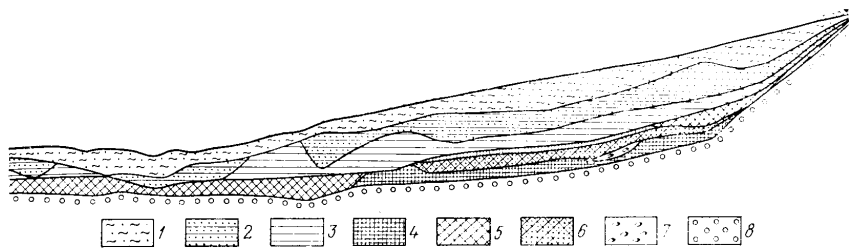


Рис. 68. Геологический разрез Камыш-Бурунской мульды (по Ю. М. Юрку)
 1 — известняковые суглинки, 2 — глины песчаные, 3 — глины, 4—6 — руды:
 4 — табачные, 5 — коричневые, 6 — икряные, 7 — глины песчаные, 8 —
 ракушечники глинистые

нетитовых руд, а также при выветривании ультраосновных пород. Сидеритовые руды в зоне окисления переходят в гидроокислы железа (гётит, гидрогётит, гидрогематит), а скарново-магнетитовые руды — в мартит-гидрогематитовые руды.

В коре выветривания ультраосновных пород месторождения гётит-гидрогематитовых руд приурочены к верхней охристой зоне серпентинизированных дунитовых и перидотитовых массивов. Охристые оолитовые руды кор выветривания представлены месторождениями Елизаветинским, Серовским и Аккермановским на Урале, Малкинским на Северном Кавказе. За рубежом крупные месторождения кор выветривания известны на Кубе, Филиппинах, Гавайских островах и в Гвинее.

Елизаветинское месторождение расположено в 12 км к югу от г. Свердловска. Месторождение приурочено к Уктусскому дунитовому массиву и представлено тремя главными рудными залежами. Форма залежей пластообразная. Мощность рудных тел колеблется от 0,5 до 60—70 м. Разрез рудной зоны (сверху вниз) следующий:

- 1) элювиально-делювиальные отложения мощностью около 10 м;
- 2) порошокатые руды или зона охр мощностью 0,5—30 м;
- 3) зона разложения дунита мощностью примерно 4 м;
- 4) серпентинизированный дунит.

Порошокатые руды представлены гётитом и гидрогётитом.

Магматогенные месторождения.

Магматические месторождения железа представлены титаномагнетитовыми и ильменит-титаномагнетитовыми месторождениями. К ним относятся Качканарское, Гусевогорское, Первоуральское, Кусинское и Копанское на Урале, Пудожгорское в Карелии, Харловское в Горном Алтае и др. Среди зарубежных к таким месторождениям относятся Таберг в Швеции, Телнесс в Норвегии и Тегавус в США.

Рудные тела этих месторождений представляют собой зоны густой вкрапленности с кучными и жило-линзообразными обо-

соблениями титаномагнетита в ультраосновных и основных породах.

Основным рудным минералом месторождений этой группы является титаномагнетит. В подчиненном количестве присутствуют зерна магнетита, ильменита и шпинели. Сопутствующими служат породообразующие минералы вмещающих пород — оливин, пироксен, амфиболы, плагиоклаз, серпентин и др.

Руды характеризуются промышленным содержанием железа, ванадия, иногда титана, низким содержанием серы и фосфора (сотые доли процента) и др.

Качканарское и Гусевогорское месторождения находятся в Исовском районе Свердловской области. Рудовмещающими породами являются пироксениты и габбро, залегающие в виде лакколита изометричной формы (рис. 69). Рудные тела образованы вкрапленностью титаномагнетита, реже сплошными выделениями и прожилками массивных руд. Руды характеризуются низким содержанием железа (15—18 % Fe).

Постмагматические месторождения железа представлены скарновыми и вулканогенно-гидротермальными типами.

Скарновые месторождения широко представлены на Урале (Магнитогорское, Высокогорское, Гороблагодатское, Северо-Песчанское и др.), в Кустанайской области Казахстана (Сарбайское, Соколовское, Качарское и др.), в Западной Сибири (Таштагольское, Абаканское, Тейское и др.), на Кавказе (Дашкесанское), а также за рубежом: в США (Айрон-Спрингс, Адирондак и др.), в Центральной Европе (Рудные горы), в Италии, Болгарии, Румынии, Японии, КНР и других странах.

Скарново-магнетитовые месторождения связаны с плагиогранитами, являющимися производными базальтовой магмы. Рудные тела располагаются в их контактовых ореолах и образованы метасоматическим путем во вмещающих карбонатных, реже в силикатных породах. Основным рудным минералом является магнетит, менее распространен гематит.

Месторождение Магнитогорское расположено на Южном Урале. Оно приурочено к контакту гранитоидной интрузии, прорывающей вулканогенно-осадочную толщу пород раннекаменноугольного возраста. В процессе развития интрузивного магматизма последовательно внедрялись порфириды, диориты, микрограниты, кварцевые диориты и дайки диабазов. На постмагматической стадии становления этой мощной серии интрузивных пород образовались гранат-пироксеновые скарны с магнетитом.

Вулканогенно-гидротермальные месторождения тесно связаны с траппами Сибирской платформы, где они образуют ряд железорудных районов: Ангаро-Илимский, Ангаро-Канский, Средне-Ангарский, Канско-Тасеевский, Тунгусский, Бахтинский и Илимпейский.

Наиболее известными месторождениями этой группы являются Коршуновское, Рудногорское, Нерюндинское и Тагарское.

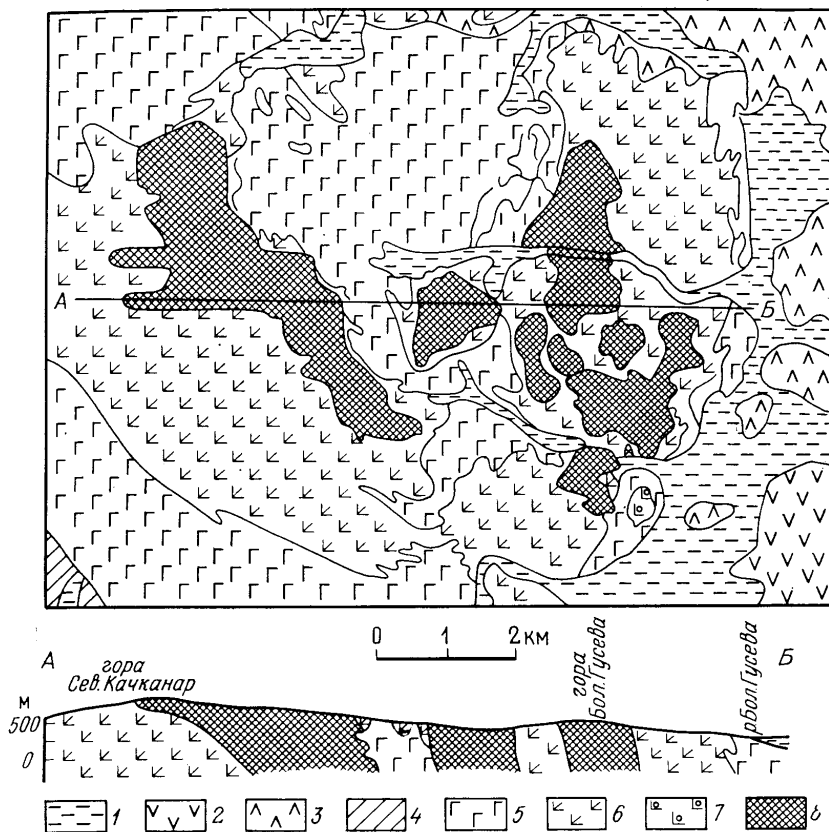


Рис. 69. Схема геологического строения района титаномagnetитовых месторождений Качканар и Гусевогорское (по З. И. Рупасовой)
 1 — аллювий, 2 — порфиры, 3 — амфиболиты, 4 — альбит-хлоритовые сланцы, 5 — габбро, 6 — пироксениты, 7 — горнблендиты, 8 — рудные залежи

Месторождения залегают в палеозойских отложениях чехла платформы. Распределение месторождений контролируется расположением зон разломов и интенсивного проявления траппового магматизма.

По тектоническим разрывам, а возможно, и трубкам взрывов во вмещающие породы проникали растворы, вызвавшие метасоматические изменения пород и оруденение. Метасоматические процессы обусловили развитие скарноподобных и более низкотемпературных хлорит-серпентинит-карбонатных метасоматитов.

Руды представлены зонами вкрапленности магномагнетита в метасоматитах, жильными телами и пластообразными залежами метасоматического замещения карбонатных пород.

странены кристаллические сланцы, гнейсы и мигматиты архея. Криворожская серия образует сложную синклинорную структуру, состоящую из синклинальных и антиклинальных складок и осложненную многочисленными разрывами (рис. 70).

Месторождения, связанные с глубокометаморфизованными породами, представлены менее крупными и небольшими по запасам (сотни—десятки миллионов тонн) рудными залежами (например, Тараташская группа на Урале). Основными минералами железистых кварцитов в высокотемпературных фациях являются кварц, магнетит, гематит, роговая обманка, диопсид, гиперстен.

Для железистых кварцитов типичны средние содержания железа в пределах 20—40 %.

9.1.2. Месторождения марганца

Важнейшими минералами марганца являются: пиролюзит MnO_2 , браунит Mn_2O_3 , манганит $MnO_2Mn(OH)_2$, псиломелан $MnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$, родохрозит $MnCO_3$, родонит $(Mn, Ca) SiO_3$.

Марганцевые руды в основном (90—95 %) используются в металлургии для получения специальных сортов сталей, в меньшей степени (5—10 %) они используются в химической промышленности или в другом производстве. Родонит применяется как ценный декоративный камень.

Седиментогенные месторождения

В этой серии месторождений известны осадочные, вулканогенно-осадочные, месторождения выветривания.

Осадочные месторождения марганцевых руд образовались в палеогеновую эпоху и представлены родохрозит-псиломелан-пиролюзитовыми месторождениями среди прибрежно-морских и лагунных отложений. К ним относятся месторождения Никопольского бассейна, Чиатурское и Мангышлакское месторождения в СССР и месторождение Оборище в Болгарии.

Никопольский бассейн включает ряд месторождений и рудодносных площадей, вытянутых вдоль Днепра в районе городов Никополя и Запорожья, в виде полосы протяженностью 250 км и шириной до 5 км. Рудный пласт мощностью в среднем 2,0—3,5 м залегает почти горизонтально среди нижнеолигоценовых песчано-алеврито-глинистых отложений.

Огромное количество осадочных марганцевых руд сосредоточено в железомарганцевых конкрециях, выстилающих крупные площади дна Тихого, Атлантического и Индийского океанов. Запасы их составляют $2,5 \cdot 10^{12}$ т, что в сотни раз превышает суммарные запасы, учтенные во всех месторождениях континентов. К тому же запасы этих руд ежегодно возрастают на 10 млн. т. в связи с современными процессами осадконакопления.

Вулканогенно-осадочные месторождения марганца приурочены к областям интенсивного проявления подводного вулканизма, характеризующимся накоплением лав и

туфов с подчиненным количеством осадочных пород. Для них установлена отчетливая связь с кремнистыми, карбонатными и магнетит-гематитовыми породами и рудами. Поступление марганца, железа, кремнезёма, меди, цинка, свинца, бария, германия, и других компонентов с образованием осадочных руд связано с поствулканической деятельностью подводных вулканов.

Примером вулканогенно-осадочных месторождений является месторождение Атасу в Центральном Казахстане. Месторождение приурочено к вулканогенно-осадочным породам девонского возраста, слагающим линейной вытянутую мульду. На месторождении отмечаются согласные пластовые залежи железомарганцевых руд, состоящие из гематита, магнетита, браунита, пилломелана и пиролюзита, и секущие тела свинцово-цинково-баритовых руд, наложенные на пластовое оруденение.

Месторождения в выветривания образуются по марганецсодержащим метаморфизованным силикатным и карбонатным породам. Распространены они главным образом в Индии и Бразилии, а также в Канаде, Венесуэле, Габоне, Южно-Африканской республике и Австралии.

Метаморфогенные месторождения марганца связаны с марганецсодержащими протерозойскими силикатными породами — гондитами и кодуритами. Гондиты сложены кварцем, спессартином, браунитом, гаусманитом и родонитом. Кодуриты состоят из калиевого полевого шпата, спессартина и апатита. Они переслаиваются с мраморами, кварцитами и сланцами. Гондиты и кодуриты распространены на больших площадях в сотни квадратных километров. Протяженность марганецносных залежей достигает 3—8 км, мощность 3—60 м, среднее содержание марганца 10—20 %. Наиболее крупные месторождения известны в Индии и Бразилии.

9.1.3. Месторождения хрома

Единственной хромовой рудой является хромистый железняк, или хромит, под которым подразумевается несколько минералов группы шпинели. Состав хромитов (%): Cr_2O_3 — 18—65, MgO — до 16, FeO — до 18, Fe_2O_3 — 30, Al_2O_3 — до 33.

Хромиты в основном используются в металлургии, меньше — в огнеупорной и химической промышленности.

Промышленные месторождения хрома представлены в основном ранне- и позднемагматическими месторождениями.

Раннемагматические месторождения размещаются в массивах расщепленных ультраосновных пород. Например, Бушвельдский массив в Южной Африке сложен многочисленными горизонтами основных и ультраосновных пород, имеющих мощность от нескольких сантиметров до нескольких метров. Месторождения хромитов приурочены к двум рудоносным горизонтам. Залежи вкрапленных и массивных руд имеют форму

параллельных прослоек, элементы залегания которых совпадают с расслоенностью вмещающих пород.

Поздние магматические месторождения хромитов широко распространены на Урале, Кавказе, в Сибири, на Чукотке, Камчатке, Сахалине, а также в ряде зарубежных стран (Албания, Греция, Иран и др.).

Главной хромитоносной провинцией СССР является Урал. Здесь расположена Донская группа месторождений, приуроченных к Кемпирсайскому массиву ультраосновных пород. Массив сложен серпентинизированными перидотитами и дунитами. В пределах массива известно более 160 месторождений и рудопроявлений хромита. Рудные тела представлены в основном жиллоподобными линзами, размеры которых колеблются от десятков метров до 1,5 км по простиранию, а по мощности — от нескольких метров до 150 м.

При выветривании коренных магматогенных месторождений образуются элювиально-делювиальные россыпи хромитов.

9.1.4. Месторождения титана

Главными промышленными минералами титана являются рутил TiO_2 и ильменит $FeTiO_3$.

Седиментогенные месторождения представлены россыпями прибрежно-морского или континентального происхождения. Наибольшее значение имеют прибрежно-морские комплексы ильменит-рутил-циркониевые россыпи. В СССР прибрежно-морские россыпи распространены в отложениях палеогена Ставропольского поднятия, Зауралья, Северного Приаралья, Северного Устьярта, Тургайского прогиба.

Континентальные россыпи ильменита распространены в пролювиально-аллювиальных и элювиальных образованиях.

Магматогенные месторождения. Среди магматогенных месторождений титана И. И. Малышев выделяет месторождения ильменитовых, магнетит-ильменитовых и гематит-ильменитовых руд в анортозитах и габбро-анортозитах и месторождения ильменит-магнетитовых руд в габбро и габбро-норитах. Примерами являются Мало-Тогульское месторождение в СССР и Лак-Тио в Канаде.

Метаморфогенные месторождения. Метаморфизованные месторождения образуются при метаморфизме древних россыпей, как, например, верхнепротерозойские россыпи западного склона Урала.

Метаморфические месторождения титана образуются в результате метаморфизма титаносодержащих пород. К ним относятся, например, Кузнечихинское месторождение рутилоносных амфиболитов и Шубинское месторождение рутилоносных эклогитов на Урале.

9.1.5. Месторождения ванадия

Промышленными рудами ванадия являются: титаномагнетит с содержанием 0,3—10 % V_2O_5 ; роскоэлит, или ванадиевая слюдка, $KV_2(AlSi_3 \cdot O_{10}) \cdot (OH)_2$; карнотит, или урановая слюдка $K_2U_2(VO_4)_2O_4 \cdot 3H_2O$; ванадинит $Pb_5(VO_4)_3Cl$; патронит VS_4 .

Ванадий обычно получают попутно из комплексных руд при извлечении железа, титана, урана и других компонентов. Основным сырьем для производства ванадия служат титаномагнетитовые руды. Примерами месторождений ванадийсодержащих руд являются месторождения на Урале, месторождения Бушвельдского комплекса в Южной Африке и др.

9.2. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

К этой группе относятся месторождения, руды которых используются в цветной металлургии. Цветные металлы — это алюминий, медь, свинец и цинк, никель и кобальт, олово, вольфрам, молибден, висмут, сурьма, магний, ртуть.

9.2.1. Месторождения алюминия

Наиболее важной рудой на алюминий являются бокситы, состоящие из диаспора, бёмита $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ и гидраргиллита $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$. В последнее время в качестве источника алюминия все большее значение приобретают нефелиновые руды.

Алюминий употребляется в авиа- и автопромышленности, в электропромышленности и машиностроении.

Седиментогенные месторождения. Месторождения этой группы представлены бокситовыми месторождениями выветривания и осадочными (геосинклинальными и платформенными).

Месторождения выветривания, или латеритные месторождения, образуются при интенсивном химическом выветривании алюмосиликатных пород в условиях тропического и субтропического климата.

Крупнейшим в мире месторождением бокситов латеритного типа является месторождение Боке (Гвинея). Бокситы образовались в результате химического разложения силурийских граптолитовых сланцев в палеоген-неогеновое время. Мощность латеритной коры выветривания составляет 10—15 м. Месторождение отличается высоким качеством руд и большими запасами.

Осадочные геосинклинальные месторождения образовались в прибрежно-морских условиях за счет переотложения продуктов коры выветривания. Примерами являются месторождения Североуральского бокситоносного района. Они приурочены к плоской меридионально-вытянутой депрессии в известняках и сланцах среднего палеозоя. В пределах рудного горизонта выделяются два подгоризонта: нижний — красных марких, немарких и яшмовидных бокситов мощностью до

20 м и верхний — пестроцветных пиритизированных бокситов мощностью до 3 м. В составе красных бокситов преобладает диаспор, а в яшмовидных и пестроцветных — диаспор-бёмит (рис. 71).

Осадочные платформенные месторождения бокситов образуются в континентальных условиях и представляют собой озерно-болотные отложения, часто связанные с угленосными осадками. Для этой группы типичны месторождения Тихвинской группы, приуроченные к нижнекаменноугольным отложениям Московской синеклизы. Промышленные залежи бокситов размещаются в депрессиях дорудного рельефа; образовались они за счет переотложения коры выветривания девонских глин. По минеральному составу бокситы относятся к гиббсит-бёмит-каолиновому типу.

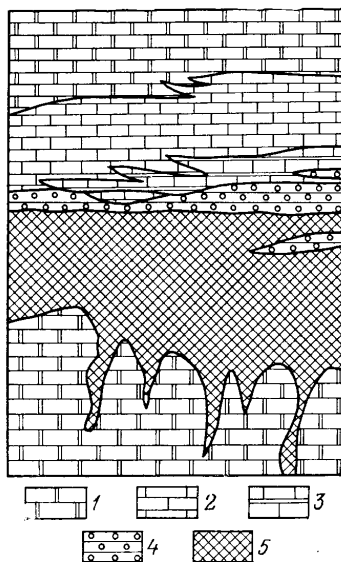


Рис. 71. Схематический геологический разрез девонских бокситовых залежей Североуральских месторождений (по Г. И. Бушинскому)

1 — известняки светло-серые, массивные, 2 — известняки темно-серые, 3 — мергели с прослоями известняков, 4 — бокситы серые, слонстые, с морской фауной, 5 — бокситы красные

9.2.2. Месторождения меди

Главнейшими минералами меди являются: самородная медь Cu , халькопирит CuFeS_2 , борнит Cu_3FeS_4 , халькозин Cu_2S , ковеллит Cu_2S , блеклые руды (теннантит $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$ и тетраэдрит $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$), куприт Cu_2O , тенорит CuO , малахит $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ и др.

Почти 90 % выплавки меди приходится на сульфидные руды, остальное — на самородную медь, водные карбонаты и другие вторичные минералы. Важным свойством медных руд является комплексность. Попутно с медью из сульфидных руд извлекаются молибден, свинец, цинк, рений, индий, кадмий, висмут, теллур, селен, сера и другие компоненты.

Медь широко используется в электропромышленности, а также в машиностроении и автомобильной промышленности.

Седиментогенные месторождения. К ним относятся стратиформные пластообразные месторождения, представленные крупными залежами медистых песчаников (например, Удоканское и Джеккаганское в СССР) и медистых сланцев (Мансфельд в ГДР).

Согласное пластообразное залегание с вмещающими терригенно-осадочными толщами, широкое площадное развитие,

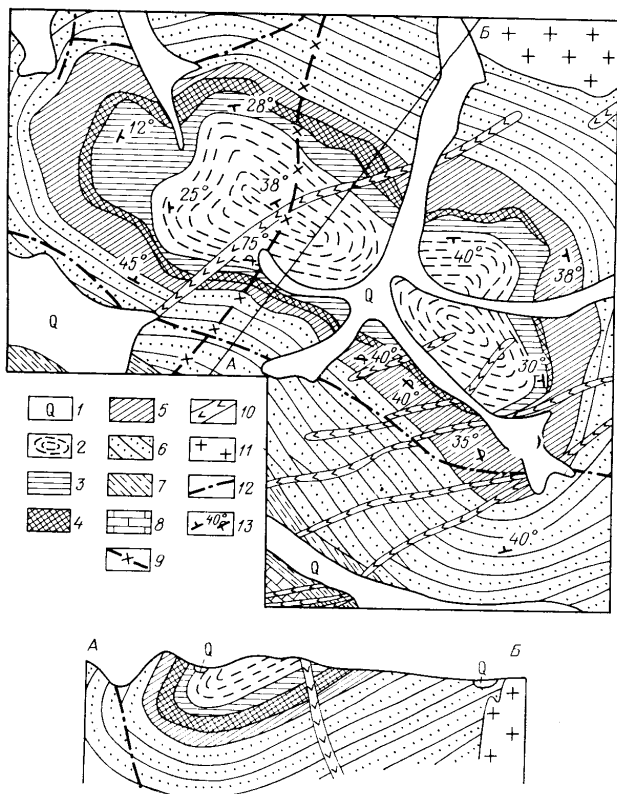


Рис. 72. Схема геологического строения месторождения Удокан (по Э. Гринталю и В. Четкинцу)

1 — четвертичные отложения; 2 — намингинская свита — алевролиты, песчаники, аргиллиты; 3—7 — сакуканская свита: 3 — надрудная пачка (известковистые и кварцитовые песчаники, алевролиты); 4 — рудная пачка (известковистые и кварцитовые песчаники, алевролиты); 5 — подрудная пачка (кварцитовидные и известковистые песчаники, алевролиты, конгломерато-брекчии); 6 — магнетитсодержащие песчаники, гравелиты; 7 — песчаники, филлитовые сланцы, гравелиты, конгломерато-брекчии; 8 — бутунская свита — известняки, алевролиты, известковистые песчаники; 9 — дайки граносиенит-порфиров, 10 — дайки габбро-диабазов, 11 — граниты чуйско-кодарского комплекса, 12 — тектонические нарушения, 13 — элементы залегания

ритмичность и многоярусность строения рудных залежей, простой минеральный состав руд, наличие в них слоистых текстур, корреляция концентрации металлов с органическим углеродом — все это свидетельствует об осадочном генезисе стратиформных месторождений. Например, на Удоканском месторождении рудные тела представляют собой кварцитовидные песчаники или алевролиты с тонкой вкрапленностью сульфидов меди — халькозина, борнита, халькопирита, а также пирита (рис. 72).

Магматогенные месторождения. К этой серии относятся скарновые, колчеданные и медно-порфировые месторождения.

Скарновые месторождения меди образуются на контакте умеренно кислых гранитоидов — гранодиоритов, плагиогранитов и плагиосиенитов с известняками. Рудная минерализация — халькопирит, пирротин, пирит и магнетит — развивается после образования известковых скарнов гранат-пироксенового состава, накладываясь на них и образуя среди них линзы, гнезда и столбообразные залежи.

К скарновым месторождениям меди относятся Саякское в Казахстане, Турьинская группа на Урале, Клифтон и Бисби в США, Долорес в Мексике и др.

Турьинские месторождения разрабатываются с середины XVIII века. Они находятся на Северном Урале, к северо-западу от г. Серова на р. Турье. Месторождения расположены в восточном пологом крыле большой меридиональной синклинали, сложенной толщей позднего силура — среднего девона. В низах толщи развиты спилиты и диабазы, выше рифовые и слоистые известняки, перекрытые известковистыми туффитами и роговообманковыми порфиритами. Вся эта толща прорвана позднепалеозойскими гранитами.

Главный горизонт оруденелых скарнов располагается под туффитами. Скарны приурочены к контактам известняков с гранодиоритами. Форма рудных тел — пластообразные залежи. Гнезда медных руд приурочены к местам пересечения скарнов более поздними трещинами и развиваются метасоматически по пироксеновым скарнам.

Колчеданные месторождения образуются на ранних стадиях развития геосинклиналей в субмаринных условиях в тесной ассоциации с вулканогенными породами основного и кислого состава. Как отмечает академик В. И. Смирнов, выделение «рудообразующих веществ из вулканических возгонов сопутствует всей вулканической истории, но главная масса колчеданов накапливается в конце каждого вулканического цикла, в период завершения излияния наиболее кислых лав, сменяющегося длительной поствулканической газо-гидротермальной деятельностью» [9, с. 367]. Колчеданные месторождения контролируются локальными вулканическими структурами, которые являются элементами более крупных вулканических построек.

Рудные тела имеют форму согласных пластовых залежей и линз, а также неправильных жил, штоков и штоков. Первые обычно сложены массивными и слоистыми рудами, а вторые — рудами прожилково-вкрапленного типа. Соответственно выделяется два типа руд: вулканогенно-осадочные, образовавшиеся осадочным путем, и вулканогенно-метасоматические, образовавшиеся в результате замещения вмещающих пород сульфидами.

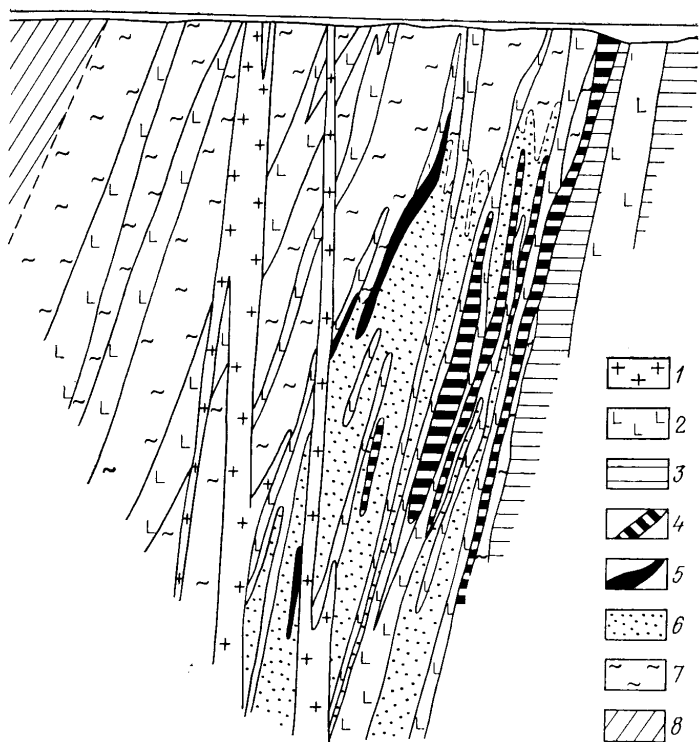


Рис. 73. Метасоматическая зональность Джусинского месторождения
 1 — жильные гранитоиды; 2 — диабазовые порфириты; 3 — зона серицитизации; 4 — серноколчеданные руды; 5 — медноколчеданно-полиметаллические руды; 6 — зона оруденения; 7 — зона хлоритизации и карбонатизации; 8 — зона хлорит-альбитовых пород

Колчеданные руды сложены в основном сульфидами железа (на 80—90 %) — пиритом, пирротинном, марказитом, с которыми тесно ассоциируют халькопирит, сфалерит, блеклые руды, борнит, галенит, магнетит, гематит. Вмещающие породы обычно изменены со стороны лежащего бока рудных залежей и превращены в пиритизированные кварц-серицитовые, кварц-хлоритовые и другие метасоматиты (рис. 73).

К колчеданным месторождениям меди относятся Гайское, Сибайское, Учалинское, Урупское, Худесское и другие в СССР, Рио-Тинто в Испании, Кид-Крик в Канаде, Бесси в Японии и многие другие.

Худесское месторождение расположено на Северном Кавказе. Главная рудная залежь месторождения представляет собой линзу, залегающую согласно с вмещающими подушечными лавами основного состава. На месторождении развиты медноколчеданные, серноколчеданные, медно-цинковые и сульфидно-

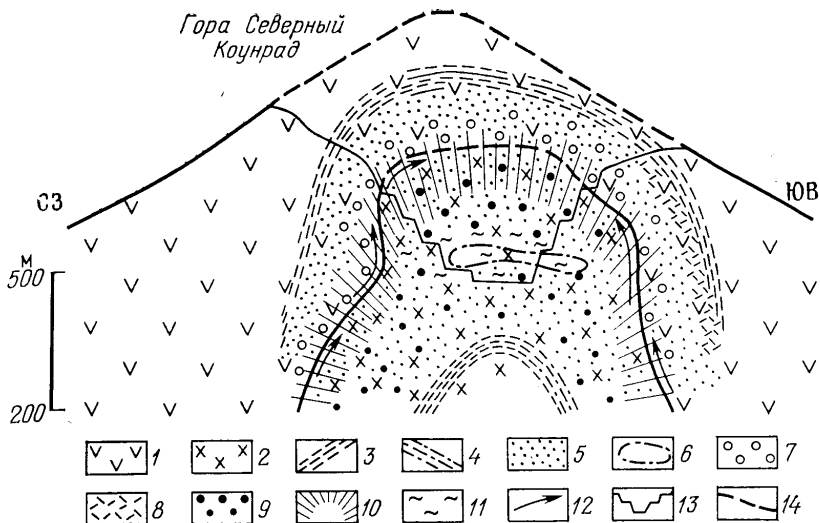


Рис. 74. Схематический геологический разрез месторождения Коунрад (по И. М. Юдину)

1 — липаритовые порфиры; 2 — гранодиорит-порфиры; 3—8 — метасоматиты: 3 — пропилиты и пропилизированные породы, 4 — аргиллитизированные породы, 5 — кварц-серицитовые породы, 6 — кварц-каолинитовые породы, 7 — кварц-андалузитовые породы, 8 — диаспор-пирофиллитовые породы; 9—11 — области преимущественного проявления первичного оруденения: 9 — медного, 10 — молибден-мышьякового, 11 — галенит-сфалеритового; 12 — основное направление движения гидротермальных растворов, 13 — современный контур поверхности месторождения с карьером, 14 — предполагаемый контур штока гранодиорит-порфиров и горы Северный Коунрад до начала эрозии рудного тела

гематитовые руды. Со стороны лежачего бока линз массивных руд широко развиты измененные пиритизированные породы кварцевого, кварц-серицитового и кварц-серицит-хлоритового состава.

Медно-порфировые месторождения образуются в тесной ассоциации с умеренно-кислыми гранитоидами — гранит-порфирами, гранодиорит-порфирами, диоритовыми порфирами в постмагматическую стадию их становления, в связи с чем гранитоиды в апикальной зоне, отчасти вмещающие вулканы или осадочные породы, обычно подвержены интенсивным гидротермальным изменениям. Руды представляют собой тонкую сеть кварцевых и кварц-полевошпатовых прожилков мощностью до первых сантиметров, содержащих пирит и халькопирит, меньше молибденит, борнит, блёклые руды, галенит, сфалерит, магнетит и гематит.

К медно-порфировым месторождениям относится Коунрадское, Кальмакырское, Каджаранское в СССР, Чукикамата в Чили, Токепала в Перу и др.

Коунрадское месторождение расположено к северу от оз. Балхаш (рис. 74). На горе Коунрад шток гранодиорит-порфира в верхней (апикальной) части превращен в серицитовые кварциты с прожилками кварца, в котором развивается магнетит, рутил, халькопирит, пирит и турмалин. Вмещающие шток эффузивно-осадочные породы преобразованы в серицит-андалузитовые кварциты. Медное оруденение сосредоточено в серицитовых кварцитах, в верхней части штока гранодиорит-порфира. Главными рудными минералами являются пирит и халькопирит, меньше теннантита и молибденита. Промышленные руды, состоящие из халькозина, ковеллина и борнита, возникли в связи с процессами окисления и вторичного обогащения. Зона окисления простирается до глубины 300—400 м, где уже развиты первичные убогие руды.

9.2.3. Месторождения свинца и цинка

Минералы свинца и цинка обычно встречаются вместе в составе так называемых полиметаллических руд. Важнейшими минералами этих руд являются галенит PbS , сфалерит ZnS , буланжерит $Pb_5Sb_4S_{11}$, джемсонит $Pb_4FeSb_6S_{14}$, церуссит $PbCO_3$, англезит $PbSO_4$, смитсонит $ZnCO_3$.

Свинец и цинк встречаются в различных генетических типах месторождений. Известны стратиформные месторождения свинца и цинка, приуроченные к толщам карбонатных пород (Сардана, Миргалымсай и др. в СССР, район Миссисипи—Миссури в США, Пайн-Пойнт в Канаде и др.); скарновые месторождения свинца и цинка, образовавшиеся в контакте гранодиорит-порфиров, гранит-порфиров с вулканогенно-осадочными породами (Алтын-Топкан, Кансай, Верхнее и др. в СССР, Лоуренс в США, Камiona в Японии и др.); вулканогенно-гидротермальные месторождения свинцово-цинковых руд с серебром, приуроченные к вулканическим структурам (Новоширокинское, Замбарак и др. в СССР, Касапалка в Перу и др.); колчеданные полиметаллические месторождения, пространственно и генетически связанные с вулканогенными породами, в основном с кислыми производными базальтоидного вулканизма (Зыряновское, Физличай, Жайрем в СССР, Рио-Тинто в Испании и др.); метаморфизованные месторождения, локализующиеся в протерозойских и нижнепалеозойских метаморфических сланцах и мраморизованных известняках (Горевское, Россохинское в СССР, Брокен-Хилл в Австралии, Флин-Флон в Канаде и др.).

Месторождение Миргалымсай расположено на юго-западном склоне хр. Каратау на территории Казахской ССР. На площади месторождения развиты карбонатные верхнедевонские и каменноугольные породы, образующие брахиформную складчатую структуру.

Рудные тела приурочены в основном к горизонту, сложенному доломитами, известковистыми доломитами и известняками. Мощность рудовмещающего горизонта изменяется от 2—4 до 24—28 м. Рудные минералы во вмещающих породах образуют рассеянную или послойную вкрапленность, мелкие прожилки и очень редко небольшие скопления сплошных сульфидов. По составу выделяются три типа руд: свинцовые, свинцово-баритовые и баритовые. Главными рудными минералами являются пирит, галенит, сфалерит, а из нерудных — доломит, кальцит, барит, анкерит и кварц.

На месторождении до глубины 50 м развита зона окисления.

9.2.4. Месторождения никеля и кобальта

Главнейшими минералами никеля и кобальта являются: пентландит $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$, миллерит NiS , никелин NiAs , герсдорфит NiAsS , водные силикаты никеля; линнеит CO_3S_4 , кобальтин CoAsS , глауколот $(\text{Co}, \text{Fe}) \text{AsS}$ и др.

Промышленные месторождения никеля и кобальта связаны главным образом с основными и ультраосновными магматическими породами — перидотитами, пироксенитами, габбро, норитами и габбро-диоритами; кроме того, известны месторождения силикатных никелевых руд коры выветривания, развивавшейся на массивах серпентинизированных ультраосновных пород в условиях жаркого влажного климата. Соответственно выделяют магматогенные месторождения, среди которых известны магматические и постмагматические месторождения и седиментогенные месторождения выветривания.

Магматические месторождения медно-никелевых сульфидных руд, содержащих кобальт, относятся к ликвационному типу. Они образуются в зонах активизации платформ при внедрении и становлении траппов. Рудные тела формируются при обособлении в магме сульфидного расплава и его осаждении преимущественно в нижних придонных частях интрузивов. Главные рудные минералы — пирротин, халькопирит, пентландит.

К магматическим месторождениям относятся Талнах, Октябрьское, Норильское, Печенга в СССР, Садбери в Канаде и др.

Месторождения Талнах, Октябрьское и Норильское расположены вблизи г. Норильска в Красноярском крае. Сульфидное медно-никелевое оруденение в Норильском районе было впервые установлено в 1920 г., а сейчас это важный район с залежами сульфидных медно-никелевых руд.

Норильский рудный район занимает крайнюю северо-западную окраину Сибирской платформы, характерной геологической особенностью которой является широкое развитие траппов. Трапповый вулканизм во времени сопряжен с внедрением по зонам разломов основной магмы. Дифференцированные рудонос-

ные интрузии Норильского района представляют собой глубинную ветвь трапповой магмы. Форма интрузивов пластообразная, неправильная, корытообразная.

Месторождение Норильское приурочено к одноименному дифференцированному интрузиву пластообразной формы, вытянутому на 12 км. Мощность его колеблется от 30 до 350 м, в среднем составляя около 130 м. В поперечном сечении он имеет линзовидную с крутыми бортами форму. Сульфидное медно-никелевое оруденение представлено в виде вкрапленности и гнездообразных скоплений пирротина, пентландита и халькопирита. Реже встречаются типичные жильные тела сплошных сульфидов, а также прожилково-вкрапленное оруденение. Наибольшая мощность вкрапленных руд (до 20 м) характерна для глубоких мульдообразных прогибов подошвы интрузии. В целом сульфидное оруденение образует сравнительно выдержанный рудный горизонт, совпадающий в плане с контурами интрузива.

Постмагматические месторождения связаны с умеренно-кислыми гранитоидами. Рудные тела представлены обычно жилами и жиллообразными залежами. В прерудную стадию вмещающие породы подверглись скарнированию, биотитизации, турмалинизации; оруденение сопровождалось окварцеванием и карбонатизацией. Руды обычно комплексные, содержащие, кроме никеля и кобальта, цинк, свинец, висмут и др.

К постмагматическому типу месторождений относятся Хову-Аксы и Дашкесан в СССР, Кобальт в Канаде, Рудные горы в Чехословакии и месторождения в ГДР.

Хову-Аксинское месторождение, открытое в 1974 г., расположено в пределах Тувинской АССР. Месторождение приурочено к тектоническому блоку, сложенному силурийскими и нижнедевонскими осадочными и осадочно-вулканогенными породами. Рудовмещающие породы подверглись интенсивным метасоматическим изменениям с образованием разнообразных скарнов, а затем послескарновым изменениям и оруденению. Рудные тела представляют собой типичные трещинные жилы, минеральный состав которых представлен арсенидами никеля, кобальта и железа в ассоциации с кальцитом, доломитом, реже анкеритом.

9.2.5. Месторождения олова

Из минералов олова промышленное значение имеют касситерит SnO_2 и станнин $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$.

Среди месторождений олова известны седиментогенные, пегматитовые, грейзеновые и гидротермальные генетические типы.

Седиментогенные месторождения олова представлены исключительные россыпями. Выделяются элювиальные, делювиальные, аллювиальные и прибрежно-морские россыпи касситерита. Наиболее распространены аллювиальные и прибрежно-морские россыпи. Среди аллювиальных россыпей выде-

ляются долинные, имеющие наибольшее промышленное значение, и террасовые. В разрезе пойменных отложений речных долин различают (снизу вверх): коренные породы — плотик, галечник с концентрацией касситерита — пески и торфа, представленные обычно аллювиальными илами.

Оловоносные россыпи известны на Чукотке, в Приморье, а за рубежом в Малайзии, Индонезии, Таиланде, Бразилии и в других местах.

Магматогенные месторождения представлены оловоносными пегматитами, грейзенами и гидротермальными жилами.

Пегматитовые месторождения размещаются в краевых частях гранитных массивов или во вмещающих породах на расстоянии до 2—3 км. Оловоносность пегматитов связана с более поздними, наложенными процессами — альбитизацией и грейзенизацией.

Руды обычно комплексные, содержат олово, тантал, ниобий, скандий и рубидий.

Грейзеновые месторождения связаны с аляскитовыми гранитами и размещаются в верхних частях интрузий и во вмещающих породах, образуя штокверки и жилные поля. Месторождения образуются под воздействием высокотемпературных (500—300 °С) многокомпонентных гидротермальных постмагматических растворов. Соответственно формируются комплексные руды, содержащие олово, вольфрам, редкие элементы.

К грейзеновым месторождениям относятся Шерловая гора, Эжуг, Этыка, Чапаевское, Олонойское, Актас в СССР, Альтенбург в ГДР, Циновец в Чехословакии, Мауча в Бирме и др.

Шерловогорское месторождение известно с XVIII в. Рудное поле месторождения сложено палеозойскими песчаниками, сланцами и эффузивами, которые прорываются интрузивами различного состава. Глубинные разломы делят рудное поле на две части — западную, сложенную гранитами и гранит-порфирами Шерловогорского интрузива, и восточную, представленную роговиками, кварцевыми порфирами и их брекчиями. Для западной части характерно широкое проявление грейзенов и связанных с ними вольфрамоносных жил, а для восточной — оловянное и свинцово-цинковое оруденение штокверкового типа. Характерными минералами грейзеновых тел являются кварц, мусковит, топаз, вольфрамит, сфалерит, молибденит, висмутин, арсенопирит, флюорит.

Гидротермальные месторождения олова связаны с малыми интрузиями гранитоидов повышенной основности — дайками лампрофиров, диоритовых и диабазовых порфиров. Рудные тела располагаются в массивах гранитоидов и во вмещающих песчано-сланцевых толщах и представлены главным образом жилами, реже трубообразными телами. Околожилные изменения — турмалинизация, окварцевание, серици-

тизация, хлоритизация, карбонатизация — проявлены весьма широко. Рудные минералы представлены касситеритом и пирротинном, жильные — кварцем, турмалином, хлоритом.

К гидротермальным месторождениям относятся Депутатское, Хрустальное, Валькумей, Хапчеранга в СССР, Маунт-Бишоф в Австралии, Маунт-Плезант в Канаде и др.

9.2.6. Месторождения молибдена

Главнейший минерал молибдена — молибденит MoS_2 .

Месторождения молибдена имеют в основном постмагматическое происхождение. Среди них выделяются скарновые, грейзеновые и гидротермальные.

Скарновые месторождения молибдена приурочены к известковым скарнам, образующимся в контакте гранитоидов с карбонатными породами. Рудообразование носит стадийный характер: в начальные стадии формируются скарны, обогащенные шеелитом; в средние — послескарновые метасоматиты с молибденитом, в поздние — сульфиды и магнетит.

Наиболее представительным скарновым месторождением в СССР является Тырнаузское месторождение (рис. 75), расположенное на Северном Кавказе. Месторождение локализуется в сильно дислоцированных и контактово-метаморфизованных карбонатных и терригенных породах среднего палеозоя на контакте с гранитоидами и жильными липаритами. Кварц-молибденитовая минерализация прожилково-вкрапленного типа образует штокверки как в скарнах, так и во вмещающих мраморах и лейкократовых гранитах.

К скарновым месторождениям, кроме Тырнауза, относятся Каратас, Киялых, Узень в СССР, Азегура в Марокко, Пайн-Крик в США и др.

Грейзеновые месторождения образуются в апикальных частях массивов липаритовых гранитов. Рудообразование многостадийное. Выделяются следующие основные стадии: 1) ранняя и поздняя грейзеновые; 2) кварцевых и кварц-полевошпатовых жил; 3) сульфидная; 4) послерудная кварц-карбонатная. Рудные минералы представлены молибденитом и вольфрамитом, меньше сульфидами, касситеритом, магнетитом.

К грейзеновым месторождениям относятся Акчатау, Восточный Коунрад, Булуктай, Первомайское в СССР, Серро-Асперо в Аргентине, Югодзыр в Монголии.

Гидротермальные месторождения формируются в тесной пространственной и генетической связи с гранитами, гранит-порфирами, гранодиорит-порфирами, сиенит-порфирами. Рудные тела представлены жилами и штокверками кварц-молибденитового или кварц-сульфидного состава. На гидротермальных месторождениях выделяют 5—7 стадий минералообразования. Например, на медно-молибденных месторождениях Армении, по данным С. К. Мовсеяна и М. П. Исаенко (1974 г.),

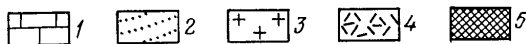
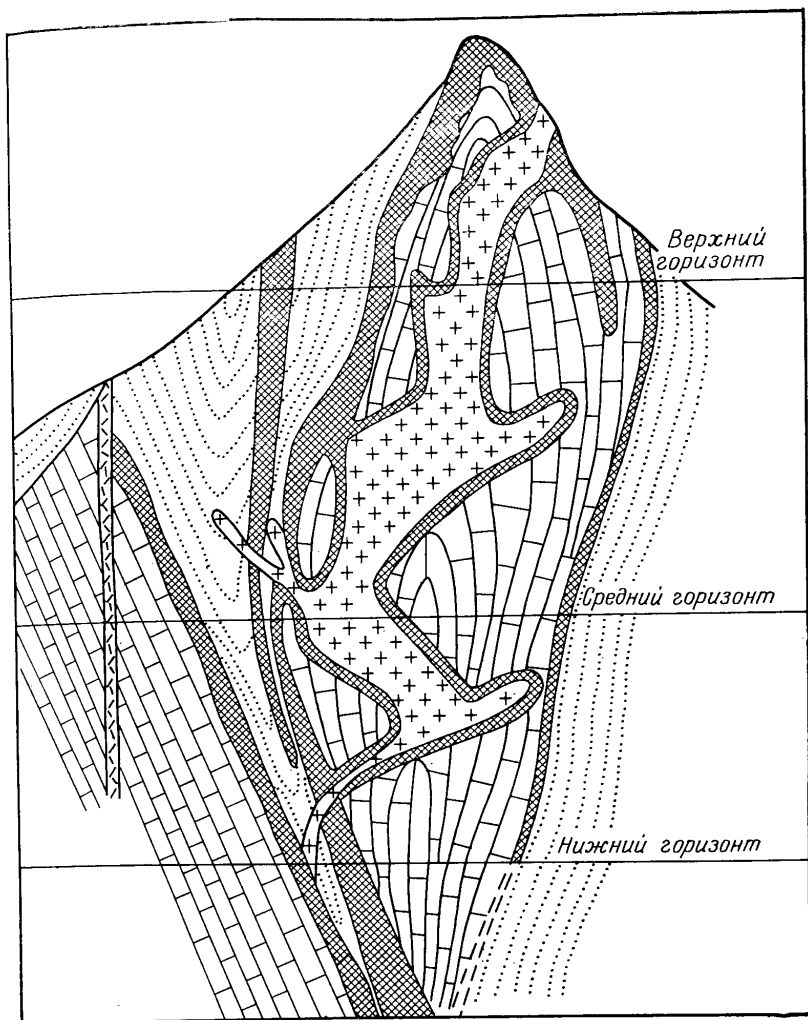


Рис. 75. Схематический геологический разрез месторождения Тырнауз (по А. В. Пэку в интерпретации В. И. Смирнова)
 1 — мраморизованные известняки; 2 — биотитовые роговики; 3 — лейкократовые граниты; 4 — липариты; 5 — скарны

выделяются следующие стадии: 1) пиритовая; 2) кварцевая и кварц-магнетитовая (450—400 °С); 3) молибденитовая и молибденит-кварцевая (320—280 °С); 4) кварц-пиритовая и теннантитэнаргитовая (230—190 °С); 5) кварц-галенит-сфалеритовая; 6) доломитовая и доломит-халцедоновая (150—110 °С); 7) ангидритгипсовая (110—80 °С).

К гидротермальным месторождениям относятся Шахтама, Калгуты, Каджаран, Сора в СССР, Кляймакс в США, Кнабен в Норвегии, Эндако в Канаде и др.

Шахтаминское месторождение открыто в 1936 г. Рудное поле месторождения сложено в основном магматическими породами палеозойского и мезозойского возраста. Осадочные отложения занимают небольшую площадь и представлены нижнеюрскими песчаниками и конгломератами, собранными в небольшие складки. Наиболее интересное в практическом отношении полиметаллически-молибденовое оруденение сосредоточено в осевой части Шахтаминского гранодиоритового массива, там, где он прорван субвулканическими телами гранит-порфиров. По форме рудные тела представлены жилами, зонами с прожилково-вкрапленной минерализацией и минерализованными дайками. Руды месторождения в основном кварц-молибденовые и кварц-карбонат — галенит-сфалеритовые. На месторождении выделяются 8 стадий минерализации: 1) кварцевая, 2) кварц-турмалиновая, 3) кварц-хлоритовая, 4) кварц-полевошпато-шеелитовая; 5) кварц-молибденитовая, 6) кварц-карбонат-полиметаллическая, 7) кальцитовая и 8) халцедоновая.

9.2.7. Месторождения вольфрама

Основными минералами вольфрама являются вольфрамит ($(\text{Mn}, \text{Fe})\text{WO}_4$, шеелит CaWO_4 .

Вольфрам тесно ассоциирует с молибденом и оловом и встречается в тех же генетических типах месторождений, что и эти металлы. Выделяются следующие промышленные месторождения вольфрама: скарновые (Ингичка, Восток-II, Тырныауз в СССР, Сан-Дон в Южной Корее, Пайн-Крик в США и др.), грейзеновые (Акчатау, Кара-Оба, Спокойнинское в СССР, Циновец в Чехословакии, Вольфрам-Кемп в Австралии и др.), гидротермальные (Букука, Богуты в СССР, Корнуолл в Великобритании, Ред-Роуз в Канаде и др.).

С коренными месторождениями тесно связаны вольфрамитовые и касситерит-вольфрамитовые россыпи, образующиеся за счет разрушения главным образом грейзеновых и гидротермальных месторождений вольфрама.

9.2.8. Месторождения висмута

Минералы висмута, имеющие промышленное значение, встречаются главным образом в комплексных рудах совместно с вольфрамом, оловом, мышьяком или ураном. Соответственно выделяются скарновые (с вольфрамом), грейзеновые (с вольфрамом и оловом) и гидротермальные (с мышьяком или ураном) месторождения висмута.

9.2.9. Месторождения сурьмы

Главнейшим минералом сурьмы является антимонит Sb_2S_3 .

Среди месторождений сурьмы выделяются седиментогенные (стратиформные) и магматогенные (гидротермальные) месторождения.

Стратиформные месторождения тесно связаны с карбонатными отложениями, перекрытыми сланцами. По карбонатным породам развивается окварцевание с образованием специфических пород джаспероидов, в которых размещаются рудные тела пласто- или линзообразной формы. Рудные залежи имеют протяженность около первых километров при мощности от нескольких метров до 40—50 м. Основными минералами являются антимонит и кварц; второстепенными — киноварь, марказит, пирит, арсенопирит, кальцит, серицит, барит.

К стратиформным месторождениям относятся Кадамджай, Терек в СССР, Рыбново в Болгарии, Перетта в Италии и др.

Кадамджайское месторождение расположено в Киргизской ССР, на северном склоне Алайского хребта. В геологическом строении района месторождения принимают участие среднепалеозойские карбонатные и терригенные породы. Оруденение локализуется в контакте нижнекаменноугольных известняков с тектонически надвинутыми сланцами девона. Все промышленно ценное оруденение локализуется в роговиково-джаспероидных брекчиях под экраном глинистых сланцев девона. Основным рудным минералом является антимонит, второстепенными — пирит, марказит, реальгар, аурипигмент, халькопирит, галенит, сфалерит. Нерудные минералы представлены кварцем, в малых количествах присутствуют флюорит, кальцит, барит, серицит.

Гидротермальные месторождения образовались в результате воздействия на вмещающие алюмосиликатные породы низкотемпературных гидротермальных растворов, предположительно отделявшихся из очагов базальтоидной магмы. Рудные тела имеют жильную форму и приурочены к тектоническим или вулкано-тектоническим структурам. По минеральному составу выделяются кварц-антимонитовые монометалльные сурьмяные руды и комплексные руды, содержащие олово, мышьяк, вольфрам, медь, свинец, цинк и др.

К гидротермальным месторождениям относятся Удерейское, Сарылах, Сары-Булак в СССР, Пезинок в Чехословакии, Эздимир в Турции и др.

Удерейское месторождение находится в Енисейском крае. Месторождение приурочено к интенсивной зоне смятия и расланцевания среди протерозойских слабо метаморфизованных песчано-глинистых отложений. Зона прослеживается в северо-восточном направлении на несколько километров; падение зоны крутое на северо-запад под углом 75—80°. Сурьмяное оруденение локализуется в кварцевых жилах и прожилках, пронизывающих вмещающие сланцы. В рудах, кроме широко распро-

страненных кварца и антимонита, присутствуют пирит, на отдельных участках — бертьерит, сидерит, арсенопирит. Кроме того, отмечается присутствие тонкодисперсного золота.

9.2.10. Месторождения ртути

Главнейшими минералами ртути являются киноварь HgS и самородная ртуть Hg .

Жидкое состояние при нормальной температуре, способность растворять (амальгамировать) золото, серебро, олово, кадмий, свинец, висмут, излучение в парообразном состоянии ультрафиолетовых лучей и взрываемость некоторых соединений обусловили разнообразное применение ртути в электро- и радиотехнике, в медицине.

Месторождения ртути являются преимущественно постмагматическими низкотемпературными гидротермальными образованиями. Отсутствие на ряде месторождений ртути признаков непосредственной связи с магматическими породами позволяет отнести их к седиментогенным (стратиформным) месторождениям.

Стратиформные месторождения развиты среди терригенных или карбонатных отложений, собранных в складчатые структуры и осложненных разрывными нарушениями. Рудные тела имеют в основном пластообразную форму, значительную протяженность при мощности от нескольких метров до 30—40 м. Минералообразование имеет стадийный характер. В предрудную стадию происходило окварцевание с образованием джаспероидов, на которые накладывается рудная минерализация в виде антимонита и киновари. Послерудная стадия характеризовалась образованием кварц-флюорит-кальцитовых прожилков.

К стратиформным месторождениям относятся Никитовка, Хайдаркан в СССР, Альмаден в Испании и др.

Никитовское месторождение открыто в конце XIX века. Находится оно в Донбассе и приурочено к главной Донецкой антиклинали. Оруденение размещается в толще среднего карбона, сложенной глинистыми сланцами, песчаниками, известняками и прослоями каменных углей. Наиболее благоприятными для локализации ртутного оруденения оказались мощные пласты песчаников, подвергшихся дроблению в результате складчатых и разрывных нарушений. По форме рудных тел выделяются жилы, линзы и линзообразные тела, рудные штокверки, пластообразные залежи, гнезда. Рудные минералы — киноварь, антимонит, арсенопирит, пирит, марказит; нерудные — кварц, карбонаты, хлорит, гидрослюда.

Гидротермальные месторождения развиты преимущественно в областях современного или молодого вулканизма и тесно связаны с производными базальтовой магмы. Месторождения контролируются вулканическими или вулкано-

тектоническими структурами. Форма рудных тел преимущественно сложная. Руды имеют полиминеральный состав. Среди ртутных минералов наблюдаются киноварь и самородная ртуть.

К вулканогенным и гидротермальным месторождениям относятся Пламенное, Чempyра, Ланское в СССР, Монте-Амиата в Италии, Исмаил в Алжире, Опалит в США и др.

Пламенное месторождение находится на Чукотке и связано с вулканическим куполом мелового возраста. Месторождение приурочено к крупному сбросу, по которому внедрились субвулканические тела андезитов и развились зоны гидротермальной измененных пород, сброс является главной рудопроводящей структурой. К зонам окварцевания приурочены обогащенные киноварью участки. По составу руд Пламенное месторождение является сурьмяно-ртутным.

9.3. МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ, РЕДКИХ И РАДИОАКТИВНЫХ МЕТАЛЛОВ

К благородным металлам относятся золото, серебро, платина и металлы ее группы — палладий, иридий, родий, осмий, рутений. К редким металлам относятся более 30 элементов, которые подразделяются на редкие щелочные элементы — литий, рубидий и цезий; редкие тугоплавкие элементы — тантал, ниобий, гафний и цирконий; легкие элементы — бериллий; редкоземельные элементы — лантан, церий, самарий, иттрий, скандий; рассеянные элементы — германий, рений, таллий, кадмий, индий, галлий, селен, теллур и др. К радиоактивным элементам относятся уран и торий.

9.3.1. Месторождения золота

Основным минералом золота является самородное золото Au.

Золото встречается в различных генетических типах месторождений, но и наибольшее промышленное значение имеют седиментогенные, гидротермальные и метаморфогенные месторождения.

Седиментогенные месторождения. В этой группе известны аллювиальные, элювиальные, делювиальные, пролювиальные и прибрежно-морские россыпи золота, образующиеся при разрушении коренных месторождений в процессе их выветривания.

Гидротермальные месторождения золота разделяются на плутоногенные гидротермальные месторождения, связанные с гранитоидными батолитами и малыми интрузиями, и вулканогенные гидротермальные месторождения, связанные с проявлениями вулканизма.

Типичным представителем первой группы является Березовское месторождение на Урале. Рудные жилы месторождения

сосредоточены в пределах даек, залегающих среди песчаников, сланцев и туффитов среднего палеозоя с заключенными среди них пластообразными телами серпентинизированных перидотитов и пироксенитов. Вмещающие породы слагают пологую синклиналь, разбитую сбросами и прорванную дайками. Последние внедрялись, как установили в 1947 г. Н. И. и М. Б. Бородаевские, в следующем порядке: плагиосиенит-порфиры, лампрофиры, гранодиорит-порфиры, гранит-порфиры, плагиогранит-порфиры.

Рудные жилы сложены друзовидным кварцем, содержащим пирит, а также турмалин, шеелит, анкерит, доломит, кальцит, халькопирит, галенит, тетраэдрит, айкинит. Выделяются четыре стадии минералообразования: кварцевая, кварц-пиритовая, тетраэдрит-галенит-айкинитовая и карбонатная. Рудовмещающие дайки гранитоидов преобразованы в агрегат кварца, серицита и пирита.

К плутоногенным гидротермальным месторождениям относятся, кроме того, Дарасунское, Кочкарское, Джетыгаринское в СССР, Колар в Индии, Бендиго в Австралии и многие другие.

Представителем вулканогенных гидротермальных месторождений является Балейское месторождение в Забайкалье. Месторождение приурочено к грабену, выполненному континентальными терригенными отложениями позднего мела и палеогенового времени мощностью до 650 м. Подстилаются эти отложения верхнеюрскими конгломератами и палеозойскими гранитами. Среди осадочных пород широко развиты малые тела и дайки диоритовых порфиров, туфов и туфобрекчий, которые являются продуктами нижнемелового вулканизма и с очагами которых связывается золотое оруденение Балейского месторождения.

Рудные жилы локализованы под экранирующими зонами смятия и окварцевания. Н. В. Петровская в 1973 г. выделила следующие стадии минералообразования: 1) кварц-халцедоновую; 2) кварц-адуляр-каолинитовую; 3) кварц-карбонатную; 4) кварц-сульфидную; 5) золото-пираргиритовую; 6) кварц-антимонитовую.

К вулканогенным гидротермальным относятся месторождения Зод, Карамкен в СССР, Крипл-Крик в США, Поркьюпайн в Канаде и др.

Метаморфогенные месторождения представлены уникальным месторождением метаморфизованных золотоносных конгломератов — Витватерсранд и широко распространенным типом прожилково-вкрапленных золоторудных месторождений в черносланцевых толщах.

Месторождение Витватерсранд находится на территории Южно-Африканской Республики, к югу от г. Йоганнесбурга. Месторождение представляет собой протерозойскую дельтовую россыпь, преобразованную впоследствии процессами метаморфизма в условиях фации зеленых сланцев с локальной пере-

группировкой рудного вещества. Рудные тела состоят из пачек золотоносных конгломератов, разделенных прослоями кварцитов.

Золотоносные конгломераты сложены в основном гальками светлого кварца, кварцита и сланца. Цемент состоит из кварца, хлорита, биотита, хлоритоида, серицита, эпидота, карбонатов, углистого вещества и рудных минералов.

Содержание золота в среднем составляет 10 г/т, пробность его 900—935.

Золоторудные месторождения прожилково-вкрапленного типа в основном приурочены к углеродсодержащим черносланцевым толщам докембрийского возраста. Генезис проявления золоторудной минерализации рассматриваемого типа дискусионен, однако большинство исследователей считают его метаморфогенным (Я. Н. Белевцев, В. А. Буряк и др.). Так, по мнению В. А. Буряка, в процессах метаморфизма золото выносилось из всех литологических разновидностей пород в прогрессивный этап регионального метаморфизма и при гранитизации осадочно-метаморфических толщ. Золото выносятся из высокотемпературных зон амфиболитовой фации метаморфизма и накапливается в породах низкотемпературной зеленосланцевой или дозеленосланцевой фации, концентрируясь в благоприятных структурах при наложении на регионально-метаморфизованные породы приразломного метаморфизма.

9.3.2. Месторождения серебра

Важнейшими минералами серебра являются самородное серебро Ag и аргентит Ag_2S .

Основная часть серебра находится в комплексных серебро-содержащих рудах гидротермальных месторождений, наиболее значительными из которых являются вулканогенные золото-серебряные месторождения. Кроме того, серебро содержится в рудах свинцово-цинково-серебряных, колчеданно-полиметаллических, скарновых, медно-порфирировых месторождений и в медистых сланцах.

Вулканогенные гидротермальные месторождения серебра приурочены к вулканическим поясам. Так, полиметаллические золото-серебряные месторождения тяготеют к поясу палеоген-неогеновых вулканических пород Северной и Южной Америк азиатской части Тихоокеанского кольца, к внутренней зоне Карпат в Европе и др. Месторождения размещаются среди вулканогенных пород кислого и среднего состава обычно в виде пучков жил, прорезающих вулканические жерла или приуроченных к коническим и радиальным трещинам. В минеральном составе рудных тел отмечаются кварц, халцедон, опал, адуляр, карбонаты, из рудных минералов — пирит, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, а также серебро-содержащие минералы (аргентит, стезфанит и др.).

К вулканогенным гидротермальным месторождениям серебра относятся Пачука в Мексике, Комсток в США, Титоси в Японии и др.

9.3.3. Месторождения платины и платиноидов

Известно около 50 минералов платиноидов. Важнейшее значение имеют самородная платина, иридий и палладий; поликсен Pt, Fe; палладистая платина Pt, Pd; иридистая платина Pt, Ir.

Среди месторождений платины выделяются седиментогенные (россыпные) и магматогенные (ранне- и позднемагматические) месторождения.

Россыпные месторождения образовались в результате разрушения платиноносных массивов ультраосновных пород. Основное промышленное значение имеют позднечетвертичные аллювиальные россыпи, распространенные на территории СССР, США, Колумбии, Заира, Эфиопии и других стран.

Раннемагматические месторождения представляют собой сульфидные медно-никелевые месторождения, в рудах которых в качестве примесей содержатся платина, палладий и родий.

Позднемагматические месторождения платины связаны с массивами дифференцированных ультраосновных пород. Так, на Урале месторождение платиноидов приурочено к одноименному массиву, центральная часть которого сложена платиноносными дунитами, а по периферии развиты пироксениты и габбро. Платиноиды встречаются как в виде рассеянной вкрапленности, так и в форме гнезд хромитов с повышенной концентрацией платиноидов.

9.3.4. Месторождения редких металлов

Основными минералами редких металлов являются сподумен $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, литиевая слюда — лепидолит, петалит $\text{Li}[\text{AlSi}_4\text{O}_{10}]$, берилл $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$, хризоберилл BeAl_2O_4 , колумбит-танталит $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6 = (\text{Fe}, \text{Mn})\text{Ta}_2\text{O}_6$, циркон ZrSiO_4 , бадделейт ZrO_2 .

Месторождения лития. Основным источником лития являются минерализованные воды и гранитные пегматиты. Среди минерализованных вод различаются межкристаллизационная рапа высохших соленых озер, рассолы высыхающих бассейнов, подземные рассолы, подземные воды нефтяных и газовых месторождений и термальные воды областей современного вулканизма.

Среди литиевых пегматитов выделяются следующие разновидности: 1) крутопадающие протяженные жильные тела сподумен-альбитового состава; 2) пологозалегающие тела микроклин-сподумен-альбитового состава; 3) мощные крутые трубо-

образные и линзообразные тела микроклин-сподумен-альбитового состава.

К пегматитовым месторождениям лития относятся Квебек, Онтарио в Канаде, Бикита в Зимбабве, Лондондерри в Австралии и др.

Месторождения бериллия. Основными генетическими типами промышленных месторождений являются: 1) пегматитовые, связанные с гранитами, на долю которых до последнего времени приходилась практически вся мировая добыча; 2) грейзеновые, приуроченные к апикальным частям гранитных куполов и породам кровли; 3) плутоногенные и вулканогенные гидротермальные, связанные со щелочными гранитоидами и кислыми эффузивами; 4) полевошпатовые метасоматиты, развивающиеся в зонах древних глубинных разломов.

Месторождения тантала и ниобия. Одним из основных источников тантала являются россыпные месторождения, среди которых выделяются делювиально-аллювиальные и аллювиальные россыпи.

Среди коренных месторождений существенное значение имеют гранитные пегматиты, из которых тантал извлекается попутно с другими редкими металлами; полевошпатовые метасоматиты и карбонатиты, являющиеся важным источником получения ниобия и других редких металлов.

Месторождения циркония и гафния. Основным промышленным типом месторождений циркония являются современные и древние морские россыпи, широко распространенные в Австралии, США, Индии, Бразилии, КНДР и КНР.

Гафний — типичный рассеянный элемент, собственных минералов не образует, извлекается попутно с цирконием.

Месторождения рассеянных металлов. Так же, как и гафний, эти металлы (цезий, рубидий, скандий, галлий, германий, селен, теллур, индий, кадмий и др.) почти не образуют самостоятельных минералов и месторождений; извлекаются попутно при переработке других полезных ископаемых.

Практически весь цезий получают при переработке лепидолитовых и сподуменовых концентратов (литиевые руды); рубидий — из калийных солей и лепидолитовых концентратов; скандий — из вольфрамитовых и касситеритовых концентратов; галлий — извлекают попутно при получении алюминия из бокситов; германий — из медно-свинцово-цинковых руд и германий содержащих углей и железных руд осадочного генезиса; селен и теллур — из медных, полиметаллических и никелевых руд; индий и кадмий извлекаются из металлургической пыли и газа; выделяющихся при выплавке цинка из сфалеритовых концентратов.

Месторождения радиоактивных металлов — урана и тория. Уран добывается как из самостоятельных урановых месторождений, так и из комплексных руд. Из ураносодержащих минералов наибольшее практическое значение имеет

уранинит UO_2 . Среди месторождений урана выделяются седиментогенные, магматогенные и метаморфогенные месторождения.

Седиментогенные месторождения представлены осадочными накоплениями урана в карбонатных, углисто-кремнистых, фосфатсодержащих породах, торфяниках, бурых углях, лигнитах, твердых битумах, а также в обломочных породах.

Среди магматогенных месторождений выделяются пегматитовые, плутоногенные и вулканогенные гидротермальные месторождения.

Метаморфогенные месторождения представлены метаморфизованными ураноносными углисто-кремнистыми сланцами и конгломератами.

Торий не образует самостоятельных месторождений и извлекается попутно из комплексных руд других полезных ископаемых. Ториевые и торийсодержащие минералы встречаются в пегматитах, карбонатитах, в россыпях и метаморфизованных конгломератах.

Глава 10. МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В группу неметаллических полезных ископаемых входят минеральные образования, которые не являются сырьем для извлечения металла и не обладают горючестью. Они употребляются в народном хозяйстве целиком как горная порода без нарушения первичной целостности или используются для извлечения из них определенных минералов.

Неметаллические полезные ископаемые условно разделяются на три группы: 1) химическое сырье (апатит, фосфорит, соли, сера, барит и др.); 2) промышленное сырье (алмаз, асбест, тальк, кварц, слюда, графит и др.); 3) строительные материалы (известняк, мрамор, гипс, глина, песок, песчаник, гравий и др.).

10.1. ХИМИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ

10.1.1. Месторождения фосфатного сырья

Так называемые агрономические руды, служащие для получения фосфатных удобрений, относятся к двум генетическим группам — магматической и осадочной. Первая представлена месторождениями апатита, вторая — фосфоритов.

Магматические месторождения апатита Хибинских тундр пространственно и генетически связаны с крупными массивами щелочных пород. Апатитовые руды слагают протяженные жилы и линзовидные горизонты в всячем боку интрузивных тел.

Повышенные содержания апатита нередко связаны с рудами магматических месторождений железа и меди. Так, на Волковском месторождении медно-железо-ванадиевых руд, приуроченном к восточной части Баранчинского массива основных пород на Среднем Урале, апатит присутствует в габбро в виде вкрапленности совместно с основными рудными компонентами: титаномагнетитом, ильменитом, халькопиритом, борнитом, халькозинном и ковеллином. Местами габбро сильно обогащено апатитом, вплоть до образования магнетит-apatитовой руды. Содержание апатита в рудах 6—8 %.

К важнейшим осадочным фосфоритоносным отложениям, в которых обнаружены крупные и уникальные месторождения, относятся: а) пестроцветные песчано-алевролитомергелистые толщи краевых прогибов палеогена и неогена (Вятско-Камский и Актюбинский бассейны); б) терригенно-глинисто-карбонатные толщи молодых платформ (месторождения Ашинское, Белкинское в СССР, Флориды и Северной Каролины в США с крупными залежами карстовых фосфоритов); в) кремнисто-доломитовые толщи геосинклинальных прогибов верхнего протерозоя и нижнего кембрия, к которой относится Каратауский бассейн в СССР и недавно открытый и разведанный бассейн Джорджина в Австралии, заключающий крупные месторождения зернисто-оолитовых фосфоритов.

Новоукраинское месторождение расположено в Актюбинской области Казахской ССР. Продуктивная толща состоит из двух горизонтов, разделенных однометровым слоем безрудного песка. Верхний горизонт мощностью около 2 м включает четыре прослоя фосфоритов. Нижний горизонт мощностью 0,3 м лежит на размытой поверхности подстилающих песков.

Фосфориты галечниково-желвакового и песчанистого типов. Фосфориты чаще всего состоят из слабо раскристаллизованных фосфоритных стяжений, оолитов, зерен кварца, полевого шпата, опала, глауконита, глинистых частиц, карбонатов, скрепленных фосфатным, реже кремнисто-карбонатным цементом. Содержание P_2O_5 в рудах составляет 11—16 %.

10.1.2. Месторождения минеральных солей

Комплекс ископаемых минеральных солей, представленный в основном хлоридами и сульфатами натрия, калия и магния, связан с галогенными отложениями.

Промышленные залежи калийно-магниевых солей обычно приурочены к наиболее крупным по площади и мощным галогенным толщам. Такие толщи на территории СССР обнаружены среди отложений кембрия, верхнего девона, нижней перми, верхней юры — нижнего мела и неогена.

Галогенные толщи, вмещающие месторождения различных минеральных солей, являются осадочными образованиями, в которых обычно преобладают химические осадки. Их еще

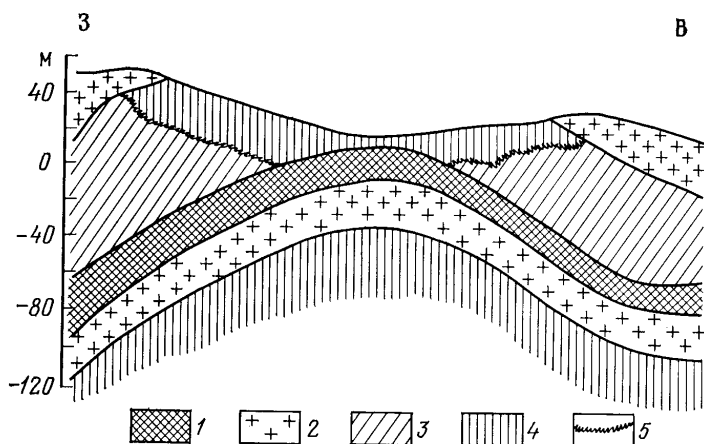


Рис. 76. Схематический геологический разрез Верхнекамского месторождения (по А. А. Иванову)

1 — сильвинит; 2 — каменная соль; 3 — карналлитовые породы; 4 — соленосная ангидрит-карбонатная пачка; 5 — вторичный сильвинит

называют эвапоритами, т. е. отложениями, возникающими при испарении морской воды и рассолов. Галогенные толщи подстилаются и перекрываются карбонатными или пестроцветными отложениями.

Среди современных солеродных бассейнов известны три типа: континентальный — озерный и два морских: лагунный и закрытых заливов (например, Кара-Богаз-Гол). Для прежних эпох было характерно грандиозное соленакопление в открытых заливах и во внутриконтинентальных солеродных морях.

К числу крупных месторождений калийных солей морского происхождения относится Верхнекамское месторождение в Пермской области. На него приходится около половины добычи калийных солей СССР. В разрезе соленосных отложений выделяются (снизу вверх) ангидрит-карбонатная пачка, подстилающая каменную соль, сильвинитовая пачка, сильвиниткарналлитовая пачка и покровная каменная соль (рис. 76). Мощность подстилающей каменной соли (в мм) 250—450, сильвинитовой пачки 20—25 и сильвинит-карналлитовой 20—115.

Залежи калийных солей характеризуются простым минеральным составом: кроме сильвина и карналлита из собственно галогенных минералов в них присутствуют только галит, гипс и ангидрит. Соляные породы сложены галитом (каменной солью), сильвином, входящим вместе с галитом в состав сильвинита, и карналлитом, образующим вместе с галитом карналлитовую породу.

По сравнению с морскими континентальным галогенным отложениям обычно свойственны меньшие пло-

щади распространения и бóльшая глинистость. Представлены континентальные галогенные отложения четырьмя основными подтипами: хлоридным, хлоридно-сульфатным, содовым и нитратным.

Хлоридные и хлоридно-сульфатные галогенные отложения распространены в межгорных впадинах, а содовый и нитратный подтипы континентальных отложений на территории СССР известны лишь в областях современного солончаково-озерного соленакпления. Среди континентальных соленосных отложений известны объекты крупной соледобычи в Донбассе, Прикарпсии (Илецк), Закарпатье (Солотвино) и Закавказье (Аван). Кроме того, с соленосными отложениями связаны огромные ресурсы ангидритового (гипсового) и карбонатного сырья.

10.1.3. Месторождения серы

Сера в природе распространена преимущественно в виде сернистых и кислородных соединений, представленных сульфидами и сульфатами, а также присутствует в естественных газах, нефти и водах некоторых минеральных источников, входит в состав белков и содержится в организмах животных и растений. Лишь небольшая часть серы встречается в самородном виде, но именно она имеет главное промышленное значение, так как извлекается наиболее просто и дешево.

Все крупнейшие осадочные месторождения серы являются инфильтрационно-метасоматическими. Они образуются эпигенетически, за счет сульфата кальция (ангидрита, гипса) материнских галогенных толщ и являются продуктом замещения этих сульфатов новообразованиями серы и кальция (месторождения Прикарпатья, Среднего Поволжья, Средней Азии и др.).

Все известные месторождения вулканической серы развиты в областях молодого и современного вулканизма (п-ов Камчатка, Курильские острова, Япония). Образование основной массы серных месторождений связано здесь с гидротермальными процессами, обусловившими образование серы среди вторичных кварцитов (опалитов).

10.2. ИНДУСТРИАЛЬНОЕ СЫРЬЕ

10.2.1. Месторождения алмазов

Все известные коренные месторождения алмаза связаны с кимберлитами, которые представляют собой производные ультраосновной магмы и образуются в платформенных условиях. На территории СССР кимберлиты широко развиты только на Сибирской платформе. Кимберлиты образуют преимущественно трубки взрыва (диатремы), реже — дайки. Трубки взрыва выполнены эруптивной брекчией, состоящей из обломков (или

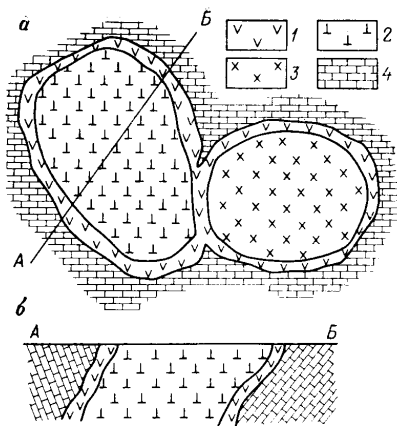


Рис. 77. План (а) и разрез (б) кимберлитовой трубки «Удачная»

1 — кимберлит карбонатизированный; 2 — кимберлитовая брекчия; 3 — кимберлит базальтового облика; 4 — карбонатные породы

представлены тремя разновидностями: кимберлитовой брекчией, кимберлитами базальтового состава и кимберлитами приконтактной зоны (рис. 77). В брекчии встречаются в большом количестве включения известняков, доломитов, аргиллитов, метаморфических пород. Размер включений колеблется от долей миллиметра до 0,5 м. Кимберлиты базальтового состава представляют собой плотную породу порфировидного строения от темно-зеленой до черно-зеленой окраски. В породе встречаются в большом количестве обломки свежего оливина. Осветленные и рыхлые породы промежуточной зоны очень сильно изменены гидротермальными процессами, пронизаны густой сетью жил и прожилков кальцита и гипса и ожелезнены. В состав кимберлитов входят алмаз, оливин, пироп, пироксены, хромит, магнетит, графит, гранаты и др. Алмаз присутствует в виде изолированных, хорошо выраженных кристаллов и их обломков.

Осадочные алмазоносные породы представлены по преимуществу грубообломочными разностями — галечниками, гравелитами, конгломератами, приуроченными к нижним горизонтам разновозрастных терригенных толщ.

Наибольшую практическую ценность имеют полимиктовые континентальные алмазоносные толщи четвертичного возраста. С ними связано подавляющее большинство россыпных месторождений промышленного значения.

включений) и магматической связующей массы. Первичный минеральный состав последней был существенно оливиновым. Порфировые вкрапленники представлены оливином, основная масса — оливином, пироксеном и флогопитом, превращенными в агрегат серпентина, хлорита и карбоната.

Месторождения алмазов в СССР располагаются на территории Якутии. Здесь в 1954 г. открыто первое в СССР коренное месторождение алмазов — кимберлитовая трубка «Зарница». В настоящее время в пределах Сибирской платформы открыты кимберлитовые тела, часть из которых алмазоносна.

Трубка «Удачная» открыта в 1955 г. Кимберлиты трубки

10.2.2. Месторождения асбеста

Асбестами именуются минералы, легко расщепляемые на тончайшие прочные и гибкие волокна. Различают две группы асбестов: хризотил-асбест и амфибол-асбест. На долю хризотил-асбеста приходится около 95 % всей добычи и потребления асбестов.

Месторождения хризотил-асбеста составляют две группы. В первую входят месторождения в ультраосновных магматических породах, во вторую — месторождения в магнезиальных карбонатных породах. Важнейшее значение для народного хозяйства имеет первый тип месторождений хризотил-асбеста. Месторождения этого типа приурочены к частично серпентинизированным ультраосновным массивам и характеризуются значительными размерами асбестовых залежей, окаймляющих перидотитовые ядра. Руды представлены простыми и сложными отороченными жилами, крупной и мелкой сетками жил, сложными (без оторочек) жилами в серпентинитах. Хризотил-асбестизация, по данным К. К. Золоева, является одной из стадий процесса гидротермального метаморфизма ультраосновных пород, связанного с воздействием на последние постмагматических растворов. Крупные месторождения хризотил-асбеста в СССР: Баженовское, Джетыгаринское и Киембаевское, за рубежом — Ист-Брутон в Канаде, Лоуэлл в США и др.

Баженовское месторождение расположено непосредственно в районе г. Асбеста, в 57 км к северо-западу от Свердловска. Месторождение приурочено к одноименному массиву ультраосновных пород. Этот массив пронизан многочисленными жилами гранитов. В результате процессов метаморфизма ультраосновные породы серпентинизированы, карбонатизированы и оталькованы. В серпентинитах развиты жилы асбеста, в совокупности образующие асбестовые залежи, имеющие концентрически-зональное строение, вокруг перидотитовых ядер массива.

Месторождения второй группы приурочены к участкам развития магнезиальных карбонатных пород (доломитов и доломитизированных известняков), прорванных интрузиями кислого или основного состава. Руды представлены одиночными жилами или сериями параллельных жил иногда значительной протяженности. Месторождения обычно невелики, однако руды их содержат маложелезистый асбест. Благодаря низкой электропроводности такой асбест незаменим в некоторых областях промышленности.

Месторождения антофиллит-асбеста залегают в метаморфизованных ультраосновных породах. Антофиллит-асбест развивается в высокомагнезиальных ультраосновных породах, отвечающих по исходному составу перидотитам и дунистам. Они легче подвергаются метасоматическим превращениям в условиях привноса кремнезёма и двуокиси углерода по срав-

нению с другими породами. Геологическая позиция месторождений антофиллит-асбеста, по данным Г. А. Кейльмана, определяется приуроченностью их к сложно- и глубокометаморфизованным гнейсово-мигматитовым комплексам.

В зависимости от характера изменения асбестоносных пород, степени их асбестизации и особенностей руд выделяются пять типов месторождений антофиллит-асбеста: сысертский, талдыкский, беломорский, приазовский, мурзинский. Промышленное значение имеет лишь сысертский тип (Терсутское, Бугетсайское месторождение на Урале). Он включает в себя месторождения в ультраосновных породах, залегающих среди древних толщ, претерпевших высокотемпературный региональный метаморфизм, интенсивно гранитизированных и мигматизированных. Руды представлены тальк-антофиллитовыми и тальк-карбонат-антофиллитовыми, сильно асбестизированными породами пучковатой, пучковато-звездчатой и звездчатой структур.

Терсутское месторождение расположено в 20 км к западу от г. Сысерть Свердловской области. Месторождение открыто в 1965 г. Асбестоносные ультраосновные породы залегают среди гранитов и гранитогнейсов, между которыми отмечаются взаимные переходы. Ультраосновные породы образуют линзообразные, осложненные раздувами и пережимами иногда расщепляющиеся тела.

Асбестоносные тела слагаются в различной степени серпентинизированными, оталькованными и антофиллитизированными дунитами и перидотитами. Наибольшим развитием пользуются тальк-карбонат-антофиллитовые и тальк-антофиллитовые породы, которые образуют залежи мощностью от нескольких метров до 120 м. Антофиллит-асбестовое оруденение приурочено в основном к наиболее измененным породам.

10.2.3. Месторождения талька

Талькосодержащие породы широко распространены в природе. Некоторые их разновидности содержат тальк (обычно в ассоциации с карбонатами, хлоритом, тремолитом, серпентином) в количестве, достаточном для его промышленного извлечения (более 35—40 %).

Многочисленные месторождения талька и талькового камня встречаются в ультраосновных породах. К ним относятся Шабровское, Сыростанское, Правдинское, Медведевское, Сысертское, Джетыгаринское, Курчумское, Дмитриевское и другие месторождения.

Ультраосновные породы, за счет которых образуются тальковые и тальк-карбонатные породы, обычно залегают среди слабо метаморфизованных терригенно-осадочных толщ, сложенных филлитовыми, углисто-филлитовыми, кремнистыми, серицито-кварцевыми, карбонатно-кварцевыми и другими мета-

морфическими сланцами, представляющими отдаленное обрамление мигматитовых комплексов.

Широко известное Шабровское месторождение тальк-магнезитового камня на Урале приурочено к полосе метаморфизованных осадочно-вулканогенных пород ордовика и силура, вмещающих пластообразные тела основных и ультраосновных пород. Вмещающие породы слагают Шабровскую грабен-синклинали, расположенную на северном фланге Сысертского мигматитового комплекса, и представлены кремнистыми, филлитовыми, слюдисто-кварцевыми сланцами и мраморами. Основные и ультраосновные породы, залегающие согласно с вмещающими сланцами и известняками, представлены пироксенитами, дунитами и габброидами. В результате региональных и локальных метаморфических и метасоматических процессов эти породы превращены в серпентиниты, талько-магнезитовые, хлорито-магнезитовые, тальковые и хлоритовые породы.

Шабровское месторождение представляет собой сложную по форме, вытянутую согласно с вмещающими породами, залежь, имеющую крутое падение, в общем согласное с падением вмещающих пород. Сложная форма залежи обусловлена разветвлением на два тела, называемых Старой и Большой линзами, которые, сливаясь в юго-восточной части месторождения, образуют Новую линзу. Рудная залежь имеет длину 2,5 км при мощности 200—350 м.

10.2.4. Месторождения слюд

Из минералов группы слюд практическое применение имеют мусковит и флогопит.

Все промышленные месторождения крупнолистоватого мусковита располагаются в гнейсово-мигматитовых комплексах. Главная масса крупных кристаллов мусковита находится в пегматитах или пегматоидных образованиях, представляющих собой перекристаллизованные мигматиты. Известны случаи, когда крупные кристаллы мусковита располагаются в жильных гранитах и гнейсах, что свидетельствует о наложенном характере основного ослюденения*. Положение слюдоносных зон в мигматитовых комплексах контролируется проявлением высокотемпературного метаморфизма, являющегося повторным по отношению к раннему, еще более высокотемпературному метаморфизму. Слюдообразование происходит метасоматическим путем в условиях повышенной кислотности, характерных для зон тектонического сжатия. Крупнокристаллический мусковит в пегматитах и во вмещающих породах образуется за счет собирательной перекристаллизации мелкочешуйчатого мусковита, разло-

* Достаточно широко распространены слюдоносные пегматиты, связанные с гранитными интрузиями, в которых крупный мусковит является сингенетичным, т. е. образованным одновременно с пегматитом. Но промышленного значения эти месторождения не имеют.

жения и гидролиза плагиоклаза в условиях ориентированного давления.

Большинство месторождений мусковита в СССР находится в юго-восточной части Сибири (бассейны рек Мамы, Витима и др.), в Карелии, а также на Урале.

Слюдяногорское месторождение находится на горе Слюдяной, в Челябинской области. Район месторождения сложен глубокометаморфизованными породами раннего докембрия, среди которых широко развиты мигматиты, переходящие при перекристаллизации в пегматиты. Из 100 выявленных на месторождении пегматитовых жил к слюдоносным относятся 30.

Месторождения флогопита представлены двумя генетическими типами. Первый тип месторождений флоготипа — скарновый — образовался на контактах известково-доломитовых пород с гранитоидами. Месторождения этого типа находятся в Восточной Сибири (Слюдянка, Алдан). Второй тип флогопитовых месторождений связан с комплексом ультраосновных — щелочных пород, развивающихся в платформенных условиях в процессе метасоматического изменения ультраосновных пород с образованием флогопита под воздействием постмагматических растворов щелочных интрузий. Представителями этого типа являются Ковдорское и Гулинское месторождения.

10.2.5. Месторождения кварца

Кварц — один из наиболее распространенных минералов в земной коре. Наибольшую ценность имеет прозрачный крупнокристаллический кварц — горный хрусталь, применяемый как пьезооптический материал.

Среди промышленных месторождений кварца выделяют следующие генетические типы: пегматитовые, гидротермальные, россыпные.

Пегматитовые тела с кристаллами кварца характеризуются наличием обособленного кварцевого ядра, занимающего иногда значительную часть объема жильного тела. В отдельных случаях наблюдаются переходы от пегматитов к кварц-полевошпатовым и существенно кварцевым жилам. Кристаллы кварца встречаются в пустотах, называемых хрусталеносными гнездами, или занорышами (рис. 78).

Гидротермальные кварцевые жилы также в некоторых случаях содержат хрусталеносные гнезда. Формирование их происходит, по-видимому, не в одну стадию. Пространственные и генетические гидротермальные хрусталеносные жилы связаны с зонами проявления метаморфизма, сопряженного с гранитообразованием.

При разрушении коренных месторождений горного хрусталя, он благодаря высокой твердости и прочности переходит в россыпи, образуя в ряде случаев промышленно-ценные вторичные месторождения.

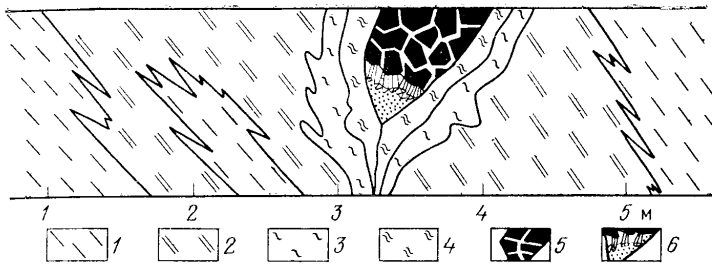


Рис. 78. Геологический разрез хрусталеносной жилы

1 — вмещающие кристаллические сланцы с мелкими зернами ставролита; 2 — мусковитизированные сланцы с крупными порфиробластами ставролита; 3 — биотит-мусковитовая зона; 4 — андалузит-мусковитовая зона; 5 — кварцевая жила; 6 — хрусталеносное гнездо

В последние годы в сферу промышленного использования вовлечена еще одна разновидность кварцевого сырья — **гранулированный кварц**. Исследованиями Г. Н. Вертушкова, Г. А. Кейльмана, В. И. Якшина и др. установлено, что гранулированный зернистый жильный кварц, связанный с гнейсово-мигматитовыми комплексами и освобожденный от вредных примесей, может заменить дефицитный горный хрусталь при производстве высококачественного кварцевого стекла. В настоящее время месторождения и проявления гранулированного кварца выявлены на Среднем, Южном Урале, в Казахстане и других регионах. Пока единственным промышленным из них является Кыштымское месторождение, расположенное в пределах Уфалейского гнейсово-мигматитового комплекса на Среднем Урале.

10.2.6. Месторождения графита

Известны две генетические группы месторождений этого сырья — **контактово-метаморфизованные** и **собственно метаморфогенные**.

Контактово-метаморфизованные месторождения аморфного графита размещаются среди угленосных отложений вблизи контактов гранитных интрузий. Например, Боевское месторождение аморфного графита на Урале залегает среди углисто-кварц-серицитовых сланцев и приурочено к восточному экзоконтакту Коневско-Карасьевской гранитной интрузии.

Другим примером может служить Курейское месторождение, генетически связанное с пластами каменного угля Тунгусского бассейна в Красноярском крае. Каменные угли палеозойского возраста подверглись сильному контактовому метаморфизму под воздействием трапповых интрузий, в результате чего произошло образование графита.

Метаморфогенные месторождения гнейсово-сланцевых комплексов, в которых нередко можно видеть все разновидности твердых минеральных выделений свободного углерода — от углистого вещества до крупночешуйчатого графита. Промышленно-ценным считается явнокристаллическая, чешуйчатая разновидность графита, используемая в электротехнике, химической, металлургической и других отраслях промышленности.

Типичным представителем месторождений крупночешуйчатого графита является Тайгинское месторождение, расположенное в центральной части Сысертско-Ильменогорского комплекса на Урале.

В районе месторождения графитоносными в той или иной степени являются самые разнообразные породы: биотитовые, биотит-амфиболовые, амфиболовые гнейсы и слюдястые кварциты. В приконтактных частях пегматитов, залегающих в графитсодержащих гнейсах, также наблюдаются чешуйки графита в сростании с мусковитом и биотитом. Промышленную же ценность представляют лишь биотитовые графитсодержащие гнейсы.

Мощность графитсодержащих прослоев и пластов варьирует в пределах от 5 до 130 м. Графит в гнейсах имеет форму удлиненных или округлых чешуек, обычно с неровными краями. Размеры чешуек в поперечнике — от долей миллиметра до 1—1,5 мм, реже 4—5 мм, толщина 0,03—0,1 мм. Графит часто ассоциирует с биотитом, серицитом и хлоритом, а в амфиболовых гнейсах — с зернами роговой обманки.

10.3. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К строительным материалам относятся полезные ископаемые, используемые во многих отраслях народного хозяйства в качестве естественных строительных камней (горные породы с высокими прочностными свойствами — граниты, кварциты и т. д.), для производства кирпича, цемента, посуды, глинистых растворов (пемза, перлиты, глинистые породы), вяжущих веществ (известняки, гипсы и ангидриты), в химической, нефтяной промышленности (каолины, бентониты, диатомиты, трепелы и опоки), для камнелитейного производства (базальты, диабазы), при строительстве дорог (песок, гравий, щебень) и т. д.

10.3.1. Месторождения строительного камня

Природными каменными материалами, пригодными для получения бута и щебня для бетона и дорожного строительства, для нарезки облицовочных плит и т. д., являются в основном изверженные горные породы — граниты, сиениты, порфириды, габбро и др. В качестве строительного материала использу-

ются также осадочные карбонатные породы (мраморы, доломиты, известняки). Приведем краткое описание двух типичных месторождений — гранита и мрамора.

Шарташское месторождение гранита расположено в районе г. Свердловска, в пределах центральной части крупного Шарташского гранитного массива. Месторождение, представленное крупно-, средне- и мелкозернистым биотитовым гранитом, разведано до глубины 50 м. Все разновидности гранитов характеризуются высокой механической прочностью, имеют временное сопротивление сжатию от 118 до 226 МПа, водопоглощение от 0,17 до 0,37 % и объемную массу 2,56—2,7.

Мраморское месторождение технического мрамора расположено на Южном Урале, в 6 км от ст. Мраморская. Мрамор месторождения крупнозернистый, серый, участками белой окраски, весьма монолитный. Нередко добываемые монолиты имеют размеры 20—30 м³. Высокие технические свойства мрамора в связи с большой монолитностью обеспечивают его широкое применение для архитектурно-строительных целей, в электротехнике, для изготовления различных технических и хозяйственных изделий.

10.3.2. Месторождения цементного сырья, гипса и ангидрита

В качестве цементного сырья используются известняки, мергели, опоки, глины, широко развитые в толщах осадочных пород различного возраста, начиная от древнейших верхнепротерозойских до самых молодых четвертичных отложений. Практически запасы их неисчерпаемы. В связи с этим поиски новых месторождений цементного сырья в основном определяются не особенностями природного размещения сырья, а условиями экономики и географии его потребления.

Месторождения гипса и ангидрита, используемых в качестве вяжущих веществ, для получения строительных, формовочных, медицинских и поделочных материалов, принадлежат к осадочным образованиям, и только незначительная часть месторождений гипса относится к группе месторождений выветривания. Гипс в месторождениях осадочного типа является вторичным образованием, возникающим в результате гидратации ангидрита грунтовыми водами.

Гипс и ангидрит широко развиты на западном склоне Урала. Основная масса их месторождений приурочена к мощной гипс-ангидритовой толще пермского возраста, протягивается широкой полосой (40—60 км) вдоль западного склона Урала от Верхнепечорского Приуралья до Каспийского моря, часто образуя высокие скалистые обнажения.

10.3.3. Месторождения глин

Глины, как полезные ископаемые, являются одной из самых распространенных разновидностей осадочных пород.

Гидрослюдистые глины и глины пестрого минерального состава, не являющиеся огнеупорными, применяются для изготовления грубой керамики (строительный кирпич, черепица и пр.), а также используются в цементной промышленности.

Каолины и каолинитовые глины встречаются относительно редко, представляют собой ценные полезные ископаемые. Они необходимы для керамической (фарфоро-фаянсовой), огнеупорной, бумажной, резиновой, мыловаренной, косметической и других отраслей промышленности.

Глины монтмориллонитовой группы раньше назывались сукновальными в связи с их применением для обезжиривания сукна. Кроме того, они используются в нефтяной промышленности для очистки нефтепродуктов, в пищевой промышленности для очистки растительных масел, животных жиров, уксуса, вин и фруктовых соков. Широкое применение монтмориллонитовые глины находят для приготовления глинистых растворов, необходимых для бурения скважин.

Глины образуются в разнообразных физико-географических условиях. Гидрослюдистые глины широко распространены как в континентальных, так и в морских отложениях. Каолинитовые глины типичны в основном для континентальных отложений, формируются преимущественно в коре выветривания. Монтмориллонитовые глины в большинстве случаев являются продуктами подводного выветривания (гальмиролиза) вулканического пепла, однако возникают и на суше при выветривании основных пород.

Глава 11. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРЮЧИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В группу горючих полезных ископаемых, или каустобиолитов, включаются ископаемые угли, горючие сланцы, нефть и горючие газы. Угли и горючие сланцы образуют подгруппу твердых горючих ископаемых, или каустобиолитов, угольного ряда.

11.1. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

11.1.1. Условия образования ископаемых углей и горючих сланцев

Геологическими предпосылками образования ископаемых углей и сланцев являются наличие растительности и благоприятные палеоклиматические и геотектонические условия, обуславливающие накопление углеродистого вещества, его захоронение и преобразование.

Пышное развитие растительности — один из основных факторов угле- и сланцеобразования, возникновению которого в значительной мере способствует влажный климат. В относительно пониженных участках рельефа в условиях влажного климата происходит образование озер и болот, в которых идет процесс накопления растительных остатков и превращения их в торф или сапрпель, которые служат исходным материалом для ископаемых углей и горючих сланцев. Для формирования пластов твердых горючих ископаемых большой мощности необходимо, чтобы скорость погружения области захоронения растительных остатков соответствовала скорости их накопления. При ускоренном погружении области накопления растительных остатков процесс углеобразования прекращается, а при поднятии — угленакопление сменяется эрозией, в результате которой образовавшиеся залежи торфа или сапрпели размываются.

Процесс образования твердых горючих ископаемых протекает в две стадии: 1 — оторфование и 2 — углефикация. В первую стадию образуются торф и сапрпель, во вторую — ископаемые угли и горючие сланцы.

Торф образуется за счет разложения (гумификации) остатков высших растений в избыточно увлажненной среде, при ограниченном доступе воздуха, а сапрпель — при тех же условиях за счет разложения (битуминизации) остатков низших растений, амёб, личинок и тому подобных организмов.

В процессе углефикации из торфа и сапрпели образуются ископаемые угли. Сначала из торфа и сапрпели получается бурый уголь, затем при повышении температуры (примерно до 300—325 °С) и давления бурый уголь превращается в каменный уголь, а при дальнейшем повышении температуры (до 350 °С) и давления из каменных углей образуется антрацит.

Среди горючих сланцев по происхождению и составу выделяются сланцы торфяного происхождения (буроугольные, каменноугольные и углистые) и сапрпелиты, образовавшиеся за счет остатков низших растений и животного планктона.

11.1.2. Состав и качественная характеристика ископаемых углей

В составе ископаемых углей выделяют форменные элементы и основную массу, различимые под микроскопом.

Форменные элементы — это остатки растительной ткани, в той или иной мере углефицированные, имеющие в тонких срезах черную или красновато-бурю окраску, различный блеск и обладающие разной твердостью. По этим признакам выделяется четыре основных типа форменных элементов, именуемых ингредиентами: фюзен — матовый, мягкий; витрен — блестящий, хрупкий; дюрен — матовый, мягкий; кларен — блестящий, относительно твердый. Основная масса, цементирующая форменные

элементы, в гумусовых углях имеет зернистое строение, в сапропелитовых она относительно однородна, в микроскопических срезах — прозрачна.

От содержания в углях тех или иных ингредиентов зависит способность их к коксованию и возможность использования в металлургии. Кларено-витреновые угли хорошо коксуются, наличие же фюзена и дюрена снижает эту способность.

Качественные особенности углей определяются с помощью технического анализа, в ходе которого определяется содержание таких компонентов, как влага (W), зола (A), кокс (K), летучие вещества (V), сера (S), а также теплотворная способность (Q). Компоненты K и V составляют основную полезную горючую часть углей, а W и A — негорючую бесполезную. Теплотворная способность Q — количество тепла, получаемое при сгорании одного килограмма горючего, составляет для бурого угля $16 \cdot 10^3$ — $25 \cdot 10^3$ кДж, каменного угля $33 \cdot 10^3$ — $45 \cdot 10^3$ кДж, антрацита $37 \cdot 10^3$ — $38 \cdot 10^3$ кДж.

11.1.3. Месторождения ископаемых углей

Месторождением ископаемых углей называется участок земной коры с естественным скоплением угольных залежей или пластов.

Комплекс осадочных пород, среди которых залегают пласты угля, называется угленосными отложениями. Угленосные отложения представлены чаще всего песчано-глинистыми породами: песчаниками, алевролитами, глинистыми сланцами, реже конгломератами и известняками. Угленосные отложения, образовавшиеся в прибрежно-морских условиях, называются паралическими, а угленосные отложения, образовавшиеся в замкнутых водоемах — озерах, болотах, старицах, — называются лимническими.

Совокупность месторождений ископаемых углей, связанных общими геологическими условиями формирования, называется угольным бассейном.

Угольные бассейны обычно приурочены к крупным отрицательным тектоническим структурам: синклинориям, грабенам, синеклизам. Например, Карагандинский бассейн представляет собой синклинорий, вытянутый в широтном направлении на восток и запад от г. Караганды (Казахская ССР). Угленосные отложения этого бассейна образовались в геосинклинальных условиях и представлены разнообразными терригенными породами с прослоями известняков и многочисленными пластами угля. Промышленная угленосность бассейна связана с каменноугольными отложениями. Всего отложения содержат 94 угольных пласта, каждый из которых имеет в среднем мощность 1—1,5 м.

По условиям образования угольные бассейны подразделяются на геосинклинальные, промежуточные и платформенные.

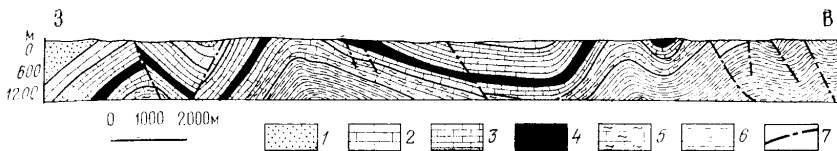


Рис. 79. Геологический разрез Кизеловского угольного бассейна

1—2 — отложения пермской системы: 1 — артинский ярус, 2 — сакмарский ярус; 3—4 — отложения каменноугольной системы: 3 — непродуктивные толщи; 4 — угленосные толщи; 5 — отложения девонской системы; 6 — додевонские отложения; 7 — тектонические нарушения

Геосинклинальные бассейны формируются преимущественно на поздней стадии геосинклинального развития в прибрежных и лагунных условиях осадконакопления. Для них характерны: большая мощность угленосных отложений, достигающая нескольких километров, большое число пластов угля и их значительная протяженность, сложное тектоническое строение и метаморфизм. К бассейнам геосинклинального типа относятся Донецкий, Кузнецкий, Карагандинский, Печорский, Кизеловский и др. На рис. 79 в качестве примера приведен разрез Кизеловского каменноугольного бассейна.

Бассейны промежуточного типа формировались на стадии, переходной к платформенной в лагунных, прибрежно-континентальных и озерно-болотных условиях. Для них характерны средняя мощность угленосных отложений, редко достигающая нескольких километров, ограниченное количество пластов угля, незначительная протяженность, сравнительно слабая дислоцированность. К бассейнам промежуточного типа относятся Минусинский, Экибастузский, Буренский и др.

Платформенные бассейны образовались на платформах в лагунных и континентальных условиях. Для них характерны сравнительно малая мощность угленосных отложений, редко достигающая сотен и первых тысяч метров, небольшое число угольных пластов, незначительная их протяженность, но нередко — повышенная мощность пластов угля, отсутствие интенсивных дислокаций и метаморфизма. К платформенным бассейнам относятся Подмосковский, Тунгусский, Канско-Ачинский, Иркутский и др.

Изучение особенностей распределения угольных месторождений позволило выделить несколько угленосных поясов, в пределах которых в определенные эпохи происходило обильное накопление угленосных отложений и угля. На территории СССР академики И. И. Горский и П. И. Степанов выделяют пять поясов угленакопления.

Пояс девонского угленакопления прослеживается от Печоры до Кузбасса, на долю углей девонского возраста приходится менее 0,1 % запасов СССР.

Пояс каменноугольного угленакопления протягивается от Донецкого до Минусинского бассейна, охватывая Львовско-Волынский, Донецкий, Подмосковский, Кизеловский, Челябинский, Карагандинский, Тунгусский и Кузнецкий бассейны. Запасы углей каменноугольного возраста составляют 7,8 % запасов СССР.

Пояс пермского угленакопления прослеживается в полосе, проходящей от Печорского до Минусинского бассейна. Пермский возраст имеют также угли части Кузнецкого и Тунгусского бассейнов. На долю пермских углей приходится 37,4 % запасов Советского Союза.

Пояса нижнемезозойского угленакопления подразделяются на южную и северную ветви. Южная ветвь охватывает месторождения Крыма, Кавказа, Средней Азии. Северная ветвь протягивается от Урало-Каспийского бассейна на восток, включая Карагандинский, Кузнецкий, Канско-Ачинский, Иркутский, Алданский бассейны. Нижнемезозойские угли составляют 24 % угольных запасов СССР.

Пояс верхнемезозойского угленакопления прослеживается от Забайкалья до восточной границы СССР, охватывает угольные месторождения Забайкалья, Ленский, Буреинский и Сучанский бассейны. Запасы верхнемезозойских углей составляют 29 %.

Кайнозойское угленакопление самостоятельного пояса не образует. Угольные месторождения палеогенового и неогенового возраста известны в ряде районов СССР (Урал, Украина, восточные области), а их запасы составляют 1,5 % от угольных запасов страны.

11.1.4. Месторождения горючих сланцев

Горючие сланцы широко распространены среди угленосных отложений, где они залегают в виде отдельных пластов или пачек, однако нередко они образуют и самостоятельные месторождения или сланцевые бассейны.

По условиям накопления органического материала горючие сланцы разделяются на два типа: 1) образовавшиеся в морских условиях и 2) образовавшиеся в континентальных условиях. Первый тип характеризуется широким площадным распространением, исчисляемым тысячами квадратных километров. К одному из крупных в СССР относится Оленекский бассейн, заключающий 70 % запасов горючих сланцев, а также Прибалтийский бассейн, месторождения Поволжья и Заволжья.

Горючие сланцы второго типа залегают обычно среди угленосных отложений в виде небольших линз и самостоятельных месторождений практически не образуют.

Нефть и природные горючие газы относятся к каустобиолитам битумного ряда. В отличие от твердых горючих ископаемых нефти и газы характеризуются подвижностью и способностью пропитывать другие породы. Иногда пористые породы, в которых скапливается нефть, залегают среди нефтематеринских отложений; в таких случаях образуются первичные залежи нефти. Однако в силу указанных выше свойств нефть встречается нередко в тех местах, в которые она переместилась. В таких случаях формируются вторичные залежи нефти.

Нефтяные залежи часто сопровождаются скоплением горючих газов. В связи с еще большей подвижностью по сравнению с нефтью газы обычно концентрируются в периферических частях нефтегазоносных бассейнов, в структурах, которые могут служить ловушками для газов.

Существует две гипотезы происхождения нефти: одна предполагает образование нефти неорганическим путем, другая — за счет органического вещества. Более широким признанием пользуется вторая гипотеза. В соответствии с ее положениями образование нефти и газа происходит в песчано-глинистых, карбонатных и кремнистых осадках, богатых органическим материалом, при благоприятных условиях захоронения и преобразования исходных илов. Наиболее благоприятными для нефте- и газообразования являются глинистые отложения, из которых образовавшиеся нефть и газы мигрируют и накапливаются в пористых породах.

Как отмечает академик И. М. Губкин — основоположник современного учения о нефти, образование ее начинается еще в илах и в породе не вполне отвердевшей, и по мере того как эта порода под влиянием возрастающего давления все более и более уплотнялась, жидкость из нее выжималась в рыхлые породы (в пески, известняки и др.). Первоначально рассеянное в осадках органическое вещество превращалось в нефть и газы, которые, мигрируя, концентрировались в благоприятных структурах. Таким образом, необходимым условием образования нефти и природных газов является присутствие в осадках органического материала. Однако в отличие от углей, образующихся за счет преобразования остатков высших растений, формирование нефти и газа протекает за счет преобразования без доступа кислорода веществ смешанного животного и растительного происхождения, среди которых преобладают остатки одноклеточных организмов.

Следующим обязательным условием нефте- и газообразования является быстрое погружение территории, на которой происходит накопление органогенных илов. В случае быстрого захоронения осадков в последних создается восстановительная среда, затрудняющая окисление компонентов осадка.

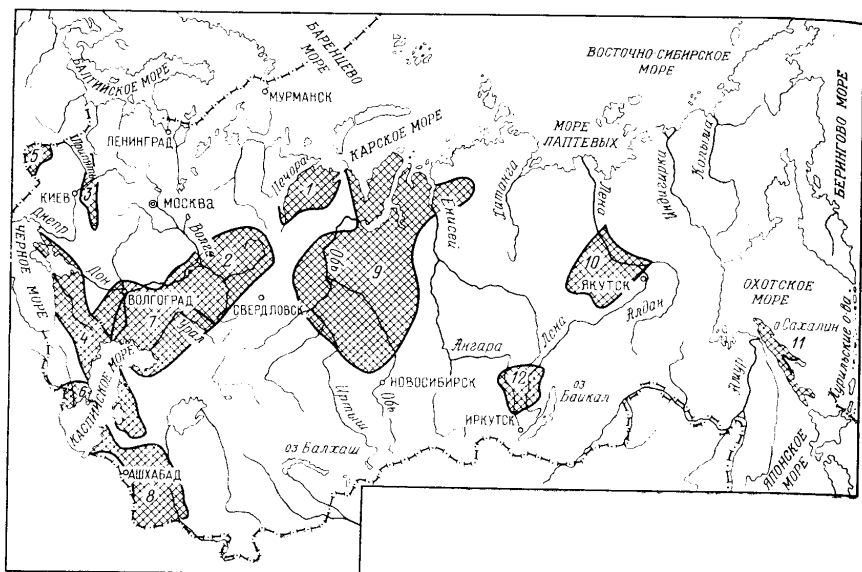


Рис. 80. Схематическая карта нефтегазоносных провинций и областей СССР (по А. И. Кравцову, А.П.Бакалдиной, 1979)

Палеозойские: 1 — Тимано-Печорская область, 2 — Волго-Уральская область, 3 — Днепро-Донецкая область. Мезокайнозойские: 4 — Крымско-Предкавказская провинция, 5 — Предкарпатская область, 6 — Восточно-Кавказская область, 7 — Урало-Эмбинская область, 8 — Средне-Азиатская провинция, 9 — Западно-Сибирская провинция, 10 — Восточно-Сибирская платформа, 11 — Сахалинская область, 12 — Лено-Ангарская область

Для образования нефтяного месторождения, кроме наличия в разрезе нефтеносных пород, необходима еще благоприятная геологическая структура. Наиболее перспективными в отношении нефтеносности являются брахиформные антиклинали и купола. Такие структуры характерны для месторождений Апшеронского полуострова, Волго-Уральской области и других нефтеносных областей.

Нефте- и газопроявления и нефтегазоносность установлены в отложениях различного возраста — от докембрия до кайнозоя. В пределах СССР известны следующие нефтегазоносные провинции и области: Западно-Сибирская, Среднеазиатская, Крымско-Предкавказская нефтегазоносные провинции и Тимано-Печорская, Волго-Уральская, Днепро-Донецкая, Предкарпатская, Восточно-Кавказская, Урало-Эмбинская, Западно-Туркменская, Лено-Ангарская, Камчатско-Сахалинская нефтегазоносные области (рис. 80).

Глава 12. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЪЕМКА, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых — важнейшие отрасли геологии, призванные обеспечить систематическое изучение геологического строения территории страны, создание надежной минерально-сырьевой базы и эффективное удовлетворение текущих потребностей горнодобывающей промышленности. Соответственно работа по геологическому изучению недр складывается из трех этапов: 1) геологическая съемка; 2) поиски и 3) разведка месторождений полезных ископаемых, хотя в практике эти виды работ так или иначе совмещаются.

12.1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Геологическая съемка — один из основных видов геологических исследований, задачей которого являются систематическое и всестороннее изучение геологического строения верхней части земной коры и оценка перспектив выявления на конкретных участках тех или иных видов минерального сырья. Конечным результатом геологической съемки является геологическая карта, представляющая собой графическую модель участка земной коры, выполненную методами картографии. Сущность составления геологической карты заключается в выявлении геологического строения данного участка земной поверхности, прослеживании на местности границ геологических тел и нанесении их на топографическую основу — специально упрощенную топографическую карту.

В зависимости от детальности исследования геологическая съемка подразделяется на мелкомасштабную (1:1 000 000 и 1:500 000), среднемасштабную (1:200 000 и 1:100 000), крупномасштабную (1:50 000 и 1:25 000) и детальную (1:10 000 и крупнее).

Мелкомасштабная съемка представляет собой первый этап геологического исследования территории, имея целью дать общее представление о ее геологическом строении и возможном геолого-экономическом потенциале. В СССР этот этап работ в основном завершен, и в масштабах 1:1 000 000 и 1:500 000 обычно составляются сводные карты крупных горнопромышленных областей.

Средне- и крупномасштабные съемки являются основными видами картирования всех важных в практическом отношении районов и в первую очередь районов, перспективных в отношении выявления месторождений тех или иных полезных ископаемых. Эти виды съемок всегда сопровождаются поисковыми работами.

Детальные геологические съемки проводятся в пределах территорий распространения определенного полезного ископаемого в целях определения геологии месторождений, закономерностей расположения рудных тел и служат основанием для постановки разведочных работ.

Существенной особенностью крупномасштабных и детальных съемок является необходимость получения объемного представления о геологическом строении изучаемого участка, что обуславливает широкое применение геофизических методов исследования, а также буровых и горных работ.

Геологические съемки масштаба 1 : 50 000 и крупнее проводятся в основном групповым методом, причем изучается территория более или менее крупной геологической структуры, занимающей площадь серии смежных топографических планшетов соответствующего масштаба. Такое картирование позволяет получить более представительный и многосторонний фактический материал, дающий возможность составить наиболее полное представление об изучаемом объекте, сократить время и средства на проведение геологосъемочных работ по сравнению с картированием отдельными планшетами.

Процесс геологического картирования разделяется на периоды:

1) подготовительный, 2) полевой и 3) камеральный.

Основными задачами подготовительного периода являются: составление проекта работ, организация партии, обеспечение ее необходимым снаряжением и оборудованием, топографическими картами, аэрофотоснимками, изучение фондовых и литературных материалов, предварительное дешифрирование аэрофотоматериалов и составление предварительных геологических карт по району работ. Продолжительность периода 2—3 месяца.

В начале полевого периода обычно организуются ознакомительные рекогносцировочные маршруты, во время которых все исполнители знакомятся с геологическими особенностями района работ. При этом вырабатывается единая номенклатура горных пород, техника проведения маршрутов и документации наблюдений. При необходимости производятся аэровизуальные наблюдения с самолета или вертолета.

В дальнейшем осуществляются рабочие маршруты, которые проводят или пересечениями вкрест простираения горных пород (применяются преимущественно при мелкомасштабных съемках), или прослеживанием геологических границ по простираению (при крупномасштабных съемках). Обычно, особенно при среднемасштабных съемках, в зависимости от местных условий комбинируются оба эти приема. Метод прослеживания геологических границ отличается тем преимуществом, что позволяет непосредственно определить положение в пространстве геологических тел и структурных элементов, которые должны быть отражены на геологической карте.

Важнейшая роль при проведении геологосъемочных работ принадлежит аэрометодам. Суть этих методов заключается в дешифрировании — выявлении на аэрофотоснимках контуров геологических тел, стратиграфических границ, складчатых структур, разрывных нарушений и т. д. Результаты дешифрирования проверяются, уточняются и увязываются с геологическими данными, полученными в наземных условиях (в маршрутах).

В подавляющем большинстве случаев геологическая съемка проводится с применением геофизических методов. Эти методы основаны на измерении значений физических полей приповерхностных частей земной коры.

Горные породы обладают различной плотностью, упругостью, магнитностью, электропроводностью, радиоактивностью, чем и определяется неоднородность физических полей над разнообразными геологическими комплексами.

Плотностные свойства горных пород зависят от их минерального состава и пористости. Наиболее плотные магматические и метаморфические породы; минимальной плотностью обладают рыхлые осадочные образования. В кристаллических горных породах плотность увеличивается, в зависимости от их состава, от кислых разностей к основным и ультраосновным. Таким же образом меняются и упругие свойства горных пород, возрастая от рыхлых к массивным породам и от кислых к основным. Плотностные и упругие свойства горных пород служат основанием для применения соответственно гравиметрических и сейсмических методов геофизического картирования и поисков.

Магнитные свойства горных пород, используемые при магнитометрических и магниторазведочных работах, зависят в первую очередь от наличия в породах ферромагнитных минералов — магнетита, гематита, ильменита, пирротина и некоторых других. Наиболее магнитными среди магматических пород являются ультрабазиты, особенно их метаморфические производные — серпентиниты и талькиты. Весьма высокой магнитностью обладают метаморфические образования типа железистых кварцитов. Среди осадочных пород несколько повышенной магнитностью отличаются песчаные отложения, особенно туфопесчаники; практически немагнитны известняки, мергели, гипсы.

Радиоактивность горных пород зависит от содержания в них минералов радиоактивных элементов. Радиоактивность магматических пород возрастает от ультраосновных к кислым, а осадочных — от известняков к глинам. Особенно радиоактивны некоторые жильные образования — пегматиты, определенные разновидности рудных жил, минерализованные зоны разломов и т. п.

Электрические свойства горных пород, используемые при электроразведке, зависят от присутствия в них некоторых минералов, таких как сульфиды, графит и некоторые другие. В очень большой степени электропроводность определяется

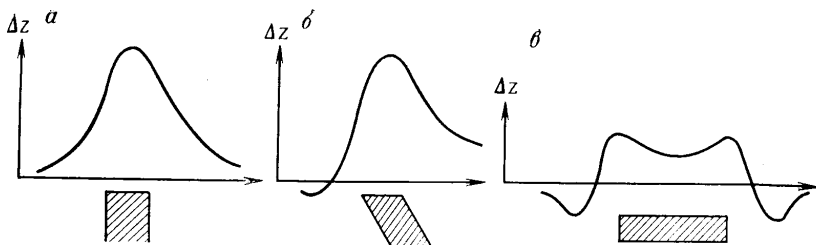


Рис. 81. Кривые вертикальной составляющей магнитного поля
a — над вертикальным пластом, *б* — над наклонным пластом, *в* — над горизонтальным пластом

пористостью, обводненностью пород, характером минерализации грунтовых вод. С помощью электроразведки хорошо удается выявлять и проследить разрывные нарушения.

Систематические наблюдения физических полей в сопоставлении с геологическими данными позволяют оконтуривать и проследить в пространстве положение разнообразных геологических тел, структур, минерализованных зон и т. д. Особенно ценно, что геофизические методы дают возможность выявлять и определять форму и условия залегания геологических тел, не выходящих на дневную поверхность (рис. 81). Однако надо иметь в виду, что факторы, влияющие на физические свойства пород, могут изменяться в зависимости от условий их залегания, характера выветривания, степени обводненности, в связи с чем геофизические данные необходимо постоянно сопоставлять с геологическими наблюдениями.

Крупномасштабные и детальные геологические съемки проводятся с применением горных работ и бурения.

При геологическом картировании большое значение имеет правильно осуществляемая техника полевых работ: ведение полевой записной книжки — полевого дневника, составление полевой геологической карты, сбор каменного материала (см. 12.6).

Составление полевой геологической карты является важнейшей задачей полевых геологических исследований. Полевая геологическая карта представляет собой планшет топографической карты, обычно вдвое крупнее масштаба, чем масштаб проводимой съемки. Планшет обычно разрезают на четыре или шесть частей и наклеивают на плотную тонкую материю (бязь, холст) с промежутками так, чтобы он легко складывался. На полевую карту специальными значками непосредственно в маршруте наносятся все результаты геологических наблюдений: точки наблюдения, разновидности горных пород, границы различных геологических образований, элементы залегания и др.

Исключительное значение при этом имеет непосредственное дешифрирование аэрофотоснимков.

Важный составной элемент полевых работ — сбор коллекций образцов горных пород, окаменелых остатков организмов, руд и т. д. Все отобранные образцы этикетировывают и записывают в журнал образцов, в котором должны быть указаны дата, номера точек наблюдения с указанием их местоположения, название породы, возраст (название свиты, массива и т. п.), отметка о необходимости изготовления шлифа, направления на анализы и т. д.

Продолжительность полевого периода в зависимости от географической широты местности составляет 4—6 месяцев.

В камеральный период изучают весь собранный коллекционный материал; систематизируют информацию, содержащуюся в полевых дневниках, завершают дешифрирование аэрофото-материалов, уточняют полевую геологическую карту, карту полезных ископаемых и другие карты; составляют сводную стратиграфическую колонку и геологические разрезы и, наконец, пишут геологический отчет, который утверждается в установленном порядке и сдается в Геологический фонд.

Главным элементом отчета является геологическая карта, изображающая в том или ином масштабе геологическое строение изученного района. На геологической карте посредством особых условных знаков показывают распространение горных пород на земной поверхности, условия их залегания, возрастные взаимоотношения, тектоническую структуру и т. д.

Геологическая карта сопровождается стратиграфической колонкой, геологическими разрезами и серией специальных карт.

Стратиграфическая колонка разрабатывается на основе возрастного подразделения осадочных и метаморфических пород, отражая последовательность их образования. Колонку вычерчивают в виде вертикального столбца, в котором стратиграфические единицы, выделенные на карте, располагают в возрастной последовательности снизу вверх, отделяя от соседней при согласном залегании прямой горизонтальной чертой, при несогласном — соответствующей волнистой линией.

Геологические разрезы составляют, раскрашивают и индексируют в строгом соответствии с геологической картой и увязывают с ней по контурам и условным знакам. Разрез строится, как правило, через всю площадь изученного листа, вкрест простирания пород по наиболее характерному направлению.

Набор специальных карт весьма многообразен. Он определяется спецификой геологического строения района и дополнительными задачами, которые ставятся перед геологосъемочными работами в каждом конкретном случае.

Карты четвертичных отложений. Так как четвертичные отложения на геологической карте обычно не изобра-

жают (условно снимают), они отражаются на особых картах, где подразделяются по возрасту, происхождению и составу.

Геоморфологические карты. На них изображают основные типы рельефа и его отдельные элементы с учетом их происхождения и возраста.

Гидрогеологические карты. Основой для гидрогеологических карт является геологическая карта, на которой горные породы в зависимости от возраста, происхождения или состава объединены в комплексы, обладающие общими гидрогеологическими свойствами. Каждый из комплексов показывают условным знаком, соответствующим степени водообильности пород и химическому составу содержащихся в них вод.

Карты полезных ископаемых представляют собой геологическую карту, на которую условными знаками наносят распространенные на данной площади полезные ископаемые, разделяемые по генетическим типам, значимости и т. д.

Инженерно-геологические карты. На этих картах, на фоне данных о возрасте и составе пород, отражают физические свойства пород: пористость, проницаемость, устойчивость и другие сведения, необходимые при строительстве, сооружении гидротехнических объектов и т. д.

Кроме описанных видов специальных карт, в зависимости от особенностей геологического строения региона и решаемых задач составляют карты структурно-тектонические, новейшей тектоники, литолого-петрографические, литолого-фациальные, палеогеографические, геохимические, гидрогеохимические, металлогенические, весьма разнообразные геофизические и многие другие, отражающие те или иные особенности геологии изученной территории.

Геологическая карта сопровождается текстовым отчетом, в котором содержится полная геологическая характеристика района и приводятся рекомендации относительно дальнейшего направления геологических исследований.

Геологическая съемка всегда сопровождается поисковыми работами. Задачей этих работ является:

- 1) выявление полезных ископаемых и установление их связи с особенностями геологического строения района;
- 2) изучение пространственных закономерностей размещения полезных ископаемых;
- 3) опробование и предварительная оценка перспектив обнаружения месторождений полезных ископаемых;
- 4) выделение участков для постановки поисковых и поисково-разведочных работ.

В конечном итоге геологическая съемка дает научную основу для постановки поисков и разведки выявленных на изучаемой территории месторождений полезных ископаемых.

12.2. ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

При поисках месторождений полезных ископаемых используют геологические карты и карты прогноза полезных ископаемых масштаба 1 : 50 000 — 1 : 25 000 в пределах площадей, перспективных на нахождение того или иного вида минерального сырья.

12.2.1. Этапы поисковых работ

Различают следующие этапы поисков месторождений полезных ископаемых: 1) общие поиски, 2) детальные поиски, 3) поисково-оценочные работы.

Общие поиски имеют целью выявление площадей, перспективных на нахождение месторождений полезных ископаемых, а также обнаружение самих месторождений и их оценку. Такие поиски осуществляются с помощью геологических, геофизических, геохимических методов, а также с применением горных и буровых работ. В результате общих поисков обосновывается оценка перспектив исследованной территории на тот или иной вид минерального сырья и даются рекомендации относительно очередности дальнейших более детальных поисковых работ.

Детальные поиски проводят на тех площадях, где выявлены перспективные рудопроявления, и на перспективных площадях, выделенных при общих поисках или находящихся в районах известных месторождений. Задачей детальных поисков являются оценка перспектив исследованной территории и выявление скоплений минерального сырья, заслуживающих дальнейшей оценки. Детальные поиски в зависимости от геологических условий осуществляются комплексом наиболее рациональных поисковых методов с применением горных и буровых работ. Масштаб детальных поисков (1 : 10 000 и крупнее) выбирают в зависимости от сложности геологического строения исследуемой территории и особенностей рудоносных площадей, рудных полей, ожидаемых месторождений и отдельных рудных тел.

Поисково-оценочные работы проводят на перспективных проявлениях полезных ископаемых, выявленных на ранних этапах поисков. Задача этих работ состоит в перспективной оценке выявленных минеральных скоплений и обоснованном выборе месторождений для предварительной разведки. Решение указанной задачи осуществляется при комплексном выполнении специальных геологических, геофизических и геохимических исследований с использованием буровых и горных работ; в значительных объемах проводят опробование полезного ископаемого по естественным и искусственным обнажениям. В результате поисково-оценочных работ должен быть определен геологопромышленный тип, установлены геологические границы месторождения в плане и составлен геологически обоснованный прогноз о поведении рудных тел на глубину.

12.2.2. Поисковые признаки

При проведении поисковых работ большое значение имеют поисковые признаки — геологические образования или явления, подтверждающие наличие месторождений полезных ископаемых.

Поисковые признаки разделяются на прямые и косвенные. Прямые признаки непосредственно указывают на наличие месторождений, а косвенные признаки свидетельствуют лишь о возможности обнаружения оруденения. К прямым поисковым признакам относятся: выходы полезного ископаемого, ореолы и потоки рассеяния вещества полезного ископаемого, особые физические свойства полезного ископаемого, проявляющиеся в физических полях, следы старых горных работ или переработки полезного ископаемого и исторические данные о горных промыслах.

Косвенные поисковые признаки — окolorудные изменения горных пород, наличие во вмещающих породах сопутствующих оруденению минералов, геоморфологические, гидрогеологические и геоботанические указания на возможность присутствия оруденения.

12.2.3. Методы поисков

Среди известных методов поисков различают: 1) метод геологического картирования; 2) геофизические методы; 3) поиски на основе изучения ореолов и потоков механического рассеяния; 4) поиски на основе изучения геохимических ореолов и потоков рассеяния.

Метод геологического картирования. Как отмечалось выше, геологическое картирование — научная база для поисковых работ. Непосредственной основой для проведения поисков является геологическая карта, на которой отражены геологические закономерности, контролирующие размещение полезных ископаемых (поисковые предпосылки). Выявление поисковых предпосылок с учетом поисковых признаков позволяет определить степень перспективности исследуемой территории, выделить участки для проведения поисков. Геологическая карта представляет собой также основу для постановки других методов поисков, так как знание геологического строения изучаемой территории наряду с другими факторами позволяет правильно выбрать методы поисков, определить их масштаб, направление поисковых линий, густоту точек наблюдений и, главное, правильно интерпретировать фактические материалы, полученные в результате геологосъемочных работ.

Масштабы геологических съемок, проводимых с целью поисков, зависят от сложности геологического строения и от поставленных задач.

Геофизические методы применяют на всех стадиях геологосъемочных и поисковых работ, а также при разведке

месторождений полезных ископаемых. В комплексе с геологической съемкой эти методы позволяют выявлять контуры пород различного состава по площади и на глубину, тектонические структуры, конкретные рудные проявления. Эффективность геофизических методов возрастает при их применении в комплексе с геохимическими методами, особенно при поисках месторождений, не выходящих на дневную поверхность (слепых, перекрытых толщами более молодых пород).

Поиски на основе изучения ореолов и потоков механического рассеяния. В зависимости от характера изучаемых ореолов рассеяния выделяются следующие методы поисков: а) валунно-ледниковый, б) обломочный, в) шлиховой.

Валунно-ледниковый метод применяется для поисков месторождений, предполагаемых на площадях развития ледниковых отложений. Предпосылкой для постановки поисков чаще всего служат находки рудных обломков при геологической съемке или при выполнении каких-либо других работ, например при прокладке дорог. Места обнаружения рудных обломков наносят на карту, определяют контуры ореола рассеяния. Затем с учетом характера и условия движения ледника и современных форм рельефа, механической прочности руды, вмещающих пород и т. п. определяют направление сноса обломочного материала и возможное место источника рудных обломков.

Обломочный метод основан на изучении аллювиальных, делювиальных и элювиальных ореолов механического рассеяния. Сущность метода заключается в обнаружении в рыхлых отложениях рудных обломков или сопутствующих минералов-индикаторов и систематическом прослеживании их вплоть до месторождения, находящегося в коренном залегании. Обычно поиски этим методом начинаются с изучения аллювиальных отложений. Геолог-поисковик идет вверх по реке и тщательно осматривает русловые, долинные и доступные для наблюдения террасовые отложения. При обнаружении рудных обломков или минералов-индикаторов геолог фиксирует места их находок на карте и в дневнике, а затем, установив контуры ореола рассеяния, намечает место нахождения коренного месторождения.

Обломочный метод поисков широко применяется в комплексе с геологической съемкой и другими методами поисков.

Шлиховой метод поисков применяется для выявления россыпных и коренных месторождений полезных ископаемых путем изучения механических шлиховых ореолов рассеяния. Систематическое шлиховое опробование — получение путем отмывки в воде тяжелой фракции рыхлых материалов, изучение состава шлихов, прослеживание и оконтуривание шлиховых ореолов рассеяния — дает возможность выявить наличие в рыхлых отложениях ценных минералов и определить комплекс минералов коренного месторождения.

Поиски на основе изучения геохимических ореолов рассеяния. Внедрение геохимических методов

связано с совершенствованием полуколичественных и количественных спектральных, радиоактивных и других физико-химических методов анализов. Эти методы позволяют дешево и быстро определять даже низкие концентрации ценных химических элементов по большому числу проб и выявлять таким образом не только устойчивый фон рассеяния элементов в районе исследования, но и аномальные участки с повышенными их содержаниями. На выявлении и оконтуривании таких аномалий, нередко представляющих собой ореолы рассеяния коренных месторождений, и основаны геохимические методы поисков.

В зависимости от характера ореолов рассеяния химических элементов выделяются следующие геохимические методы: 1) литогеохимический (металлометрический), 2) гидрогеохимический, 3) атмогеохимический (газовый), 4) радиометрический, 5) биогеохимический.

С помощью литогеохимического метода изучаются ореолы рассеяния химических элементов в горных породах. При этом необходимо, чтобы на фоне близкого к среднему для данного района нормального содержания выявить участки с повышенным содержанием определенных химических элементов. Для этого проводят систематическое опробование пород с целью определения содержания в них интересующих нас элементов и установления характера и формы ореолов и потоков их рассеяния.

По литогеохимическим ореолам рассеяния могут быть выявлены рудные тела, как выходящие на поверхность, так и скрытые в толще вмещающих пород.

С помощью гидрогеохимического метода изучаются гидрогеохимические ореолы рассеяния месторождений. Сущность метода заключается в систематическом отборе проб воды из водотоков и специальных выработок, составлении на основе их анализа гидрогеохимических профилей и карт и выделения участков с аномально повышенным содержанием искоемых компонентов.

С помощью атмогеохимического (газового) метода изучают газовые ореолы рассеяния. Этот метод успешно применяют для поисков газа и нефти, ископаемых углей и радиоактивных руд. Сущность его заключается в отборе газоотборником почвенного воздуха, определении в нем углеводородов и выявлении участков с повышенным их содержанием.

Радиометрические методы поисков основаны на выявлении и изучении радиоактивности горных пород и руд, связанной с наличием в них радиоактивных элементов.

Радиометрические методы по существу также являются геохимическими, так как применяются для изучения распределения радиоактивных элементов с целью выделения ореолов их рассеяния, а по ним — и самих месторождений этих элементов.

С помощью биогеохимического метода изучаются биохимические ореолы рассеяния. Сущность его заключается

в отборе растительных проб, их сжигании — озолении, анализе золы и геологическом обобщении результатов опробования.

12.2.4. Поиски месторождений, не выходящих на поверхность

По мере интенсификации геологоразведочных работ фонд месторождений, выходящих на земную поверхность, с каждым годом уменьшается, и в настоящее время возникает необходимость поисков месторождений, залегающих на некоторой глубине. К ним относятся: 1) месторождения, скрытые под чехлом рыхлых отложений (погребенные); 2) месторождения, вскрытые эрозией в предыдущие эпохи и перекрытые коренными породами иного возраста (перекрытые); 3) месторождения, залегающие в коренных породах и не вскрытые эрозией (слепые).

Поиски закрытых месторождений стоят довольно дорого и это трудная задача. Так, при поисках погребенных месторождений, залегающих под мощными четвертичными отложениями, сильно затрудняется проведение геологической съемки. В этих условиях большое значение имеют геофизические методы, используемые для выявления геологического строения территории и погребенных рудных тел. Важная роль также принадлежит геохимическим методам, основанным на изучении вторичных и в том числе погребенных ореолов рассеяния. Для правильного направления поисков данными методами необходимо проведение геологической съемки четвертичных отложений, геоморфологических и других специальных исследований.

Поиски перекрытых месторождений являются еще более сложной задачей, так как их вторичные ореолы рассеяния бывают выражены нечетко, а первичные ореолы в перекрывающих породах отсутствуют. Для поисков таких месторождений необходимо геологическое изучение территории. При этом ведущая роль принадлежит геофизическим методам как для установления поверхности перекрытия, так и для обнаружения перекрытых рудных залежей. Из геохимических методов наиболее рациональны гидрохимические исследования.

Поиски слепых месторождений осуществляются после проведения геологической съемки, тщательного изучения строения территории, анализа геологических разрезов и геологических структур. Большое значение при этом имеют косвенные поисковые признаки. Существенную помощь при поисках слепых рудных тел могут оказать методы, основанные на изучении геофизических аномалий и гидрогеохимических ореолов рассеяния. И наконец, для поисков всех видов закрытых месторождений необходимо использование в большом объеме буровых работ. Они применяются как для проверки геологических данных и подтверждения геофизических и геохимических аномалий, так и для вскрытия рудных тел.

12.3. РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Основная задача геологической разведки, которая производится на основании данных поисковых работ, заключается в выявлении геологопромышленных параметров месторождения для обоснованного проектирования и строительства горнорудного предприятия в целях наиболее полного и экономически выгодного извлечения полезного ископаемого. Решение этой задачи ведется по стадиям разведки путем последовательного приближения от общего к частному, от ориентировочных запасов к все более достоверным запасам*. Выделяются четыре основные стадии разведочных работ: предварительная разведка, детальная разведка, разведка эксплуатируемого месторождения в пределах горного отвода и эксплуатационная разведка.

12.3.1. Предварительная разведка

В результате предварительной разведки определяется промышленное значение месторождения, выделяются промышленные и непромышленные участки, а также устанавливается относительная промышленно-экономическая ценность месторождения по сравнению с другими месторождениями данного типа.

Предварительная разведка проводится на месторождениях, получивших оценку в результате поисково-разведочных работ.

В результате предварительной разведки проводящая эту работу организация должна составить заключение, или технико-экономический доклад (ТЭД), о целесообразности промышленного освоения месторождения. На основании такого заключения выносится решение о дальнейшем изучении, об очередности детальной разведки, планируются строительство горнорудного предприятия.

Задачи предварительной разведки сводятся к следующему:

- 1) определить общие размеры месторождения, т. е. установить контур месторождения по площади и на глубину;
- 2) подсчитать ориентировочные запасы промышленных категорий по количеству и распределению, обеспечивающие промышленное горнорудное предприятие;
- 3) при положительных результатах суммировать все данные для составления ТЭДа.

В результате проведения предварительной разведки устанавливаются факторы, контролируемые строение месторождения, его геологические и структурные особенности, основные закономерности изменчивости вещественного состава, распределения полезных, вредных и сопутствующих компонентов, составляют детальную геологическую карту месторождения.

* В зависимости от степени разведанности месторождения запасы разделяются на четыре категории; А, В, С₁ и С₂; характеристика их приводится ниже.

12.3.2. Детальная разведка

Детальная разведка представляет собой завершающую предпроектную стадию изучения и освоения месторождений. Она проводится на предварительно разведанных месторождениях, получивших положительную оценку, на основе составляемых после предварительной разведки ТЭДов. Особенностью детальной разведки по сравнению с поисками и предварительной разведкой является точное определение границ объекта как в плане, так и на глубину.

К специальным задачам детальной разведки относятся: 1) определение технических и технологических свойств полезного ископаемого в заводских и полузаводских условиях; 2) проведение пробно-эксплуатационных работ; 3) детальное изучение на основании специальных опытных работ гидрогеологических и инженерно-геологических условий, газового и термального режима проходки и эксплуатации горных выработок; 4) гометризации полезного ископаемого по естественным и промышленным его типам и сортам; 5) определение источников водоснабжения будущего предприятия и населения промышленного города.

На стадии детальной разведки довольно широко применяются подземные горные работы, поэтому существенным элементом геологических работ на этой стадии являются подземные геологические съемки на базе маркшейдерских планов.

Поскольку детальная разведка — завершающая стадия изучения месторождения перед его передачей в промышленность, на этой стадии обобщаются геологические материалы (ряд сводных геологических документов на основе детальной геологической карты месторождения).

Проектирование и строительство горнорудного предприятия осуществляется после окончания детальной разведки.

12.3.3. Разведка эксплуатируемого месторождения в пределах горного отвода

Основной задачей на данной стадии работ является повышение обеспеченности разведанными запасами действующего предприятия. Для этого изучают фланги и глубокие горизонты эксплуатируемого месторождения, а также доизучают контуры рудных тел в случае изменения кондиций на минеральное сырье или контуров горного отвода. Работа проводится на эксплуатируемом месторождении в контурах горного отвода и включает в себя элементы поисковых (на флангах и глубоких горизонтах) и разведочных работ с применением подземных горных выработок и подземного бурения. В результате этих работ могут быть получены материалы, уточняющие геологические и промышленные контуры месторождения и обеспечивающие оперативный пересчет запасов полезного ископаемого.

12.3.4. Эксплуатационная разведка

Основная задача эксплуатационной разведки состоит в уточнении контуров тел полезного ископаемого, его запасов и качества с целью получения надежных геологических данных и материалов для обоснования планирования эксплуатационных работ.

В результате эксплуатационной разведки могут быть увеличены запасы сырья на предприятии за счет обнаружения новых рудных тел, параллельных и слепых тел полезного ископаемого, расположенных в непосредственной близости от обрабатываемого тела; а также вовлечены в обработку некондиционные руды или уменьшены запасы за счет выявления пережимов, безрудных участков и т. п.

12.4. ОПРОБОВАНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Изучение качества полезного ископаемого проводится путем опробования. Объектами изучения могут быть отдельные пробы, природные типы или промышленные сорта руд, блоки подсчета запасов, рудные тела и месторождения в целом. Кроме того, опробовать приходится и вмещающие породы, особенно те, которые залегают внутри рудных тел или в непосредственной близости от них. В процессе опробования изучают различные показатели качества разными способами, поэтому выделяется несколько видов опробования: химическое, минералогическое, технологические и техническое.

Химическое опробование служит для изучения химического состава руд и вмещающих пород. В процессе опробования определяется содержание главных и попутных компонентов, изменение химического состава в пространстве, выявляется зависимость между содержаниями компонентов. Для большей части полезных ископаемых химическое опробование является основным. На основании полученных при этом данных производится оконтуривание рудных тел и промышленных сортов руд, а также подсчет запасов руды и отдельных ее компонентов.

Минералогическое опробование применяется для определения минерального состава руд и вмещающих пород, их текстурно-структурных особенностей, а также для определения химического состава минералов. На некоторых типах месторождений (россыпи) минералогическое опробование является основным и применяется для подсчета запасов. С помощью минералогического опробования выделяют природные типы руд и выясняют строение рудных тел.

Технологическое опробование проводится с целью создания рациональной схемы или проверки применимости существующих схем переработки минерального сырья, а также для установления технологических показателей в лабораторных или заводских условиях.

Техническое опробование служит для изучения физических свойств полезного ископаемого. Для ряда полезных ископаемых (слюда, асбест, пьезооптическое сырье, строительные материалы, каменный уголь и т. д.) опробование является основным видом испытания минерального сырья.

12.4.1. Способы отбора проб

Разнообразие видов минерального сырья, различия в характере изменчивости оруденения, в назначении проб обуславливают множество способов взятия проб. Различают штуфной, точечный, горстевой, вычерпывания, бороздовой, шпуровой, керновый, задиrkовый, валовой способы.

Штуфной способ заключается в отборе представительных образцов — штуфов массой 0,2—2,0 кг из целика или отбитой руды. Этот способ опробования применяется при поисковых работах для определения петрографических особенностей и некоторых физических свойств полезного ископаемого (объемной массы, пористости, влажности, прочности и пр.), для выявления первичных геохимических ореолов, при разведке — для изучения минерального состава руд.

Точечный способ отличается от других тем, что материал пробы составляется из кусочков (частичных проб) размером 1—3 см и массой 10—20 г, реже около 50 г, взятых в ряде точек из руды в целике. Точки взятия частичных проб располагают по определенной системе в зависимости от характера распределения исследуемых компонентов.

Горстевой способ представляет собой вариант точечного опробования отбитой руды или рудной массы. Он заключается во взятии частичных проб с поверхности отвалов, рудной массы из вагонеток, самосвалов по квадратной или прямоугольной сети, которая задается мысленно или намечается с помощью веревочной сетки. Стороны квадрата, являющегося ячейкой сетки, обычно равны 20—50 см, а прямоугольника 20—40 см на 50—100 см. Число частичных проб колеблется от 10 до 50. Объем отдельной частичной пробы 20—200 см³, масса 50—6000 г.

В отличие от горстевой, при способе вычерпывания частичные пробы берутся не с поверхности отвала, а на всю его глубину, что позволяет устранить влияние сегрегации рудного материала на результат опробования. Способ вычерпывания применяется при опробовании отвалов, хвостов обогатительных фабрик и пр.

Бороздовой способ наиболее широко применяется при опробовании горных выработок; в разведке он уступает по распространению только взятию проб из керна. Суть способа заключается в выкалывании, вырезании в забое из рудного тела материала пробы в виде сплошной ленты — борозды того или иного сечения. Бороздовой способ взятия проб применим

для большей части полезных ископаемых, но особенно эффективен при опробовании полосчатых или слоистых руд с максимальной изменчивостью оруденения по мощности рудного тела.

При шпуровом способе материалом пробы служит буровая пыль, получаемая при бурении шпуров с продувкой, или шлам при бурении с промывкой. Взятие проб шпуровым способом принципиально не отличается от бороздового способа. Поверхность шпура имеет правильную цилиндрическую форму, поэтому можно сказать, что пропорциональность количества материала к длине пробы выдерживается более строго, чем при отборе борозды вручную.

Бурение шпуров с промывкой дает шлам, который с помощью патрубка отводится в отстойник и из него отбираются пробы. При бурении шпуров с продувкой пыль собирают пылеулавливателем, что позволяет собирать 75—90 % буровой пыли, а в плотных однородных рудах даже до 100 %.

Отбор проб при колонковом бурении — наиболее распространенный способ взятия проб при геологоразведочных работах. Материалом пробы служит керн и шлам или только шлам. Кроме того, с помощью специальных приспособлений пробы отбирают из стенок скважин. Наиболее надежные результаты опробования получают при взятии проб из керна. Достоверность опробования по керну зависит от полноты его выхода, а также от степени распределения минералов в руде.

Пробы из керна отбирают при выходе его более 70 %. Керн может использоваться для химического, минералогического, технического и технологического опробования. При геологической документации керна производят разметку рядовых (секционных) проб. В пробы обычно берут половину, реже четвертую часть или весь керн. Половинки керна получают раскалыванием его на керноколе вдоль оси. Раскалывание половинок позволяет получить четвертую часть керна. Половина керна используется для химического опробования, четвертая часть направляется на технологические испытания, а оставшийся керн хранится как дубликат.

Задирковый способ применяется при опробовании рудных тел малой мощности (менее 15—20 см) или весьма неравномерном распределении оруденения по площади забоя. Пробы берут задиркой — снятием слоя руды мощностью 3—10 см, редко 20 см. Задирковый способ очень трудоемок, поэтому применяют его редко, когда другие способы (например, бороздовой) оказывается недостоверными.

Валовой, или объемный, способ взятия применяется при крайне неравномерном распределении компонентов в трех измерениях, а также для технологических испытаний, когда необходимы пробы большой массы.

При валовом способе в пробу направляется вся рудная масса, отбитая в процессе проходки некоторой части горной

выработки. Масса проб составляет 1,5—5 т, иногда десятки и даже тысячи тонн.

Валовой способ наиболее дорогой, так как требует больших затрат на обработку пробы. Это ограничивает его применение, особенно для химического опробования.

12.4.2. Обработка проб

Пробы, предназначенные для химического, а иногда и минералогического анализов, требуют обработки. Цель ее состоит в том, чтобы пробу сократить до определенной массы и измельчить ее до крупности, необходимой для химического анализа или других испытаний. Для наиболее распространенного химического анализа рядовых проб на несколько компонентов конечная масса пробы составляет 50—100 г, редко 200 г. Для спектрального анализа отбирают 5—20 г, а для пробирного 0,5—1 кг, иногда более. Материал пробы должен быть измельчен чаще всего до крупности 0,1 мм.

В процессе обработки пробы чередуют операции измельчения, перемешивания и сокращения, выполняемые по определенным правилам, обеспечивающим сохранение представительности пробы в конечном материале.

Измельчение проб производится обычно механическим способом с помощью дробилок различного типа.

Перемешивание материала пробы производится после дробления, если требуется сокращение ее. Цель перемешивания — получение однородного материала пробы и устранение или снижение сегрегации материала по плотности и размеру частиц.

Сокращение проб необходимо для уменьшения массы исходного анализируемого материала.

Обработка проб проводится по схеме, составляемой для каждого месторождения с учетом особенностей руд, задач их исследования, вида и массы проб. Если предстоит обработка различных руд, составляют несколько схем.

Отобранные пробы поступают на испытания. Вид испытаний определяется характером полезного ископаемого, его минеральным и химическим составом, задачами исследования, требуемой точностью анализа, степенью изученности месторождения. Некоторые испытания могут проводиться в геологоразведочной партии, другие — в специальных лабораториях; при этом геолог должен сообщить в лабораторию цель испытаний и желаемую точность анализа, а иногда и сведения об ожидаемом составе руд.

Определение вещественного состава — наиболее распространенный вид испытаний проб. В зависимости от требуемой точности и чувствительности анализа могут быть применены спектральный, химический, пробирный, ядерно-физический и другие методы анализа, каждый из которых позволяет решать определенные задачи.

Спектральный анализ широко применяется при поисках и разведке месторождений. С помощью этого анализа реализуются геохимические методы поисков полезных ископаемых. Спектральный анализ обладает высокой чувствительностью, большой производительностью и низкой стоимостью, позволяет одновременно определять много компонентов, но, как правило, уступает другим видам анализа в точности, особенно при высоких содержаниях компонентов.

Химический анализ является основным при испытании проб большого числа рудных и многих нерудных полезных ископаемых. По сравнению со спектральным анализом он обладает меньшей чувствительностью, но большей точностью. Данные химического анализа используются для оконтуривания тел полезных ископаемых, подсчета запасов ценных компонентов в рудах.

Пробирный анализ предназначен для определения в пробах содержания благородных металлов. Этот анализ дорогостоящий, но весьма чувствительный и точный, с его помощью можно устанавливать содержания благородных элементов порядка 1 г/т.

12.5. ПОНЯТИЕ О ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ

12.5.1. Кондиции и категории запасов

Месторождения полезных ископаемых нередко характеризуются большой изменчивостью условий и глубины залегания, мощности рудного тела и вскрышных пород, размеров нерудных прослоев и их пространственного положения, содержания полезных и вредных компонентов, устойчивости руд и вмещающих пород, водопритоков и т. п. В связи с этим для промышленности важно определить предельные значения горно-геологических параметров (кондиций) и количество полезного ископаемого, обеспечивающие экономическую целесообразность разработки месторождения и его отдельных частей при современном состоянии технологии добычи и обогащении руд с учетом перспектив их изменения в будущем.

Кондиции разрабатываются в соответствии с едиными принципами подсчета и учета запасов полезных ископаемых и инструкциями Государственной комиссии по запасам (ГКЗ). Кондиции могут меняться в зависимости от степени разведанности месторождения. На одно и то же месторождение они могут составлять неоднократно. Первый раз кондиции разрабатываются после предварительной разведки месторождения и называются временными. Назначение этих кондиций — оперативный подсчет запасов, составление ТЭДа и обоснование детальной разведки месторождения. Следующие кондиции готовятся по материалам детальной разведки головными проектными организациями совместно с геологическими организациями, ве-

душими разведку месторождений. Кондиции утверждаются ГКЗ СССР и называются постоянными.

Постоянные кондиции используются для оконтуривания, подсчета и утверждения запасов минерального сырья в ГКЗ, геолого-экономической оценки подсчитанных запасов, ведения дальнейших геологоразведочных работ на месторождении, составления проектов горнодобывающих предприятий, планирования и проведения добычи, а также для контроля выполнения правил охраны недр.

По результатам технико-экономического обоснования оптимального варианта эксплуатации месторождения рассчитываются предельные значения кондиций, которыми руководствуются при оконтуривании и подсчете балансовых и забалансовых запасов. В зависимости от вида минерального сырья и особенностей месторождения совокупность учитываемых показателей может быть различной. Наиболее распространенными и важными из них являются: 1) минимальное промышленное содержание, под которым понимают содержание полезного компонента в подсчетном блоке, обеспечивающее целесообразность его разработки; 2) минимальная мощность тел полезных ископаемых и максимально допустимая — пустых прослоев и некондиционных руд, включаемых в подсчет запасов; 3) предельная глубина разработки и максимальный коэффициент вскрыши, определяемые на основе прямых технико-экономических расчетов по вариантам глубины добычи; 4) минимальные запасы полезного ископаемого, которые определяются из расчета окупаемости капитальных вложений на строительство рудника; 5) максимально допустимые содержания вредных примесей.

Согласно действующей классификации, запасы минерального сырья по народнохозяйственному значению разделяются на две группы и подлежат отдельному подсчету, утверждению и учету; 1) балансовые запасы, отвечающие промышленным кондициям; 2) забалансовые запасы — некондиционные, которые в дальнейшем при некотором снижении кондиций могут перейти в балансовые.

В зависимости от степени разведанности месторождений, изученности сырья и горнотехнических условий разработки запасы разделяются на четыре категории: А, В, С₁, С₂. Для установления перспективности рудных полей, районов и бассейнов на основе общих геологических представлений определяют так называемые прогнозные запасы категорий Д₁ и Д₂.

Категория А — запасы подсчитывают в контуре, ограниченном со всех сторон разведочными выработками.

Категория В — запасы подсчитывают в контуре разведочных выработок с включением ограниченной зоны экстраполяции* при простых условиях залегания, малой изменчивости

* Экстраполяция — распространение известных свойств за пределы изученного интервала. Интерполяция — способ нахождения исследуемой характеристики между точками наблюдений.

залежи и качества сырья или надежно установленной их закономерной изменчивости.

К а т е г о р и я C_1 — запасы подсчитывают в контурах блоков, границы которых проводят на основе широкого использования и экстраполяции данных разведочных выработок. К категории C_1 могут быть отнесены запасы неразведанных блоков, прилегающих к блокам с запасами А и В.

К а т е г о р и я C_2 — запасы подсчитывают в пределах контуров, благоприятных в отношении оруденения структур и комплексов горных пород.

При оценке прогнозных запасов геологическая комиссия СЭВ рекомендовала руководствоваться следующими принципами.

1. Прогнозные запасы — это неразведанные запасы полезных ископаемых, предполагаемые на основании закономерностей образования и размещения месторождений и исследований, раскрывающих геологическое строение и историю развития оцениваемой территории.

2. Прогнозные запасы отличаются от запасов категорий C тем, что параметры оценки по прогнозируемым объектам являются предположительными. Запасы оцениваются косвенно и могут быть подсчитаны вне геометрически определенных контуров.

3. Прогнозные запасы подсчитывают по данным геологических, геофизических и геохимических исследований, результатам структурно-тектонических, минералого-петрографических, литолого-стратиграфических, палеогеографических анализов и по другим факторам, определяющим условия локализации полезного ископаемого.

4. Прогнозные запасы позволяют судить о возможности расширения минерально-сырьевой базы и должны служить основой для планирования и выбора направления всех видов геологических исследований и геологоразведочных работ.

12.5.2. Подсчет запасов

Подсчетом запасов называется определение количества промышленно пригодного минерального сырья в недрах.

Известно свыше 20 методов подсчета запасов. В настоящее время подсчет запасов осуществляют, как правило, методами: 1) геологических блоков, 2) эксплуатационных блоков, 3) разрезов.

Метод геологических блоков ведущий при подсчете запасов рудных и нерудных полезных ископаемых и почти единственный при подсчете запасов угля.

В основу метода положено выделение и оконтуривание подсчетных блоков по степени изученности и близким значениям ведущих геологопромышленных параметров (мощность, содержание, условия залегания). Этот метод позволяет с максимальной обоснованностью для данной степени разведанности блока

определить средние значения подсчетных параметров и надежные пределы их интерполяции и экстраполяции.

Метод эксплуатационных блоков применяют при подсчете запасов месторождений рудных и неметаллических полезных ископаемых, разведанных горными выработками. Под эксплуатационными в данном случае понимают блоки, оконтуренные горными выработками и соответственно детально опробованные. Подсчет запасов производят так же, как и при методе геологических блоков, поэтому метод эксплуатационных блоков можно рассматривать как частный случай метода геологических блоков.

Метод разрезов применяют для подсчета запасов главным образом месторождений сложной формы, разведанных системами выработок, на основании которых можно построить геологические разрезы или погоризонтные планы. Особенность заключается в определении объема блоков: в отличие от других методов он определяется не по площади залежи и ее мощности, а по площади сечений залежи (вертикальных или горизонтальных) и расстоянию между сечениями.

В общем случае для подсчета запасов применяют следующие формулы.

$$P_m = P_p C / 100; \quad P_p = V d; \quad V = S m,$$

где P_m — запасы полезного компонента (металла), т; P_p — запасы руды, т; C — содержание полезного компонента в руде, %; V — объем руды, м³; d — объемная масса, т/м³; S — площадь подсчетного блока, м²; m — мощность залежи в блоке, м.

12.6. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Геологической документацией называется проведение геологических наблюдений (изучение горных пород в естественных обнажениях, разведочных горных выработках и буровых скважинах и т. д.), сопровождающееся отображением результатов наблюдений в текстовых записях и на графических схемах, отбором образцов горных пород и др.

К текстовым записям относятся описания обнажений в пикетажных книжках, журналы описания горных выработок (шурфов, канав и др.), буровые журналы, журналы опробования. К этому виду документации относятся также различные таблицы и реестры (обнажений, выработок, проб и др.), акты заложения и ликвидации выработок.

Графические изображения выполняют в виде зарисовок, литолого-стратиграфических колонок по геологоразведочным выработкам, геологических разрезов, планов расположения геологоразведочных выработок, погоризонтных планов, проекций и т. д. Масштаб графических изображений выбирают в зависимости от их вида. Зарисовки обычно выполняют в масштабах

1:20 — 1:50, литолого-стратиграфические колонки — в масштабах 1:200—1:1000, геологические разрезы — в масштабах, соответствующих геологическим картам и планам геологоразведочных работ, а сами карты и планы — в масштабах от 1:500 до 1:10 000 в зависимости от сложности изучаемого объекта и его размеров.

Геологическую документацию каменного материала подготавливают путем отбора и описания образцов пород, руд, минералов, бурового керна, шлама, мути и разнообразных проб.

Геологическую документацию следует составлять по стандартам, разработанным Министерством геологии СССР.

12.6.1. Описание обнажений

Полевая работа геолога — наиболее ответственная часть геологических исследований. От правильно собранного и тщательно проверенного материала полевых наблюдений всецело зависит успех исследования, будет ли это геологическая съемка, поиски или детальная разведка.

Коренные породы сравнительно редко выходят на поверхность. Большой частью они прикрыты современными отложениями: почвенным слоем, ледниковыми, речными, болотными образованиями, могут быть скрыты осыпями, обвалами и т. д. Описание выходов (обнажений) коренных пород на поверхности составляет первую задачу геолога в поле.

Обнажением называется всякий выход горных пород на поверхность земли.

Обнажения массивных (кристаллических или сцементированных) горных пород называются коренными выходами, если они не разбиты трещинами выветривания на отдельные куски и блоки, претерпевшие перемещение на дневной поверхности.

Обнажения бывают естественные и искусственные.

Естественные обнажения (возникшие без вмешательства человека) весьма многообразны. Это могут быть сплошные площадные выходы коренных и рыхлых пород; скальные выходы коренных пород; выходы коренных и рыхлых пород в обрывах склонов речных долин; выходы коренных и рыхлых пород в руслах рек, ручьев, промоин, в карстовых воронках, провалах и в оползневых обвалах; каменные россыпи (развалы), высыпки (скопления мелких обломков пород на земной поверхности) и т. п.

Искусственными обнажениями называются всякие следы деятельности человека, приводящие к вскрытию горных пород. Сюда относятся специальные горные выработки: шурфы, канавы, штольни, шахты, карьеры, различные котлованы, колодцы, траншеи. Нередко искусственные обнажения — единственно возможные объекты изучения горных пород.

При наблюдении в обнажениях в описании осадочных пород указывают следующее: обладают ли породы слоистостью; если

да, то какие ее разновидности отмечены: форма слоев (параллельная, линзовидная или косая); мощность отдельных слоев (равномерная, неравномерная); описывается характер границ слоев (четкие или нечеткие); строение поверхностей наслоения; текстурно-структурные особенности всех разновидностей горных пород и мощность сложенных ими прослоев. Замеряют элементы залегания слоистости.

При характеристике интрузивных и жильных пород отмечают форму и размер тела, тип контактов (магматический, стратиграфический или тектонический) и характер взаимоотношений магматической породы с вмещающими; строение эндо- и экзоконтактов; наличие, форма, размер и ориентировка включений.

Для всех пород, наблюдаемых в обнажении, указывают их цвет и облик на свежем сколе и выветрелой поверхности. Обязательно замеряют элементы залегания линейности, полосчатости, контактов и т. д.

При описании горных пород на обнажении изучают складчатые и разрывные структуры.

Для складчатых структур отмечаются: форма и размер складок, форма их замков (плавная или угловатая, а также угол сочленения крыльев в замке), форма и ориентировка осевых поверхностей и шарниров складок, симметрия — асимметрия крыльев, соотношение мощностей слоев на крыльях и в замках складок, характер мелких осложняющих складок и их ориентировка.

О разрывных нарушениях, если таковые намечены в обнажении, отмечается следующее: тип разрыва и направление смещения вдоль сместителя, строение шовной зоны (интенсивная трещиноватость, дробление, рассланцевание или смятие), наличие глинки трения и поверхностей скольжения в шовной зоне, наличие трещин и их ориентировка, есть ли коры выветривания над разрывным нарушением, характер проявления разрывного нарушения в рельефе (лог, уступ, гряда). Замеряется ориентировка сместителя и штрихов скольжения на поверхности сместителя.

Одновременно с изучением обнажения отбирают образцы пород и встречающуюся в них ископаемую фауну и флору. Отбираемые образцы должны дать полное представление о характере пород и об их изменениях вследствие различных геологических процессов.

Каждый образец представляет собой ту или иную породу, слагающую данный пласт, прослой, жилу и т. п. (отражает соотношения между породами в обнажении). Необходимо отбирать образцы, характерные для данного слоя, жилы, в которых были бы представлены обычные для них соотношения минералов, текстурные и структурные особенности, минерализация и т. п. Место отбора образцов определяют только после внимательного изучения обнажения. В качестве образца берут

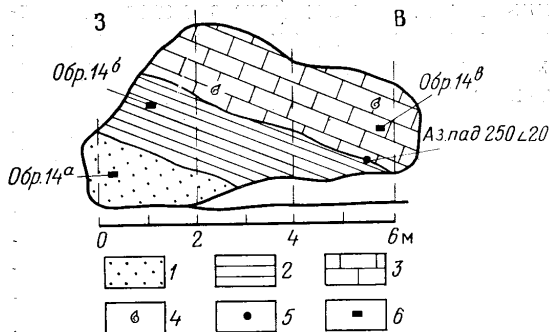


Рис. 82. Зарисовка обнажения с помощью разметочных вертикальных линий

1 — песчаники; 2 — глинистые сланцы; 3 — известняки; 4 — места находок фаунистических остатков; 5 — место замера элементов залегания; 6 — места отбора образцов

свежую, не измененную процессами выветривания породу. Образцы отбирают различных размеров, в зависимости от их назначения. Обычный размер образцов колеблется от 4×6 до 9×12 см. Однако при необходимости проиллюстрировать переход одной породы в другую, изменение минерализации пород около рудных жил, распределение ископаемой фауны и т. п. приходится отбирать штучные образцы размером 30×30 см и даже 50×50 см. Одновременно с каждым отобранным образцом берут небольшие кусочки (осколки) той же самой породы для изготовления шлифов (тонких прозрачных пластинок) для изучения структуры и минерального состава породы под микроскопом.

Отобранные образцы этикетуются на месте их отбора. Для облегчения поиска места взятия образца его номер должен соответствовать номеру обнажения, на котором отобран образец. Если взято несколько образцов из одного обнажения, им присваивают один номер с добавлением буквенных или цифровых индексов, служащих для различия образцов между собой.

В целях лучшего восприятия другим лицом описания обнажения, а также для исключения субъективизма при его описании, наиболее информативные обнажения или их фрагменты зарисовывают или фотографируют.

При простом строении обнажения для его зарисовки достаточно провести через него несколько мысленных вертикальных линий, на которых определяют положение геологических границ и поверхности рельефа относительно какого-то принятого базиса (подножия склона, границы зарисовываемого фрагмента). Эти вертикальные линии в определенном масштабе наносят на зарисовку, а затем, по мысленно отмеченным на них точкам (пересечения этих линий с геологическими границами и контурами форм рельефа), рисуют контур обнажения и геологическую обстановку (рис. 82).

При сложном строении обнажения его необходимо разделить на квадраты той или иной величины. Сетку можно нанести мелом или каким-либо подсобным материалом (иногда набрасывают веревочную сеть). Такую же сетку в определенном мас-

штабе наносят на зарисовку, и по ней, как и в предыдущем случае, отрисовывается геологическая ситуация.

На зарисовке указывают номер обнажения и его ориентировку по странам света, точки замеров элементов залегания, места отбора и номера образцов, места находок фауны и флоры, участки минерализации, выходы подземных вод и другие сведения. Задернованные участки обнажения оставляют на зарисовке пустыми.

При зарисовках следует широко пользоваться условными значками, отражающими состав горных пород, их текстурные и структурные особенности. Условные обозначения должны иметь пояснения.

Зарисовка обнажения может быть дополнена и, как исключение, заменена его фотографией. Если обнажение сфотографировано, то в полевой книжке и журнале образцов обязательно должны быть сделаны пометки, указывающие номера пленки и кадра.

12.6.2. Документация канав

При геологической документации канав вначале выполняют подготовительные работы: канаву линейно размечают реперами или протягивают шнур-ориентир вдоль длинного ее борта. При неправильном сечении канавы шнур можно протягивать по ее дну. Затем замеряют габариты канавы и по ним составляют ее план.

Документация осуществляется или поинтервально, или при наклонном залегании пород послойно. Канаву, пройденную по уклону, документируют снизу вверх. Описание ее, как правило, начинается с общего предварительного ее осмотра. Затем необходимо произвести зачистку дна и стенок выработки.

Зарисовка канавы представляет изображение вскрытого разреза пород по стенкам и дну. На зарисовках отражают контакты пород, их ориентировку в плоскости изображения, видимые мощности, слоистость, элементы залегания, текстурные особенности пород, трещиноватость и пр. Обычно на зарисовках показывают знаками различные минеральные включения, органические остатки, иногда с помощью раскраски передают цвет или другие различия пород. Отмечают места взятия образцов, проб.

Чаще составляют зарисовки дна канавы и одной из ее длинных стенок, где порода лучше обнажена (рис. 83). Вторую длинную стенку зарисовывать излишне, особенно если канава проходит вкрест простирания осадочных пород. В этом случае геологическое строение в обеих стенках практически одинаково. Однако при вскрытии канавой сложных геологических тел зарисовывают не только длинные стенки, но и обе короткие.

По канаве, пройденной вдоль склона, обычно составляют зарисовки дна, длинной стенки и двух коротких с разворотом их

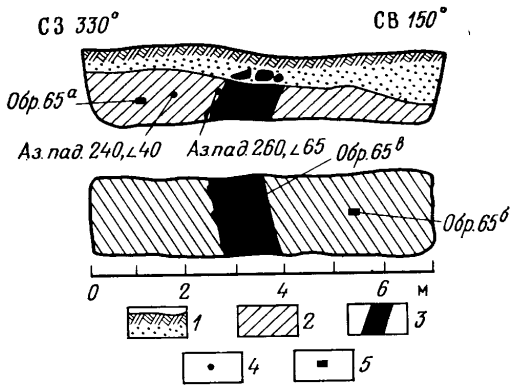


Рис. 83. Зарисовка стенки и дна канавы

1 — рыхлые образования; 2 — слюдяные сланцы; 3 — кварцевая жила; 4 — места замера элементов залегания; 5 — места отбора образцов

на плоскость дна. Для канав, пройденных поперек склона, обычно необходима зарисовка только длинной стенки и дна. Дно канавы изображают в размерах, взятых по ее уклону; зарисовку дна располагают вдоль длинной стенки канавы. При этом целесообразно записать на зарисовке углы уклона дна канавы.

При документации канав возможно широкое применение фотоснимков. Для фотографирования в канаве геологического строения пород необходима специальная зачистка участков фотографирования, так как неровности уменьшают фотоэффект.

В реестре канав кроме номенклатуры, места заложения и ориентировки указывают габаритные данные, число взятых образцов, проб, результаты испытаний проб и др.

12.6.3. Документация шурфов

Данная работа в общем случае состоит из геологического описания вскрытого разреза пород на его стенках, включая детальное описание пересеченного полезного ископаемого, отбора и документации образцов, замеров геологических параметров, составления зарисовок забоев, стенок и их развертки, фотографирования, занесения шурфа в реестр.

Обычно документируется длинная стенка шурфа, ориентированная вкрест простирания горных пород или рудного тела. Однако в шурфе часто документируется не одна, а две или даже все четыре стенки (на эндогенных месторождениях). Поскольку большая часть шурфов крепится, наиболее целесообразно, а в ряде случаев единственно возможно, вести только поинтервальную документацию шурфа, т. е. по мере его углубления. При этом документируют шурф сверху вниз в перерывах проходки с обязательным предварительным обвалом нависших на стенках шурфа глыб породы. Мелкие шурфы чаще всего документируют после их полной проходки.

Суть геологической документации шурфа, приемы описания, отбор образцов, замеры, содержание зарисовок стенок, забоя и другие элементы документации — те же, что и в канавах.

Следует обращать внимание на составление зарисовок забоя, который иногда документируют после каждого метра проходки (или каждой уходки), а также при вскрытии полной мощности рудного тела и при выходе шурфа за его пределы.

В реестре кроме номенклатуры и места заложения шурфа указывают габаритные данные, количество взятых образцов, проб, массу и основные результаты испытания проб.

12.6.4. Геологическая документация карьеров

Карьером называется совокупность горных выработок, посредством которых разрабатываются рудные месторождения открытым способом.

В условиях сложной геологической обстановки рудничный геолог обязан систематически наблюдать и документировать стенки и забои карьера, изучать характер и состав пород и руд, которые подлежат отработке.

Без детальной геологической карты или плана карьера и систематического опробования и документации всех проходимых при его разработке скважин осуществлять нормальную эксплуатацию карьера в ряде случаев невозможно. Для составления детального геологического плана карьера требуется или чрезвычайно густая сеть разведочных выработок, что приводит к большим затратам, или тщательная геологическая документация и опробование всех уступов карьера, взрывных скважин, экскаваторных забоев и откосов.

Для большинства рудных месторождений, разрабатываемых открытым способом, в общий перечень первичных геологических документов включают:

журналы систематических зарисовок забоев и откосов уступов;

журналы зарисовок горных выработок (штолен, шурфов, минных камер), проходимых с целью эксплуатационной разведки или для взрывания горной массы;

зарисовки и фотоснимки отдельных характерных деталей геологического строения рудного тела, установленных в карьере в процессе эксплуатации месторождения;

журналы опробования забоев и откосов уступов, а также горных выработок, проходимых в карьере при разведке и взрывных работах;

колонки, геологические журналы и журналы опробования скважин эксплуатационной разведки и взрывных скважин;

журналы замеров водопритока в карьер, уровней грунтовых вод в близлежащих водоемах и наблюдательных гидрогеологических скважинах.

Кроме того, в организации, эксплуатирующей карьер, хранятся эталонные коллекции, образцы пород и руд, полированные и прозрачные шлифы, дубликаты проб.

Все первичные документы необходимо составлять так, чтобы в них мог разобраться любой рудничный геолог или маркшейдер, не прибегая к помощи автора этих документов. Очень важно, чтобы эти документы были точно привязаны к тем или иным частям месторождения и соответствовали определенным маркшейдерским планам и разрезам.

В условиях современных крупных механизированных карьеров добыча полезного ископаемого и вскрышные работы производятся мощными одноковшовыми или многоковшовыми экскаваторами. Геологическая документация осуществляется по мере продвижения экскаватора вдоль уступа карьера. Геолог, следуя по подошве уступа вдоль нижней его бровки, определяет для маркшейдера, какие точки и контакты необходимо инструментально заснять по забою, и ведет их зарисовку и описание. Места зарисовок привязывают к маркшейдерским точкам. Зарисовки и описания забоев ведут в специальных журналах для каждого горизонта. При документировании используются буквенные обозначения пород по единой геологической легенде и особые символы, характеризующие физические свойства пород. На каждой зарисовке должны быть указаны координаты крайних пунктов съемки.

Общепринятым при геологических зарисовках в карьерах является масштаб 1 : 500.

12.6.5. Документация подземных горных выработок

К подземным горным выработкам относятся шахты и штольни, с помощью которых производят вскрытие месторождения, и штреки, квершлагги, орты и другие подземные выработки, используемые для разработки полезного ископаемого.

Документация подземных горных выработок производится в специальных пикетажных книжках, имеющих жесткий переплет. Геологическая документация может быть представлена или полными развертками, когда зарисовывают забой выработки, обе стенки, почва и кровля (рис. 84), или частичными, когда документируют забой и кровля, или стенки и кровля, или забой и обе стенки и т. д. (рис. 85). Все виды геологической документации выполняют вслед за продвижением забоя горной выработки. Документацию осуществляют в следующем порядке: подготовительный осмотр выработки, зачистка, разбивка точек наблюдений, обмер габаритов выработки, замеры геологических параметров, текстовое описание, отбор образцов, зарисовки стенок и кровли, мест опробования, фотографирование, попутные наблюдения.

После предварительного и тщательного осмотра всей выработки разбивают систему точек обмера ее габаритов и

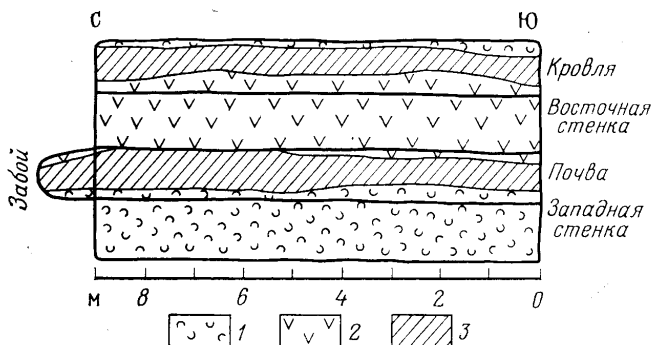


Рис. 84. Пример полной развертки при документации горизонтальной горной выработки
1 — туфы; 2 — диабазовые порфириты; 3 — зона оруденения

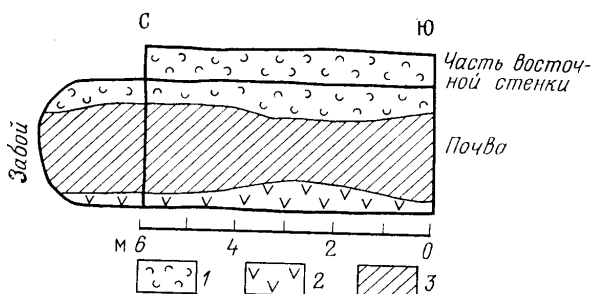


Рис. 85. Пример частичной развертки при документации горизонтальной горной выработки
1 — туфы; 2 — диабазовые порфириты; 3 — зона оруденения

опорных точек геологической документации (мест опробования, зачисток для составления зарисовок, взятия образцов и пр.). Предварительную подготовку точек документации путем зачисток следует выполнять до габаритного обмера.

Разбивка сети точек геологических наблюдений и обмера производится по шнуру-ориентир, который протягивают между реперами маркшейдерской съемки или временными геологическими реперами, если съемка еще не проведена. В дальнейшем такие геологические реперы следует обязательно фиксировать при маркшейдерской съемке. Таким образом, геологическую документацию выработки привязывают к маркшейдерской основе.

12.6.6. Документация колонковых буровых скважин

Первичная геологическая документация буровых скважин заключается в составлении бурового журнала, отборе керна, шлама, буровой мути, составлении полевого журнала геоло-

гической документации, журналов замеров угла наклона скважин, гидрогеологических, каротажных и прочих работ.

Геологическая документация буровых скважин часто представляет собой более трудную операцию по сравнению с документацией горных выработок. Выход керна лишь в редких случаях бывает стопроцентным. Кроме того, внешний вид пород и минералов, текстуры руд, характер контактов между породами, условия залегания, трещиноватость, плоскости скольжения и другие признаки разрывных нарушений в кернах часто проявляются менее четко, чем в естественных обнажениях и горных выработках. При отсутствии необходимой квалификации и практического опыта у лиц, выполняющих документацию, возможны серьезные ошибки. Для их исключения необходима консультация опытных геологов. Существенную помощь в работе оказывают детально описанные эталонные коллекции.

Буровой керн после извлечения из колонковой трубы промывают водой, укладывают в ящики в порядке поступления из скважин и в той же ориентировке (пометка стрелкой). Делаются отметки глубины начала и конца соответствующего рейса. Отдельно отбирают буровой шлам (материал из шламовой трубы) и буровую мусть (осадок из промывных вод), их упаковывают в мешочки, к которым прикрепляют бирки с указанием глубины рейса.

Обработку первичного материала по скважине проводят в несколько приемов. Сначала уточняют журнал документации для составления геологического разреза по скважине и вычерчивают колонку пород, пересеченных скважиной. Это выполняется геологом, ведущим геологическую документацию скважины, совместно со старшим геологом путем дополнительного просмотра каменного бурового материала, бурового шлама и мути при колонковом бурении с учетом всех особенностей бурения на выделяемых интервалах. Такой журнал, часто называемый чистовым (нередко его заново переписывают), должен содержать следующие сведения: 1) номер и координаты устья скважины, дату начала и конца проходки скважины; 2) конструкцию скважины и способ бурения; 3) дату бурения и глубину рейсов, выход керна в метрах и процентах; 4) глубину контактов выделенных пород; 5) литолого-петрографические определения и описания каждой выделенной разности породы и разновидности полезного ископаемого с указанием углов падения полосчатости и контактов; 6) видимые их мощности; 7) номера, глубину взятия и результаты анализов проб; 8) зарисовки керна; 9) глубину взятия образцов пород и их назначения; 10) уровень стояния вод, наличие пустот и провалов снаряда.

По окончании бурения скважины, в ней проводят инклинометрические замеры (определение угла наклона скважин), результаты которых записывают на титульном листе журнала ниже общих сведений. Результаты каротажных работ, дли-

тельных гидрогеологических наблюдений (рядовые наблюдения проводят в процессе бурения между подъемами и спусками бурового снаряда) и других дополнительных исследований заносят в соответствующие журналы.

Затем обрабатывают материалы бурения — составляют геологическую колонку пород, колонку опробования и геологический разрез по скважине или серии скважин данного разведочного профиля. Геологическая колонка пород, пересеченных скважиной, вычерчивается по данным чистового журнала в масштабе 1 : 500. Она составляется в виде столбика без пропусков, показывающих неполный выход керна.

12.7. РУДНИЧНАЯ (ШАХТНАЯ) ГЕОЛОГИЯ

Рудничной геологией называют геологическое обслуживание рудников в процессе их эксплуатации, а геологическое обслуживание угледобывающих шахт — шахтной геологией.

В соответствии с постановлением Совета Министров СССР от 15 октября 1959 г. на горнодобывающих предприятиях — рудниках, шахтах, карьерах, а также во всех организациях, осуществляющих руководство горными предприятиями (министерства, главки, объединения, тресты, управления, комбинаты), создается геологическая служба.

Геологическая служба создается одновременно с организацией и строительством горного предприятия. Форма ее организации и штатный состав зависят от ряда факторов: масштаба добычи, характера и степени сложности эксплуатируемых месторождений; состава и характера горнорудных предприятий; системы отработки месторождений и т. п. Чаще всего геологическая служба организуется применительно к структуре горнодобывающих предприятий: комбинат — рудоуправление или шахтоуправление — рудник или шахта — участок.

В составе комбината и рудоуправлений (шахтоуправлений) создаются геологические отделы или бюро, подчиняющиеся руководству комбината и рудоуправления (шахтоуправления). Геологический отдел комбината возглавляет главный геолог комбината, имеющий в своем подчинении одного — двух старших геологов и одного — двух чертежников.

Геологический отдел рудоуправления или рудника (шахты) возглавляет главный геолог, в подчинении которого находятся несколько рудничных, шахтных или участковых геологов, гидрогеолог, а также специальная группа, ведущая эксплуатационную разведку.

В распоряжении участковых геологов находится определенное число техников-геологов и пробоотборщиков. Участковые геологи несут ответственность за состояние геологического обслуживания своего участка. Кроме того, они ведут учет потерь, разубоживания руд и принимают меры борьбы с этими явлениями, участвуют в составлении актов маркшейдерских

замеров на выполненные работы, руководят работой подчиненного им персонала, проверяют и обобщают первичные материалы документации и опробования, контролируют работу лаборатории по обработке и испытаниям проб.

Техник-геолог выполняет работу под руководством и контролем участкового геолога, ведет геологическую документацию и опробование в пределах своего участка, вместе с маркшейдером намечает места заложения разведочных выработок и буровых скважин, контролирует работу буровых бригад, пробоотборщиков; обрабатывает первичную документацию и данные опробования; следит за сохранностью керна и дубликатов проб.

В сферу рудничной геологической службы входят задачи: 1) увеличение геологических и промышленных запасов полезных ископаемых в недрах для продления срока существования горного предприятия или повышения его производительности; 2) всесторонняя помощь горному предприятию (руднику, обогатительным фабрикам) в вопросах технической правильной разработки месторождений и сокращения потерь полезного ископаемого при комплексном его использовании.

Рудничная геологическая служба руководствуется положением о рудничной, шахтной и промысловой геологической службе на горнодобывающих предприятиях, инструкциями по геологическому обслуживанию горно-эксплуатационных предприятий, организации и методике производства геологоразведочных работ, действующими правилами технической эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

В сферу геологической службы горнодобывающего предприятия входят:

геологическое обоснование и участие в составлении и рассмотрении перспективных, годовых, квартальных и месячных планов добычи полезных ископаемых и проектов отработки месторождения;

планирование, проектирование и организация проведения геологоразведочных, гидрогеологических, геофизических и других работ в пределах горных отводов предприятия;

обеспечение выполнения плана геологоразведочных работ, прироста запасов полезных ископаемых и перевода их в высшие категории;

осуществление контроля за геологическим направлением горно-эксплуатационных и разведочных выработок и буровых скважин;

контроль за проведением работ, связанных с документацией и опробованием всех видов горных выработок и буровых скважин;

обеспечение учета движения разведанных, вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов полезных ископаемых и их добычи;

учет потерь и разубоживания руды, контроль за полнотой

и качеством обработки месторождения полезных ископаемых; определение места заложения горных выработок и буровых скважин, оформление актов на погашение отработанных блоков, горизонтов, участков, месторождений;

подготовка материалов на списание неподтвердившихся или утративших промышленное значение запасов и представление их в вышестоящую организацию;

обобщение первичных геологических материалов для всестороннего геологического изучения эксплуатируемых месторождений;

участие в приеме разведанных месторождений полезных ископаемых, передаваемых геологическими организациями для промышленного освоения и оформления горных отводов для строительства новых горнодобывающих предприятий:

сопоставление данных разведки и эксплуатационного опробования с результатами фактической добычи полезных ископаемых;

оформление паспорта месторождений, залежей, эксплуатационных блоков;

составление и представление в установленном порядке квартальных и годовых геологических отчетов с подсчетом запасов полезных ископаемых, а также с соответствующей оперативной и статистической отчетностью;

подготовка для руководства горнорудного предприятия рекомендации по доразведке вновь выявленных участков, структур, площадей рудных тел, залежей;

разработка совместно с горным надзором и маркшейдерской службой меры по предупреждению внезапных прорывов воды, плывунов, газов, а также возможных обрушений в горных выработках на тектонически нарушенных участках.

Деятельность геологического отдела горнодобывающего предприятия распространяется не только на горный цех предприятия, но и на обогатительную фабрику, металлургический завод, химико-аналитическую лабораторию, строительный цех и т. п. Тем не менее главным объектом деятельности геологического отдела является горный цех. Поэтому основное внимание персонала отдела должно быть уделено своевременному решению вопросов, способствующих правильному ведению всех видов горных работ, выполнению производственного плана по добыче руды и металла, по проходке капитальных, горно-подготовительных, нарезных и геолого-разведочных выработок.

12.8. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ

Все виды геологоразведочных работ—геологическая съемка, поиски, геофизические, буровые, горные, гидрогеологические, инженерно-геологические, лабораторные, опытно-исследовательские и др.—должны выполняться в соответствии с едиными

правилами безопасности при геологоразведочных работах. На основании этих правил геологоразведочные организации разрабатывают инструкции по технике безопасности на отдельные виды работ. Инструкции должны быть согласованы с местными органами Госгортехнадзора и профсоюзной организацией. При проведении взрывных работ, а также при перевозке, хранении, использовании и учете взрывчатых материалов необходимо руководствоваться Едиными правилами безопасности при взрывных работах. Геологоразведочные работы на действующих горнорудных предприятиях должны осуществляться с соблюдением Единых правил безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. В угольных шахтах геологоразведочные работы выполняются с учетом требований Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах. Строительство временных зданий и сооружений должно производиться в соответствии с Правилами техники безопасности для строительно-монтажных работ. Работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений должны выполняться при соблюдении Правил работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений при поисках и разведке полезных ископаемых.

Работы по документации и опробованию действующих, находящихся в процессе проходки, глухих, непроветриваемых и заброшенных горных выработок должны проводиться только с разрешения руководителя работ. Перед началом работ необходимо проверить устойчивость пород кровли, боков и удалить все нависшие куски и глыбы, проверить состояние крепи, атмосферы, проинструктировать персонал. Лица, занятые на опробовании, должны выполнять соответствующие правила безопасности при подъеме и спуске в шахту, передвижении по выработкам и ведении работ в горных выработках. Запрещается входить в выработки без каски, убирать крепь для обнажения боков и кровли горных выработок без разрешения руководителя работ, опробовать забои до ликвидации в них остатков взрывчатых веществ (ВВ), сохранившихся после взрывных работ.

Обработка проб должна производиться в специально оборудованном помещении, которое должно быть обеспечено приточно-вытяжной вентиляцией. Механизмы по обработке проб должны устанавливаться на прочных фундаментах, с соответствующими ограждениями.

Лица, виновные в нарушении правил безопасности при геологоразведочных работах, а также допустившие самовольное возобновление работ, остановленных органами Госгортехнадзора и другими контролирующими организациями, несут ответственность в дисциплинарном, административном или уголовном порядке, в зависимости от характера нарушений и их последствий.

Часть 5. ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Глава 13. ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ

Гидрогеология — наука о подземных водах. Она изучает происхождение, условия залегания и распространения подземных вод, процессы их взаимодействия с вмещающими породами. В задачу гидрогеологии входят изучение возможностей практического использования подземных вод для разнообразных целей, а также разработка мероприятий по борьбе с подземными водами при строительстве и эксплуатации карьеров, шахт, метрополитенов, гидротехнических сооружений и т. д.

При горно-эксплуатационных работах подземные воды нередко значительно осложняют их проведение, вызывая необходимость осуществления осушительных дренажных и гидроизоляционных мероприятий.

13.1. УСЛОВИЯ ОБВОДНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

При разработке месторождений полезных ископаемых подземные воды часто создают серьезные помехи эксплуатационным работам. Такие воды называются шахтными, или рудничными.

Поступление подземных вод в горные выработки обусловливается рядом естественных и искусственных факторов. К естественным факторам обводнения относятся: атмосферные осадки, просачивание воды из поверхностных водотоков и водоемов, рельеф местности, литологический состав и строение вмещающих пород, глубина горных выработок.

К искусственным факторам относятся: влияние старых затопленных выработок, влияние нетампонируемых* разведочных скважин, принятая система ведения горных работ.

Атмосферные осадки. Обводненность горных выработок при небольшой глубине залегания полезного ископаемого находится в прямой зависимости от количества выпадающих атмосферных осадков. В открытые горные выработки (канавы, шурфы, карьеры) осадки поступают в виде поверхностного стока. При этом приток воды в горные выработки увеличивается на 30—40%, а иногда на 200—300% и больше по сравнению со среднегодовым притоком. Так, на одной из шахт в Эстонии, где разрабатываются горючие сланцы, летом и

* Тампажаж — закупоривание глиной, цементом или другим материалом пустот, трещин, скважин с целью предотвращения просачивания через них подземных вод.

зимой приток воды не превышает 435 м³/ч, а в период весеннего снеготаяния он увеличивается до 4620 м³/ч, т. е. больше чем в 10 раз.

Просачивание воды из поверхностных водотоков и водоемов. В данном случае обводненность горных выработок связана с просачиванием воды непосредственно из открытых водотоков или сквозь аллювиальные отложения.

Рельеф местности. Обводненность горных выработок зависит в значительной мере от отношения их абсолютной высоты к местному базису эрозии и изрезанности рудного (шахтного) поля овражно-балочной системой. Наименьшая обводненность характерна для горных выработок, приуроченных к водораздельным пространствам со слабо расчлененным рельефом и отсутствием обнажений коренных пород. И наоборот, сильно обводненными являются горные выработки, расположенные в долинах рек или под их руслами. Так, для шахтных полей Донбасса, приуроченных к местности со слабо расчлененным рельефом, где небольшие балки и овраги мало или совершенно не вскрывают коренные породы, коэффициент водообильности* составляет в среднем 1,8—2,8, а для шахтных полей, расположенных в речных долинах, он достигает 30,0.

Литологический состав и строение вмещающих пород. Минеральный и гранулярный состав горных пород, их пористость и пластичность в значительной мере определяют обводненность горных выработок. Так, повышенной обводненностью характеризуются месторождения, в геологическом разрезе которых широко развиты карстующиеся породы (известняки, гипсы, ангидриты) или рыхлые обломочные породы, легко пропускающие воду. Меньшей обводненностью характеризуются месторождения, сложенные пластами осадочных сцементированных пород (песчаниками, аргиллитами, глинистыми сланцами), глинистые породы при этом представляют водоупорные горизонты, изолирующие смежные водоносные пласты.

Существенное влияние на степень обводненности оказывает тектоническое строение вмещающих пород, в первую очередь — наличие на месторождении разрывных нарушений. При вскрытии горными выработками зон тектонических нарушений, особенно сбросов, раздвигов и т. д., отмечается сосредоточенное, иногда катастрофическое поступление воды в горные выработки.

Глубина горных выработок. По мере углубления горных выработок их обводненность, характеризующаяся притоком воды и коэффициентом водообильности, может и уменьшаться, и увеличиваться. Это зависит от степени трещиноватости горных пород, их литологического состава, вскрытия межпластовых, трещинных или других типов подземных вод и т. д.

* Коэффициент водообильности — это отношение количества откачиваемой воды к количеству добываемого полезного ископаемого за тот же период времени (год, месяц, сутки).

Влияние старых затопленных выработок. В старых заброшенных выработках нередко накапливаются значительные объемы подземных вод, которые могут прорваться в действующие горные выработки.

Влияние незатампонированных разведочных скважин. По окончании бурения каждая разведочная скважина обычно ликвидируется: из нее извлекают обсадные трубы, а скважину заполняют жирной глиной или цементом. Это делается для того, чтобы вода из водоносных горизонтов, залегающих среди пород кровли и подошвы пласта полезного ископаемого, не смогла прорваться в горные выработки при их проведении. Из-за плохого тампонирувания скважин вода может проникать в горные выработки.

Принятая система ведения горных работ. Неправильное ведение горных работ и неудачный отвод откачиваемых шахтных (рудничных) вод могут привести к значительному поступлению воды в горные выработки. В этих случаях необходимо проводить специальные работы, в частности, ограждающие поверхность шахтного (рудного) поля от скопления атмосферных осадков и сбрасываемых шахтных (рудничных) вод, или обеспечивающие защиту пласта полезного ископаемого от близко залегающих открытых водотоков, водоносных отложений и т. д.

13.2. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Существует ряд классификаций месторождений полезных ископаемых по условиям обводненности. Рассмотрим одну из них.

В зависимости от характера и водообильности пород, лежащих кровлю и подошву полезного ископаемого, П. П. Климентов в 1967 г. разработал гидрогеологическую классификацию месторождений, в которой выделено восемь типов.

I тип — месторождения, в разрезе которых широко развиты карстующиеся породы (карбонатные и сульфатные). Месторождения, приуроченные к карстующимся породам, характеризуются наиболее высокой водообильностью. На этих месторождениях приток воды в выработки отдельных шахт иногда превышает 2000 м³/ч.

К первому типу обводненности относится довольно много месторождений полезных ископаемых: некоторые месторождения Северного Урала, Кизеловский каменноугольный бассейн и др.

II тип — месторождения, располагающиеся в толщах нецементированных зернистых пород (песчаных, песчано-галечных и песчано-глинистых). Водообильность этих месторождений довольно высока и зависит как от литологического состава пород, развитых в кровле и почве пласта полезного ископаемого, так и от современных эрозионно-географических факто-

ров. Отдельные шахты месторождений II типа характеризуются относительно высоким водопритоком, достигающим 100—300 м³/ч, а иногда и более.

К этому типу относятся месторождения бурых углей, огнеупорных глин, марганца, фосфоритов, некоторые железорудные месторождения и россыпные месторождения олова, золота, платины, вольфрама и др.

III тип — месторождения, в геологическом разрезе которых преобладают трещиноватые и в меньшей мере участвуют песчаные породы. Водообильность месторождений этого типа зависит от степени трещиноватости, количества рыхлых песчаных образований, а также от физико-географических условий. Для месторождений данного типа характерно преобладание атмосферных осадков над величиной испарения. При наличии гидравлической связи с поверхностными водами водоприток в шахты таких месторождений может достигать 400—600 м³/ч.

IV тип — месторождения, приуроченные к скальным трещиноватым породам. Водообильность данного типа месторождений обуславливается степенью трещиноватости и тектонической нарушенности пород, а также физико-географическими условиями. Для месторождений этого типа характерны относительно слабая водопроницаемость пород, резко континентальный климат, малое количество атмосферных осадков и отсутствие крупных рек и водоемов.

Водопритоки в горных выработках, пройденных на этих месторождениях, обычно не превышают 50—150 м³/ч.

К этому типу относятся слабо обводненные месторождения цветных и редких металлов, некоторые каменноугольные бассейны (Донбасс), большинство железорудных месторождений, некоторые месторождения строительных материалов.

V тип — месторождения с любым геологическим разрезом, расположенные на междуречных пространствах с относительно высокими абсолютными отметками или в горных районах с сильно расчлененным рельефом. Нередко эти месторождения располагаются выше местного базиса эрозии и поэтому хорошо дренированы*. В некоторых районах разработка полезных ископаемых ведется при помощи штолен; приток воды в выработки небольшой, и борьба с рудничными водами не представляет особых трудностей.

VI тип — соляные месторождения. Легкорастворимые галогидные месторождения целесообразно выделить в отдельный тип не только вследствие хорошей растворимости соляных залежей в воде, но и потому, что соляные залежи обладают высокой пластичностью, благодаря которой возникающие в соляной толще трещины быстро закрываются. Это одна из главных причин, обуславливающих отсутствие воды на ряде соляных месторождений. Другой причиной служит то обстоятельство, что на

* Дренаж — осушение за счет естественной или искусственной системы открытых или закрытых каналов.

соляных месторождениях полезное ископаемое часто покрывается мощными глинистыми толщами, предохраняющими его от размыва. Поэтому соляные рудники обычно воды не содержат.

VII тип — месторождения, расположенные в толще многолетней мерзлоты. Большинство месторождений, разрабатываемых в районах многолетней мерзлоты, являются слабо обводненными или сухими.

VIII тип — нефтяные и газовые месторождения. На этих месторождениях различают пластовые и подземные воды, распространенные по границам нефтяной залежи (краевые), и воды, подстилающие нефтяную залежь (подошвенные). Кроме того, в нефтяные и газовые месторождения проникают безнапорные и напорные воды кровли, а также напорные воды, залегающие ниже подошвенных вод, если они обладают высоким напором.

13.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИТОКОВ ВОДЫ В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ И МЕРЫ БОРЬБЫ С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ

Определение притоков воды, характера их поступления в горные выработки — одна из важнейших задач шахтной (или рудничной) геологии, потому что на основании данных о режиме водопритоков намечаются необходимые мероприятия по борьбе с подземными водами.

Буровые скважины, колодцы, шурфы и стволы шахт относятся к вертикальным водозаборам, а осушительные каналы, закрытые дренажи, штреки квершлагги — к горизонтальным. Вертикальные водозаборы любого назначения, вскрывающие грунтовые и безнапорные межпластовые воды, называются грунтовыми колодцами, а водозаборы, вскрывающие напорные воды — артезианскими колодцами.

Вертикальные и горизонтальные водозаборы могут быть совершенными, если вскрывают водоносный горизонт по всей мощности, и не совершенными, если ими вскрывается только часть водоносного горизонта.

Расчетные схемы и формулы для определения притока воды к различного рода водозаборным сооружениям приводятся в специальных руководствах и учебниках по гидрогеологии для горных техникумов.

Проведение горных работ в условиях обводненности невозможно без планового осуществления дренажных мероприятий, направленных прежде всего на осушение разрабатываемых месторождений полезных ископаемых. Осушение может быть предварительное и параллельное.

Предварительное осушение выполняется при сложных гидрогеологических условиях, например при наличии в кровле и почве водоносных горизонтов, и осуществляется тремя способами: поверхностным, подземным и комбинированным. Поверхностный способ сводится к проходке дренажных

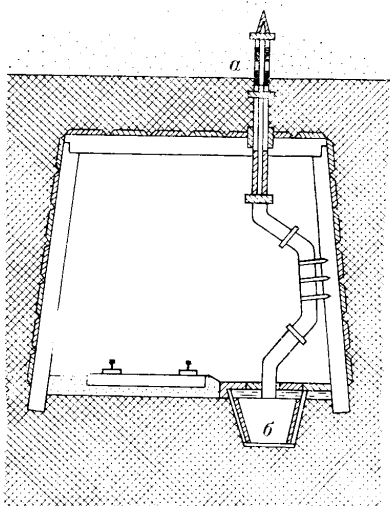


Рис. 86. Схема осушения кровли угольного пласта забивными фильтрами

а — забивной фильтр; *б* — дренажная канава

каналов и колодцев, бурению водопонижающих и водопоглощающих скважин; через последние воды сбрасываются из обводненного надрудного горизонта в подрудный водоносный горизонт, из которого откачка проводится через водопонижающие скважины.

Подземный способ осушения осуществляется путем проходки по полезному ископаемому специальных выработок (штреков, уклонов и т. д.), в кровлю которых устанавливаются забивные или сквозные фильтры, а в почве проводятся дренажные каналы (рис. 86).

Комбинированный способ сочетает в себе элементы поверхностного и подземного способов осушения: часть воды из дренируемых водоносных горизонтов откачивается с помощью скважин, а часть поступает в подземные выработки через забивные фильтры и другие дренажные

устройства и затем откачивается на поверхность.

Параллельное осушение проводится при относительно простых гидрогеологических условиях и выполняется одновременно с проходкой горных выработок и добычей полезного ископаемого.

Глава 14. ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Инженерная геология — отрасль наук о Земле, изучающая поверхностную часть земной коры в связи со строительством различных сооружений. Хозяйственная деятельность человека вызывает существенные изменения природных геологических условий, а измененная природная обстановка в сочетании с естественной, в свою очередь, влияет на проведение горных работ, условия строительства и эксплуатацию дорог, гидротехнических сооружений и других промышленных объектов. Поэтому одной из важнейших задач инженерной геологии является прогнозирование последствий, вызываемых проводимыми хозяйственными работами, и определение конкретных мероприятий, обеспечивающих устойчивость и нормальную эксплуатацию горных предприятий и других сооружений, возводимых в данных геологических условиях.

14.1. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Для успешного решения задач инженерной геологии необходимы всестороннее изучение и оценка геологических факторов, влияющих на инженерную деятельность человека, определение характера процессов, оказывающих влияние на проходку горных выработок и строительство сооружений и могущих нарушить сохранность и нормальную эксплуатацию горнодобывающих предприятий. Среди подобных процессов различают физико-геологические и инженерно-геологические процессы. Под физико-геологическими процессами понимаются природные процессы, которые изменяют рельеф земной поверхности, вещественный состав горных пород и их физико-механические свойства. Сюда относятся явления, связанные с деятельностью поверхностных и подземных вод: морская и озерная абразия, речная эрозия, оврагообразование, сели, осыпи, обвалы, оползни, суффозионные процессы, пльвуны. Эти явления, как показано выше, изучаются и в общей геологии, однако только с качественной стороны. В инженерной геологии они изучаются с помощью специальных методов, прежде всего с количественной стороны, позволяющей оценить их значимость для каждого конкретного случая.

14.1.1. Явления, связанные с деятельностью поверхностных вод

Деятельность поверхностных вод подразделяется на морскую и озерную абразию, речную эрозию, сели и эрозию почвы.

Морская и озерная абразия. Основными факторами, воздействующими на берега морей и озер, являются динамические воздействия волн, морские течения, растворяющее действие воды, плавающие льдины и др.

Интенсивность разрушения берега морскими волнами зависит от конфигурации и крутизны берегов, их геологического строения, характера волн и скорости движения, наличия или отсутствия пляжа и т. п.

В настоящее время разработаны достаточно эффективные меры, полностью или частично предотвращающие морскую и озерную абразию. В основном эти мероприятия сводятся к защите берегов от действия морских волн — строительству дамб, волноломов, возведению искусственных пляжей и т. п.

Речная эрозия. Эрозионная деятельность рек наиболее интенсивно проявляется в период паводков и приводит к подмыву и обрушению берегов. Наиболее легко и интенсивно подмываются и разрушаются высокие берега, сложенные рыхлыми породами. Для защиты отдельных участков долины рек от подмыва и оползания проводят различные инженерные мероприятия.

Оврагообразование характеризуется размывом и переносом продуктов размыва временными водотоками, в результате чего на поверхности земли образуются углубления различной формы. Основные факторы обуславливающие оврагообразование,— это крутизна и форма склонов, состав пород, слагающих склон, климатические условия, хозяйственная деятельность человека (распашка склонов, устройство канав, уничтожение растительности на склонах и вблизи них и т. п.).

К мерам борьбы с оврагообразованием относятся различные мероприятия агротехнического, лесомелиоративного и гидротехнического характера.

Сели — бурные временные грязекаменные, грязецебенистые или грязевые потоки, возникающие в горных районах во время ливня или при интенсивном таянии снега.

Грязекаменный поток, несущийся с большой скоростью, по пути своего движения производит большие разрушения: сносит мосты, здания, портит и заваливает дороги, забивает отверстия искусственных сооружений, приводит в негодность пашни, сады.

В зависимости от природных особенностей мест, где проявляются сели, профилактические мероприятия бывают самыми разнообразными. Главнейшие из них: устройство защитно-регуляционных сооружений на пути движения селя — дамб, полузапруд, селеуловителей и т. п., а также лесонасаждение и травосеяние на площади селеобразующего бассейна.

Под совокупным воздействием различных факторов на естественных склонах и искусственных откосах проявляются различные деформации, на которых наиболее распространены осыпи, обвалы, оползни.

Осыпи представляют собой скопления обломков горных пород у основания и в нижней части крутых склонов. Образующийся при выветривании горных пород материал под воздействием силы тяжести постепенно скатывается, смещается вниз по склону. Возникающая при этом осыпь состоит из угловатых несортированных обломком разного размера: от песчинок до глыб объемом в несколько кубических метров.

Обвалы происходят при отрыве и падении с естественных склонов или с откосов горных выработок как отдельных небольших камней, так и больших масс каменного материала; при движении камней происходит их опрокидывание, дробление и скатывание вниз по склону.

Борьба с осыпями и обвалами ведется путем укрепления склонов, создания заградительных стен, тоннелей и т. д.

Причина образования обвалов — ослабление прочности и целостности горных пород на склонах под влиянием процессов выветривания, а также землетрясений или взрывных работ.

Оползни представляют собой движение масс горных пород вниз по уклону местности под действием силы тяжести, связанное во многих случаях с деятельностью поверхностных и подземных вод. В зависимости от причин и факторов, обус-

ловливающих возникновение и развитие оползней, проводятся соответствующие противооползневые мероприятия, придающие склонам или откосам горных выработок нужную устойчивость и тем самым предохраняющие сооружения от разрушения.

В районах с многолетней мерзлотой замерзание и оттаивание горных пород влекут за собой ряд физико-геологических явлений, которые могут влиять на различные сооружения. К ним относятся: морозобойное растрескивание, пучение пород, наледи и т. д.

Эти явления широко наблюдаются в северных и восточных районах нашей страны и должны учитываться при проходке горных выработок и строительстве инженерных сооружений.

14.1.2. Явления, связанные с деятельностью подземных вод

Из этих явлений особенно большое значение в горной промышленности имеют карст и суффозия, так как при проведении горных выработок в закарстованных породах притоки воды иногда возрастают до значительных размеров, а суффозия ведет к образованию оползней и плывунов.

При проходке горных выработок в закарстованных районах применяют замораживание, цементацию, битумизацию, глинизацию пород, а также разнообразные способы борьбы с притоками воды в горные выработки.

Суффозионные процессы заключаются в выносе фильтрующей водой мелких частиц из песчаных образований; при этом последние разрыхляются, что нередко ведет к развитию оползней. Суффозия проявляется при определенном гранулярном составе и структуре пород в условиях повышенного гидродинамического давления на склоне.

Под плывунами понимают водонасыщенные породы, которые при вскрытии их в котлованах, горных выработках, выемках и т. п. ведут себя подобно тяжелым, вязким жидкостям, приходя в движение и оплывая. В таком состоянии могут находиться породы самого различного гранулярного состава, способные во время вскрытия при наличии соответствующего гидравлического давления или при встряхивании и других внешних механических воздействиях перемещаться.

Основные способы борьбы с плывунами — это устройство перемычек, ограждающих горную выработку, замораживание плывунов, что придает им временную прочность, электродренаж и электроуплотнение плывинных пород; химические способы закрепления плывунов — силикатизация, смолизация и др.

14.2. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Явления и процессы, обусловленные взаимодействием геологической среды с инженерными сооружениями, называются инженерно-геологическими.

Наиболее существенное значение из них в горной промышленности имеют горное давление и пучение пород при проходке тоннелей и горных выработок, смывание горных пород над подземными выработками, деформация откосов карьеров и выпирание дна котлованов.

Нарушение устойчивости откосов чаще всего проявляется в следующих формах: оползание, выдавливание, размыв откоса. Оползание и выдавливание откоса горных выработок обуславливается ползучестью глинистых пород, слагающих откос, под давлением вышележащих горных масс. В результате оползания и выдавливания откосы оседают и смещаются. Выдавливание обычно наблюдается в длительно существующих выемках и карьерах, когда под влиянием значительного перепада давления в глинистых породах происходит уменьшение упругости, что и приводит по истечении некоторого времени к их выдавливанию. Для предотвращения подобных деформаций откосы постоянно существующих выемок и карьеров необходимо выполаживать до нужной крутизны, чтобы снизить перепад давления до безопасной величины, или же в основании откоса, сложенного глинистыми породами, делают искусственную насыпь, что также сглаживает перепад давления.

Размыв откосов может быть обусловлен неправильным отводом ливневых и талых вод, в результате чего на откосах образуются промоины различной ширины и глубины, как правило, с крутыми стенками, что и влечет за собой деформацию откосов. Для борьбы с размывом откосов осадки отводят нагорными канавами.

В естественных условиях горные породы находятся в состоянии сопряженного равновесия. После проходки выработки это равновесие нарушается, что может привести к обрушению. Последнее можно предотвратить, установив в выработках крепление. Породы, склонные к обрушению, будут оказывать на крепь механическое воздействие, которое называется горным давлением. К разновидности горного давления относится пучение. В подземных горных выработках оно возникает преимущественно в глинистых породах определенного минерального состава при их смачивании. Наиболее интенсивно пучение проявляется в глинистых породах монтмориллонитового состава, хотя при соответствующих условиях пучение присуще всем горным породам.

Пучение в горных выработках проявляется не сразу после их проходки, а с течением времени; с учетом этого его отрица-

тельное воздействие может быть устранено или значительно снижено за счет скоростной проходки выработок и с немедленным их креплением. Все пустоты между облицовкой и породой должны тщательно тампонироваться сразу же после установления крепи. Эти мероприятия при надлежащем типе крепи предотвращают развитие в глинистых породах процессов ползучести, что и предохраняет горные выработки от деформаций.

При наличии тектонических трещин, зон разлома и карстовых пустот в горные выработки могут прорваться подземные воды и газы.

Прорывы обычно проявляются только у забоя подземных выработок. Для их предотвращения при проходке подземных выработок к участку, где возможен прорыв, из забоя проходят горизонтальные или наклонные опережающие скважины.

Сдвижением горных пород называется деформация в породах, залегающих над выработанным пространством. В зависимости от установленной степени опасности применяют различные мероприятия, предохраняющие сооружения от недопустимых деформаций. Главнейшими из мероприятий считают: оставление предохранительных (охранных) целиков; полную или частичную закладку выработанного пространства, применение дополнительных устройств, увеличивающих прочность и жесткость сооружений.

Часть 6. ОХРАНА НЕДР

Глава 15. ЧЕЛОВЕК И ЗЕМНАЯ КОРА

Как было показано в первой части учебника, земная кора образовалась в результате сложной и многостадийной дифференциации вещества на определенной стадии развития Земли. И хотя она составляет вместе с атмосферой и гидросферой лишь около 1 % от всей массы Земли, тем не менее земная кора — очень сложная материальная система.

Во-первых, земная кора характеризуется самой высокой дифференциацией ее состава, тогда как другие сферы (мантия, ядро, атмосфера, гидросфера) в этом отношении более однородны. Эта самая высокая дифференциация обуславливает наличие в земной коре богатого разнообразия природных соединений, в частности месторождений полезных ископаемых.

Во-вторых, земная кора является ареной взаимодействия атмосферы и гидросферы с твердой оболочкой Земли; земная кора трансформирует, преобразует, с одной стороны, внешнюю энергию, а с другой — внутреннюю, осуществляя их взаимные переходы, превращения из одного вида энергии в другой. Высокая дифференциация земного вещества в земной коре — это несомненно следствие взаимодействия внешних и внутренних геосфер Земли.

В-третьих, результаты деятельности сфер Земли не исчезают бесследно, а записываются в «каменной книге» Земли, отражаясь в вещественном составе, структуре, энергетическом состоянии земной коры. Это делает возможным прочесть историю жизни земной коры, восстановить ход развития Земли с момента возникновения на ней земной коры.

В-четвертых, земная кора является объектом непосредственного изучения и освоения ее человеком, полем его практической деятельности, направленной в конечном счете на изменение лика Земли.

Минеральные ресурсы земной коры составляют основу экономического развития человеческого общества. Человек активно вторгается в недра Земли, извлекает в огромном количестве полезные ископаемые. Только в капиталистических и развивающихся странах за последние 80 лет добыто около 150 млрд. т различных видов минерального сырья.

Добыча полезных ископаемых, интенсивное проведение гидротехнических мелиоративных и других видов работ, связанных с внедрением человека в земную кору, нарушают сложившиеся в ней природные равновесия, во много раз ускоряя естественные или вызывая к жизни новые, техногенные геологические процессы. Эти изменения отражаются на поверхности, на составе и строении земной коры. Человек целенаправленно

или стихийно создает на поверхности Земли антропогенный ландшафт.

Так, разработка и добыча полезных ископаемых способствуют возрастанию контрастности земной поверхности. Только за счет открытой разработки полезных ископаемых в СССР ежегодно образуются отвалы объемом в сотни миллионов кубических метров. За короткое время возникают горы, которые в естественных условиях создавались бы природой при длительных геологических процессах.

В отличие от горно-технической инженерно-строительная и сельскохозяйственная деятельность человека, наоборот, нивелирует земную поверхность. Особенно ярко это проявляется в сельскохозяйственных работах. С целью создания лучших условий для земледелия человек изменяет рельеф поверхности, геохимические и гидрогеологические режимы, срезает склоны, уничтожает отрицательные формы микрорельефа, на больших площадях рассеивает минеральные и органические вещества, обводняет пустыни и осушает заболоченные участки.

Инженерно-строительная деятельность, особенно градостроительство, также способствует выравниванию земной поверхности. В то же время возведение зданий, плотин и других сооружений, в свою очередь, создает условия для возникновения антропогенных тектонических процессов. Под каждым зданием формируется просадочная воронка. Величина просадки достигает порой нескольких метров. Города в целом еще значительно воздействуют своей массой на поведение верхних участков земной коры. Они находятся в своеобразных «чашах» опускания, за пределами которых развивается кольцевая зона поднятий. Эта зона возникает вследствие упругих свойств земной коры, как компенсация тектонического опускания.

Таким образом, постоянные поверхностные нагрузки, создаваемые искусственными сооружениями, способствуют изменению строения верхней части земной коры.

Изменения в строении земной коры часто могут быть связаны с горнотехнической деятельностью человека. Например, в результате искусственного образования пустот при эксплуатации подземных вод, жидких и газообразных полезных ископаемых, залегающих, как правило, в осадочных породах, происходят проседания земной поверхности, обвалы, нарушаются термический, газовый и геохимический режимы. В результате исчезают родники, мелеют реки и озера, развивается карст и происходят многие другие процессы, вызывающие быстрое преобразование и деформацию верхнего слоя земной коры.

Деятельность человека преобразует и состав земной коры. Эти преобразования идут в двух направлениях: целенаправленно, для создания минеральных образований с заранее предусмотренными свойствами и стихийно, когда появляются огромные массы минеральных и органических отходов, не находящихся пока использования.

Целенаправленные изменения — результат инженерно-геологических мероприятий, нарушающих природный состав пород для придания им необходимых новых свойств. В настоящее время интенсивно развивается прикладная дисциплина — техническая мелиорация, являющаяся составной частью инженерно-геологической отрасли знаний. Создан и совершенствуется ряд эффективных методов, например, цементизация, битумизация, силикатизация, виброуплотнение и т. д., позволяющие резко изменить первоначальный состав и строение пород. Такие мероприятия осуществляют, как правило, на ограниченных участках под отдельными сооружениями.

Наряду с целенаправленным преобразованием состава горных пород происходят также стихийные, неконтролируемые изменения. Внесение в почву огромного количества минеральных удобрений способствует изменению геохимического состава минеральных образований. Достаточно отметить, что только с калийными удобрениями на 1 м² земной поверхности, используемой для земледелия, ежегодно поступает 4—5 г хлора. Этого количества достаточно, чтобы существенно изменить содержание и соотношение геохимических элементов в поверхностных частях земной коры на обширных территориях.

Однако основная масса антропогенных образований создается в итоге неполной утилизации используемого человеком минерального сырья.

Полагают, что более $\frac{9}{10}$ всего объема отходов хозяйственной деятельности людей приходится на долю предприятий, перерабатывающих минеральное сырье.

Добыча полезных ископаемых, их переработка, строительство и эксплуатация сооружений, потребление продуктов производства — далеко не полный перечень источников, порождающих ранее несуществовавшие в природе отложения. Все это приводит к изменениям в естественной окружающей среде, так как уровень технологии, исключаящий такого рода явления (замкнутый безотходный технологический цикл), пока еще не достигнут.

Стихийность в преобразовании состава поверхностной части земной коры особенно ярко проявляется в зонах поселений. Ныне в крупных городах антропогенные отложения в районах старой застройки залегают сплошным покровом мощностью до нескольких десятков метров. Например, в Киеве они достигают (м) 36, в Москве — 22, в Ташкенте — 18, в Лондоне — 25, в Париже — 20.

Вполне очевидно, что многие технологические процессы, если не принять соответствующих мер, будут иметь крайне нежелательные для жизни человека и окружающей его среды последствия. Отсюда возникает вполне обоснованный вопрос: не повлечет ли воздействие человека на окружающую среду, не создаст ли его внедрение в образования, слагающие земную кору, такие последствия, которые могут нанести непоправимый ущерб

народному хозяйству и жизнеобеспеченности народов отдельных территорий, а затем и всей Земле?

Хозяйственная деятельность человека достигла таких масштабов, при которых уже очевидна и общепризнана необходимость усиления как охраны недр, так и специального изучения геологических последствий этой деятельности, что повлекло за собой рождение технической геологии — самой молодой науки геологического цикла. Техническая геология, по определению академика А. В. Сидоренко, призвана давать прогнозы, как в результате вмешательства человека в земную кору нарушается баланс природных компонентов и как пойдет дальше развитие геологических процессов в земной коре, в зоне, доступной человеку.

Техническая геология изучает техногенные геологические процессы, стимулированные хозяйственной деятельностью человека. Здесь ее задачи и методы исследования тесно переплетаются с задачами и методами исследования динамической геологии, учения о полезных ископаемых, гидрогеологии, инженерной геологии и геоморфологии. Но в задачу технической геологии входит не только и не столько изучение самих техногенных геологических процессов как таковых, по характеру протекания в принципе мало отличимых от естественных геологических процессов, сколько изучение и предвидение геологических последствий хозяйственной деятельности человека в пределах земной коры и на ее поверхности. В силу того, что в результате этой деятельности активно изменяется, преобразуется прежде всего поверхность Земли, ее ландшафт (рельеф, биогеоценоз, почва), техническая геология должна тесно контактировать и с науками биогеографического цикла, в первую очередь — с ландшафтоведением. В компетенцию технической геологии входят также вопросы рационального использования и охраны недр, и здесь она должна опираться на данные таких наук, как горное дело и технология переработки минерального сырья, экономика минерального сырья и экономическая география, природопользование и геогигиена.

Таким образом, техническая геология является комплексной геологической наукой, призванной активно участвовать в решении проблемы «природа — человек — наука — техника», в которой переплетаются вопросы производственные и научные, политические и нравственные, благосостояния людей и геогигиены.

Глава 16. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

В современных условиях вопросы взаимодействия общества и природы, охраны и улучшения природной среды выдвигаются в число первостепенных теоретических и практических научных проблем. Общеизвестно то огромное внимание, которое уделяет партия и правительство охране природы.

Приняты постановления, направленные на улучшение охраны и рациональное использование природных ресурсов. Необходимость принятия их диктовалась требованиями современного этапа развития народного хозяйства. Почти все материальные ценности — результат добычи и переработки полезных ископаемых. Из недр мы получаем сырье для металлургической и химической промышленности, удобрения для сельского хозяйства, строительные материалы. Но недра Земли не неисчерпаемы. Пришла пора дать себе полный отчет, какое сырье, сколько, и как добывать, чтобы пользоваться богатствами рационально и исторически целенаправленно. И правовые нормы об охране недр направлены на предотвращение и пресечение случаев бесхозяйственного использования полезных ископаемых.

Охрана недр понимается прежде всего как обеспечение их бережного использования. В условиях резкого увеличения масштабов производства и роста народонаселения повышается потребление природных ресурсов, возникает необходимость эффективного использования извлеченного природного сырья, с тем чтобы к этим количествам добытого сырья не добавлять еще потерянных в результате его нерационального приращения и переработки.

Особое внимание в законодательных постановлениях уделено обеспечению безопасности горных работ, государственному надзору и контролю за использованием и охраной недр.

Все это — важнейшая гарантия и стимул в деле рационального использования и охраны недр. Богатство недр — это часть природных богатств страны. И нужно их использовать эффективно, разумно и с перспективой на будущее. В Отчете Центрального Комитета КПСС XXVI съезду Коммунистической партии Советского Союза и очередных задачах партии в области внутренней и внешней политики сказано, что необходимо более комплексно осваивать месторождения полезных ископаемых, не допуская их потерь при добыче и переработке.

Все отрасли народного хозяйства включают мероприятия по рациональному использованию естественных богатств и их охране. Один из наиболее реальных путей рационального использования минерально-сырьевых ресурсов комплексный подход к извлечению и переработке сырья, обеспечивающий наи-

более полное и экономически целесообразное использование запасов основных и залегающих совместно с ними полезных ископаемых, утилизацию отходов добычных работ, а также вторичное использование месторождений и других ресурсов.

Быстрый рост объема добычи полезных ископаемых, особенно с помощью открытых разработок, приводит ежегодно к изъятию из народнохозяйственного оборота десятков тысяч гектаров земель. Поэтому восстановление поверхности литосферы становится одной из наиболее актуальных задач охраны окружающей среды.

В задачу рекультивации входит создание оптимальных условий для жизнедеятельности биогеоценоза и придание наилучших форм использованию того или иного затронутого техногенным процессом участка земной поверхности.

Различают три основные стадии рекультивации — горнотехническую, биологическую и строительную.

Горнотехническая рекультивация — предварительная подготовка нарушенных территорий для целевого использования. Сюда входят работы по планировке поверхности, покрытию ее слоем почвы, проведению необходимых мелиоративных мероприятий (дренажа, известкования кислых грунтов и т. д.), а также подготовка участков для освоения (проведение дорог, создание водоемов) и предупредительные инженерно-геологические работы (противооползневые и противоосадочные).

Биологическая рекультивация, следующая за горнотехнической, входит прежде всего в круг деятельности агротехников, ботаников и биологов. Их задача состоит в создании на ранее нарушенных участках пастбищ, пашен, садов, лесов, рыбоводных водоемов.

Завершающей стадией рекультивационных мероприятий могут стать работы, называемые строительной рекультивацией. Она производится на нарушенных территориях для создания промышленных и жилых районов, зон отдыха. Такие мероприятия входят в функции строительных организаций. Безусловно, капитальное строительство экономически целесообразно размещать именно на непригодных для сельского хозяйства площадях.

Список литературы

1. Горшков Г. П., Якушева А. Ф. Общая геология. М., Изд-во МГУ, 1974.
2. Гудаев А. Н. Геология. М., Недра, 1968.
3. Кравцов А. И., Бакалдина А. П. Геология. М., Недра, 1979.
4. Курс рудных месторождений/Смирнов В. И., Гинзбург А. И., Григорьев В. М., Яковлев Г. Ф. М., Недра, 1981.
5. Мильничук В. С., Арабаджи М. С. Общая геология. М., Недра, 1979.
6. Михайлов А. Е., Структурная геология и геологическое картирование. 4-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1984.
7. Общая геология/Г. Д. Ажгирей, Г. П. Горшков, Е. В. Шанцер и др. М., Просвещение, 1974.
8. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых/О. Е. Погребницкий, С. В. Парадеев, Г. С. Поротов и др. М., Недра, 1977.
9. Седенко М. В. Основы гидрогеологии и инженерной геологии. М., Недра, 1979.

- Абиссальные осадки 118
 Азимут падения 79
 Азимут простираания 79
 Актинолит 43
 Аксессуары минералы 47
 Алеврит и алевролит 51
 Аллювиальные отложения 105
 Алмаз 31
 Амфиболит 63
 Амфиболов группа 43
 Ангидрит 40
 Андалузит 41
 Андезит 60
 Антимонит 33
 Антрацит 55
 Аргиллит 52
 Апатит 39
 Аплит 61
 Арсенопирит 32
 Ассимиляция 122
 Астеносфера 17
 Базальт 59
 Базис эрозии 104
 Барит 39
 Бархан 101
 Батинальная зона 117
 Батолит 75
 Берилл 42
 Биотит 44
 Боксит 54
 Брекчия 51
 Бурый железняк (лимонит) 36
 Вермикулит 44
 Верхняя мантия 17
 Верховодка 106, 107
 Влагоемкость 106
 Внешнее ядро 17
 Внутреннее ядро 17
 Водопроницаемость 106
 Выветривание 96
 Габбро 59
 Галенит 32
 Галит 36
 Гарполит 75
 Геонд 10
 Гематит 34
 Геосинклиналь 95
 Геосинклинальная теория 145
 Геотермическая ступень 16
 Геотермический градиент 15
 Геохронология 135
 Гиперстен 43
 Гипс 39
 Глина 50, 52
 Гнейс 63
 Горное давление 250
 Горючий сланец 55
 Гравелит 51
 Гранаты 41
 Гранит 60
 Графит 31
 Дайка 74
 Делювий 103
 Денудация 119
 Дефляция 100
 Диагенез 120
 Диабаз 59
 Диопсид 43
 Диорит 59
 Дистен 41
 Дифференциация 122
 Доломит 38, 62
 Дунит 59
 Дюна 102
 Землетрясение 129
 Земная кора 7
 Золото 30
 Известняк 53
 Изосейсты 130
 Ильменит 35
 Инфильтрация 106
 Кальцит 37, 53
 Каолинит 44
 Карналлит 37
 Карст 109
 Касситерит 37
 Кварц 33
 Кварцевый порфир 61
 Кварцит 63
 Киноварь 32
 Кимберлит 57
 Кристалл 19
 Кристаллическая решетка 19
 Кристаллический сланец 62
 Колебательное (эпейрогеническое) движение 128
 Конгломерат 51
 Континент 93
 Контракция 144
 Конус выноса 104
 Кора выветривания 98
 Корразия 100, 101
 Корунд 34
 Лакколит 73
 Ледник 109
 Линейность 91
 Линия падения 78
 Линия простираания 78
 Липарит 61
 Литогенез 119
 Литоральная зона 115
 Литосфера 4
 Лополит 74

Магма 121
Магматизм 121
Магнетит 38
Магнетит 35
Магнитная аномалия 13
Магнитное поле 12
Магнитность 29
Магнитный экватор 12
Малахит 38
Мантия 17
Мергель 53
Метаморфизм 127
Микроклин 46
Молибденит 33
Морена 110, 111
Мрамор 63
Мусковит 44

Надвиг 89
Некк 74
Нефелин 46
Нефть 55
Нижняя мантия 17

Обсидиан 61
Океан 93
Оливин 40
Оползень 108
Ортоклаз 46

Пегматит 60
Пемза 61
Переходная зона 93
Перидотит 51
Пески и песчаники 51
Пирит 31
Пироксенит 59
Пироксенов группа 43
Плагиоклазы 46
Платина 30
Платформа 94
Подвижный пояс 94
Полевые шпаты 46
Полосчатость 91
Породообразующие минералы 47
Поствулканические явления 124
Прогнозные запасы 226

Раздвиг 89
Разлом 87
Регрессия 129
Рекультивация 257
— биологическая 257
— горнотехническая 257

— строительная 257
Роговая обманка 44

Сброс 87
Сдвиг 90
Седиментогенез 120
Секущие интрузии 73, 74
Сера 30
Серебро 30
Серпентин 45
Сеннит 60
Сидерит 38
Силлиманит 42
Сильвин 36
Скарн 64
Складка 81
Складчатость 139
Слой 65
Слоистость 67
Слюды 44
Согласные интрузии 73, 75
Солнечная система 7
Спайность 28
Сфалерит 32

Тальк 44
Тектоника литосферных плит 145
Тектонический покров 90
Тепловой поток 16
Топаз 42
Торф 55
Трансгрессия 129
Трахит 60
Тремолит 43
Турмалин 42

Угол падения 78
Уголь 55
Упругие, или сейсмические, волны 14

Филлит 62
Флексура 84
Флюорит 37
Фосфорит 53, 54

Халцедон 34
Халькопирит 32
Хлориты 45
Хромит 35

Циркон 41

Эллипсоид вращения 10
Эпидот 42

Ювенильные воды 106

Оглавление

Предисловие	3
Введение	4
ЧАСТЬ 1. ЗЕМЛЯ И ЗЕМНАЯ КОРА	7
Глава 1. Общие сведения о Земле	7
1.1. Земля во Вселенной	7
1.2. Форма и размеры Земли	10
1.3. Физические свойства Земли	11
1.4. Строение и состав Земли	16
1.5. Химический состав Земли и земной коры	17
Глава 2. Состав земной коры	19
2.1. Минералы	19
2.1.1. Элементы кристаллографии и кристаллохимии	19
2.1.2. Условия образования и формы нахождения минералов в природе	24
2.1.3. Физические свойства минералов	26
2.1.4. Классификация минералов	29
2.2. Горные породы	47
2.2.1. Общие сведения	47
2.2.2. Осадочные горные породы	49
2.2.3. Магматические горные породы	56
2.2.4. Метаморфические горные породы	61
Глава 3. Строение земной коры. Основы структурной геологии	64
3.1. Условия залегания горных пород	65
3.2. Первичные структуры	65
3.2.1. Структуры осадочных пород	65
3.2.2. Согласное и несогласное залегание слоистых толщ	68
3.2.3. Структуры вулканогенных комплексов	69
3.2.4. Структуры интрузивных комплексов	73
3.3. Вторичные структуры	77
3.3.1. Наклонное залегание слоистых толщ	78
3.3.2. Морфологические типы складок	81
3.3.3. Кинематические типы складок	84
3.3.4. Разрывные нарушения	85
3.4. Структуры метаморфических комплексов	90
3.5. Крупнейшие структуры земной коры	93
ЧАСТЬ 2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ	96
Глава 4. Экзогенные процессы	96
4.1. Выветривание	96
4.1.1. Типы выветривания	96
4.1.2. Продукты выветривания	98
4.2. Геологическая деятельность ветра	100
4.2.1. Дефляция и корразия	100
4.2.2. Эоловые отложения	101
4.3. Геологическая деятельность поверхностных вод	103
4.3.1. Плоскостной смыв и делювий	103
4.3.2. Временные водотоки и пролювий	103
4.3.3. Геологическая работа рек	104
4.4. Геологическая деятельность подземных вод	105
4.4.1. Происхождение подземных вод	106
4.4.2. Водопроницаемость горных пород	106
4.4.3. Типы подземных вод	106
	261

4.4.4. Геологическая работа подземных вод	108
4.5. Геологическая деятельность ледников	109
4.5.1. Типы ледников	109
4.5.2. Геологическая работа ледников	110
4.5.3. Древние оледенения	111
4.6. Геологическая деятельность озер и болот	113
4.6.1. Озера и их геологическая деятельность	113
4.6.2. Геологическая деятельность болот	114
4.7. Геологическая деятельность моря	115
4.8. Литогенез	119
Глава 5. Эндогенные процессы	121
5.1. Магматизм	121
5.1.1. Интрузивный магматизм	122
5.1.2. Эффузивный магматизм	122
5.1.3. Географическое распространение вулканов	125
5.2. Метаморфизм	127
5.3. Тектонические движения	128
5.3.1. Эпейрогенические и орогенические движения	128
5.3.2. Землетрясения	129
ЧАСТЬ 3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ	132
Глава 6. Краткие сведения по исторической геологии	132
6.1. Методы определения относительного возраста горных пород	133
6.2. Методы определения абсолютного возраста горных пород и минералов	134
6.3. Геохронологическая и стратиграфическая шкалы	135
6.4. Этапы развития земной коры	138
6.4.1. Докембрий	138
6.4.2. Палеозой	139
6.4.3. Мезозой	140
6.4.4. Кайнозой	141
6.4.5. Основные этапы развития органического мира	142
Глава 7. Современные представления о формировании земной коры	144
ЧАСТЬ 4. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ	148
Глава 8. Классификация месторождений полезных ископаемых	148
8.1. Понятие о рудных телах и рудах	148
8.2. Седиментогенные месторождения	152
8.3. Магматогенные месторождения	154
8.4. Метаморфогенные месторождения	156
8.5. Закономерности размещения месторождений полезных ископаемых	156
Глава 9. Месторождения металлических полезных ископаемых	159
9.1. Месторождения черных и легирующих металлов	159
9.1.1. Месторождения железа	159
9.1.2. Месторождения марганца	165
9.1.3. Месторождения хрома	166
9.1.4. Месторождения титана	167
9.1.5. Месторождения ванадия	168
9.2. Месторождения цветных металлов	168
9.2.1. Месторождения алюминия	168
9.2.2. Месторождения меди	169
9.2.3. Месторождения свинца и цинка	174
9.2.4. Месторождения никеля и кобальта	175
9.2.5. Месторождения олова	176
9.2.6. Месторождения молибдена	178
9.2.7. Месторождения вольфрама	180

9.2.8. Месторождения висмута	180
9.2.9. Месторождения сурьмы	181
9.2.10. Месторождения ртути	182
9.3. Месторождения благородных, редких и радиоактивных металлов	183
9.3.1. Месторождения золота	183
9.3.2. Месторождения серебра	185
9.3.3. Месторождения платины и платиноидов	186
9.3.4. Месторождения редких металлов	186
Глава 10. Месторождения неметаллических полезных ископаемых	188
10.1. Химическое сырье	188
10.1.1. Месторождения фосфатного сырья	188
10.1.2. Месторождения минеральных солей	189
10.1.3. Месторождения серы	191
10.2. Индустриальное сырье	191
10.2.1. Месторождения алмаза	191
10.2.2. Месторождения асбеста	193
10.2.3. Месторождения талька	194
10.2.4. Месторождения слюд	195
10.2.5. Месторождения кварца	196
10.2.6. Месторождения графита	197
10.3. Строительные материалы	198
10.3.1. Месторождения строительного камня	198
10.3.2. Месторождения цементного сырья, гипса и ангидрита	199
10.3.3. Месторождения глин	200
Глава 11. Месторождения горючих полезных ископаемых	200
11.1. Месторождения твердых горючих ископаемых	200
11.1.1. Условия образования ископаемых углей и горючих сланцев	200
11.1.2. Состав и качественная характеристика ископаемых углей	201
11.1.3. Месторождения ископаемых углей	202
11.1.4. Месторождения горючих сланцев	204
11.2. Месторождения нефти и газа	205
Глава 12. Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых	207
12.1. Геологическая съемка	207
12.2. Поиски месторождений полезных ископаемых	213
12.2.1. Этапы поисковых работ	213
12.2.2. Поисковые признаки	214
12.2.3. Методы поисков	214
12.2.4. Поиски месторождений, не выходящих на поверхность	217
12.3. Разведка месторождений полезных ископаемых	218
12.3.1. Предварительная разведка	219
12.3.2. Детальная разведка	219
12.3.3. Разведка эксплуатируемого месторождения в пределах горного отвода	219
12.3.4. Эксплуатационная разведка	220
12.4. Опробование полезных ископаемых	220
12.4.1. Способы отбора проб	221
12.4.2. Обработка проб	223
12.5. Понятие о подсчете запасов	224
12.5.1. Кондиции и категории запасов	224
12.5.2. Подсчет запасов	226
12.6. Геологическая документация	227
12.6.1. Описание обнажений	228
12.6.2. Документация канав	231
12.6.3. Документация шурфов	232
12.6.4. Геологическая документация карьеров	233
12.6.5. Документация подземных горных выработок	234
12.6.6. Документация колонковых буровых скважин	235

12.7. Рудничная (шахтная) геология	237
12.8. Техника безопасности на геологоразведочных работах	239
ЧАСТЬ 5. ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ	241
Глава 13. Основы гидрогеологии	241
13.1. Условия обводнения месторождений полезных ископаемых	241
13.2. Гидрогеологическая классификация месторождений полезных ископаемых	243
13.3. Определение притоков воды в горные выработки и меры борьбы с подземными водами	245
Глава 14. Основы инженерной геологии	246
14.1. Основные типы физико-геологических явлений	247
14.1.1. Явления, связанные с деятельностью поверхностных вод	247
14.1.2. Явления, связанные с деятельностью подземных вод	249
14.2. Основные типы инженерно-геологических явлений	250
ЧАСТЬ 6. ОХРАНА НЕДР	252
Глава 15. Человек и земная кора	252
Глава 16. Рациональное использование, воспроизводство и охрана минеральных ресурсов	568
Список литературы	252
Указатель основных геологических терминов	259

Георгий Александрович Кейльман
Владимир Босхаевич Болтыров

ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ

Редактор издательства *И. Ф. Искра*
 Переплет художника *В. И. Казаковой*
 Художественный редактор *Е. Л. Юрковская*
 Технический редактор *Е. В. Воробьева*
 Корректор *С. Г. Барсукова*
 ИБ № 3232

Сдано в набор 12.07.84. Подписано в печать 31.10.84. Т-19969. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 1. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 16,5. Усл. кр.-отт. 16,69. Уч.-изд. л. 18,0. Тираж 10 300 экз. Заказ № 1332/7911—1. Цена 75 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,
 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.