

2172

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

Кафедра «Горные работы»

Н.Н.Поликарпова

ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ

Учебно-методическое пособие
для студентов заочной формы обучения
по специальности «Горный инженер»

Минск 2001

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

Кафедра «Горные работы»

Н.Н.Поликарпова

ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ

Учебно-методическое пособие
для студентов заочной формы обучения
по специальности «Горный инженер»

Минск 2001

УДК 551.114

П.50

Поликарпова Н.Н. Общая геология: Учебно-метод. пособие для студ. заочной формы обучения по специальности «Горный инженер». – Мн.: БГПА, 2001. – 71 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов заочной формы обучения по специальности «Горный инженер».

В пособии представлены основные разделы, входящие в курс «Общей геологии». Цель пособия - обозначить главные понятия, определения, которыми оперирует геология, а также изложить задачи науки и охарактеризовать объекты ее изучения. В пособии приведены простейшие методики определения минералов и горных пород и их квалификация.

Пособие дает представление по основным темам, но в связи с ограниченностью объема не претендует на полноту изложения и не может служить заменой учебнику.

Рецензент П.Е. Антонов

Геология (греч. "гео" - Земля, "логос" - учение) изучает строение, состав, происхождение и развитие Земли. Основной задачей является изучение наружной каменной оболочки планеты - земной коры и взаимодействующих с ней внешних и внутренних оболочек Земли.

Объектами изучения геологии являются минералы, горные породы, ископаемые органические остатки и геологические процессы. Минералами называют природные химические соединения, однородные по составу и строению, образовавшиеся в результате естественных физико-химических процессов. Горные породы - это природные устойчивые ассоциации минералов, сформировавшиеся в результате определенных геологических процессов и образующие в земной коре самостоятельные геологические тела. По происхождению выделяют три типа горных пород: магматические, или изверженные, возникшие при остывании магмы (огненно-жидкого силикатного расплава); осадочные, образовавшиеся при механической, химической или биохимической переработке вещества земной коры в поверхностных условиях; метаморфические, которые формируются в процессе преобразования любых первичных пород в недрах Земли под действием высоких температур, давления и химически активных веществ. Ископаемые органические остатки позволяют определить возраст и условия образования горных пород, в которых они обнаруживаются.

Процессы, меняющие состав, строение земной коры и рельеф земной поверхности, называются геологическими. По источнику энергии, месту и условиям протекания геологические процессы разделяются на экзогенные (т.е. извне рожденные) и эндогенные (т.е. внутри рожденные). Экзогенные геологические процессы протекают под воздействием солнечной энергии на поверхности Земли. Они выражаются в изменении (выветривании) горных пород, разрушении и переносе продуктов разрушения водными и воздушными массами, осадении и накоплении продуктов разрушения. Эндогенные геологические процессы развиваются благодаря внутренней энергии Земли. К ним относятся тектонические процессы, объединяющие медленные (вековые) колебательные движения земной коры, и быстро протекающие дислокационные: магматизм - образование в недрах Земли огненно-жидких расплавов, их движение и остывание; метаморфизм - процесс перерождения горных пород на больших глубинах под действием высоких температур, давлений и химически активных веществ.

В геологии применяются прямые, косвенные, экспериментальные и ма-

тематические методы. Основным методом геологических исследований является геологическая съемка и картирование. В процессе геологической съемки оценка состава и строения земной коры производится путем изучения естественных обнажений (обрывы рек, оврагов, склоны гор), искусственных горных выработок (канавы, шурфы, карьеры, шахты) и буровых скважин (наиболее глубокой является Кольская скважина - более 12 км). Максимальная глубина, достигнутая горными выработками, около 4 км.

Среди наук геологического цикла выделяются дисциплины, изучающие вещественный состав земной коры, ее строение, геологические процессы и их историческую последовательность, а также прикладные науки. Вещество земной коры изучают следующие дисциплины. Гесхимия - наука о распределении и процессах миграции химических элементов в земной коре и в Земле в целом. Кристаллография изучает внутреннее кристаллическое строение минералов. Минералогия занимается изучением состава, условий образования и закономерностей распространения минералов.

Изучению горных пород посвящены петрография (греч. "петрос" - камень) и литология (учение об осадочных горных породах).

Современное строение и происхождение рельефа земной поверхности изучает геоморфология; развитие и строение земной коры - геотектоника (греч. "тектоника" - строительство), формы залегания горных пород - структурная геология.

Общие закономерности и последовательность процессов формирования земной коры изучает историческая геология. Историю земной коры исследует также стратиграфия (лат. "стратум" - слой), рассматривающая последовательность образования и заложения слоистых толщ горных пород, и палеонтология (греч. "палеос" - древний, "онтос" - существо), изучающая развитие органического мира прошлых геологических эпох.

Динамическая геология - наука о геологических процессах, включает в качестве разделов сейсмологию - науку о землетрясениях и вулканологию. Вопросами геологического строения и развития отдельных регионов земной коры занимается региональная геология.

К геологическим прикладным наукам относятся учение о месторождениях полезных ископаемых, их поиске и разведке; гидрогеология - наука о происхождении, составе, условиях залегания и движении подземных вод; инженерная геология - наука о геологических условиях возведения и эксплуатации инженерных сооружений; горнопромышленная геология изучает геологическое обеспечение горного производства при проектировании, строительстве, эксплуатации и ликвидации горных предприятий.

Науки геологического цикла играют большую роль в общенаучном и народнохозяйственном аспектах. От них зависит решение задач обеспечения минерально-сырьевыми ресурсами, в том числе водными, а также обоснование строительства различных инженерных объектов. Особенно велико значение геологии для горной науки и промышленности. В связи со значительным истощением полезных ископаемых в приповерхностных частях земной коры ведущей задачей становится детальное изучение более глубоких зон на основе глубинной комплексной геологической съемки, картирования и разведки. Актуальная проблема комплексного использования полезных ископаемых решается на основе глубокого изучения вещественного состава месторождений.

Внедрение новых методов добычи полезных ископаемых, к которым относятся подвешенное выщелачивание руд (урана, меди, золота), калийных и каменных солей, подвешенная выплавка серы и подвешенная газификация углей, добыча полезных ископаемых со дна морей и океанов, невозможно без всестороннего геологического изучения разрабатываемых объектов.

Поскольку процесс добычи минерального сырья выступает как мощнейший техногенный фактор воздействия на земную кору, сопоставимый с геологическими процессами, на первый план выдвигается наука об охране и рациональном использовании недр.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ

Земля - внутренняя планета Солнечной системы - характеризуется наличием хорошо развитых атмосферы, гидросферы и внутренних оболочек. Характер движения Земли в Солнечной системе влияет на количество солнечного тепла, получаемого различными участками планеты. Скорость вращения Земли меняется в течение года и периодически в многолетнем цикле. Ось вращения находится под углом $66^{\circ}33'$ и этот наклон с периодом 19 лет меняется. Такое раскачивание оси называется нутацией.

Под фигурой или формой Земли принимается форма ее твердого тела, образованная поверхностью материков и дном морей и океанов. Геодезические измерения показали, что упрощенная форма Земли приближается к эллипсоиду вращения (сфероиду). Полярный радиус (R_p) равен 6356,8 км, экваториальный (R_e) - 6378,2 км. Детальные измерения показали, что Земля имеет более сложную фигуру, свойственную только ей, которая получила название геоида. Поверхность геоида получают мысленным продолжением поверхности Мирового океана (уровенной поверхности) под конти-

ненты. Уровенная поверхность геоида принимается за базовую при отсчете высот в топографии, геодезии, маркшейдерии. Геоид и сфероид не совпадают, и расхождение между положением их поверхностей достигает + 180 м. По последним данным, Земля имеет грушевидную форму кардиоидального (т.е. сердцевидного) трехосного эллипсоида или кардиоида. Южный полюс расположен на 242 м ближе к экватору, чем северный.

Масса Земли составляет $5,977 \cdot 10^{21}$ т, объем - 1,083 млрд. км³, площадь - 510 млн. км², средняя плотность - 5,517 г/см³.

Реальная поверхность твердого тела Земли имеет более сложные очертания, чем геоид, поскольку она находится под влиянием геологических процессов. Большая часть поверхности планеты - 70,8% покрыта водой, остальная часть - 29,2% приходится на сушу. Мировой океан разделен материками на четыре океана: Тихий, Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый. Суша образована шестью материками - Евразийским, Североамериканским, Южноамериканским, Африканским, Австралийским, Антарктическим и океаническими островами. Высочайшая отметка суши - 8848 м - гора Джомолунгма в Гималаях, наиболее низкая - 11022 м - Марианская впадина в Тихом океане. Средняя высота материков 875 м. Высокогорные участки, образующие линейно-вытянутые горные хребты и пояса, приурочены обычно к краевым частям континентов. Выделяют два меридиональных (Восточно- и Западно-Тихоокеанский) горных пояса и один широтный (Средиземноморский). Ровные участки суши с отметками в среднем 200 м называются равнинами. Они занимают около 20% суши. Возвышенные (до 1000 м) холмистые участки суши, называемые плоскогорьями, занимают 53% суши.

Средняя глубина океана 3800 м. В строении океанического дна выделяют: шельф до глубины 200 м (5,5%), континентальный склон до глубины 3000 м (34,7%), ложе Мирового океана, глубоководные впадины или желоба глубиной до 11 км и срединные океанические хребты.

Выделяются два типа сочленения материков с океанами. Тихоокеанский тип характеризуется резким переходом краевых высокогорных сооружений через узкую полосу шельфа к глубоководным океаническим впадинам. Атлантический тип, характерный для побережий Атлантического, Индийского и Северного Ледовитого океанов, отличается постепенным погружением равнинной суши под уровень океана с образованием широкой шельфовой полосы.

1.1. Строение Земли

Земля как планета характеризуется оболочечным строением с центральной симметрией. Оболочки Земли или геосферы различаются составом, физическими свойствами, состоянием вещества и подразделяются на внешние и внутренние. Внешние оболочки - атмосфера, гидросфера и биосфера составляют характерную особенность строения Земли и играют важную роль в формировании и развитии земной коры. Эти оболочки находятся во взаимодействии между собой и с твердыми оболочками Земли.

Атмосфера - газообразная оболочка Земли с массой $5,15 \cdot 10^{15}$ т. Большая часть массы атмосферы (90%) сосредоточена в слое до высоты 16 км, выше 100 км находится одна миллионная часть массы атмосферного воздуха. Атмосферу подразделяют на три горизонта: тропосферу, стратосферу и ионосферу. Важной особенностью стратосферы является наличие озонового слоя. Главные компоненты атмосферы - азот, кислород, аргон, углекислота составляют 99,99% сухого воздуха. В состав атмосферы входят также водород, озон и инертные газы. Особое место занимают мелкие коллоидные частицы - пыль различного происхождения и техногенные соединения: SO, NO, NH и др. Атмосферная влага образуется путем естественной дистилляции - испарения воды с поверхности Земли.

Воздушные массы атмосферы находятся в постоянном движении под воздействием неравномерного нагревания поверхности Земли и сил Кориолиса. В результате возникают периодически дующие ветры (бризы, муссоны, пассаты), циклоны и антициклоны, а также постоянные потоки воздуха. Воздушные потоки переносят влагу, пыль и существенно влияют на температуру различных областей поверхности Земли. Климатотрофная функция атмосферы связана с многообразием явлений, происходящих в тропосфере. В зависимости от влажности и температурных условий различают климаты: гумидный - влажный, с умеренной или высокой температурой, свойственный тропическим зонам и прилегающим областям; аридный - сухой жаркий климат пустынь и сухих степей; нивальный - влажный и холодный климат полярных и высокогорных областей. Кроме того выделяют умеренно-влажный и тропический типы климата.

Гидросфера. Верхняя граница гидросферы определяется уровнем поверхности открытых водоемов. Нижняя граница неопределенная, предполагается, что она соответствует температурному уровню 374°C (критическая температура воды), при котором вся вода переходит в газообразное состояние. В составе гидросферы выделяют три основных типа природных вод,

обладающих различным составом и различными физическими свойствами. Это океаносфера (воды морей и океанов), воды суши и ледники. Промежуточное положение занимают подземные воды, сосредоточенные в земной коре. Общая масса гидросферы $1644 \cdot 10^{15}$ т, что составляет около 0,025% общей массы Земли. Количество океанических вод - 1370 млн. км³ (86,5%), вод суши - 0,5 млн. км³, объем материковых льдов - около 22 млн. км³, подземных вод - 196 млн. км³. Все воды гидросферы в той или иной мере минерализованы и могут рассматриваться как природные растворы. Воды океана содержат в среднем 35 г солей на 1 л (3,5%). В составе морской воды катионы Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Sr^{2+} и анионы Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Rg^- , F^- , HBO_3^- составляют 95,8% массы растворенных веществ.

Большая часть вод суши образуется за счет атмосферных осадков и отличается минимальной минерализацией.

Под влиянием солнечной радиации воды гидросферы находятся в непрерывном кругообороте, в процессе которого в единую систему связываются все воды, а также осуществляется связь природных вод с атмосферой, земной корой и живым веществом планеты.

Биосфера. Это сфера обитания живых организмов. Она включает в себя всю гидросферу, верхнюю часть литосферы и нижнюю часть атмосферы (ниже озонового экрана).

Живое вещество Земли по своей массе ($2,4 \cdot 10^{12}$ т) составляет ничтожную долю по сравнению с другими оболочками планеты. Но по своему воздействию на окружающую среду оно стоит на первом месте.

Основу живого вещества составляет углерод. Кроме углерода широко распространены в живой природе кислород, водород, азот и сера. Остальные элементы встречаются в относительно небольших количествах. Основная масса живого вещества представлена зелеными растениями, главной функцией которых является фотосинтез - процесс поглощения солнечной энергии и консервации ее в виде химических связей органических соединений, происходящий с поглощением углекислого газа и выделением кислорода. В планетарном масштабе в реакциях фотосинтеза живым веществом биосферы ежегодно усваивается $3,65 \cdot 10^{11}$ т углекислоты и $1,5 \cdot 10^{11}$ т воды и выделяется 266 млрд. т свободного кислорода. Главным генератором свободного кислорода является биомасса Мирового океана.

При гибели организмов происходит процесс разложения органического вещества с участием многочисленных бактериальных и грибковых организмов. Этот процесс находится в динамическом равновесии с фотосинтезом, поэтому общее количество биомассы на Земле постоянно.

Фотосинтез вовлекает в кругооборот огромные массы вещества Земли и является регулятором поверхностных геохимических процессов - фактором, определяющим наличие свободной энергии внешних оболочек планеты.

1.2. Внутренние геосферы

В твердом теле Земли выделяют три оболочки: центральную - ядро, промежуточную - мантию и наружную - земную кору. Сейсмическими исследованиями выделены поверхности раздела, отделяющие друг от друга внутренние геосферы и неоднородности в их пределах. Разделы 1-го порядка определяются резкими скачками в скоростях распространения сейсмических волн и фиксируют границы между главными оболочками Земли - корой и мантией (раздел Мохоровича), мантией и ядром (раздел Вихерта-Гутенберга). Разделы 2-го порядка отмечают внутренние неоднородности в пределах коры, мантии, ядра. Они соответствуют уровню, на котором меняется производная сейсмических скоростей, т.е. скорость нарастания этих скоростей с глубиной. В настоящее время наиболее совершенной моделью строения Земли считается модель Гутенберга-Буллена (рис. 1).

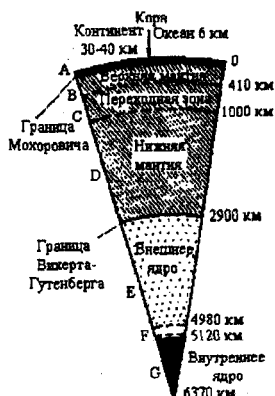


Рис. 1. Внутреннее строение Земли (модель Гутенберга-Буллена)

Ядро. К.Е. Буллен разделил ядро на три зоны:
 слой E (2900-4980 км) - внешнее ядро;
 слой F (4980-5120 км) - переходная зона;
 слой G (5120-6370 км) - внутреннее ядро.

Зона F не имеет четких границ, так как сама является граничной областью между слоями E и G.

Предполагается, что внешнее ядро является жидким. Внутреннее - твердым. Состав ядра рассматривается как железо-никелевый с примесями кремния и серы. Считается, что три его зоны по составу блиаки. По преобладающим химическим элементам Ni (никель) и Fe (железо) эту оболочку часто называют "нифе".

Мантия. В мантии выделяют три зоны:

B - верхняя мантия (33-400 км);

C - переходная зона (400-1000 км);

D - нижняя мантия (1000-2900 км).

Масса мантии составляет около 2/3 массы Земли. О составе имеются лишь гипотетические предположения. Считается, что мантия состоит из железо-магнезиальных силикатов Si (кремний) и Mg (магний) и поэтому эту геосферу именуют "сима". Мантия характеризуется наличием вертикальных и горизонтальных неоднородностей. Установлено, что на глубине, которая в океанах блиака к 50 км, а на материках колеблется между 80 и 120 км, начинается слой пониженных сейсмических скоростей, ограниченный сверху и снизу средой с большими сейсмическими скоростями. В этом слое упругая волна распространяется как в канале, поэтому слой называется сейсмическим волноводом или астеносферой. Предполагается, что астеносфера слагается пластичным, размягченным веществом. Под материками толщина волновода 100-150 км, под океанами - до глубины 300-400 км. К астеносфере приурочено большинство очагов промежуточных землетрясений. Полагают, что в ней возникают магматические очаги и зарождаются вертикальные и горизонтальные движения земной коры (тектонические процессы).

1.3. Земная кора

Земная кора - это верхняя часть каменной оболочки Земли (литосферы), сложенная магматическими, метаморфическими и осадочными породами, сфера деятельности магматических и тектонических процессов. За нижнюю границу земной коры принимается раздел Мохоровича.

Литосфера - это подвижный поверхностный прочный слой, способный выдерживать напряжения $n \cdot 10^7 \text{H/m}^2$. Литосфера рассматривается как тонкая упругая оболочка, плавающая на жидком субстрате и способная изгибаться под действием нагрузок. Литосфера включает в себя земную кору и верхнюю мантию до кровли астеносферы.

Все схемы строения земной коры - это модели, построенные на косвенных данных.

Материковая кора. Ее мощность оценивается от 20 до 80 км. Самый верхний осадочный слой коры на континентах характеризуется скоростями продольных сейсмических волн от 2 до 5 км/с. Он имеет прерывистое распространение и при средней мощности 3 км местами отсутствует, а иногда достигает 20 км. Этот слой часто называют "стратифера". Стратифера (лат. "стратум" - слой) сложена осадочными и вулканогенно-осадочными породами: глинами и глинистыми сланцами (42%), песчаными (20%), вулканогенными (19%) и карбонатными (19%) породами. Объем пород, образующих осадочный чехол, более 80 млн. км³.

Второй слой, ранее называвшийся "гранитовым", теперь чаще называют гранитово-гнейсовым. Он состоит на 50% из гранитов, на 40% - из гнейсов и на 10% - из других метаморфических пород. Скорость продольных сейсмических волн составляет в нем 5-6,5 км/с. Мощность слоя колеблется от 8 до 25 км, хотя в некоторых районах (например, на Балтийском и Анабарском щитах, в центральной части Прикаспийской впадины) он не обнаружен. Третий слой "базальтовый" теперь называют гранулитобазитовым или нижней корой, так как он сложен главным образом породами гранулитовой фации метаморфизма. Скорость продольных сейсмических волн 6-7,6 км/с. Граница между гранитово-гнейсовым и гранулитобазитовым слоями носит название раздела Конрада.

Океаническая кора. Верхний осадочный слой этой коры существенно тоньше, чем на материках, и обычно достигает всего несколько сотен метров. Аномальными выглядят лишь океанические желоба, где мощность осадков может быть как существенно выше средней (8,5 км на юго-западе Японии, более 3 км на северных берегах Колумбии), так и очень низкой (осадки практически отсутствуют в желобе вдоль подвижного хребта в центральной части Индийского океана).

Гранитово-гнейсовый слой в коре океанического типа не обнаружен. Второй слой с характерными скоростями продольных сейсмических волн 5,0-5,5 км/с здесь достигает мощностей 1,0-1,5 км и представлен в основном базальтовыми лавами. Третий слой предположительно состоит из различных основных и ультраосновных пород (габбро, перидотитов, пироксенитов). Сейсмические скорости в этом слое 6,5-7,0 км/с. Некоторые авторы выделяют еще и промежуточные типы коры.

Субокеаническая кора развита во внутренних и краевых морях, где глубины не превышают 2 км. Ее строение отличается от строения океани-

ческой коры большей мощностью рыхлых осадков (3-6 км и более).

Субконтинентальная кора характерна для окраин материков и островных дуг. От материковой коры она отличается меньшей мощностью. Другой особенностью этого типа коры является наличие постепенного перехода от гранитного слоя к базальтовому.

Участки земной коры, различающиеся типом геологического строения, называются структурными элементами.

С точки зрения закономерностей пространственного строения океаны и континенты - это структуры I (планетарного) порядка, существенно отличающиеся геологическим строением и характером развития.

В пределах структурных элементов I порядка по особенностям геологического строения и развития выделяются структуры II порядка: на материках - платформенные и геосинклинальные области, на океанической коре - платформы и срединно-океанические хребты. В свою очередь эти структуры могут быть разделены по особенностям строения на более мелкие структурные элементы: глобальные, региональные и локальные.

Платформы (фр. "плат" - плоский, "форм" - форма) - это обширные тектонически устойчивые области. Они характеризуются средними и устойчивыми значениями мощности земной коры; горизонтальным или почти горизонтальным залеганием осадочных пород; равнинным рельефом. Платформы имеют двухъярусное строение и состоят из более древнего кристаллического фундамента и перекрывающего его осадочного чехла. Республика Беларусь расположена в пределах западной части Восточно-Европейской (Русской) платформы. Области платформ с двухъярусным строением называют плитами. Выходы фундамента на дневную поверхность называют щитами. На Восточно-Европейской платформе выделяются Балтийский и Украинский щиты.

Геосинклиналями (греч. "гео" - земля, "син" - вместе, "клин" - наклон) называются линейно вытянутые тектонические подвижные зоны. Они характеризуются значительной до 70-80 км мощностью земной коры и ее резкими колебаниями; нарушенным складчато-разрывным залеганием горных пород и горным рельефом. Примером геосинклиналей служат такие горноскладчатые сооружения, как Урал, Кавказ и др.

2. ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Под полем принято понимать область, которая может быть охарактеризована какой-либо естественной физической величиной, например, силой

тяжести, температурой, радиоактивностью и т.д. Такая область получает название, соответствующее этой величине. Физические поля, создаваемые Землей и отдельными изолированными телами, определяются совокупностью присущих каждому физическому объекту свойств. Поэтому на основании изучения характеристик полей можно составить представление о внутреннем строении планеты в целом, строении отдельных регионов и некоторых закономерностях развития геологических процессов. Изучение геофизических полей дает информацию о физических свойствах горных пород.

Гравитационное поле. Огромная масса Земли является причиной существования сил притяжения, которые воздействуют на все тела и предметы, находящиеся на ее поверхности. Пространство, в пределах которого проявляются силы притяжения Земли, называется полем силы тяжести или гравитационным полем. Величина силы тяжести выражается в галлах ($1 \text{ гал} = 1 \text{ см/с}^2$). Характеристики гравитационного поля измеряются с помощью гравиметров. Среднее значение силы тяжести на поверхности Земли равно 979,7 гал. Вследствие неравномерности распределения масс в земной коре и других причин фактические значения силы тяжести отличаются от теоретически рассчитанных. Эти отклонения называют гравитационными аномалиями. Особенности строения и состава осадочного чехла проявляются в региональных и локальных аномалиях. Региональные занимают площади в десятки и сотни тысяч км и отличаются большой интенсивностью. В пределах региональных аномалий проявляются локальные. Изучение гравитационных полей позволяет выявить особенности строения земной коры, установить границы нефтегазоносных, угленосных и рудоносных зон и областей.

Тепловое поле Земли формируется под действием внешних и внутренних источников. Температура на поверхности Земли определяется главным образом солнечным теплом, поток которого составляет в среднем $3,4 \cdot 10^{22}$ Дж/с·см². $1 \text{ Дж} = 10^7 \text{ эрг}$; $1 \text{ кал.} = 4,187 \text{ Дж}$.

Считается, что поверхность Земли находится в состоянии, близком к тепловому равновесию, и в среднем излучает столько же тепла, сколько получает. Поток тепла меняется по интенсивности и направлению. Температурные колебания разного периода проникают на различную глубину. О длиннопериодных вариациях теплового поля Земли свидетельствуют эпохи оледенений.

Тепловой поток, генерируемый в недрах Земли, оценивается в $\sim 10^{25}$ Дж/год.

Температура горных пород с глубиной возрастает. Интенсивность этих изменений характеризуется геотермическим градиентом, среднее зна-

чение которого $3,3^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 м погружения. Однако в разных геологических структурах этот градиент существенно отличается от $20^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ в молодых горноскладчатых областях до $0,6-1,0^{\circ}\text{C}/100$ для древних кристаллических щитов. Геотермическая ступень - обратная величина - изменяется от 10 до $100\text{ м}/^{\circ}\text{C}$. Значение плотности теплового потока для земной коры принимается равным $6,03 \cdot 10^{-6}\text{ Дж}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ при колебаниях почти от 0 до $58\text{ Дж}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$.

О температурных условиях недр Земли известно крайне мало. Считается, что геотермическая ступень сохраняется до глубины 20 км. Предполагают, что на глубине 100 км температура достигает 1300°C . На глубине 400 км - 1700°C , 2900 км - 3500°C , 5000 км - 5000°C .

Изучение теплового поля Земли позволяет определить общие геотермальные ресурсы Земли, а также прогнозировать условия подземной разработки полезных ископаемых.

Магнитное поле. Наиболее простые модели магнитного поля рассматривают Землю как намагниченный с поверхности шар, действие которого часто заменяют действием стержнеобразного магнита (бруска), расположенного около его центра. Этот магнит смещен примерно на 40 км от центра в сторону Тихого океана и наклонен к оси вращения Земли приблизительно на 12° . Магнитное поле Земли характеризуется напряженностью T . Единицей измерения магнитной напряженности является одна сотысячная доля эрстеда - гамма. Линии напряженности представляют собой силовые линии магнитного поля. Они направлены от южного магнитного полюса к северному. В каждой точке этой линии напряженность является касательной. Наклон этой касательной к соответствующему магнитному меридиану (к сфероидной поверхности Земли) называется магнитным наклоном J . Очевидно, что на магнитном экваторе $J = 0$, а на полюсах $J = 90^{\circ}$. Реальные измерения магнитного наклона сводятся к измерению угла между горизонтальной плоскостью и наклоном магнитной стрелки. Магнитные полюса не совпадают с географическими. Поэтому для характеристики магнитного поля используют еще одну величину - магнитное склонение D , которое определяется как угол между географическим и магнитным меридианами. Геомагнитное поле непостоянно, оно меняется из года в год, из столетия в столетие, возрастая в одних районах и уменьшаясь в других - вековой ход. Помимо вековых магнитное поле испытывает суточные колебания, связанные с действием ультрафиолетового излучения Солнца. Известны очень резкие колебания продолжительностью от нескольких часов до нескольких суток - магнитные бури. Исследования намагниченности лаво-

вых потоков и отдельных минералов позволили установить инверсии магнитного поля Земли и перемещения магнитных полюсов.

Изучение аномального магнитного поля широко используется для исследования строения земной коры, поисков и разведки полезных ископаемых.

Электрическое поле (теллурическое) из всех физических полей планеты менее всего изучено. Наиболее сильные, естественные электрические поля Земли формируются системой вода-порода благодаря процессам, протекающим на границе твердых и жидких фаз.

3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Земная кора образована различными по составу и происхождению горными породами. Любая горная порода представляет собой естественную ассоциацию минералов. Минералы в свою очередь являются химическими элементами или их природными соединениями. Вещество земной коры в порядке усложнения степени его организации образует такой последовательный ряд: химический элемент-минерал-горная порода-комплекс (формация) горных пород.

Изучением химического состава земной коры, закономерностей его изменения в пространстве и времени занимается геохимия. Установлено, что в земной коре присутствует 93 химических элемента (в космосе - 97). Большинство из них являются сложными, т.е. представлены смесью различных изотопов. Проблема распространенности химических элементов в земной коре принадлежит к числу важнейших проблем геохимии и имеет огромное практическое значение, поскольку среднее содержание химического элемента в технически доступных частях Земли относится к числу важнейших факторов, определяющих его ценность. Поиски, добыча в виде руды и извлечение малораспространенного элемента, как правило, обходятся значительно дороже, чем более распространенного элемента. Расчет среднего химического состава земной коры связывают с именем американского исследователя Ф.Кларка. Исходя из предположения, что земная кора до глубины 6 км на 95% состоит из магматических и на 5% из осадочных пород, он вычислил средние содержания 50 главнейших химических элементов. Изучением распространенности химических элементов в земной коре занимались многие ученые. Наиболее обоснованными и используемыми являются данные, полученные А.П.Винogradовым и Р.Тейлором. Средние содержания отдельных элементов в земной коре называются кларками. Различают кларки весовые (массовые), атомные и объемные. Весовые кларки - это

средние массовые содержания элементов, выраженные в процентах или в граммах на грамм породы. Атомные кларки выражают процентные количества числа атомов элементов. Объемные кларки показывают, какой объем в процентах занимает данный элемент.

По А.П.Виноградову, в земной коре наиболее распространены следующие химические элементы (%): 47,2 O; 27,6 Si; 8,3 Al; 5,1 Fe; 3,6 Ca; 2,64 Na; 2,6 K; 2,1 Mg; 0,6 Ti; 0,15 H; 0,1 C. Таким образом, из 93 химических элементов, установленных в земной коре, на 11 элементов приходится 99,99% массы, а на остальные 82 элемента - 0,01%.

Распространенность химических элементов в земной коре крайне неравномерна и характеризуется большими контрастами. Кларки отдельных элементов изменяются от десятков процентов до 10^{-8} % и ниже.

Следует отметить, что понятие "распространенность химических элементов" часто не соответствует представлениям об их обычности и редкости. Например, такие обычные элементы, как Cu, Zn, Pb, имеют кларки, во много раз меньшие, чем считающиеся редкими Zr, V, Y. Причиной такого несоответствия является различная способность химических элементов к образованию значительных концентраций в земной коре. Эта способность определяется их химическими свойствами, зависящими от структуры внешних электронных оболочек атомов, а также термодинамическими условиями земной коры.

Существует целый ряд геохимических классификаций элементов. Г.Вашингтон разделил все элементы периодической системы горизонтальной ломаной линией так, что часть из них оказалась выше, а часть - ниже этой линии. Элементы верхней части таблицы были названы петрогенными (Si, O, Ca, K, Na, Mg, Al). Они слагают основную массу земной коры - массивы горных пород и месторождения неметаллических полезных ископаемых. Элементы, находящиеся в нижней части таблицы, было предложено назвать металлогенными. Эти элементы содержатся в земной коре в крайне ограниченных количествах и слагают главным образом рудные месторождения (Cu, Pb, Zn, Mo и др.). Часть элементов, располагающихся на границе по ломаной линии (Fe, Mn и др.), играют в природе двойственную роль: с одной стороны, они участвуют в образовании минералов, входящих в состав горных пород, как петрогенные элементы, с другой - дают типичные соединения тяжелых металлов как металлогенные элементы.

Сравнение содержаний химических элементов (в %) в Земле в целом (28,56 O; 14,47 Si; 1,22 Al; 37,04 Fe; 11,03 Mg; 1,38 Ca; 0,15 K; 0,52 Na) с содержанием их в земной коре позволяет заключить, что пос-

ледня по сравнению с внутренними геосферами резко обогащена такими химическими элементами, как O, Si, Al, K, Na, Ca, и обеднена Fe и Mg (а также тяжелыми металлами Ni, Cr, Co).

Химический состав земной коры изменяется в течение всего геологического времени. Согласно расчетам В.И. Вернадского за счет ядерных превращений ежегодно обновляет свой химический состав 10^{-6} - 10^{10} т вещества земной коры. Продолжаются процессы миграции химических элементов из одной геосферы в другую. Происходят изменения и за счет поступления метеорного вещества в виде метеоритов и космической пыли.

4. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

В настоящее время доминирует представление, что для земной коры фундаментальным является минеральный уровень структурной организации вещества. Минералы в иерархии природных объектов занимают ключевое место между атомным уровнем, представители которого в виде отдельных элементов входят в минералы, и уровнем горных пород, элементами которого выступают сами минералы.

Под минералом понимается кристаллическая составная часть горных пород, руд и других агрегатов природного неорганического мира, которая образовалась в результате физико-химических процессов, протекающих в земной коре и в прилегающих к ней оболочках.

Минералы в земной коре находятся в виде индивидов, которые представляют собой физически и химически индивидуализированные кристаллы или зерна. Совокупность минеральных индивидов одинаковой природы (близких по своей конституции) называется минеральным видом. Число минеральных индивидов в литосфере не поддается исчислению, количество же минеральных видов составляет всего около 3000.

Интересно сопоставить количественные соотношения видов живой и неживой природы:

Мир	Известно (1988 г.)	Ежегодно описывается
Растений	300000 видов	~ 5000 новых видов
Животных	2000000 видов	10000 новых форм
Минералов	3000 видов	50 новых видов

По характеру химического соединения весь минеральный мир подразделяется на 4 типа - гомоатомные, сульфидные, кислородные и галосидные.

Внутри этих главных таксономических единиц выделяются классы - по ведущему электроотрицательному элементу или радикалу в составе минералов (например, сульфиды, силикаты, карбонаты), а затем подклассы - по ведущему структурному мотиву (островные, цепные, слоистые и т.п.). Следующие ступени классификации (отделы, группы и т.д., вплоть до видов) выделяются по степени сложности и особенностям конституции минералов. Кристаллохимическая структура земной коры показана в табл.1.

Т а б л и ц а 1

Схема кристаллохимической классификации
и распределение минералов по ее основным таксонам

Тип	Подтип	Класс	Число минеральных видов	
			относительное, %	абсолютное
1	2	3	4	5
I. Гомоатомные и близкие к ним соединения			3,67	99
	1. Самородные элементы		1,33	36
	2. Интерметаллиды		2,34	63
II. Сульфиды и аналогичные соединения			16,62	449
		1. Сульфиды	12,99	351
		2. Прочие (арсениды, антимониды, висмутиды, теллуриды и др.)	3,63	99
III. Кислородные соединения			75,12	2029
	1. Оксиды и гидроксиды		13,44	363
		1. Оксиды	9,26	250

1	2	3	4	5
	2. Оксосоли	2. Гидроксидаы	4,18	113
			61,68	1666
		1. Силикаты	25,14	679
		2. Фосфаты	18,20	492
		3. Сульфаты	9,25	250
		4. Бораты	3,67	99
		5. Карбонаты	3,41	92
		6. Вольфраматы	0,52	14
		7. Хроматы	0,41	11
		8. Теллуриды	0,41	11
IV. Галоидные соединения		9. Прочие (иодаты, нитраты)	0,67	18
			4,59	124
		1. Хлориды	2,63	71
		2. Фториды	1,63	44
		3. Прочие (бромиды, иодиды)	0,33	9

Если судить по числу минеральных видов, то на первом месте находятся кислородные соединения (75,12%), далее следуют сульфиды и родственные им соединения (16,62%), галоиды (4,59%). Среди отмеченных типов наиболее высоки относительные доли следующих кристаллохимических классов - силикатов (25,14%), фосфатов (18,2%), сульфидов (12,99%), оксидов (9,26%), сульфатов (9,25%). Однако, если перейти к массовым характеристикам, то выясняется, что земная кора на 75% сложена силикатами и на 17% - оксидами и гидроксидами. Иными словами, литосфера является по своему составу оксидно-силикатной, поскольку содержание всех остальных минеральных видов в земной коре несопоставимо с массой оксидных и силикатных минералов.

4.1. Симметрия минерального мира

Существование минералов в природе в виде отдельных индивидов обусловлено их главнейшим признаком - кристаллическим строением. Для минерального вещества характерно то, что в основе его структуры находятся отдельные материальные частицы (атомы и ионы), которые занимают строго определенные места в пространстве, образуя кристаллические решетки. Основная особенность этого трехмерного периодического образования заключается в повторяемости слагающих его элементов - узлов (центров тяжести атомов или ионов), рядов (совокупностей узлов, лежащих на одной прямой) и плоских сеток (совокупностей рядов, лежащих в одной плоскости) (рис.2).

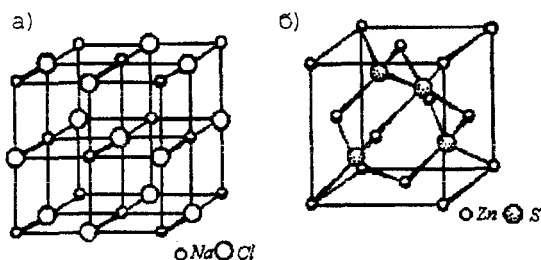


Рис.2. Модели кристаллических решеток галита (а) и сфалерита (б)

Характерные свойства кристаллических веществ: симметричность, способность самоограничаться, однородность и анизотропность. Симметричность является фундаментальным свойством и для пространственных кристаллических решеток, и для внешнего облика кристаллов минералов. Симметричными называются объекты или фигуры, состоящие из закономерно повторяющихся равных частей. Эта закономерная повторяемость выявляется и описывается с помощью элементов симметрии (центра - С, осей - L, плоскостей симметрии - P) (рис.3).

В бесконечных пространственных решетках Е.С. Федоровым было установлено 230 разных сочетаний элементов симметрии. Для внешнего ограничения кристаллов возможно только 32 сочетания - вида симметрии (табл.2). Последние объединяются в 7 кристаллических систем - синго-

ний, которые в порядке повышения степени симметричности образуют следующий ряд: триклинная-моноклиная-ромбическая-тригональная-тетрагональная-гексагональная-кубическая. Сингонии составляются видами симметрии, в которых находятся один или несколько сходных элементов симметрии. Так, например, для всех видов симметрии кубической сингонии характерно присутствие нескольких осей симметрии высшего порядка (обязательно $4L$). В гексагональной, тетрагональной и тригональной сингониях это одна ось симметрии соответственно 6, 4 или 3-го порядка (табл.2). Сингонии группируются в категории - низшую, среднюю, высшую.

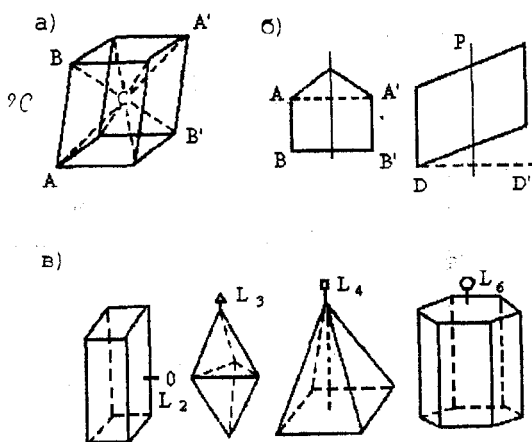


Рис.3. Элементы симметрии фигур и многогранников:

а) - действие центра симметрии С; б) - фигура с плоскостью симметрии Р (слева) и без нее (справа); в) - многогранники с осями симметрии L второго, третьего, четвертого и шестого порядков слева направо)

Виды симметрии кристаллов

Категория	Сингония	Вид симметрии						инверсионно-примитивный	инверсионно-планальный
		примитивный	центральный	планальный	аксиальный	планаксиальный	инверсионно-примитивный		
Нижшая	Триклинная		C						
	Моноклинная			P	L_2		L_2PC		
	Ромбическая			L_2^2P	$3L_2$		$3L_2^3PC$		
Средняя	Тригональная	L_3	L_3C	L_3^3P	$L_3^3L_2$		$L_3^3L_2^3PC$		
	Тетрагональная	L_4	L_4PC	L_4^4P	$L_4^4L_2$		$L_4^4L_2^5PC$	L_{L_4} ($\vec{=} L_2$)	$L_{L_4}(\vec{=} L_2) 2L_2^2P$
	Гексагональная	L_6	L_6PC	L_6^6P	$L_6^6L_2$		$L_6^6L_2^7PC$	L_{L_6} ($= L_3P$)	$L_{L_6} 3L_2^3P$
Высшая	Кубическая	$4L_3^3L_2$	$4L_3^3L_3^3PC$	$3L_4^4L_3^6P$	$3L_4^4L_3^6L_2$		$3L_4^4L_3^6L_2^9PC$		

4.2. Конституция минералов

Под конституцией минералов понимаются взаимосвязанные между собой их химический состав и структура. Атомы, соединившиеся в соответствующую структуру, это и есть минералы - природное химическое вещество и физическое тело.

В состав минералов входит большинство химических элементов (за исключением инертных газов и трансурановых элементов). Однако среди них нет химически чистых веществ. В минералах наряду с основными видообразующими элементами практически всегда находятся так называемые рассеянные (изоморфные) примеси. Для одних минералов количество таких элементов-примесей незначительно, в других - высокие концентрации примесных элементов. Соответственно выделяют минералы постоянного и переменного состава. Если рассеянные элементы замещают в кристаллической решетке минерала видообразующие, то имеет место явление изоморфизма, которое широко развито в минеральном мире.

Как было установлено, нет строгого соответствия между кларком элемента и количеством минеральных видов, где он является видообразующим. Многие сравнительно слабо распространенные элементы (H, S, Cu, Pb, As, B, U, Sb) оказываются продуктивными видообразователями, тогда как элементы с более высокими кларками (K, C, Ti, Ba, Sr) значительно им уступают в этом отношении. Различное значение элементов в минералообразовании определяется их основными свойствами (строением электронных оболочек, электроотрицательностью, валентностью и др.), которые являются главными факторами, обуславливающими формирование тех или иных химических типов природных соединений. Существенное значение имеют также и физико-химические условия процессов минералообразования.

Кристаллические структуры минералов характеризуются громадным разнообразием. Благодаря детальным рентгеновским исследованиям среди них выявлены 6 основных структурных типов (мотивов): координационный, каркасный, кольцевой, островной, цепной, слоистый (рис. 4).

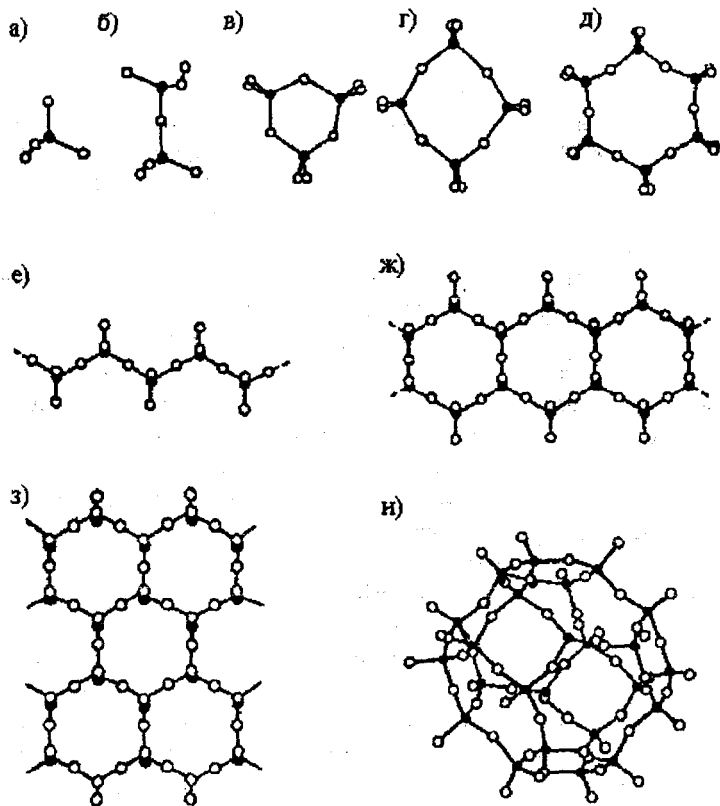


Рис. 4. Типы структурных мотивов в кристаллах минералов на примере силикатов:

а) — изолированный кремнекислородный тетраэдр; б) — одвоенный тетраэдр; в), г), д) — кольцевой мотив (в) — из трех тетраэдров, г) — из четырех тетраэдров, д) — из шести тетраэдров); е) — цепочечный мотив; ж) — ленточный мотив; з) — листовый мотив; и) — каркасный мотив

Выделение этих обобщающих типов кристаллических решеток отражает пространственное распределение прочнейших связей между атомами в структуре минералов. Среди известных минеральных видов основные структуры составляют (округленно): островные - 35%, слоистые - 22%, координационные - 18%, цепные - 13%, каркасные - 10%, кольцевые - 2%. Структура минералов, как и их химический состав, зависит от термодинамических параметров, в соответствии с которыми происходят полиморфные превращения. Под полиморфизмом понимают свойство химических соединений кристаллизоваться в зависимости от тех или иных условий в различных структурных типах.

Атомы, ионы или молекулы в кристаллической структуре минералов организованы по законам пространственной, регулярной решетки. Она образуется за счет взаимодействия межатомных сил - химических связей: ионной, ковалентной, металлической, смешанных и промежуточных. Атомная структура в значительной степени определяет морфологию и многие свойства минералов.

4.3. Морфология и основные физические свойства минералов

В природе минералы встречаются в виде более или менее хорошо образованных кристаллов, равнообразных сростков, оплошных зернистых масс, землистых скоплений, налетов, натеков, корок и др. Форма минеральных выделений имеет ряд специфических особенностей, благодаря которым она является их важным диагностическим признаком. При описании кристаллических индивидов прежде всего обращается внимание на развитие разных простых форм. Известно 47 простых кристаллографических форм кристаллов. Чаще всего кристаллы минералов огранены комбинацией из нескольких простых форм (рис.5).

Одиночные кристаллы встречаются редко. Чаще всего они образуют закономерные сростки (двойники и др.), равнообразные минеральные агрегаты и тела: зернистые, землистые, секреции, конкреции, друзы, солиды и др.

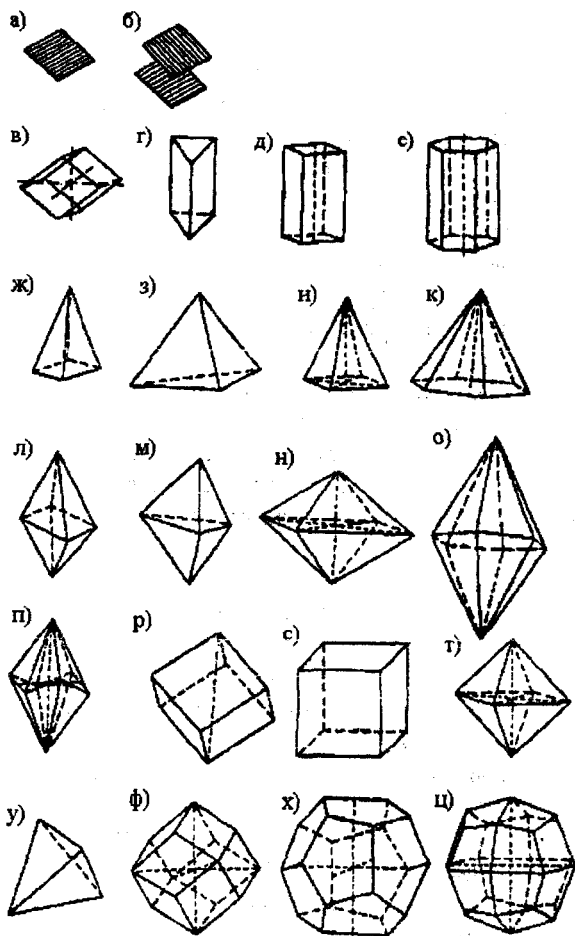


Рис. 5. Важнейшие кристаллографические формы кристаллов минералов
 а) - маноедр; б) - пинакоид; в)-е) - призмы: в) - ромбическая; г) -
 тригональная; д) - тетрагональная; е) - гексагональная; ж)-к), л)-о) -
 соответствующие пирамиды и дипирамиды; п) - тригональный скалено-
 эдр; р) - ромбоэдр; с) - куб; т) - октаэдр; у) - тетраэдр; ф) - ромбо-
 додекаэдр; х) - пентагондодекаэдр; ц) - тетрагонтриоктаэдр

4.4. Диагностика минералов

Диагностируются минералы на основании их физических свойств, в первую очередь по оптическим (цвет минерала и цвет его черты, блеск) и механическим (твердость, спайность) признакам.

Цвет минералов очень разнообразен. Очень немногие минералы имеют только один характерный для них цвет (малахит, азурит, пирит), большинство отличается непостоянной, переменной окраской (сфалерит, турмалин, флюорит). Кроме цвета в зернах и кристаллах для диагностики минералов используется цвет его порошка - черты, оставленной минералом на шероховатой фарфоровой пластинке. Часто оказывается, что визуально одинаковые минералы имеют разную черту.

Блеск минералов зависит от показателя преломления и отражательной способности поверхности. В зависимости от этих характеристик блеск может быть металлическим и неметаллическим (стеклянным, алмазным, полуметаллическим). Блеск также зависит от характера отражающих поверхностей: для пластинчатых индивидов - перламутровый, для параллельно-волокнистых агрегатов - шелковистый, для землистых масс - матовый.

Под твердостью понимается способность минералов сопротивляться внешнему механическому воздействию. Для практических целей оперативной диагностики минералов их твердость определяется с помощью 10 минералов-эталонов, предложенных для этой цели Ф.Моосом. В этой шкале каждый последующий минерал своим острым концом царапает предыдущий.

№ пп	Минерал	Твердость	
		по Моосу	абсолютное значение, кг/см ²
1	Тальк	1	2,4
2	Гипс	2	36
3	Кальций	3	109
4	Флюорит	4	189
5	Апатит	5	536
6	Микроклин	6	795
7	Кварц	7	1120
8	Топаз	8	1427
9	Корунд	9	2060
10	Алмаз	10	10060

Кроме образцов этой шкалы для определения твердости минералов можно пользоваться легкодоступными "эталопами", твердость которых известна в цифрах шкалы Мооса. Ноготь пальца (2,5), медная монета (3), стекло (5,5-6), нож (6).

Спайность - способность минералов раскалываться по определенным плоскостям с образованием гладких ровных блестящих поверхностей. Раскол происходит параллельно плоским сеткам пространственной решетки, между которыми действуют наиболее слабые силы связи. Для спайности определяется степень совершенства и простая форма, по которой кристалл раскалывается. По степени совершенства спайность бывает:

1 - весьма совершенной - легко расщепляется руками на пластинки или листочки (слоды, гипс, тальк);

2 - совершенной - кристаллы раскалываются при слабом ударе молотком на главные ровные выколки (галит, кальцит);

3 - средней - поверхность скола может быть неровной, поскольку при раскалывании в одинаковой степени образуются как ровные, так и неровные сколы (флюорит);

4 - несовершенной и весьма несовершенной - сколы характеризуются только неровной поверхностью или изломом (кварц).

При макроскопическом определении минералов используется и ряд дополнительных свойств: плотность, излом, хрупкость, ковкость, упругость, магнитность, вкус, горючесть, запах, гигроскопичность, люминесценция, а также простейшие химические реакции.

4.5. Условия образования и нахождения минералов

Минералы являются продуктами природных физико-химических процессов и составными частями разнообразных горных пород и месторождений. Условия, в которых они образуются, могут быть подразделены на эндогенные и экзогенные. Среди первых это магматогенные и метаморфогенные, среди вторых - седиментогенные и гипергенные.

В процессе кристаллизации магм в глубинных магматических очагах либо при вулканических извержениях формируются собственно магматогенные минеральные ассоциации. При их остывании и постепенной кристаллизации в определенной последовательности выделяются вначале наиболее тугоплавкие минералы (хромит, платина), затем породообразующие минералы (полевые шпаты, оливин, пироксены, кварц и др.) и наконец остаточные продукты (сульфиды, магнетит).

Постмагматические процессы приводят к формированию минералов из газов магматического происхождения (пневмотолиа) и из горячих существенно водных или углекисло-водных растворов. Типичный пример пневмотолиа отложения серы, сульфатов, хлоридов на стенках кратеров вулканов. Гидротермальные образования характеризуются чаще всего жильной формой залегания и сложены главным образом кварцем, карбонатами, баритом, флюоритом.

Метаморфогенными являются продукты преобразования первичных осадочных и магматических пород, подвергшихся воздействию высоких температур и давлений. При региональном характере этих явлений формируются сланцы, гнейсы, амфиболиты. Локальное развитие процессов метаморфизма приводит к образованию грейзенов и скарнов, с которыми часто связаны крупные залежи рудных компонентов (магнетита, галенита, сфалерита, халькопирита и др.).

Седиментогенные минеральные комплексы формируются в гидросфере (реках, озерах, морях). Среди них выделяют терригенные (обломочные), хемогенные и органогенные. Среди терригенных наиболее важны россыпные месторождения (золото, алмазы). Хемогенные осадки выпадают в водных бассейнах за счет выпаривания (карбонаты, сульфаты, хлориды). Органогенные образования состоят из карбонатного, кремнистого и углеродистого материала органического происхождения.

К гипергенным минеральным комплексам относятся разнообразные коры выветривания и зоны окисления рудных месторождений. При поверхностном выветривании кислых интрузивных пород образуются глинистые минералы (каолинит) и бокситы.

4.6. Главные породообразующие и рудные минералы и их классификация

Тип - гомоатомные и близкие к ним соединения. К этому типу относятся около 100 минеральных видов, из которых 36 относится к подтипу самородных элементов, а остальные к подтипу интерметаллидов (природных металлургических сплавов). Самородные элементы представляют собой монокристаллические минеральные виды. В виде самородных элементов образуют промышленные концентрации особо ценные металлы (золото, серебро, платина) и неметаллы (сера, алмаз, графит).

Тип - сернистые соединения и их аналоги. Включает в себя около 450 минеральных видов главным образом сернистых соединений - сульфид-

дов, из которых наиболее распространенными являются сульфиды железа (пирит, пирротин), свинца (галенит), цинка (сфалерит), меди (халькопирит), составляющие основу одноименных руд.

Тип - кислородные соединения; подтип - оксиды и гидроксиды. К нему относятся более 400 видов, представляющих соединения металлов и металлоидов с кислородом и гидроксидом. Наиболее распространены оксиды кремния (кварц и минералы его группы слагают около 13% массы земной коры) и железа (гематит, магнетит), а также гидроксиды железа, марганца, алюминия. Многие из минералов данного подтипа являются ценными рудами ряда металлов (Fe, Ti, Mn, Cr); абразивным сырьем (корунд); пьезоэлектриками (кварц); ювелирными камнями (рубин, сапфир, аметист).

Подтип - оксосоли. К этому подтипу относится подавляющая масса минеральных видов (около 1679), являющихся солями различных кислородных кислот (угольной, серной, фосфорной и др.). К ним же относятся и силикаты. Именно силикаты составляют около четверти всех известных минеральных видов. В основе их структуры находятся кремнекислородные тетраэдры, которые могут быть либо одиночными, либо полимеризоваться с образованием комплексов разной конфигурации и размеров, давая в сочетании с анионными группировками практически безграничное разнообразие структур. Силикаты являются важнейшими породообразующими минералами, многие из которых имеют большое промышленное значение (полевые шпаты, слюды, глинистые минералы). Полевые шпаты - главная составляющая многих горных пород (гранитов, габбро, гнейсов и др.). Оливины, гранаты, пироксены, амфиболы являются составляющими магматических и метаморфических пород. При различного рода изменениях за счет оливина, пироксенов, амфиболов образуются серпентин, тальк, хлориты. При гидротермальном изменении полевых шпатов возникают слюды (мусковит, биотит и др.). Среди полевых шпатов выделяют калиево-натриевые (микроклин, ортоклаз) и натриево-кальциевые (плаггиоклазы - альбит, анортит, лабрадор и др.).

Класс - карбонаты - (около 100 минеральных видов) - соли угольной кислоты. Породообразующие компоненты некоторых осадочных (известняки, доломиты) и метаморфических (мраморы) пород. Являются ценным оптическим сырьем (исландский шпат), строительным камнем.

Класс - сульфаты - (около 250 минеральных видов) - соли серной кислоты, за исключением нескольких видов (барит), в большинстве образуются в экзогенных условиях. Используются в химической промышленности (барит), строительстве, медицине (гипс).

Минералы класса фосфатов составляют около 500 видов, из которых

самый распространенный - апатит. Он применяется для получения ортофосфорной кислоты, как сырья для производства суперфосфата.

Тип - галоидные соединения (более 120 минеральных видов). Наибольшим распространением в природе пользуются хлориды и фториды. Галоидные соединения находят широкое применение в пищевой и химической промышленности (галит), как сырье для получения калийных удобрений (сильвин), в качестве флюса и оптического сырья (флюорит).

4.7. Определение минералов

В настоящее время нет единых методик и рекомендаций по макроскопическому определению минералов. В табл. 3 представлена простейшая схема макроскопического определения главных пороодо- и рудообразующих минералов.

Простейшая схема макрокопического определения главных породо- и рудообразующих минералов

Твердость	Цвет	Цвет черты	Блеск	Слайность	Минерал и его формула	Дополнительные признаки
1	2	3	4	5	6	7
Очень мягкие 1	Серый, темно-серый	Серый	Полуметаллический	Весьма совершенная по одному направлению	Графит С	Чешуйчатые агрегаты, плотные массы, жирные на ощупь
	Бледно-зеленый Белый	Белый --	Стеклообразный Матовый	То же То же, визуально не различима	Тальк $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$ Каолинит $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$	То же Землистые, порошковатые массы, легкие, впитывают влагу
Мягкие 1, 5-2, 5	Желтый	Светло-желтый	Жирный, алмазный	Несовершенная	Сера S	Канфитоподобные массы, гнезда, прожилки, друаы. Плавится и загорается в пламени спички
	Бесцветный, Белый	Белый	Стеклообразный	Весьма совершенная по одному направлению	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Таблитчатые индивиды, двойники, параллельно-волокнистые агрегаты
	Белый иногда	--	То же	Совершенная по трем направлениям	Галит NaCl	Зернистые массы, кубические кристаллы, вкус солевой

1	2	3	4	5	6	7
Мягкие 1, 5-2, 5	Красный Бесцветный	Белый " "	Стеклян- ный	То же Весьма со- вершенная по одному направлению	Сильвин KCl Мусковит $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH, F)_2$	Горько-соленый вкус Листоватые агрегаты, гиб- кие упругие листочки
	Черный, бурый	" "	" "	То же	Биотит $K(Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH, F)_2$	То же
	Зеленый	" "	" "	" "	Хлорит $Mg_3Al(AlSi_3O_{10})(OH)_4$	Листочки гибкие и неуп- ругие
	" "	" "	Матовый	Визуально не различима	Глаукозит $K(Mg, Al, Fe)(AlSi_3O_{10})$ Серпентин $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$	Округлые зерна в осадоч- ных породах Плотные массы, параллельно волнистая разовидность - асбест
	Желто-о- зеленый	Белый	Стеклян- ный	То же	Галенит PbS	
	Серый	Серый	Металли- ческий	Совершенная по трем на- правлениям	Медь Cu	Зернистые агрегаты, кубич- еские кристаллы, высокая плотность
	Красный	Красный	То же	Несовершен- ная		Дендриты, высокая плот- ность, ковкость, окисление

1	2	3	4	5	6	7
Средней твердости 3-5, 5	Желтый, коричневый, черный Лагуно-желтый Бесцветный, белый, желтый, розовый То же Белый, сероватый, голубоватый, желтоватый То же Зеленый, голубоватый, бесцветный	Коричневый Зелено-черный Белый " " " " " "	Алмазный Металлический Стекло-ный То же " " " "	Совершенная по шести направлениям Несовершенная Совершенная по трем направлениям То же Визуально плохо различима Несовершенная " " " "	Сфалерит ZnS Халькопирит $CuFeS_2$ Кальцит $Ca(CO_3)$ Доломит $Ca, Mg(CO_3)_2$ Ангидрит $CaSO_4$ Опал $SiO_2 \cdot nH_2O$ Апатит $Ca_5(PO_4)_3(F, Cl)$	Зернистые агрегаты, реакция с HCl Сплошные выделения, побелость, окисление Зернистые агрегаты, ромбоэдри, бурно реагирует с HCl в образце Реагирует с HCl в порошке Зернистые агрегаты, переносит в гипс Натечные агрегаты с раковистым изломом Зернистые массы, призматические кристаллы, гексагон в поперечном сечении
Твердые 5, 5-7	Светло-желтый	Черный	Металлический	Несовершенная	Пирит FeS_2	Кристаллы кубической и пентагондодекаэдрической формы, штриховка

1	2	3	4	5	6	7
Твердые 5, 5-7	Черный	Черный	Полуметаллический	Несовершенная	Магнетит $FeFe_2O_4$	Сильномагнитен, кристаллы октаэдрической формы или зернистые массы
	Черный (у кристаллов) или красный (у сплошных масс)	Красный	Полуметаллический	" - "	Гематит Fe_2O_3	Табличчатые кристаллы, на-течные агрегаты, землистые массы
	Бесцветный, розовый, красный	Белый	Стекло-ный	Совершенная по двум на-правлениям	Микроклин $KAlSi_3O_8$	Крупнозернистые агрегаты, перлитовые вростки
	Белый	То же	То же	То же	Плагиоклаз алмосили-кат Са и Na	Двойниковая штриховка, иризация
	Серый, желе-ный, красный	" - "	Жирный	Несовершенная	Нефелин $Na_3K(AlSi_4O_{14})_4$	Ассоциация с апатитом, эвдиалитом
	Темно-зеле-ный, черный	-	Стекло-ный	Средняя по двум напра-влениям под углом 90°	Авгит $(Ca, Mg)(Al, Ti)Si_2O_6$	Зернистые агрегаты, корот-костолбчатые
	То же	-	То же	То же	Эгирин $NaFeSi_2O_6$	Игольчатые индивиды, ради-ально-лучистые агрегаты

1	2	3	4	5	6	7
	- " -	Зелено- ватая	- " -	Совершенная по двум на- правлениям под углом 120°	Роговая обманка Fe- амфибол	Шестоватые агрегаты
Твердые 5,5-7	Зеленый Бесцветный, белый, серый	Зелено- ватая -	Стеклян- ный То же	Несовершен- ная -- --	Оливин $(Mg, Fe)_2(SiO_4)$ Кварц SiO_2	Зернистые агрегаты Призматические кристаллы, халцедон скрытокристалли- ческий, натечный
Очень твердые >7	Разнообра- зный (чаще красный, зе- леный, кори- чневый)	-	Стеклян- ный	Несовершен- ная	Гранат $R_3^{2+}R_2^{3+}(SiO_4)_3$	Кристаллы ромбодекаэдр- рической и тетрагонтриок- таэдрической формы
	Разнообра- зный (чаще черный)	-	То же	То же	Турмалин $XY_3Z_6(Si_6O_{18})(BO_3)_3 \cdot (OH)_4$ (X=Ca, Na; Y=Mg, Mn, Li, Al; Z=Al, Fe ³⁺)	Призматические кристаллы с поперечным сечением сферического треугольника

1	2	3	4	5	6	7
Очень твердые >7	Зеленый разных от- тенков	-	-"-	-"-	Берилл $Be_3Al_2Si_6O_{18}$	Призматические кристаллы гексагонального сечения
	Бесцветный (иногда си- неватый, ро- зоватый)	-	Стеклян- ный	Несовершен- ная	Топаз $Al_2(SiO_4)F_2$	Призматические кристаллы с продольной штриховкой
	Бесцветный (иногда се- рый, синеватый)	-	То же	То же	Корунд Al_2O_3	Пирамидально-призматичес- кие кристаллы с горизон- тальной штриховкой

5. ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Горные породы представляют собой материальную среду земной коры. Знание условий образования горных пород, их состава и свойств является основой для разведки месторождения полезных ископаемых и их эксплуатации.

Горными породами называются устойчивые парагенетические ассоциации минералов, возникающие в результате определенных геологических процессов и образующие геологически самостоятельные тела в земной коре.

Геологические процессы, приводящие к образованию горных пород, называются процессами петрогенеза. Таких процессов три:

- кристаллизация природных силикатных расплавов (магм или лав) - магматизм;
- разрушение ранее существовавших горных пород в поверхностных условиях, отложение продуктов разрушения в водоемах и на поверхности суши - осадконакопление;
- перекристаллизация горных пород любого происхождения в результате изменения физико-химических условий (повышения температуры и давления) - метаморфизм.

Условия образования горных пород, определяющие их состав и внешний облик, называют фациальными условиями (лат. "фацио" - вид, облик, лицо). Фация - это однородный по составу комплекс горных пород, образовавшихся в сходных условиях.

Вещественными составляющими горных пород могут являться: 1) зерна минералов; 2) вулканическое стекло; 3) обломки ранее существовавших минералов и пород; 4) органические остатки; 5) космическая пыль.

Главной составной частью горных пород являются минералы. Минералы, слагающие горные породы (породообразующие минералы), по своей роли в их составе разделяются на главные и второстепенные. Главными считаются минералы, количественно преобладающие в составе горных пород и определяющие их принадлежность к определенному виду. Например, кварц, калиевый полевой шпат, кислые плагиоклазы и биотит являются главными минералами гранита, нефелин - нефелинового сиенита и т.д. К главным породообразующим минералам принадлежит 20-30 минеральных видов. Среди них преобладают силикаты.

Второстепенные минералы (акцессорные) входят в состав горной породы в незначительном количестве. По ним производится выделение отдельных разновидностей горных пород. Например, гранит, содержащий по-

мимо биотита мусковит, называется двуслодным.

Главные минералы одних видов горных пород могут быть второстепенными в других.

В зависимости от времени образования минералы, входящие в состав горных пород, делят на первичные и вторичные. Первичные возникают при процессах формирования самой горной породы. Вторичные – позднее, за счет различных преобразований. В различных по происхождению породах одни и те же минералы могут быть как первичные, так и вторичные. Карбонаты в магматических породах большей частью вторичные, а в осадочных – первичные.

По числу слагающих их минералов горные породы делятся на мономинеральные, образованные одним минералом (кварцит, мрамор, лабрадорит), и полиминеральные, состоящие из нескольких минералов (гранит, гнейс, габбро и др.). Последние распространены в земной коре более широко.

Детальное минералогическое исследование горных пород проводят при микроскопическом изучении их тонких срезов – шлифов.

С точки зрения фазового состава горные породы представляют собой динамические двух- или трехфазные системы и состоят из твердой (минеральный скелет), жидкой (порový раствор) и газообразной фаз.

Строение горных пород зависит от строения минерального скелета, порового пространства и характера структурных связей между составляющими породы.

Строение минерального скелета характеризуется структурой и текстурой.

Под структурой понимается совокупность признаков горных пород, обусловленная степенью кристалличности, абсолютными и относительными размерами, формой, взаимным расположением и способами сочетания минеральных составляющих (полнокристаллические, неполнокристаллические, равномернозернистые, неравномернозернистые, крупно-, средне- и мелкозернистые и др.).

Текстура определяется ориентировкой, относительным расположением и способом выполнения пространства минеральными массами породы, характеризующими степень ее однородности и сплошности. Морфологическими единицами текстуры являются минеральные агрегаты.

В зависимости от характера расположения минеральных агрегатов, степени равномерности их распределения выделяются текстуры однородные и неоднородные. Последние разделяют на слоистые, сланцеватые, полосчатые, прожилковые, пятнистые и др. В зависимости от плотности упаков-

ки - плотные, массивные, пористые, пузырчатые и др.

Строение порового пространства определяется морфологическими особенностями пор.

Возраст горных пород

В истории формирования и развития Земли выделяют два этапа - до-геологический и геологический. Геологический этап охватывает отрезок от начала формирования земной коры до настоящего времени. Для определения последовательности образования слагающих земную кору геологических объектов и, в первую очередь, горных пород используется серия методов, среди которых выделяют методы определения относительного и абсолютного возраста. К первой группе относятся геологостратиграфические, основанные на изучении последовательности напластования осадочных горных толщ и биостратиграфические палеонтологические методы, которые основаны на изучении остатков животных и растительных организмов, живших в прошлые геологические эпохи и захороненных в толщах осадочных горных пород. Для оценки абсолютного возраста в настоящее время пользуются методом "радиоактивных часов", основанным на процессе радиоактивного распада различных природных изотопов.

В ходе изучения земной коры была разработана периодизация ее истории, созданы единая для всего земного шара стратиграфическая и соответствующая ей геохронологическая шкалы.

Важной характеристикой горных пород, изучаемой в полевых условиях, является форма их залегания. Под формами залегания горных пород понимаются формы геологических тел, образуемых ими в земной коре. Знание форм залегания имеет важное теоретическое и практическое значение, поскольку они являются либо месторождениями полезных ископаемых, либо вмещающей их средой.

Формы залегания делятся на первичные (ненарушенные) и вторичные (нарушенные), возникшие в результате дислокаций первичных форм. Дислокации возникают в результате тектонических процессов.

6. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕКТОНОСФЕРЫ И ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Тектоносфера включает в себя земную кору и верхнюю мантию. В пределах тектоносферы развиваются и взаимодействуют тектонические, магматические и метаморфические процессы. Тектоническая активность связана

с мантийным магматизмом. Установлена зависимость между типом тектонического режима и структурой земной коры, тепловым потоком, строением мантии.

Тектонические движения проявляются в поднятиях и прогибах отдельных участков литосферы, в деформациях первичных форм залегания горных пород, в их горизонтальных и вертикальных перемещениях и в образовании крупных элементов рельефа - континентов и океанов, гор и глубоководных впадин. О характере тектонических движений далекого прошлого можно судить по условиям залегания горных пород. Например, горизонтальное или пологое залегание является первичным залеганием горных пород, накапливающихся в областях опускания земной коры. В пределах поднятий происходит разрыв горных пород и вынос разрушенного материала. Вторичное, нарушенное, залегание горных пород появляется в результате воздействия последующих тектонических движений. Типизация тектонических движений к настоящему времени однозначно не решена.

Широким признанием пользуется концепция тектоники плит, базирующаяся на гипотезах дрейфа материков - опрединга (раздвигания океанического дна). Согласно этой концепции жесткие литосферные плиты толщиной 70-100 км, залегающие на пластичной астеносфере, перемещаются происходящими в ней конвекционными потоками материи с большой горизонтальной составляющей в противоположные стороны от зон раздвига, совпадающих со срединно-океаническими хребтами.

По времени проявления тектонические движения делятся на современные, новейшие и древние. Современные движения доступны непосредственному изучению и поддаются количественной оценке с помощью геодезических, инженерных, археологических методов. Новейшие колебательные движения изучаются с помощью геоморфологических и геологических методов и их количественная оценка делается весьма приближенно. Для изучения древних движений рельеф уже не имеет значения, а исследуются мощности и фации отложений.

Неотектонические движения или новейшие тектонические движения - это движения земной коры, проявившиеся в неогеновый и четвертичный (антропогенный) периоды. Они приводят к переустройству рельефа земной поверхности, возникновению новых его форм и влияют на развитие экзогенных процессов.

Землетрясения. При внезапной разрядке напряжений в земной коре или мантии, вызванной тектоническими движениями, возникают кратковременные колебания земной коры - землетрясения. При наиболее сильных

землетрясениях в их очаге, гипоцентре, выделяется энергия до 10 Дж. Землетрясения оказывают влияние на рельеф земной поверхности. Образуются многокилометровые трещины, обросы и сдвиги, обвалы и оползни. Наиболее активно землетрясения проявляются в областях самой молодой (альпийской) складчатости. Интенсивность землетрясений определяется по 12-балльной шкале, учитывающей характер деформации почвы, степень повреждения различных сооружений и др. Моретрясения вызываются теми же причинами, что и землетрясения, отличаются от последних расположением гипоцентра на морском дне. Под действием волн упругости в водной среде возникают видимые громадные волны (цунами) высотой до 25 м, производящие опустошительное разрушение побережья.

Тектонические нарушения земной коры — это проявление глубинных эндогенных процессов, захватывающих все твердые оболочки Земли. Они выражаются в форме необратимых дислокаций — складок или разрывов.

Трещинные разрушения наступают в результате превышения действующих напряжений сил межатомного, молекулярного, ионного притяжения. Разрывные нарушения делятся на две группы: разрывы без смещения и разрывы со смещением горных пород. К первой группе относятся различного рода трещины.

В любом разрывном нарушении со смещением (рис.6) выделяют геометрические элементы: сместитель — поверхность разрыва, по которому происходит смещение; крылья — примыкающие к этой поверхности смещенные блоки горных пород. Крыло, расположенное над сместителем, называется висячим, а под ним — лежачим. Важное значение имеет определение амплитуды смещения (рис.6). Основные виды разрывных нарушений: обросы (а), вбросы (б), надвиги (в), сдвиги (г), ступенчатые обросы (д), горсты (ж), грабены (е,з) — представлены на рис.7.

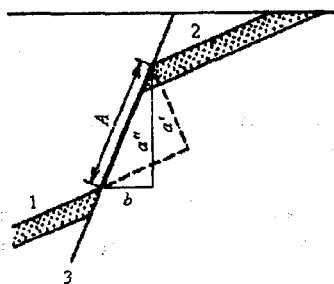


Рис.6. Геометрические элементы сброса:

- A — наклонная амплитуда;
- a' — вертикальная амплитуда;
- a'' — стратиграфическая амплитуда;
- b — горизонтальная амплитуда;
- 1 — висячее крыло; 2 — лежащее крыло; 3 — сместитель

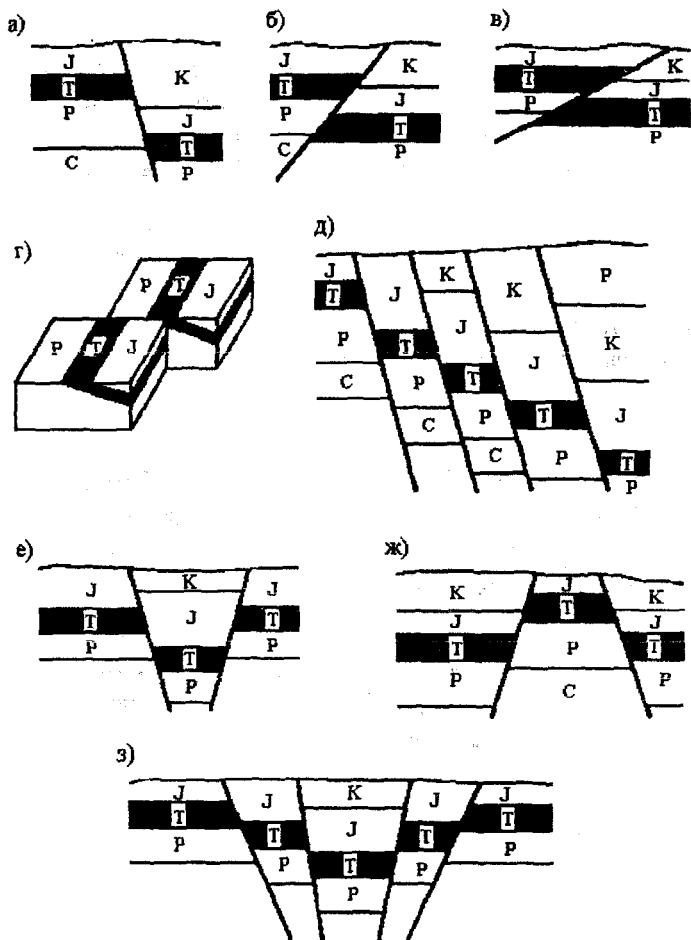


Рис. 7. Основные виды разрывных тектонических нарушений со смещением

Складчатые нарушения связаны с пластическими дислокациями кристаллического вещества горных пород и выражаются в волнообразном изгибании слоев без разрыва их сплошности. Среди складчатых нарушений различают несколько структурных форм. Это моноклинали, флексуры и складки.

Складки являются основной формой пликативных нарушений и представляют собой волнообразные изгибы слоев. В зависимости от направления изгиба различают синклинали и антиклинали. Основными геометрическими элементами складок являются крылья, ядро, замок, шарнир, угол, осевая поверхность и ось (рис.8).

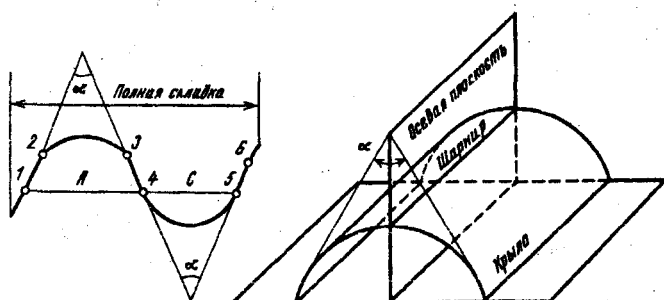


Рис.8. Геометрические элементы складок:

2-3 - замок антиклинали (А); 4-5 - замок синклинали (С);
1-2, 3-4, 5-6 - крылья складок; α - угол складки

Формы складок очень многообразны (рис.9). Классификация их основана на различных признаках:

I - по положению осевой поверхности: прямые (а), наклонные (б), опрокинутые (в), лежащие (г), перевернутые (д);

II - по форме замка и соотношению между крыльями: нормальные округлые (а), нормальные острые (б), сундучные (в), веерные (г), изоклиналильные (д);

III - по соотношению основных размеров: линейные - длина значительно превышает ширину (1); брахискладки - длина больше ширины в 2-5 раз (2а, 2б); купола - антиклинальные складки (3а); мульды - синклиналильные складки, в которых длина превышает ширину менее, чем в 2 раза (3б).

Совокупность складок, проявляющаяся в определенных участках земной коры, называется складчатостью.

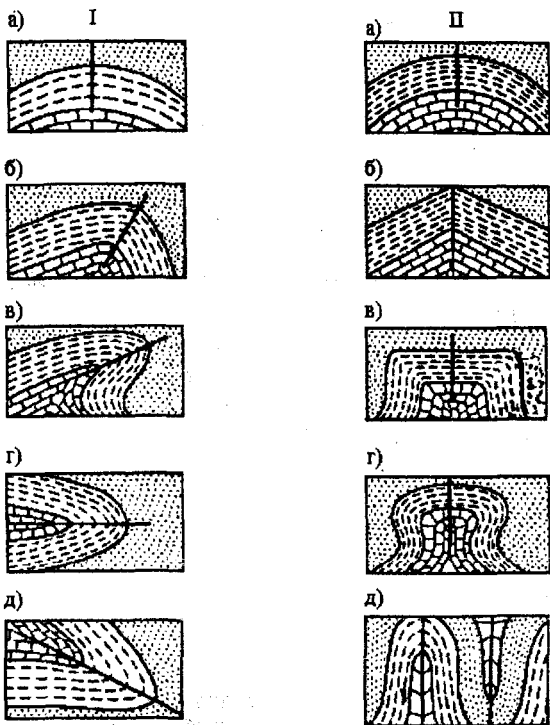


Рис. 9. Морфологические типы складок
(стрелками показано падение крыльев складки)

7. МАГМАТИЗМ И МАГМАТИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Магматизмом называется совокупность процессов образования магмы, ее извержения и последующих затвердевания и кристаллизации. Магма - природный силикатный подвижный горячий расплав, возникающий в нижних слоях земной коры или верхней мантии, насыщенный различными газами и парами. По мере продвижения к земной поверхности магма теряет большую часть летучих компонентов. Вышедшая на поверхность магма - лава. Явления, обусловленные извержением лавы, называются эффузивным магматизмом или вулканизмом.

Извергаемые из магматического очага на земную поверхность продукты (лава и пирокластические материалы) создают вулканические постройки - вулканы. Их форма зависит от характера подводных каналов, состава и свойств извергаемых продуктов.

С трещинными извержениями связаны излияния базальтовых лав, распространяющихся на большую площадь в виде покровов и создающих обширные лавовые плато. Этот тип вулканов характерен для прошлых геологических эпох. В современное время они встречаются в Исландии, на Канарских и Азорских островах.

В результате извержения через центральные выводные каналы - жерла образуются пологовыпуклые щитовые и более крутонаклонные конические или куполовидные возвышенности - вулканы центрального типа. Щитовые вулканы формируются за счет излияний наиболее жидких базальтовых лав. Эти вулканы широко распространены на Гавайских островах и в Исландии. Конические и куполовидные вулканы слагаются более вязкими лавами среднего и кислого состава. Извержения этих лав часто сопровождаются взрывной деятельностью и выбросами обломочного (пирокластического) материала.

Интрузивный или глубинный магматизм охватывает процессы развития и внедрения магмы внутри литосферы с последующим образованием разнообразных по форме и составу магматических тел - интрузий (рис.10). Формы интрузий находятся в зависимости от условий их образования. В зависимости от формы и положения во вмещающих породах выделяют:

А - согласные интрузии:

- силлы - пластобразные залежи;
- лакколиты - грабообразные тела с выпуклой кровлей;
- лополиты - блюдцеобразные тела с вогнутой или плоской кровлей;
- факолиты - чечевицеобразные изогнутые тела, приуроченные к сво-

дам складок во вмещающих породах;

В - несогласные (приуроченные к секущим трещинам и каналам):

- дайки - крутопадающие жилообразные тела;
- жерловины или некки - трубообразные тела;
- батолиты глубинные, наиболее крупные и близлежащие к магматическому очагу;
- штоки - тела меньших размеров, чем батолиты, часто связанные с последними на глубине.

Интрузивная деятельность вызывает изменения вмещающих горных пород на контакте их с интрузиями. К интрузиям приурочены определенные рудные комплексы полезных ископаемых.

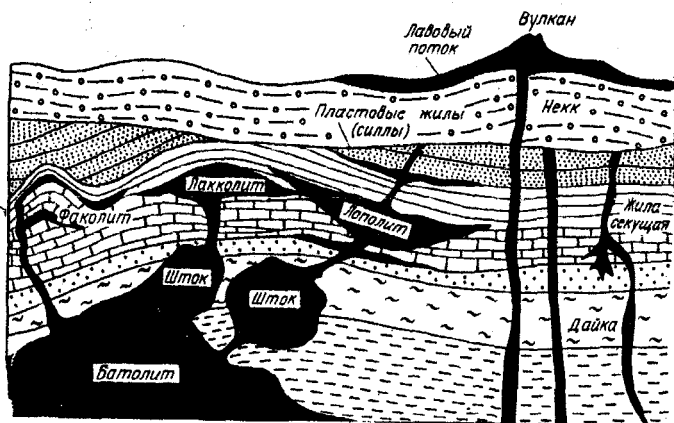


Рис.10. Формы залегания магматических горных пород

Классификация магматических пород

По условиям образования магматические породы разделяют на эффузивные и интрузивные. Первые образуются за счет затвердения излившейся на поверхность лавы, вторые - за счет остывания и кристаллизации магмы в толще ранее образовавшихся горных пород. На поверхности силикатный расплав остывает быстрее, чем в недрах, и не успевает кристаллизоваться, поэтому эффузивные породы характеризуются стекловатыми и неполнокристаллическими структурами, а интрузивные - полнокристаллическими. Разделение магматических пород по составу основано на различиях в со-

держании кремнезема SiO_2 и оксидов щелочных металлов $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$.

По химизму выделяют 5 групп магматических пород: ультраосновные, основные, средние, кислые и щелочные (табл. 4). При увеличении в горных породах содержания кремнезема уменьшается содержание цветных минералов и соответственно изменяется окраска. Ультраосновные породы целиком сложены темноокрашенными минералами. В основных породах они обычно преобладают над плагиоклазами, обуславливая общую темно-серую окраску породы. В средних породах, имеющих неоднородную серую и зеленовато-серую окраску, цветной минерал (обычно роговая обманка) достигает 50%. Кислые породы окрашены в розовато-светло-серый цвет и состоят уже главным образом из полевых шпатов и кварца.

С магматической деятельностью также связано образование пирокластических пород, образующихся при взрывных вулканических извержениях. Эти породы, называемые вулканическими туфами, по составу слагающих их обломков и частиц бывают основные, средние, кислые и щелочные.

Важнейшие магматические горные породы

Группа пород по содержанию, % SiO ₂ ; Na O+K ₂ O	Условия образования	Название породы	Структура	Текстура	Минеральный состав
1	2	3	4	5	6
Ультрасиенные 33-45; 0-1	Интрузивные	Дунит	Мелко- или скрытокристаллическая	Массивная	70-100% оливина, 0-30% пироксена
		Перидотит	Мелко- и среднекристаллическая	" "	30-70% оливина, 30-70% пироксена
		Пироксенит	Средне- и крупнокристаллическая	" "	0-30% оливина, 70-100% пироксена
Основные 45-52; 1-4	Эффузивные	Пикритовый порфирит	Порфировая	Массивная, пористая, мидодекаменная	Вкрапленники оливина и пироксена среди подстекловатой зеленоваточерной массы
	Интрузивные	Габро	Средне- и крупнокристаллическая	Массивная, пятнистая, полосчатая	50-70% пироксена, иногда амфибола, 30-50% плагиоклаза
	Эффузивные	Базальт	Подстекловатая, скрытокристаллическая	Массивная, пористая, мидодекаменная	Иногда различаются мелкие пластинки и иглочки плагиоклаза и пироксена

1	2	3	4	5	6
Средние 52-65; 4-6	Интрузивные	Диорит	Среднекристаллическая	Массивная, пятнистая, помосчатая	50-70% плагиоклаза, иногда калиево-нагревого полевого шпата, 30-50% розовой обманки (реже пироксена)
	Эффузивные	Андезит (андезитовый порфирит)	Порфирован	Массивная, пористая, миндалекаменная	Вкрапленные плагиоклаза и амфибола среди полустекловатой серой или темно-серой массы
Кислые 65-75; 6-8	Интрузивные	Гранит	Средне- и крупнокристаллическая	Массивная, пятнистая	25-30% кварца, 50-60% калиево-нагревого полевого шпата, 10-15% плагиоклаза, 5-15% слюды (реже амфибола)
	Эффузивные	Диабазит (кварцевый порфир)	Порфировая	Массивная, пористая, миндалекаменная	Вкрапленные кварца и полевого шпата среди полустекловатой желтой, розовой или бурой массы

1	2	3	4	5	6
Щелочные 8-20	Интрузивные Сиенит	Сиенит	Средне- и крупно- кристаллическая	Массивная, пят- нистая	70-80% полевого шпата (в основном калиево-натро- вого), 20-30% амфибола (реже биотита) и 20-30% пироксена
	Нефелиновый сиенит	То же	То же	То же	50-60% полевого шпата, 30-40% нефелина, 10-20% амфибола и пироксена
	Эффузивные	Ортоклазовый порфир	Порфировая	Массивная, ис- ристая, минда- лекаменная	Вкрапленники ортоклаза среди полустекловатой бурой массы
	Фонолит	То же	То же	То же	Вкрапленники нефелина, полевого шпата, эгирина среди буровато-темно-се- рой полустекловатой маз- сы

8. МЕТАМОРФИЗМ И МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Метаморфизмом называется процесс преобразования горных пород под действием эндогенных факторов, вызывающих значительные изменения термодинамических условий и формирование у пород новых свойств. Метаморфизму могут подвергаться горные породы любого происхождения - осадочные, магматические и ранее существовавшие метаморфические. Главными причинами или факторами метаморфизма являются температура, давление и химически активные вещества - растворы и летучие соединения.

При метаморфизме меняются структурно-текстурные особенности горных пород и их минеральный состав. Степень изменений первичных горных пород может быть самой различной - от незначительных преобразований до полного изменения состава и облика горных пород.

Обычно все виды преобразований протекают в твердой среде, однако при высоких степенях метаморфизма может происходить частичное, очаговое плавление (анатексис).

Основой классификации всех метаморфических комплексов служит подразделение их на продукты регионального и контактового метаморфизма. Первые имеют самое широкое распространение, слагая основную массу пород гранитного слоя земной коры, представленного на земной поверхности щитами, уходящими под осадочную оболочку, вторые возникают на контактах крупных магматических (интрузивных) тел и вмещающих пород. Региональный метаморфизм охватывает огромные площади. Контактный метаморфизм проявляется в значительно меньшем масштабе и мощность контактных зон не превышает нескольких сотен метров.

При любых метаморфических преобразованиях образующиеся горные породы имеют в своем составе две группы минералов - унаследованные от изначально существовавшей породы и образованные при метаморфизме.

Главной особенностью структур метаморфических пород является бластичность (бластог - росток). Под микроскопом в шлифах она хорошо видна, выражается в плотном срастании соседних минеральных зерен по сложной извилистой поверхности, обуславливающей значительное взаимопроникновение, что сообщает метаморфической породе повышенную крепость и плотность. Структура называется гранобластовой, если слагающие ее минеральные зерна имеют изометричную или овальную форму или лепидобластовую (лепидос - листок). Первым типом структуры обладают кварциты, амфиболиты, мраморы; вторым - тальковые, слюдяные, хлоритовые сланцы. Гнейсы, тальк имеют переходный, лепидогранобластовый тип структуры.

Важнейшие представители метаморфических пород.

Гнейс. Чрезвычайно широко распространен продукт средне- и глубоко-метаморфизированных комплексов. Структура кристаллическая. Текстура полосчатая, линейная, гнейсовидная. Минеральный состав: полевые шпаты, кварц, роговая обманка, биотит. Часто ассоциирует с гранитоидами, образуя непрерывный ряд гранит-гранито-гнейс-гнейсогранит-гнейс. Гнейс образуется за счет глинистых сланцев, песчаников, гранитов и других пород.

Слюдяные сланцы. Встречаются в стратифицированных толщах вместе с гнейсами и связаны с последними взаимопереходами. Структура чешуйчатая. Текстура полосчатая, сланцеватая, линейная. Минеральный состав: слюды, роговая обманка, кварц, полевой шпат и др. В зависимости от преобладания мусковита или биотита соответственно меняется и название - биотитовый сланец или мусковитовый.

Серицитовый сланец. Представляет собой тонкочешуйчатый мусковитовый сланец.

Амфиболит. Порода, состоящая в основном из роговой обманки. Структура кристаллическая. Текстура линейная, полосчатая. Возникает за счет магматических пород основного состава.

Кварцит. Порода обладает почти мономинеральным составом (кварцевым). Примеси - мусковит и полевые шпаты. Структура средне- и мелко-кристаллическая. Текстура массивная, пятнистая, реже полосчатая. Порода обычно окрашена гидроксидами железа в красный цвет. Разновидность кварцитов - железистые кварциты - содержат магнетит и гематит.

Мрамор. Мономинеральная порода, состоящая из кальцита. Структура кристаллическая. Текстура массивная, пятнистая, полосчатая. Окраска самая различная, чаще светлая. Образуется за счет известковых осадочных пород, характерна реакция с соляной кислотой.

Тальковый сланец. Мягкая, мылкая на ощупь порода с серебристым, шелковистым отливом, состоящая из талька. Примесь - амфибол и др. Структура чешуйчатая, пластинчатая. Текстура полосчатая, сланцеватая. Возникает за счет богатых магнием магматических и осадочных пород.

Серпентинит (змеевик). Формируется в результате метаморфизма ультраосновных пород: дунитов, перидотитов; состоит в основном из серпентина - минерала, замещающего оливин. Название ему дано по сходству пород с раскраской змеи. Структура волокнистая, пластинчатая или скрытокристаллическая. Текстура полосчатая, пятнистая.

Хлоритовый сланец. Состоит из хлорита с примесью биотита, роговой обманки, полевых шпатов и др. Структура чешуйчатая. Текстура полосчатая. Отличительные признаки - характерный грязно-зеленый цвет, присущий хлориту, и никакая твердость.

Филлит. Одна из наиболее распространенных пород низких ступеней метаморфизма. Обладает темной, часто пятнистой окраской с зеленоватым оттенком. Структура афанитовая. Текстура сланцеватая. Характерный признак - шелковистый блеск. Отличительное свойство - уловатость.

Роговик. Порода контактового метаморфизма. Окраска серая до черной. Структура афанитовая. Текстура пятнистая, полосчатая, реже массивная. Для роговика характерны трещины, по которым распространяется ожелезнение и порода раскалывается при ударе. Роговик имеет высокие прочностные характеристики: царапает стекло, имеет максимальную прочность на сжатие.

Скарн. Эта порода образуется на контакте известковых толщ и интрузивных тел кислого состава. В результате сложных химических реакций возникают специфические минеральные ассоциации: кальцит, сульфиды, гранат, магнетит - до 40 адекватно развитых минералов, среди которых многие (сульфиды, магнетит) имеют большую промышленную ценность.

9. ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Экзогенные геологические процессы в отличие от эндогенных протекают в самых верхних слоях земной коры на ее границе с внешними геосферами. Их энергетической основой является энергия солнечной радиации ($6,95 \cdot 10^{24}$ Дж ежегодно) и сил гравитации. Экзогенные процессы протекают при нормальных значениях температуры и давления по эндотермической схеме с поглощением тепла. Выделяют четыре группы экзогенных геологических процессов: выветривание, денудация, аккумуляция, диагенез.

Выветривание - процесс разрушения и изменения горных пород на поверхности и небольшой глубине в связи с физическим, химическим воздействием атмосферы, вод и организмов. Выветривание развивается выше зоны цементации, в которой осуществляется переход рыхлых обводненных осадков в каменные осадочные горные породы. В зависимости от преобладания того или иного фактора в этом процессе выделяют три его типа: физическое (механическое), химическое и органическое.

Выделяемые типы имеют неодинаковое развитие в различных физико-географических условиях. В приполярных областях преобладает физи-

ческое выветривание, в тропических областях преимущественное развитие имеет химическое выветривание. Характер и скорость выветривания зависят также от состава и строения горных пород. В полиминеральных породах выветривание проявляется интенсивнее, чем в мономинеральных. Неравномерно- и крупнокристаллические породы выветриваются быстрее, чем равномерно- и мелкокристаллические. Магматические породы, состоящие из силикатов и кварца, устойчивее по отношению к выветриванию по сравнению с осадочными, состоящими из карбонатов, сульфатов и гидросиликатов.

Физическое выветривание обусловлено в основном колебаниями температуры и представляет собой механическое разрушение горных пород и превращение их в обломочный материал. Продукты выветривания горных пород, залегающие на месте своего образования, называются элювием. Большие скопления крупнообломочного элювия называют курумами.

Химическое выветривание связано главным образом с воздействием воды, заключенной в трещинах и порах горных пород. Оно приводит к химическому разложению первичных и возникновению новых минералов, более устойчивых в приповерхностных условиях. Химическая активность подземных вод возрастает в связи с присутствием растворенных в них углекислого газа, кислорода и других агентов. Типичными для химического выветривания являются реакции гидратации, дегидратации, гидролиза, окисления, простого и сложного обмена. Химическое выветривание развивается после физического выветривания. На первой стадии выносятся наиболее растворимые соли калия и натрия, на второй - кальция и магния. Силикаты и алюмосиликаты превращаются в гидросиликаты. Глинистые минералы становятся преобладающими среди продуктов выветривания. На третьей стадии глинистые минералы разлагаются с образованием оксидов и гидроксидов. Остаточные продукты, обогащенные этими соединениями, называются латеритами.

Органическое выветривание проявляется при активном физическом и химическом воздействии на горные породы организмов и продуктов их жизнедеятельности. Особенно велика при этом роль бактерий и растительности. Один из продуктов органического выветривания - почва.

Кора выветривания. Кора выветривания, представляющие собой совокупность различных продуктов физического, химического и биохимического выветривания, либо залегающих на месте образования, либо перемещенных на небольшие расстояния. Современная кора выветривания, выходящая на земную поверхность, состоит из элювия и почвенного слоя. Древняя кора

выветривания погребена под более молодыми образованиями и обычно представлена комплексом вторичных низкотемпературных минералов. Мощность коры выветривания колеблется от долей метра до 100 м. Различают два основных типа коры выветривания.

Осадочная кора выветривания находится на месте разложения материнских пород и часто сохраняет особенности структуры и текстуры исходных пород.

Перемещенная кора выветривания образуется за счет изменения остаточной древней коры выветривания в результате ее переноса и перемыывания.

Денудация (лат. "денудацио" - обнажение) - это совокупность процессов удаления (сноса и переноса) продуктов выветривания с места их образования. Перемещение материала с возвышенностей в пониженные участки рельефа приводит к образованию выровненных форм рельефа. Денудационные процессы "тесно" связаны с аккумуляцией. Скорость аккумулятивных процессов зависит от интенсивности привноса продуктов разрушения первичных горных пород. Движущими силами этих двух групп экзогенных процессов являются одни и те же агенты. К агентам денудации относятся: ветер, вода континентов, морей и океанов, ледники, силы гравитации.

Геологическая деятельность ветра. Геологическую работу ветра называют золовой или золицией, по имени бога Золы. Деятельность ветра имеет планетарный характер. В атмосфере аккумулируется огромный энергетический потенциал. Наиболее интенсивное выделение энергии происходит во время ураганов и бурь - $2 \cdot 10^{13}$ кВт/ч - энергетические потребности США в течение 6 месяцев. Скорость ураганов может быть значительно больше 40-60 м/с, а в торнадо (смерч) может превышать скорость звука - 331,8 м/с. Лобовое давление ветра уже при скорости 40 м/с превышает 1 кПа. В то же время резкое изменение давления всего на 50 Па приводит к перераспределению геомеханического напряжения в массиве горных пород. В сейсмоопасных зонах это может вызвать землетрясение. Процессы разрушения горных пород, транспортировки и аккумуляции разрушенного материала представляют собой взаимосвязанные виды механической работы ветра. Ветер вызывает дробление и выдувание горных пород на поверхности Земли - дефляцию. "Обтачивание" горных пород терригенным материалом называется корразия. Разрушение обрывистых берегов под совместным воздействием воды и ветра - абразия - является одним из наиболее интенсивных способов механического разрушения пород. Транспортировка золо-

вого материала зависит от силы ветра, а также от формы, размеров и плотности частиц. Из терригенного материала аккумулируются три комплекса: золотые пески, лесс и красные суглинки. Количество переносимого в течение года ураганами и бурями материала оценивается $n \cdot 10^8$ - $n \cdot 10^9$ т. Суммарный вынос с суши в море 0,4-1,6 млрд. т в год.

Разрушительная деятельность вод поверхностного стока заключается в плоскостном смыве продуктов выветривания со склонов возвышенных участков рельефа (делювиальные процессы) и русловом размыве горных пород движущимися водными потоками (эрозионные процессы).

При плоскостном смыве дождевыми и тальными водами элювиальные обломки перемещаются и частично окатываются. Такие полускатанные обломки называются делювиальными. Отложения временных водных потоков в виде конусов выноса называются пролювиальными.

На неоднородных и слабоадаптированных склонах струйки неруслового стока сливаются в более мощные струи фиксированного стока и склоновый сток переходит в линейный русловый сток. Среди русловых потоков по степени постоянства стока различают временные и постоянные водные потоки. В равнинных областях под влиянием временных потоков образуются овраги. Постоянные водотоки - реки. В результате эрозийной деятельности текущих вод создаются речные долины. В долинах различают дно и склоны. В пределах дна выделяются русло и пойма. Русло - это наиболее низкая полоса, по которой течет водоток, а пойма - часть дна, заливаемая ежегодно водой при половодье. Склоны долин часто осложнены продольными горизонтальными или слабоаклонными к руслу площадками - речными террасами. Эрозийно-аккумулятивная деятельность рек развивается как процесс взаимодействия водного потока и русла. Кинетическая энергия потока, или живая сила его K , в основном расходуется на передвижение поступающего в поток материала T и на разрушение горных пород (эрозию). Если $K > T$, преобладает эрозия; если $K = T$, наблюдается равновесие между эрозией и аккумуляцией, работа реки направлена на перенос; если $K < T$, преобладает аккумуляция. В развитии речных долин выделяют три стадии: молодую, зрелую и старую. В молодую стадию преобладает глубинная эрозия. Продольный профиль долины в это время ступенчатый, невыработанный, изобилующий водопадами и перекатами, чередующимися с плесами. Поперечный профиль конькообразный или Y-образный. В зрелую стадию река вырабатывает продольный профиль равновесия, после чего возможна лишь боковая эрозия. Поперечный профиль долин зрелых рек - U-образный и ящикобразный. В старую стадию река заполняет аллюви-

альными осадками (речными отложениями) выработанную ранее долину, меландрирует (образует иалучины) и отчленяет от себя старицы. Поперечный профиль становится корытообразным. Возобновление глубинной эрозии происходит при понижении базиса эрозии в результате тектонических процессов. Разрушаемый и перерабатываемый реками материал переносится волочением, окаткообразно, а также завесью и в растворе. При этом происходит измельчение и "окатывание" обломков и сортировка их по весу и крупности с образованием россыпных месторождений полезных ископаемых (золота, платины, алмазов и пр.). Ежегодно за счет волочения и сальтации перемещается 1 млрд. т рыхлого материала, а во завешенном состоянии 12,7 млрд. т. В устье реки формируется дельта - конус выноса реки - участок суши, сложенный в основном аллювием. Дельто-аллювиальная равнина обладает большими размерами (Янцзы - 0,5 млн. км²; Волга - 19 тыс. км²; Тигр-Евфрат - 48 тыс. км²). Ежегодный прирост дельты достигает, м/год: Волга - 170, Кура - 300, Терек - 100. С дельтами связаны крупнейшие месторождения угля и нефти.

Геологическая работа подземных вод. Все виды воды, находящиеся ниже поверхности Земли, приуроченные к горным породам коры и веществу мантии и образующие с поверхностными и атмосферными водами единую водную оболочку Земли (гидросферу), принято называть подземными. Подземные воды могут встречаться в свободном состоянии (пар, капельно-жидкая вода, лед); физически связанная вода (капиллярные воды, диффузная, адсорбированная); химически связанная вода (кристаллизационная, цеолитная, конституционная). Разрушительная работа подземных вод сводится к химическому взаимодействию их с горными породами и механическому раздроблению, вымыванию силами движущихся потоков. Перенос разрушенного материала происходит главным образом в виде химически растворенного вещества. Процессы химического разложения горных пород под воздействием подземных и поверхностных вод называются карстовыми процессами или карстом. В результате формируются карстовые воронки и карстовые пещеры. В определенных условиях подземные воды производят механическую работу по разрушению горных пород - суффозии (лат. "суффозии" - подкапывание). В рельефе поверхности при этом возникают суффозионные провалы, колодцы, овраги, воронки и блюдца.

Разрушительная работа снега и льда. Ледниками называются естественные скопления движущегося льда, образующиеся на суше в результате процесса накопления. В настоящее время ледниками покрыто 11% всей площади суши. Лед возникает благодаря скоплению снега в понижениях релье-

ефа (карак). В результате вначале образуется ледяная крупа (фирн), которая смерзается и уплотняется, формируя фирновый лед. В дальнейшем фирновый лед еще более уплотняется, приобретает голубую окраску и становится плетчерным льдом, плотность которого превышает плотность снега в 10 раз, доходя до 1 т/м^3 . При достижении мощности 15–20 м лед приобретает пластичность и при наличии наклонов поверхности рельефа начинает течь, образуя ледниковые языки. Скорость движения льда может изменяться от долей метра до сотни и более метров в сутки.

Все ныне существующие ледники подразделяются на горные и покровные. Горные характеризуются относительно небольшими размерами, четко выраженной границей между областями питания и разгрузки. Покровные ледники занимают 98,5% всей занятой ледниками поверхности и почти сплошь покрывают Антарктиду, Гренландию, огромные районы Исландии, Шпицбергена, Новой Земли и Северной Земли. Отличительная особенность – огромные размеры и отсутствие четких границ между областями питания и разгрузки.

Разрушительная работа ледников называется экарацией (лат. "exagatio" – выпаживаю). Ледниковая экарация в горных областях проявляется в выпаживании, сплаживании и изменении форм. Единичные скалы, обточенные ледником, называются бараными лабами, а их скопления – кучерявыми скалами. Эрозийные долины под действием движущихся масс льда преобразуются в корытообразные ледниковые долины – троги, имеющие широкое пологое дно и крутые склоны.

Возникающий в результате экарации обломочный материал оказывается запечатанным в теле ледника и далее транспортируется к месту аккумуляции. Этот материал называется подвижной мореной. Морена перемещается до тех пор, пока не происходит полного таяния льда. Горные ледники переносят морену на десятки, реже сотни километров. Покровные же ледники, располагая существенно большей массой льда, способны транспортировать обломки на тысячу километров и далее. Крупные валуны из коренных пород Скандинавского щита обнаруживаются в четвертичных отложениях в низовьях Днепра и Дона.

В истории Земли выделяется четыре крупных периода оледенения (от древних к молодым): 1) докембрийский; 2) позднеордовикский; 3) пермско-каменноугольный; 4) кайновойский.

Гравитационные процессы денудации. Действие гравитационных сил обуславливает возникновение и развитие собственно гравитационных и водно-гравитационных процессов как на континентах, так и в океаническом дне.

Собственно гравитационные процессы развиваются на склонах с углами наклона более 30° . На обрывистых и нависающих склонах развиваются процессы обваливания - внезапное обрушение горных пород в виде отдельных глыб или блоков, сопровождающееся дроблением сорвавшейся массы при ее падении. Горные обвалы часто имеют катастрофический характер. Непосредственной причиной обвала могут быть землетрясения, сильные ливни, удары молнии. Осыпные процессы проявляются при меньшей крутизне склонов. Они развиваются намного медленнее обвальных, но распространены значительно шире. Обычно они наблюдаются в горных районах. Наклон поверхности осыпи близок к углу естественного откоса материала, из которого она сложена. Для песка угол естественного откоса равен 33° , для мергеля - 25° , сланцев - $26-29^\circ$, известняка - 32° , гнейса - 34° , гранита - $35-40^\circ$.

Водно-гравитационные процессы протекают на склонах различной крутизны, но обязательно при значительном увлажнении оседающих горных пород. Оползание - процесс соскальзывания вниз по склону масс горных пород по возникающим поверхностям отрыва. При насыщении водой поверхностного и подземного стока залегающих на склонах горных пород происходит увеличение их массы, ослабление сцепления и уменьшение сил трения. При движении вниз по склону оползневый массив образует выровненную площадку - оползневую террасу. Скорость движения оползней - от первых сантиметров в сутки до сотен километров в час. Транспортирующая способность - от десятков до сотен кубических метров.

Солифлюкция (греч. "соллюм" - почва, "флюксус" - течение) - медленное течение поверхностного слоя горных пород под влиянием силы тяжести и увлажнения. Скорость движения очень мала - сантиметры, редко первые метры за сезон. В результате солифлюкции образуются солифлюкционные террасы, натечные полосы, валы, потоки. Типичные солифлюкционные процессы развиваются в зонах многолетнемерзлых горных пород на пологих ($2-6^\circ$) склонах в водонасыщенных глинистых массах. Особый тип солифлюкционных процессов возникает на поверхностях, сложенных магматическими и метаморфическими породами. На склонах скапливаются каменные глыбы, которые медленно перемещаются вниз при крутизне от $3-5$ до $40-45^\circ$. Такие движения каменного материала называются курумы (Якутск "курум" - камень).

Геологическая деятельность озер и болот. Озера - это водоемы с замедленным водообменом, расположенные в замкнутых углублениях суши (котловинах). Они занимают около 2% поверхности. Величайшее озеро мира - Каспийское море имеет площадь 395 тыс. км². Самое глубокое - Байкал

(наибольшая глубина 1741 м). В озерах протекают различные процессы, приводящие к образованию континентальных осадочных пород. Денудационная деятельность озер так же, как и морских водоемов, сводится к разрушению береговых уступов и прибрежных частей дна (абразия), разному обломочного и растворенного материала. Движение водных масс проявляется в виде волн, течений, турбулентного перемешивания воды.

Химический состав и минерализация озерных вод отличаются большим разнообразием: пресные - минерализацией до 1 г/кг; солоноватые - от 1 до 35 г/кг и соленые или рассольные - более 35 г/кг.

В состав озерных отложений входят вещества, образующиеся в озере и поступающие в него с реками, ветром и в результате человеческой деятельности. На характер и интенсивность процессов осадкообразования в озерах решающее значение оказывает ландшафтно-климатическая зональность.

Обломочные отложения играют существенную роль в крупных озерах с большим количеством впадающих водотоков и в горных озерах. У берега осаждаются грубо- и крупнозернистый материал (гравий, песок), затем отложения алевритовой фракции (0,1-0,01 мм) и в центральных частях водоема поймовые и глинистые илы с размером частиц 0,01-0,001 мм и менее.

Органогенные отложения образуются за счет накопления неразложившихся и полуразложившихся остатков растений и животных. Это одна из ветвей "детритогенеза", охватывающая процессы образования сапропеля и торфа. В этих отложениях сосредоточены значительные запасы энергии в виде органического углерода, переводимого в это состояние из углекислого газа в результате процесса фотосинтеза. Фактически органогенные отложения - производные процесса фотосинтеза. Вторая, не менее важная сторона фотосинтеза, - пополнение кислородом атмосферы Земли. Глобальное геологическое значение озер и болот - это процессы детритогенеза, при которых в органогенных отложениях аккумулируется энергия, атмосфера теряет избыток углекислоты и пополняется кислородом.

На дне пресноводных озер из остатков водорослей, планктонных и бентосных организмов образуется сапропель, содержащий кроме органического вещества и минеральные составляющие - песчаные, алевритовые и глинистые частицы, а также хемогенные осадки. Сапропелем называют гнилостный ил, имеющий коллоидную структуру и не менее 50% органического вещества. В естественном состоянии сапропель имеет очень высокую влажность (до 97%) и на вид представляет собой студенистую массу желтовато-бурых оттенков, жирную на ощупь. Высохнув, становится очень плотным и не размокнет в воде. В сухом состоянии его называют сапроколом. В те-

чение года отлагается слой сапропеля от нескольких сантиметров до нескольких дециметров. Мощность сапропелей – от метров до десятков метров. Месторождения сапропеля образовались в последние 10-12 тыс. лет. Более древние сапропели в результате диагенеза превратились в горючие сланцы и ископаемые угли. При зарастании пресноводных озер накапливается торф.

При отложении в озерах кремниевых скелетов диатомовых водорослей образуется диатомит – пористая рыхлая порода белого, серого, кремового цвета с малым удельным весом. В Тюменской области запасы диатомита 500 трлн.м.

Озерная известь образуется на дне озер из минерала кальцита. Запасы озерной извести очень велики.

Хемогенные осадки. В озерах гумидной территории накапливаются илстые осадки, состоящие большей частью из глинистых минералов (алюмосиликатов). Скопления оксидов и гидроксидов железа, марганца и алюминия формируют мелкие конкреции – "бобовые руды".

Из глинистых илов, обогащенных карбонатными минералами, образуются прослой мергелей.

В аридной зоне из соленых озер осаждаются соли. Вначале кальцит и гипс, затем галит NaCl , далее сильвин KCl и в последнюю очередь хлориды магния.

В озерах вулканического типа часто образуется самородная сера.

Болота. Это избыточно увлажненные участки суши, часто имеющие торфяную залежь и покрытые специфической болотной растительностью. Болотные массивы особенно развиты в областях с влажным климатом. Выделяются два основных способа образования болот – заболачивание суши и зарастание озер.

Заболачивание суши происходит на переувлажненных почвах. Избыточное увлажнение почв вызывается разными причинами. К основным относятся обилие атмосферных осадков и близкое залегание к поверхности водоупорных слоев. Часто болота образуются в поймах рек – их называют плавнями. Заболачивание может развиваться в местах пластовых выходов подземных вод или мочажин, расположенных на относительно ровных, горизонтальных участках рельефа. В тропических и экваториальном поясах находятся обширные заболоченные прибрежно-морские низменности, а также широко распространен своеобразный тип болот – мангровые леса. Болота, образующиеся путем зарастания озер, представляют собой стадию старения и умирания озера. Зарастание и заторфовывание озера происходит как от

берегов к центру (при этом образуются торфяные залежи, по составу соответствующие отмирающей растительности), так и по вертикали. Отмирающая растительность, накапливаясь на дне, подвергается слабому разложению в анаэробных условиях, что способствует обмелению озера. Процесс этот развивается дальше: обмелевшие участки обживаются мелководной растительностью и прибрежные растения подвигаются к центру водоема. В глубоких озерах с застойным режимом зарастание происходит по вертикали. На поверхности воды из плавающей растительности образуется плавающий ковер, называемый сплавной. Мощность сплавной постепенно увеличивается, а на дне накапливается слой отмерших растительных остатков. Если сплавина покрывает всю водную поверхность озера, образуется забное болото. Сплошное плотное болото формируется при смыкании забуны с донными осадками.

На основании условий водного и минерального питания, а также местоположения выделяют разные типы болот.

Низинные болота располагаются в понижениях рельефа и питаются в основном подземными водами, богатыми минеральными веществами. На них произрастают эвтрофные (требовательные к минеральному питанию) растения, из отмерших остатков которых накапливается торф. Торф низинного типа состоит из хорошо разложившихся растительных остатков и имеет повышенную зольность (6-18%). В зависимости от ботанического состава выделяют виды торфа: сосновый, тростниковый, гилновый и др. Поверхность низинных болот плоская или вогнутая.

Переходные болота с обедненным минеральным питанием образуются за счет атмосферных и подземных вод. На этих болотах развита мезотрофная растительность, не требующая обилия питательных веществ и образующая торф переходного типа (зольность 4-6%). По характеру эти болота промежуточные между низинными и верховыми.

Верховые болота образуются в условиях исключительной бедности минерального состава - только за счет атмосферных осадков. Особенно это характерно для водоразделов. Верховые болота называют олиготрофными по характеру растительности, не требовательной к содержанию питательных веществ. Типичные растительные формы - мхи, много кустарников. Верховой торф имеет пониженную зольность (2-4%) и невысокую степень разложения растительных остатков.

Среди четвертичных и современных болотных отложений наибольшее распространение и практическое значение имеет торф - горная порода органического происхождения, образующаяся в результате неполного разло-

жения растительных остатков в условиях избыточной влажности и недостатка кислорода, содержащая менее 50% минеральных веществ. Торф представляет собой продукт начальной стадии преобразования растительного материала в уголь. Одним из важнейших процессов при этом является биохимическая гумификация - образование аморфного вещества - гумуса. Содержание этого вещества определяет многие практические свойства торфа. Интенсивность окраски торфа также зависит от содержания гумуса. Структура торфа при низкой степени разложения сохраняет некоторые признаки исходного растительного материала (волокистая, войлочная, ленточная и др.). Пористость торфа при малой степени разложения - до 80%, влажность при естественном залегании - до 95%. Торф залегает в виде линз или пластов. Мощность пластовых залежей достигает первых десятков метров.

Покрытие торфяников породами кровли означает переход к углефикации, заключающейся в превращении торфа в бурый уголь и далее, при благоприятных геологических условиях, в каменный уголь и антрацит под длительным воздействием повышенных температур и давлений без доступа кислорода воздуха. Химические изменения при этом заключаются в увеличении содержания углерода (от 65% в бурых углях до 98% в антрацитах), уменьшении содержания кислорода (от 30% до 1%) и водорода (от 6% до 1%) соответственно. К болотным отложениям относятся также хемогенные осадки.

В условиях низинных болот образуются железные руды или бурые железняки, виванит, сидерит, болотная известь.

Геологическая деятельность болот многопланова. Болотные массивы играют роль гигантских фильтров, постоянно очищающих атмосферную воду. Многие крупнейшие реки мира берут начало из болот - водорегулирующая роль болот.

Геологическая деятельность морей и океанов. В геологической истории Земли роль морей и океанов чрезвычайно велика. Площадь акватории Мирового океана составляет 2/3 всей поверхности планеты, т.е. 361 млн. км². Одними из важнейших химических особенностей морской воды являются ее соленость и солевой состав. Средняя соленость в Мировом океане 35%. В солевом составе преобладают растворимые соли. Содержание кислорода в воде более чем в 1,5 раза превышает его содержание в воздухе, что создает весьма благоприятные условия для существования в ней животных и растительных организмов и резко повышает ее химическую активность. Вода в Мировом океане находится в непрерывном движении: волнения, течения, стонно-нагонные движения, приливно-отливные движения.

Разрушительная работа морей и океанов называется абразией (лат. "абразию" - соскабливаю). Она подразумевает механическое разрушение горных пород волнами и подводными течениями. Наиболее активно абразия протекает в прибрежной зоне, где происходит формирование абразивной террасы.

Продукты абразии вместе с другим осадочным материалом, доставленным реками, ветром и льдом, накапливаются в определенной закономерности, формируя различные виды осадков: терригенные, биогенные, хемогенные, из которых в процессе диагенеза образуются соответствующие осадочные породы.

Диагенез (греч. "диагенезис") - перерождение, происходит вследствие следующих процессов. Под влиянием сил гравитации по мере накопления осадков происходит их уплотнение, что приводит к активному взаимодействию составляющих их компонентов друг с другом, а также с поровыми водами и средой их накопления. Под тяжестью вышележащих осадков в нижних слоях происходит выжимание поровой воды - обезвоживание. Отдельные компоненты осадка при заполнении порового пространства связываются между собой - цементация. В качестве цемента встречаются кремнезем, оксиды железа, карбонаты, фосфаты и др. Уплотнение, или уменьшение объема, обусловлено в основном вышележащими осадками и происходит в результате перекристаллизации, обезвоживания и цементации осадочного вещества. В конечном итоге диагенеза рыхлые осадки превращаются в твердую окаменевшую горную породу. Например, пески - в песчаники, терригенные илы - в глины, солевая рапа - в каменную соль, карбонатные илы - в известняки и т.д.

Осадочные горные породы. Обломочные (терригенные) породы образуются из обломочных частиц. В основу классификации этих пород положены следующие признаки: размер породообразующих частиц, их форма (угловатые или окатанные), облик породы (рыхлая или сцементированная). Классификация обломочных пород представлена в табл.5.

Хемогенные и органогенные породы классифицируются по химическому составу, поэтому целесообразно их рассматривать совместно. Наиболее распространенными из них являются карбонатные: известняки, доломиты, мергели.

Известняки - мономинеральные породы, состоящие из кальцита CaCO_3 . Они могут иметь хемогенное и органогенное происхождение. Хемогенные известняки подразделяются на разновидности в зависимости от их внешнего облика. Они могут быть кристаллическими, скрытокристаллическими,

Обломочные горные породы

Группа пород	Размеры обломков, мм	Рыхлые породы		Сцементированные породы	
		окатанные	неокатанные	окатанные обломки	неокатанные обломки
Грубообломочные (псефиты)	> 200	Валуны	Глыбы	Конгломераты: валунные; галечные;	Глыбовые брекчи
		Галька, галечник	Щебень		
	10-2	Гравий	Древеса	гравийные	Брекчи
Песчаные (псаммиты)	2-1	Пески: грубозернистые; крупнозернистые; среднезернистые; мелкозернистые		Песчаники: грубозернистые; крупнозернистые; среднезернистые; мелкозернистые	
	1-0,5				
	0,5-0,25 0,25-0,1				
Алевриты Пелиты	0,1-0,00,1 0,01	Алевриты Глины		Алевриты Аргиллиты	

ослитовыми и каверновыми.

Органогенные известняки сложены преимущественно скелетными формами животных. Известняки, состоящие из скелетных частей хорошей сохранности, называются раковинными. Если же в состав входят обломки раковин, то есть детрит (от лат. "детритус" - обломок), то они именуются детритовыми. Разновидностью известняков является мел, имеющий тонкокристаллическую структуру и состоящий из мельчайших кристалликов кальцита и обломков планктонной микрофауны - фораминифер. Все известняки реагируют с 5-10%-й соляной кислотой.

Доломит состоит из одноименного минерала, слабокипящего от воздействия HCl . Доломиты исключительно хемогенного происхождения. При различных соотношениях в породе кальцита и доломита возникает целая гамма переходных пород.

Мергель - смешанная порода, состоящая из кальцита и глинистого материала. После реакции на HCl образует грязное пятно из глинистых частиц.

Кремнистые породы, состоящие из оксидных и гидроксидных соединений кремния, также могут быть хемогенными и органогенными образованиями. Органогенные породы представлены диатомитом, состоящим из скорлупок диатомовых водорослей, а хемогенные - трепелом, опокой, кремнем, яшмой.

Трепел - мелоподобная порода, из мельчайших стяжений опала, очень легкая и макроскопически неотличимая от диатомита. Уплотненный трепел называется опокой. Яшма и кремень являются мономинеральными породами, сложенными халцедоном. Яшма в отличие от кремня, благодаря присутствию в ней красителей, приобретает яркую живописную окраску, которая связана с ее происхождением (при подводном извержении вулканов). Обе породы весьма твердые, с раковистым изломом.

Сульфатные породы состоят из минералов ангидрита (CaSO_4) и гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и имеют аналогичные названия. У них хемогенное происхождение, и возникают они из перенасыщенных растворов в озерах и лагунах.

Галоидные породы возникают в условиях, аналогичных условиям образования сульфатных пород. Наиболее распространенными их представителями являются каменная соль, состоящая из галита (NaCl), и сильвинит (калийная соль), представленный сильвином (KCl).

Фосфоратовые породы представлены фосфором, имеющим кристаллическую или скрытокристаллическую структуру и образующим либо конкреции, либо цемент в терригенных породах. Имеет хемогенное происхождение.

Железистые породы возникают химическим путем, представлены оксидными и гидроксидными соединениями железа: магнитный железняк - магнетитом, красный железняк - гематитом и бурый железняк - лимонитом.

В болотных рудах железа встречается в составе сидерита ($FeCO_3$).

Марганцовистые породы - породы, содержащие первые проценты марганца. При содержании марганца в породе выше 10% порода превращается в руду. Марганец часто встречается в сочетании с железом, образуя железомарганцевые конкреции. Их запасы в Мировом океане исчисляются триллионами тонн.

Аллитные породы отличаются высоким содержанием глинозема. К ним относятся латераты - элювиальный продукт физико-химического выветривания. Если в этих породах содержание Al_2O_3 превышает 28%, они становятся алюминиевой рудой - бокситом.

Каустобиолиты, или горючие породы. Органогенные породы, образующиеся из продуктов переработки растительных и животных остатков. В зависимости от состава исходного материала и способов его переработки (участия кислорода и бактерий) выделяют битумы, гумусы и сапропелиты.

Битумы представляют собой углеводороды метанового ряда, в их состав входят газ, нефть и твердые образования - оокерит или горный воск и асфальт.

Гумусы являются углеродсодержащими породами и в зависимости от степени разложения органического вещества и содержания углерода образуют ряд: торф (содержание С - 50-60%), бурый уголь (С - 70%), каменный уголь (С - 80%), антрацит (С - 90%).

Сапропелиты - сапропелевые угли и горючие сланцы. Эти породы образуются из накапливающегося в озерах сапропеля.

Литература

1. Аллисон А., Пальмер Д. Геология. – М.: Мир, 1984.
2. Ершов В.В., Новиков А.А., Попова Г.Б. Основы геологии. – М.: Недра, 1986. – 309 с.
3. Общая и полевая геология / Под ред. А.Н.Павлова. – Л.: Недра, 1991. – 462 с.
4. Штрюбель Г., Циммер З.Х. Минералогический словарь. – М.: Недра, 1987. – 492 с.
5. Высоцкий Э.А., Демидович Л.А., Деревянкин Ю.А. Геология и полезные ископаемые Республики Беларусь. – Мн.: Універсітэцкае, 1989.
6. Лабораторные работы по разделу «Минералы» курса «Геологические дисциплины» для студентов специальности Т.09.05 – «Открытые горные работы». – Мн., 1991. – 28 с.
7. Лабораторные работы по разделу «Горные породы» курса «Геологические дисциплины» для студентов специальности Т.09.05 – «Открытые горные работы». – Мн., 1991. – 34 с.

Содержание

Введение	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ	5
1.1. Строение Земли	7
1.2. Внутренние геосферы	9
1.3. Земная кора	10
2. ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ЗЕМЛИ	12
3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ	15
4. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ	17
4.1. Симметрия минерального мира	20
4.2. Конституция минералов	23
4.3. Морфология и основные физические свойства минералов	25
4.4. Диагностика минералов	27
4.5. Условия образования и нахождения минералов	28
4.6. Главные породообразующие и рудные минералы и их классификация	29
4.7. Определение минералов	31
5. ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ	38
Возраст горных пород	40
6. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕКТОНОСФЕРЫ И ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ	40
7. МАГМАТИЗМ И МАГМАТИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ	46
Классификация магматических пород	47
8. МЕТАМОРФИЗМ И МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ ...	52
9. ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ	54
Литература	69

Учебное издание

ПОЛИКАРПОВА Наталья Нестеровна

ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ

Учебно-методическое пособие
для студентов заочной формы обучения
по специальности «Горный инженер»

Редактор Н.А.Школьникова

Подписано в печать 23.10.2000.

Формат 60x84 1/16. Бумага тип. № 2. Офсет. печать.

Усл.печ.л. 4,2. Уч.-изд.л. 3,3. Тираж 100. Заказ 6.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусская государственная политехническая академия.

Лицензия ЛВ № 155 от 30.01.98. 220027, Минск, пр. Ф.Скорины, 65.