

Л.Я. Кратенко

**ОБЩАЯ
ГЕОЛОГИЯ**

Л.Я. Кратенко

**ОБЩАЯ
ГЕОЛОГИЯ**

(Учебное пособие)

**Днепропетровск
НГУ
2008**

УДК 551.1/.4 (075.8)
К 786

Затверджено до видання науково-методичною радою університету як навчальний посібник для студентів напрямку підготовки 0903 “Гірництво” (протокол № 5 від 18.05.02 р.)

ЗАГАЛЬНА ГЕОЛОГІЯ: Навч. посібник / Л.Я.Кратенко. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. – 196 с.

Охарактеризовані специфіка, значення геологічних знань та навчальної дисципліни “Загальна геологія”. Наведені відомості про будову, склад Землі і земної кори. Дано опис наслідків ендогенних (внутрішніх) та екзогенних (зовнішніх) процесів і пов’язаних з ними умов утворення корисних копалин. Висвітлені питання техногенних змін геологічного середовища.

Аналогічне видання 2003 року українською мовою рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів.

Іл. 66, табл. 16, бібліогр.: 17 назв.

Охарактеризованы специфика, значение геологических знаний и учебная дисциплина «Общая геология». Приведены сведения о строении, составе Земли и земной коры. Дано описание результатов эндогенных (внутренних) и экзогенных (внешних) геологических процессов и связанных с ними условий образования полезных ископаемых. Освещены вопросы техногенных изменений геологической среды.

Аналогичное издание 2003 года на украинском языке рекомендовано Министерством образования и науки Украины как учебное пособие для студентов высших учебных заведений.

Ил. 66, табл. 16., библиогр.: 17 назв.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Введение	6
1. Геология как область знаний	8
1.1. Научные направления в геологии.....	9
1.2. Методы и задачи геологии.....	13
1.3. История геологии.....	16
1.4. Дисциплина «Общая геология»	18
2. Земля и ее строение	21
2.1. Земля как планета Солнечной системы.....	21
2.2. Форма, размеры и рельеф Земли.....	27
2.3. Внешние геосферы.....	32
Атмосфера.....	32
Гидросфера.....	34
Биосфера.....	35
2.4. Внутренние геосферы.....	37
Ядро и мантия Земли.....	41
Земная кора.....	43
2.5. Физические поля Земли.....	49
Гравитационное поле.....	50
Тепловое поле.....	51
Магнитное поле.....	53
3. Вещественный состав и возраст земной коры	57
3.1. Химический и минеральный состав земной коры.....	57
Химия земной коры.....	58
Минералы и их свойства.....	60
3.2. Горные породы земной коры.....	75
Магматические породы.....	76
Осадочные породы.....	81
Метаморфические породы.....	85
3.3. Геологическое летоисчисление (геохронология)	90
Методы определения возраста горных пород.....	91
Геохронология.....	93

4. Эндогенные геологические процессы.....	97
4.1. Причины возникновения эндогенных процессов.....	97
4.2. Тектонические движения.....	104
4.3. Тектонические нарушения в горных породах.....	109
Складчатые нарушения.....	113
Разрывные нарушения.....	117
Трещины в горных породах.....	121
Условия залегания горных пород.....	123
4.4. Магматизм и метаморфизм.....	128
Магматические процессы.....	129
Метаморфизм горных пород.....	133
5. Экзогенные геологические процессы.....	138
5.1 Выветривание.....	139
5.2 Деятельность ветра, вод, льда и сил гравитации.....	146
Деятельность ветра.....	147
Деятельность поверхностных текучих вод.....	149
Деятельность подземных вод.....	157
Деятельность льда.....	162
Деятельность вод в морях, озерах, болотах.....	166
Гравитационные явления.....	171
5.3 Процессы диагенеза и осадочное породообразование... ..	174
Диагенез осадков.....	175
Литогенез.....	177
5.4 Техногенез и рациональное природопользование.....	180
Виды и последствия техногенного воздействия.....	181
Использование природных ресурсов и их охрана.....	185
Приложение А Классификация эндогенных геологических процессов.....	188
Приложение Б Классификация экзогенных геологических процессов.....	189
<i>Предметный указатель.....</i>	190
<i>Рекомендуемая литература.....</i>	196

ПРЕДИСЛОВИЕ

Программой обучения по направлению «Горное дело» предусмотрено освоение комплексной дисциплины «Геология», в которую введены три самостоятельных дисциплины – «Общая геология», «Гидрогеология и инженерная геология», «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых».

Курс общей геологии включает сведения о строении земной коры, слагающих ее горных породах и полезных ископаемых, современных геологических процессах, влиянии на окружающую (геологическую) среду производственной деятельности человека. Эти сведения представляют основу геологических и горнотехнических дисциплин, изучение которых предусмотрено программой подготовки по направлению «Горное дело».

Опыт свидетельствует – многие из тех, кто изучает общую геологию испытывают трудности. Последние вызваны особенностями предмета и тех обстоятельств, с которыми связан процесс его усвоения. Главная особенность – большой объем информации, специальная терминология и необходимость прочных знаний по физике, химии, географии и другим предметам.

Вторая особенность состоит в том, что в учебных целях общую геологию нельзя преподносить в популярном изложении или в сокращенном варианте за счет исключения второстепенных тем. Органическую связь между природными процессами, как и сами процессы, понять можно только путем их комплексного, последовательного и достаточно глубокого рассмотрения.

Третья особенность обусловлена качеством имеющейся учебной литературы. Учебники различных авторов неодинаковы по структуре и полноте освещения отдельных вопросов. Все они велики по объему, в них отсутствует необходимая дидактическая проработка материала, не акцентировано внимание на физической сущности геологических явлений и практически не дана их горнотехническая интерпретация.

В настоящем пособии приняты во внимание отмеченные выше особенности. По структуре, форме изложения и другим элементам оно ориентировано на преимущественно самостоятельную форму изучения общей геологии. Именно такая форма организации учебного процесса является оптимальной. Содержание пособия соответствует программе дисциплины, что позволяет рассматривать его в качестве основной учебной книги для направления «Горное дело». Оно также может быть использовано как «путеводитель» при работе с другой учебной литературой.

При подготовке пособия автор руководствовался опытом чтения лекций по общей геологии, основанном на использовании материалов учебников В.В. Ершова, А.А. Новикова, Г.Б. Поповой; В.П. Гаврилова; В.С. Мильничука и М.С. Арабаджи; В.Н. Павлинова, Д.С. Кизевальтера, Н.Г. Лина и других, а также на собственных наблюдениях в период работы в НИИ по изучению горно-геологических условий шахт Донбасса.

ВВЕДЕНИЕ

***При обучении необходимо
стремиться не столько к
полному знанию, сколько к
полному пониманию
Демокрит***

В настоящем введении автор счел важным на основании более полного анализа специфики геологических знаний показать общую цель их обретения и предложить для этого рациональный подход.

Представьте – какими разнообразными и сложными были превращения, в результате которых из межзвездной материи на протяжении миллиардов лет формировалась Земля и другие элементы Солнечной системы. Такие геологические процессы, непрерывно видоизменяясь, продолжаются и в наши дни – незаметно для нас растут и разрушаются горные сооружения, образуются новые толщи осадков в водоемах, действуют вулканы, происходят землетрясения и многие другие явления.

В геологических преобразованиях особую роль играют организмы – животные и растительные. Благодаря им возникла кислородсодержащая атмосфера, образовались почвы, многие горные породы и полезные ископаемые, в том числе нефть, газ, угли. Человек – это неотъемлемая часть живой природы. Его деятельность, прежде всего производственную и особенно горнодобывающую, также с полным основанием следует рассматривать как геологическую. Она уже привела к большим изменениям на Земле. На месте природных ландшафтов повсеместно возникли техногенные. Промышленные отходы изменили состав окружающей среды, загрязнив воздух, воды, почвы. В результате нарушен баланс между экосистемами, произошло общее ухудшение среды обитания. Все это свидетельство того, что деятельность человека в этом – главном для него направлении не может считаться как вполне разумная.

В связи с этим для современного инженера недостаточно знаний о строении и составе земных недр. Возникла настоятельная необходимость понимания им сущности естественных геологических процессов и тех последствий, которые возникают в результате сочетания их с производственными. От умения управлять этими последствиями в конечном итоге зависит судьба человечества. И это, к сожалению, не громкие слова, а наша тревожная реальность.

Именно обозначенный выше круг вопросов является предметом изучения общей геологии. Однако усвоить ее, как уже отмечалось в предисловии, непросто. Это объясняется спецификой геологических знаний.

Они носят всеобъемлющий характер. Природные процессы – самые сложные. Они несравнимы в этом отношении с любыми лабораторными, так как в них всегда одновременно принимает участие много взаимодействующих факторов – физических, химических, биологических. Осуществляются эти процессы в пределах огромных пространств и продолжительность их в большинстве случаев измеряется тысячами, миллионами и миллиардами лет. Общая геология не относится к разряду точных наук. Таковой она и не может быть, так как слишком для этого сложна. Не существует математического аппарата, который позволил бы достаточно точно описать, смоделировать природные процессы.

Поэтому существует проблема выбора пути, которым следует руководствоваться при изучении общей геологии. Имеющийся опыт и здравый смысл, воплощенный в словах Демокрита, подсказывают единственный способ – столь необходимые знания можно обрести главным образом через понимание, осмысление физической и химической сущности геологических процессов и явлений, а не путем механического запоминания терминов и определений. Заученное со временем забудется, а понятое – никогда. Оно обязательно оставит след в сознании, разовьет мыслительные способности, постепенно сформирует материалистическое мировоззрение. Вы будете мыслить инженерными категориями, а на окружающий мир смотреть по-новому – с пониманием и интересом. Именно для такого рода тренинга изучение общей геологии представляет наилучшие возможности. Воспользоваться ими следует в полной мере.

1. ГЕОЛОГИЯ КАК ОБЛАСТЬ ЗНАНИЙ

Основная цель первого раздела – сформировать представление о геологии, дисциплине «Общая геология» и их значении. Без этого невозможно достижение необходимого уровня восприятия основного материала и осознания студентами необходимости его усвоения. В связи с этим следует выполнить главную рекомендацию – вначале усвоить информацию, помещенную в предисловии, введении и в главах 1.1 – 1.3. Затем хорошо понять общую структуру и содержание дисциплины, представленные в оглавлении пособия и в главе 1.4. Только после этого можно приступать к последовательному изучению других разделов и отдельных вопросов, которые в этом случае легко найдут свое место в структуре и прочно войдут в сознание.

Геология (греч. Ge – Земля, logos – учение) – наука о строении Земли, ее происхождении и истории развития, о формировании месторождений полезных ископаемых и их освоении.

Геология вначале рассматривалась как часть философии. Лишь в XVIII столетии благодаря фундаментальным трудам Н. Стено (в Италии), М.В. Ломоносова (в России), А. Вернера (в Германии), Ж. Бюффона, Ж. Кювье и А. Броньяра (во Франции), Д. Геттона (в Шотландии), У. Смита (в Англии) геология сформировалась как самостоятельная отрасль научных знаний.

Интерес к изучению Земли, связанный с необходимостью поисков сырья для промышленности, привел к быстрому расширению и углублению геологических знаний. Постепенно стали обособляться и превращаться в самостоятельные науки разделы о составе Земли, ее истории, строении, рельефе, органическом мире. Исследования в космосе привели в 20 столетии к становлению космической геологии и сравнительной планетологии. Роль геологии на современном этапе еще белее возросла в связи с необходимостью инженерного обоснования мест и способов возведения различных строительных объектов, решения разнообразных вопросов, составляющих экологическую проблему, а также обеспечения работы горнодобывающих предприятий.

В связи с этим геологическое образование стало важным элементом обучения студентов в строительных, сельскохозяйственных, транспортных вузах. Особую роль это образование играет в деле подготовки специалистов по направлению «Горное дело». По академику А.П. Карпинскому «Геология пришла к нам через горное дело» и это действительно так.

Геология изучает среду, в которой осуществляется горнотехническая деятельность. Полученная при этом информация включает сведения о строении месторождений, физико-механических свойствах горных пород, геометрических особенностях тел полезных ископаемых, температурных условиях на глубине, газоносности, наличии водоносных горизонтов и многие другие данные. Эта информация необходима для проектирования горнодобывающих предприятий (ГДП) – шахт, рудников, карьеров и расчетов всех технологических операций при ведении горных работ. Поэтому горный инженер должен владеть геологической информацией, знать способы ее передачи и связанную с этим специальную терминологию.

Велико познавательное и общеобразовательное значение геологии. Как область знаний, изучающая вопросы происхождения и развития Земли и жизни на ней, она всегда была в центре идеологического противостояния.

Известно, что геологические знания основаны на всей совокупности вещественных, неопровержимых свидетельств эволюционного развития планеты в течение 5-6 млрд. лет и такого же постепенного превращения начальных, простейших форм жизни во все более сложные, включая самого человека.

Такая картина мира противоречит мифам религиозных учений, потому что созданы они были задолго до появления достоверных научных знаний. Но, тем не менее, количество приверженцев этих мифов остается очень велико. Этому в значительной мере способствуют неверные представления об окружающем нас материальном мире и причинах возникновения многих природных явлений. Поэтому геологическое образование – это гарантия того, что человек в своих действиях будет надеяться только на свой разум, умение верно оценивать любую ситуацию, не уповая на удачу или неведомые силы, которых в природе не существует.

НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ГЕОЛОГИИ

Область геологических знаний наиболее обширная и самая сложная по своей структуре. В круг ее интересов входят не только вопросы, связанные с возникновением и развитием Земли, эволюцией органической жизни, но и вопросы использования геологических знаний для решения проблем жизнеобеспечения. В целом геология является наукой синтетической. Она тесно связана с другими науками о Земле, например, с астрономией, геодезией, географией, биологией. В своих исследованиях геология опирается на знания таких фундаментальных наук как физика, химия и математика.

Главным объектом изучения геологии является земная кора – вмещает большую часть разнообразных полезных ископаемых. Земная кора – это относительно тонкая каменная оболочка планеты, которая в

результате различных физико-химических превращений (геологических процессов) достигла толщины (мощности) в среднем около 30 км.

Земная кора – в отличие от подстилающей ее мантии – место концентрации преимущественно более легких элементов таблицы Д.И. Менделеева, которые входят в состав разнообразных природных химических соединений – минералов, таких как кварц (SiO_2), кальцит (CaCO_3), графит (C), алмаз (C) и многие другие.

Минералы в земной коре обычно образуют однородные скопления – агрегаты, состоящие из одного, двух или нескольких минеральных видов. Такие агрегаты называются горными породами. Например, мрамор и известняк состоят из кристаллических зерен кальцита, а гранит – однородный кристаллический агрегат из зерен кварца, полевого шпата, слюды и некоторых других минералов.

Земная кора состоит из разнообразных горных пород, многие из которых содержат ценные рудные и нерудные минералы или сами в силу своего состава и свойств относятся к категории полезных ископаемых. Название горной породы определяется не только ее минеральным составом, но и видом геологического процесса, в результате которого порода образовалась. В соответствии с этим все породы по своему происхождению (генезису) делятся на магматические, осадочные и метаморфические.

Магматические породы (граниты, диориты, базальты и т.д.) возникают в результате остывания и кристаллизации магмы в глубинах земной коры или при вулканических извержениях лавы на поверхность Земли.

Осадочные образуются в результате физического и химического взаимодействия между земной корой и внешними сферами: атмо-, гидро- и биосферой. Это взаимодействие приводит к разрушению выходящих на поверхность горных пород, появлению твердых и растворимых продуктов разрушения, переносу их водами, ветрами, льдами в пониженные участки и различные водоемы, накоплению в виде осадков и постепенному превращению их в твердые осадочные породы (глинистые илы преобразуются в глины и аргиллиты, пески – в песчаники, рыхлые соли – в каменные соли и т. д.).

Метаморфические породы формируются из магматических и осадочных под воздействием высокой температуры, давления и химически активных растворенных и газообразных веществ. Такие условия возникают при соприкосновении указанных пород с магмой, а также на больших глубинах, куда эти породы могут погрузиться в случае прогибания земной коры. Глина при этом постепенно преобразуется в сланец и даже в гранитоподобный гнейс, песчаник – в крепчайший кварцит, известняк – в мрамор и т.д.

Геологические процессы отличаются большой продолжительностью, многофакторностью влияющих на них природных условий и масштабностью. В зависимости от источника энергии принято выделять внутренние (эндогенные) процессы в форме движений земной коры,

магматизма, метаморфизма и внешние (экзогенные), протекающие за счет энергии солнца и приводящие в конечном итоге к разрушению возвышенных участков суши, образованию из продуктов разрушения осадочных пород и почв, созданию соответствующего рельефа на Земле.

Таким образом, основная цель геологии – изучение минералов, горных пород, ископаемых органических остатков в них, разнообразных природных явлений для того, чтобы понять сущность геологических процессов, сформировавших земную кору и месторождения полезных ископаемых. Такое изучение коры проводится с применением разнообразных методов, носит всесторонний, комплексный характер и осуществляется по отдельным направлениям, которые в свою очередь включают различные научные дисциплины. Главные из таких направлений и дисциплин представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Некоторые из основных научных направлений и дисциплин, ориентированных на изучение земной коры

Предмет геологического исследования (научное направление)	Геологические науки (дисциплины)
Вещественный состав геологических объектов (геохимическое)	Минералогия Кристаллография Петрография Геохимия
Геологические процессы (геодинамическое) Процессы эндогенные Процессы экзогенные	Геотектоника Структурная геология Вулканология Геоморфология Гидрология Океанология
Последовательность геологических процессов и развитие органической жизни (геолого-историческое)	Историческая геология Стратиграфия Палеонтология
Использование геологической информации для решения вопросов жизнеобеспечения (прикладное)	Геология месторождений полезных ископаемых Гидрогеология Инженерная геология Горнопромышленная геология Почвоведение Экологическая геология

Минералогия (лат. *Минера – руда*) изучает минералы, их химический состав, строение, свойства, условия образования, применение в промышленности.

Кристаллография (греч. *кристаллес – лёд, горный хрусталь*) – наука о внутреннем строении кристаллического вещества, его физических свойствах и внешней форме. Результаты изучения используются в химии, металлургии, радиоэлектронике, минералогии.

Петрография (греч. *петра – скала, камень*) – наука о горных породах, их образовании и изменениях, минеральном составе и строении.

Геохимия изучает химический состав земной коры, законы распространения, распределения и миграции в ней химических элементов с целью использования результатов в науках других направлений, поиска и оценки месторождений полезных ископаемых.

Геотектоника (греч. *тектоника – строительство*) изучает строение (структуру) земной коры, движения в ней и возникающие при этом деформации.

Структурная геология – наука о формах нахождения (залегания) горных пород в земной коре и закономерностях их образования.

Вулканология изучает причины, характер и распространенность вулканических процессов с целью их прогнозирования и объяснения роли этих процессов в формировании земной коры.

Геоморфология изучает особенности рельефа Земли и условия его образования. Частью геоморфологии является география и геодезия.

Гидрология – наука о движении и формах нахождения поверхностных вод в пределах континентов.

Океанология – наука о составе, движении вод в морях и океанах, разнообразных процессах происходящих в них с целью использования результатов в других научных направлениях геологии и решения многих вопросов, имеющих практическое значение.

Историческая геология изучает историю и закономерности развития земной коры в течение всего периода ее формирования.

Стратиграфия (лат. *стратум – слой*) является разделом исторической геологии, в котором рассматривается возрастная последовательность образования осадочных, магматических и других горных пород.

Палеонтология (греч. *палеос – древний, онтос – существо*) также тесно связана с исторической геологией. Это биологическая наука, изучающая по ископаемым остаткам организмов историю растительного и животного мира прошедших геологических эпох.

Геология месторождений полезных ископаемых – это ведущая геологическая наука, аккумулирующая в себе все сведения об условиях об-

разования и закономерностях размещения в земной коре месторождений различных полезных ископаемых.

Гидрогеология (греч. *гидор* – вода) – древняя наука о подземных водах, их качестве, распространении, перемещении и местах возможной добычи.

Инженерная геология – отрасль геологии, изучающая физические и механические свойства горных пород с целью определения условий возведения и эксплуатации инженерных сооружений.

Горнопромышленная геология изучает различные вопросы геологического обеспечения горных предприятий на стадии их проектирования, эксплуатации и ликвидации.

Почвоведение изучает геолого-климатические условия формирования различных типов почв и их свойства с целью рационального использования.

Экологическая геология изучает влияние процессов жизнедеятельности человека на геологическую среду и разрабатывает меры, направленные на преодоление негативных последствий такого влияния.

1.2 МЕТОДЫ И ЗАДАЧИ ГЕОЛОГИИ

В методологии процесса познания геологических объектов можно выделить два аспекта – общий научный подход и специальные методы исследований.

Земля прошла длительный путь развития. Поэтому при ее изучении ведущее место занимает подход исторический. Он предполагает рассмотрение всех природных явлений – их возникновение, развитие и исчезновение – в закономерной связи с непрерывно изменяющимися условиями, в которых данные явления происходили. Такой подход нашел воплощение в главном, обобщающем методе реконструкции процессов прошлого на Земле – в методе актуализма. Согласно этому методу к пониманию геологических процессов и их результатов идут от изучения современных таких же явлений, но с осознанием того, что в прошлом и физико-географические условия, и процессы отличались от современных, а само отличие было тем большим, чем отдаленнее от нас изучаемая геологическая эпоха.

Следует иметь в виду, что реализация общего подхода к процессу познания геологических объектов, так же как и в других естественных науках, осуществляется по схеме – наблюдение – эксперимент - анализ и логические построения – выводы.

О специальных методах исследований, применяемых в геологии, необходимо знать, что большинство из них представляет сложный комплекс различных методик. Специальные методы обычно классифицируются по нескольким основным направлениям, как это показано в таблице 1.2. При этом основным способом изучения земной коры был и остается комплексный метод геологической съемки.

В процессе геологической съемки состав и строение земной коры в пределах конкретных территорий определяется путем изучения и опро-

бования горных пород в местах естественного выхода их на поверхность – в обнажениях на крутых склонах речных долин, оврагов, возвышенностей, в горных выработках (канавы, шурфах, карьерах, шахтах) и буровых скважинах. Конечный результат проведения съемки – составление различных по своему содержанию геологических карт, которые представляют собой графические модели строения и состава земной коры. Карты служат основой для поисков, разведки месторождений полезных ископаемых и их разработки, сельскохозяйственного и инженерно-строительного освоения территорий. Следует подчеркнуть, что съемка (картирование) сопровождается обязательным применением определенного комплекса геофизических и других специальных методов.

Таблица 1.2

**Некоторые из основных специальных методов,
применяемых при геологических исследованиях**

Направление в системе методов	Специальные методы
Наземное полевое	Геологическая съемка (картирование) местности
Геофизическое	Сейсмические, гравиметрические, магнитометрические, термометрические, электрические, радиометрические
Аэрокосмическое	Фотометрические, дистанционные геофизические
Лабораторно-экспериментальное	<p>Моделирование геологических процессов в лабораторных условиях</p> <p>Определение параметров физико-механических и других свойств горных пород и минералов с помощью специальных приборов и установок</p> <p>Определение состава пород и минералов путем проведения химических, термических, рентгеноструктурных анализов, а также с помощью оптической и электронной микроскопии</p> <p>Определение абсолютного возраста пород по результатам радиоизотопных анализов</p>
Математическое	Статистическая обработка данных, составление математических моделей геологических процессов с помощью программ для ЭВМ
Методическое	Методы прогнозирования, поисков, разведки, подсчета запасов различных видов полезных ископаемых

Геофизические методы основаны на изучении естественных и искусственных физических полей – сейсмических, гравитационных, магнитных и других, которые создаются Землей в целом и отдельными комплексами горных пород (геологическими телами). При этом используются геофизические приборы разной конструкции, что позволяет производить измерения в условиях дневной поверхности и космоса, в скважинах и горных выработках. Отличаются геофизические методы оперативностью и экономической целесообразностью их применения.

Аэрокосмические методы – это методы изучения Земли с помощью самолетов и других летательных аппаратов, спутников и орбитальных станций. Цветное фотографирование Земли, исследование ее излучений позволяет выявлять геологические структуры, изучать глубокие части морского дна и получать другую геологическую информацию.

Лабораторно-экспериментальные методы очень разнообразны. Их краткий перечень, представленный в таблице, позволяет убедиться в том, что они применяются при проведении практически всех видов геологических исследований. Кроме того, моделирование процессов магматизма и метаморфизма привело к разработке способов получения в промышленных масштабах искусственных минералов и горных пород.

Математические методы в геологии – относительно молодое и перспективное направление. Однако применение их, в особенности ЭВМ, сталкивается с серьезными трудностями. Эти трудности вызваны сложностью формализации и неоднозначностью геологических понятий, что в свою очередь объясняется многофакторностью условий, в которых осуществляются геологические процессы и явления.

Методическое направление включает многочисленные сложные методы, основанные на использовании всей суммы знаний об условиях образования и размещения различных полезных ископаемых. Поэтому эти методы представляют собой соответствующий комплекс рекомендаций, правил и требований, которыми следует руководствоваться при проведении поисковых, разведочных и оценочных работ на тот или иной вид минерального сырья. Практическое и общенаучное значение геологических знаний переоценить просто невозможно. Такой вывод следует из краткого перечня задач, которые решает геология. Прежде всего следует учесть, что все отрасли промышленности – металлургия, энергетика, сельское хозяйство, строительная индустрия – основаны на использовании продуктов земных недр: металлов, нефти, газа, радиоактивных веществ, минеральных удобрений, строительных материалов, которые геологам необходимо найти и всесторонне изучить. Геологические знания необходимы также для организации водоснабжения населения и предприятий, инженерно-геологического обоснования строительства гидротехнических сооружений, коммуникаций, дорог, городов, выбора мест захоронения вредных промышленных и радиоактивных отходов, своевременного решения экологических и многих других вопросов.

Велико значение геологии для горной науки. В современных условиях, в связи с интенсификацией производства и неуклонным увеличением глубин отработки, особую актуальность приобретают задачи по прогнозированию горно-геологических условий и созданию новых технологий. Многие из таких задач находят свое решение в результате объединения усилий специалистов горного и геологического направлений.

Особое значение геологические исследования приобретают в связи с решением проблемы комплексного использования минерального сырья, а также в деле разработки прогрессивных и нетрадиционных технологий его добычи (подземные способы выщелачивания руд и солей, выплавки серы, газификации углей и др.)

Добыча полезных ископаемых сопровождается перемещением огромных масс горных пород, что вызывает различного рода нарушения природных равновесий в земной коре. В этой связи перед горногеологической наукой возникла еще одна проблема – проблема охраны и рационального использования недр и природы в целом.

В Украине разведаны и находятся в эксплуатации сотни месторождений различных полезных ископаемых – железа, марганца, титана, редких металлов, циркония, ртути, каменных углей и солей, графита, каолинов, огнеупорных глин, строительного и поделочного камня, минеральных вод и других. Но наряду с этим ощущается острый недостаток нефти, газа, бокситов для выплавки алюминия, благородных и цветных металлов, агрорудного сырья. К настоящему времени геологами обнаружены новые нефтегазоносные и золоторудные провинции. Их детальная разведка, промышленная оценка и добыча – первоочередные задачи геологической службы.

1.3 ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИИ

История геологии началась вместе с появлением человека, который всегда искал и добывал необходимое ему природное минеральное сырье. Вначале это были просто камни для изготовления различных орудий производства, затем руды для выплавки металлов, камни-самоцветы, минеральные краски, соли и т.д. Соответствующие знания, связанные с их поиском и добычей, расширялись, углублялись, обобщались, обретая форму определенных закономерностей. Постепенно круг вопросов связанных с устройством окружающего мира становился все шире. Людям стало интересоваться строение, состав отдельных частей Земли и всей планеты в целом, ее положение в мировом пространстве, развитие органической жизни и многие другие вопросы. Такова общая картина развития геологии в начальный и последующие этапы. Однако временем становления ее как науки принято считать вторую половину XVIII столетия – период зарождения и развития горнодобывающей промышленности.

В это время делаются первые попытки объяснить с научных позиций происхождение Вселенной и Земли (гипотезы образования Солнечной системы немецкого философа И. Канта – 1755 г. и французского математика П.С. Лапласа – 1796 г.). Значительным событием в этот период был выход в свет работ выдающегося русского ученого М.В. Ломоносова «Слово о рождении металлов от трясения Земли» (1757 г.) и «О слоях земных» (1763 г.). Ломоносов рассматривал Землю как нечто непрерывно изменяющееся и развивающееся во времени и пространстве. Он отмечал, что земная кора подвижна и может опускаться и подниматься, а горы поднимаются и разрушаются.

Развитие промышленности и расширение в связи с этим сырьевой базы привело к детальному изучению геологического строения огромных территорий и установлению многих закономерностей в развитии планеты. Английский геолог Ч. Лайель в трехтомном труде «Основы геологии» (1830-1833 гг.) обосновал эволюционное развитие Земли. Французский исследователь Эли де Бомон выдвинул гипотезу контракции, которая объясняла движения земной коры уменьшением ее объема при остывании. Англичане Д. Эйри и Д. Пратт предложили гипотезу изостазии, по которой верхняя твердая оболочка Земли, плавающая на вязком мантийном субстрате, находится в устойчивом равновесии.

Важнейшим событием XIX столетия было появление гениального труда Ч. Дарвина «Происхождение видов» (1859 г.), в котором утверждалась теория эволюционного изменения органического мира. Это явилось фундаментом для развития палеонтологии.

В 1875 г. была создана международная организация геологов – Международный геологический конгресс, который продолжает свою работу и в настоящее время. На его периодических сессиях обсуждаются итоги геологических исследований, проводятся широкие дискуссии, принимаются новые стандарты и решения общего значения.

В конце XIX – начале XX столетий в развитии геологии наступил этап, когда стали выделяться отдельные науки: минералогия (Е.С. Федоров), петрография (Ю.Ф. Левинсон-Лессинг), геохимия (В.И. Вернадский), геоморфология (В. Пенк, У. Девис) и ряд других. Динамическая, историческая геология, геотектоника продолжали развиваться вместе, образуя основу геологических наук, но к середине XX столетия каждая из них обрела полную самостоятельность.

Особая роль в развитии геологии на всех ее этапах принадлежит геотектоническим гипотезам. Различные гипотезы фактически одни и те же данные по составу и строению земной коры объясняли с разных позиций, что явилось стимулом для их проверки в новых регионах и выбора наиболее достоверных научных предположений. Одной из первых в конце XIX столетия получила права гражданства гипотеза геосинклинального развития земной коры, основанная на работах Дж. Дэна о геосинклиналях и Г.Э. Ога о платформах. Согласно этой гипотезе увеличение мощности земной коры и формирование особенностей ее структуры

произошло и происходит в результате проявления преимущественно вертикальных ее перемещений без существенного смещения в горизонтальных направлениях. Гипотеза оказалась очень продуктивной, так как с ее позиций многочисленные проблемные вопросы нашли удовлетворительное объяснение. Сторонников этой гипотезы стали называть фиксистами, а само учение – фиксизмом.

В начале XX столетия А. Вегенер, опираясь на гипотезы Эли де Бомона и Д. Эйри, а также принимая во внимание имеющиеся данные о грандиозных горизонтальных перемещениях пластин земного вещества в Альпах и сходство внешних контуров соседних материков, пришел к выводу, что главными в развитии земной коры были горизонтальные силы, которые разобщили когда-то единую сушу на отдельные части – современные континенты. Такие представления стали называться гипотезой дрейфа материков. В настоящий период она, видоизменившись и получив новые подтверждения, стала основной рабочей гипотезой под названием «гипотеза тектоники плит». Ее последователей именуют мобилистами, а само учение о горизонтальном перемещении плит земной коры, включающих материки и прилегающие части океанов – мобилизмом.

Большой вклад в общий прогресс и развитие геологических знаний внесен трудами ученых России и бывшего Советского Союза – А.Д. Архангельского, Ю.А. Билибина, В.И. Вернадского, А.П. Виноградова, И.М. Губкина, А.П. Карпинского, Ф.Ю. Левинсон-Лессинга, В.А. Обручева, С.С. Смирнова, Н.М. Страхова, М.М. Тетяева, Е.С. Федорова, А.Е. Ферсмана, Н.С. Шатского, О.Ю. Шмидта и многих других.

Изучение отдельных регионов Украины также имеет свою историю. Донецкий угольный бассейн начал изучаться с конца восемнадцатого столетия и этот процесс продолжается до настоящего времени. Наиболее известными исследователями его были Л.И. Лутугин, П.И. Степанов, Н.И. Лебедев, А.З. Широков, М.Л. Левенштейн. Днепровско-Донецкую впадину с ее газонефтяными и угольными месторождениями исследовали Г.М. Доленко, С.И. Субботин, А.В. Чекунов. Украинский щит, его металлогенические провинции и Криворожский железорудный бассейн изучали И.И. Танатар, Н.П. Семененко, Я.Н. Белевцев и многие другие.

1.4. ДИСЦИПЛИНА «ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ»

«Общая геология» – базовая дисциплина для усвоения всего геологического комплекса дисциплин и для изучения специальных дисциплин горного направления, таких как «Механика горных пород», «Основы горного производства», «Основы экологии», «Технология разработки месторождений полезных ископаемых (МПИ)», «Разрушение горных пород», «Основы проектирования горных работ», «Сооружение горных выработок».

Учебной программой по общей геологии предусмотрено изучение пяти основных разделов.

В первом разделе рассматриваются общие вопросы геологии – ее значение, основные научные направления, методы и задачи, которые она призвана решать, а также история геологии.

Во втором разделе представлены сведения о Земле – ее форме, размерах, рельефе, оболочках, из которых состоит планета – внешних (атмосфере, гидросфере, биосфере) и внутренних (ядре, мантии, земной коре), физических полях Земли – гравитационном, тепловом, магнитном.

В третьем разделе – более полные сведения о составе земной коры и методах геологического летоисчисления. Охарактеризован химический, минеральный и петрографический состав коры – магматические, осадочные, метаморфические горные породы.

Четвертый раздел посвящен рассмотрению внутренних (эндогенных) геологических процессов – тектонических движений, магматизма, метаморфизма горных пород. Анализируются причины возникновения этих процессов, их роль в образовании земной коры и полезных ископаемых.

Пятый раздел – об экзогенных процессах и условиях, в которых они осуществляются. Охарактеризованы основные этапы (стадии) экзогенных процессов:

- выветривание, т.е. разрушение и химическое разложение горных пород в условиях поверхности Земли с образованием механических и химических продуктов выветривания;
- денудация и аккумуляция – процессы удаления, переноса (транспортировки) продуктов выветривания и отложения их в виде разнообразных осадков на дне водоемов благодаря деятельности ветра, льда, вод текучих поверхностных, подземных, морских, озерных, болотных а также сил гравитации;
- диагенез или преобразование рыхлых осадков в осадочные горные породы.
- техногенез – результаты изменений геологической среды и экзогенных процессов под влиянием производственной деятельности.

Неотъемлемой частью программы является изучение наиболее распространенных минералов и горных пород, которое проводится в лабораторных условиях.

Программой дисциплины не предусмотрено изучение наиболее сложного раздела общей геологии – закономерностей развития земной коры в форме различных геотектонических гипотез. Следует также принять к сведению, что для разных разделов и тем требуется разный уровень усвоения. Например, изучение первого и второго разделов должно осуществляться преимущественно на ознакомительном уровне.

Методические замечания и рекомендации

Следует принять во внимание, что материал, относящийся к первой части пособия, имеет весьма ограниченный объем и не может в достаточной мере осветить все стороны обозначенных тем. Поэтому для расширения кругозора в общих вопросах геологии рекомендуется ознакомиться с ними по учебникам и специальным изданиям. Особенно это касается истории геологии, насыщенной интересными событиями.

Задания для самоконтроля

- 1. Что является главным предметом изучения геологии?*
- 2. Укажите основные научные направления в геологии.*
- 3. Назовите дисциплины, которые составляют геолого-историческое направление в геологии.*
- 4. Какие дисциплины составляют геохимическое направление в геологии?*
- 5. Назовите основные направления в классификации методов исследования, применяемых в геологии.*
- 6. Какие методы исследований образуют лабораторно-экспериментальное направление?*
- 7. Какие основные задачи решает практическая геология?*
- 8. Кратко охарактеризуйте основные разделы курса общей геологии.*
- 9. Охарактеризуйте значение курса общей геологии для направления «Горное дело».*

2. ЗЕМЛЯ И ЕЕ СТРОЕНИЕ

В разделе приводятся общие сведения о Земле как планете – ее происхождении, строении и составе. Рассматриваются основные физические параметры Земли – условия ее вращения, форма, размеры, рельеф; оболочки (геосферы), из которых она состоит – внешние (атмосфера, гидросфера, биосфера) и внутренние (земная кора, мантия, ядро); некоторые из физических полей планеты – гравитационное, тепловое, магнитное.

Следует принять во внимание, что общие сведения о Земле представляют основу, на которой строится изложение всего последующего материала. Достоверность этих сведений находится в зависимости от степени сложности рассматриваемых вопросов и доступности геологических объектов для их изучения. Информация о происхождении Земли, ее мантии и ядре носит преимущественно гипотетический характер и отражает лишь современное состояние этих проблем.

2.1. ЗЕМЛЯ КАК ПЛАНЕТА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Изучение состава, строения и развития Земли не может быть продуктивным без представления о ней как планете, находящейся во взаимодействии с окружающими космическими телами и явлениями.

Содержание и назначение раздела

Место Земли во вселенной и в Солнечной системе; характеристика элементов Солнечной системы – Солнца, планет, Земли, астероидов, метеоритов, комет; происхождение Солнечной системы.

Цель настоящей главы – напомнить читателю общеизвестные сведения об окружающем нас космосе, строении Солнечной системы и месте в ней Земли, приблизив этим его к лучшему пониманию единства всего мироздания и неизбежности эволюционных изменений в нем, которые, применительно к нашей планете, именуются геологическими процессами. Информация носит ознакомительный характер и требует лишь полного ее понимания.

Весь окружающий нас материальный мир называется Вселенной, или космосом (греч. *космос* – мир, *Вселенная*). Вселенная бесконечна в пространстве. Материя в ней распределена неравномерно и представлена звездами, планетами, космической пылью, метеоритами, кометами, газами, элементарными частицами. Доступная для изучения часть Вселенной назы-

вается Мегалактикой. Она включает миллиарды звездных скоплений различных конфигураций – галактик (греч. *галактика* – *молочный, млечный*).

Наша Галактика Млечного пути, к которой принадлежит Солнечная система, относится к типу спиральных и включает свыше 150 млрд. звезд. С Земли Млечный путь наблюдается в темное время суток в виде широкой светлой полосы пересекающей весь небосвод. Период полного обращения системы звезд Млечного пути вокруг его центра 200-250 млн. лет, а возраст ее около 12 млрд. лет.

Солнечная система содержит 9 планет, 42 их спутника, не менее 50 тыс. астероидов, множество метеоритов и сотни комет. Система компланарна, т.е. орбиты планет в ней располагаются в одной плоскости, совпадающей с экваториальной плоскостью Солнца и имеют близкую к круговой траекторию. Направление обращения большинства планет вокруг Солнца совпадает с направлением вращения Солнца вокруг его оси. Исключения составляют Венера и Уран, у которых вращение обратное.

Солнце составляет 99,87% всей массы системы, а масса крупнейшей из планет – Юпитера – 0,1% (рис. 2.1). Поэтому Солнце является центром притяжения всех космических тел, образующих Солнечную систему. Все тела системы также связаны силами гравитации и оказывают влияние друг на друга.

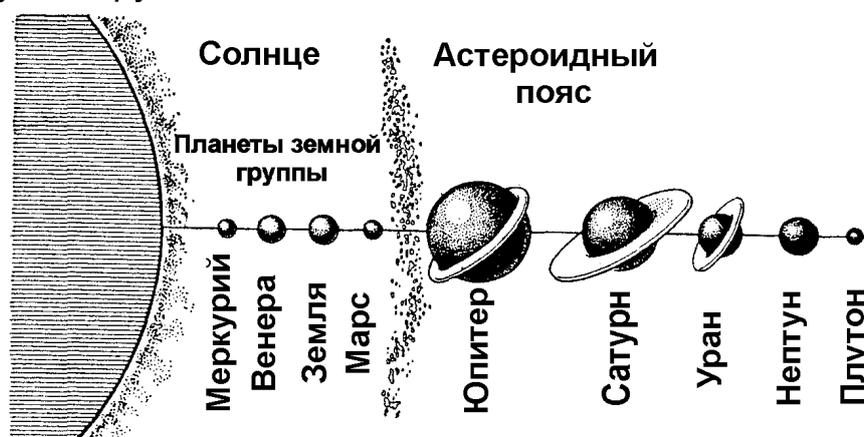


Рис. 2.1. Сравнительные размеры планет Солнечной системы

По физическому состоянию Солнце представляет собой плазменный шар, в составе которого установлено около 70 химических элементов. Преобладают водород (70%) и гелий (29%), а на долю остальных приходится около 1% массы Солнца. Диаметр Солнца в 109 раз больше земного, средняя плотность $1,41 \text{ г/см}^3$, средняя температура на поверхности около 5600°C . Возраст Солнца 6-6,5 млрд. лет.

Тепловая энергия Солнца обусловлена термоядерными реакциями превращения водорода в гелий. За одну секунду Солнце отдает $4,2 \cdot 10^{26}$ Дж лучистой энергии, из которой на Землю падает лишь половина ее миллиардной доли ($0,5 \cdot 10^{-9}$). Солнечное тепло и свет оказывают большое влияние на многие геологические процессы, прежде всего экзогенные. Непрерывные термоядерные взрывы на Солнце вызывают разлет в

космическом пространстве заряженных частиц (ионов и протонов), образующих так называемый «солнечный ветер». С ним связано возникновение полярных сияний в атмосфере Земли и геомагнитных явлений.

Планеты Солнечной системы по взаимному расположению, массе, плотности и другим признакам делят на внутренние (земная группа) и внешние.

Планеты земной группы – Меркурий, Венера, Земля, Марс – сравнительно малы по размерам, сложены каменным веществом с высокой плотностью, обладают незначительной массой атмосферы и относительно небольшой скоростью осевого вращения (табл. 2.1).

Внешние планеты – Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон – характеризуются большими размерами, низкой плотностью вещества, мощной атмосферой, преобладанием в ней водорода, гелия и метана а также относительно высокой скоростью вращения. Для планет-гигантов – Юпитера, Сатурна, Урана – характерны внешние кольца, сложенные метеоритным веществом.

Земля характеризуется наличием хорошо развитых атмосферы, гидросферы и внутренних оболочек. При наблюдении из космоса Земля отличается голубизной океанов и зеленовато-желтыми включениями материков. Спутник планеты – Луна своим гравитационным воздействием вызывает образование приливов и отливов в водной и каменной оболочках Земли.

Значительные силы притяжения между Землей и Луной обусловлены небольшим расстоянием между ними (в среднем 384395 км) и их размерностью (диаметр Луны в 4 раза меньше). Средняя плотность вещества Луны – $3,3 \text{ г/см}^3$, а масса ее в 81 раз меньше земной. Периоды обращения Луны вокруг своей оси и вокруг Земли одинаковы (27 суток), поэтому она всегда обращена к нам одной стороной. Сила притяжения на Луне в 6 раз меньше, что и объясняет отсутствие у нее атмосферы.

В рельефе Луны выделяют обширные равнины (лунные моря) и высокогорные области (материки). Характерны для Луны процессы разрушения горных пород, вызванные действием солнечного излучения и перепадами температур в пределах освещенной и теневой сторон. Эта разница составляет около 300°C .

Мощность лунной коры от 30 до 65 км. Верхняя часть ее сложена реголитом – продуктами разрушения коренных базальтов. Ниже, как предполагают, находится мантия (до глубины 960 км) и ядро.

Астероиды образуют так называемый пояс астероидов или малых планет, который располагается между орбитами Марса и Юпитера. Установлено около 2000 астероидов, но полагают, что общее их число составляет более 100 тыс. при общей массе около 0,01 массы Земли. Наиболее крупные из них Церера (767 км), Паллада (489 км), Веста (386 км). Астероиды имеют железо-каменный состав и форму угловатых глыб.

Таблица 2.1

Характеристика планет Солнечной системы

Планеты	Радиус (по отношению к земному)	Плотность г/см ³	Масса (по отношению к мас- се Земли)	Химиче- ский со- став ат- мосферы	Период оборота вокруг оси	Период об- ращения по орбите	Число спут- ников	Расстояние от Солнца, а.е. ¹
Меркурий	0,39	5,42	0,04	He	59 суток	88 суток	Нет	0,39
Венера	0,97	5,11	0,81	CO ₂	243 суток	224,7 суток	Нет	0,72
Земля	1	5,52	1,0	N, O, CO ₂ Ar	23 ч 56 мин	365,3 суток	1	1,00
Марс	0,53	3,95	0,11	CO ₂ , N, Ar	24 ч 37 мин	1,9 лет	2	1,52
Юпитер	10,95	1,33	316,94	NH ₃ , CH ₄ , H	9 ч 50 мин	11,86 лет	15	5,20
Сатурн	9,02	0,69	94,9	NH ₃ , CH ₄	10 ч 14 мин	29,45 лет	16	9,54
Уран	4,00	1,56	14,66	CH ₄	10 ч 49 мин	84 лет	5	19,19
Нептун	3,92	2,27	17,16	CH ₄	15 ч 40 мин	164,8 лет	2	30,07
Плутон	0,46	4,00	0,7	Ne	6,4 суток	250,6 лет	1	39,52

¹ А.е. – астрономическая единица, равная 14 950 000 км

Метеориты – минеральные агрегаты космического происхождения, летающие в атмосферу Земли. Наиболее мелкие из них (метеоры) сгорают в атмосфере, более крупные достигают поверхности Земли и образуют при ударе взрывные воронки в форме кратера. Самым крупным считается кратер Метеор (шт. Аризона, США) диаметром 1,6 км и глубиной 150 м. Общее число наблюдений за падающими метеоритами приближается к тысяче. В двух из них процесс падения был сфотографирован, что позволило рассчитать орбиты этих метеоритов.

По составу метеориты делят на железные (сидериты), каменные (эвкриты) и железно-каменные (хондриты). Первые на 95% состоят из железа, содержат примеси никеля, кобальта и по составу, видимо, соответствуют ядру Земли. Эвкриты состоят из силикатов с примесью никелистого железа и близки по составу к некоторым горным породам земной коры. Наиболее распространенные хондриты приближаются к составу Земли в целом.

Земля получает в год около 16 тыс. тонн метеорного вещества. Масса метеоритов колеблется от нескольких граммов до сотен тонн. Самые крупные из найденных метеоритов – Гоба (Африка) – 59 т, Кейл-Йорк (Гренландия) – 33 т.

Кометы – космические тела вытянутой формы, имеющие состав близкий к составу атмосфер планет-гигантов. Они движутся по сильно вытянутым эллиптическим орбитам, подходя близко к Солнцу и удаляясь от него за пределы орбиты Плутона. Кометы – не горячие тела, их свечение обусловлено солнечным облучением. Обнаружено около 100 комет. При отклонении комет от своих орбит возможны столкновения их с планетами. Полагают, что так называемый Тунгусский метеорит, упавший в июне 1908 г. в Сибири, был небольшой кометой, массой около 5 млн. т. Наиболее известная комета Галлея имеет период обращения около 76 лет. В период с 446 г. до н. э. по 1986 г. она появлялась на небе 30 раз.

Происхождение Солнечной системы на протяжении всей истории развития геологической мысли оставалось в центре внимания. Было высказано много гипотез.

Немецкий философ Иммануил Кант в 1755 г. высказал идею происхождения Вселенной из первичной материи, состоящей из мельчайших частиц. Образование звезд, Солнца и других космических тел, по его мнению, произошло под воздействием сил притяжения и отталкивания в условиях хаотического движения частиц. Французский математик Пауль Лаплас (1796 г.) связывал образование Солнечной системы с вращательным движением разреженной и раскаленной газообразной туманности, приведшим к возникновению сгустков материи – зародышей планет. Согласно объединенной гипотезе Канта-Лапласа первоначально раскаленная Земля постепенно охлаждалась, сжималась, что привело к формированию и деформации земной коры. Гипотеза для своего времени была достаточно прогрессивной, однако по мере накопления астрономических знаний оказалась неудовлетворительной.

Гипотеза О.Ю. Шмидта (1943 г.) предполагает, что планетная система образовалась из роя холодной пылевой и метеорной материи при прохождении через него Солнца. Первоначально холодная Земля и другие планеты постепенно разогревались под воздействием энергии радиоактивного распада, гравитационных и других процессов, а затем остывали. Эта гипотеза объяснила многие особенности строения Солнечной системы, но в ней недостаточно убедительно были рассмотрены спорные вопросы образования и эволюции Солнца и звезд.

Астроном В.Г. Фесенков в пятидесятые годы предложил решение проблемы с точки зрения образования Солнца и планет из общей, возникшей в результате уплотнения газовой-пылевой материи. При этом предполагалось, что Солнце образовалось из центральной части сгущения, а планеты – из внешних частей.

По современным представлениям тела Солнечной системы формировались из первично холодной космической твердой и газообразной материи путем уплотнения и сгущения до образования Солнца и протопланет. Астероиды и метеориты считаются исходным материалом планет земной группы, а кометы и метеоры – планет-гигантов. Формирование современного оболочечного строения Земли связывается с процессами гравитационной дифференциации (разделения) первоначально гомогенного (однородного) вещества.

Методические замечания и рекомендации

Данные, характеризующие Землю как планету, необходимы для последующего изучения ее физики и процессов, которые на ней происходят. В связи с этим рекомендуется понять следующее:

- существуют общие принципы, лежащие в основе представлений об устройстве окружающего нас материального мира – вселенной и элементов, из которых она состоит;
- все космические тела, в том числе и Земля, находятся в непрерывном развитии, изменении, протекающем в непривычном для нас режиме, когда время измеряется в миллионах и миллиардах лет;
- развитие космических объектов осуществляется в условиях гравитационного и других видов взаимодействия между ними, что на геологические процессы огромное влияние оказывает Солнце и Луна.

Задания для самоконтроля

1. Назовите все космические тела, образующие Солнечную систему.
2. По каким признакам планеты-гиганты отличаются от планет земной группы?

3. Приведите классификацию метеоритов по их вещественному составу.
4. Найдите объяснение тому, что Луна не обладает собственным осевым вращением.
5. Энергия и материальные частицы, излучаемые Солнцем, рассеиваются в космическом пространстве. Попробуйте объяснить возможные пути преобразования этой энергии и материи с позиций закона об их сохранении.

2.2. ФОРМА, РАЗМЕРЫ И РЕЛЬЕФ ЗЕМЛИ

К основным физическим параметрам Земли, имеющих непосредственное отношение ко многим особенностям протекающих на ней процессов, следует отнести условия вращения планеты, ее форму, размеры и рельеф поверхности.

Содержание и назначение раздела

Особенности и некоторые параметры осевого вращения Земли; форма Земли – понятие о сфероиде и геоиде; размеры полярного и экваториального радиусов Земли; общая характеристика физической поверхности материков и океанов – рельефа Земли.

Сведения о физических параметрах Земли необходимы для объяснения непосредственного их влияния на все геологические процессы и физические поля планеты, в первую очередь на гравитационное, тепловое, магнитное. Студент должен хорошо усвоить эту информацию и знать каким образом она используется при дальнейшем изложении курса общей геологии.

Особенности вращения Земли. Полный оборот вокруг Солнца Земля совершает за 365,3 суток, а вокруг своей оси за 23 часа 56 мин. Скорость осевого вращения с течением времени замедляется. В начальный период существования планеты она была в несколько раз большей.

Точки, расположенные на экваторе, совершая за сутки полный оборот, проходят расстояние 40075 км, то есть движутся с линейной скоростью 460 м/с. На широте Украины такая скорость составляет соответственно около 300 м/с, а к полюсам она постепенно уменьшается до нулевых значений.

Ось вращения Земли наклонена к плоскости орбиты под углом около 66°, что определяет смену времен года в северном и южном полушариях. Угол наклона изменчив. Каждые 19 лет, постепенно отклоняясь от первоначального положения, ось описывает в пространстве конус. Такое раскачи-

вание оси называется нута́цией. Меняется относительно оси вращения и положение Земли. Об этом свидетельствуют перемещения географических полюсов.

На движение нашей планеты, в том числе и на скорость вращения, оказывают влияние силы притяжения Луны и Солнца. Они вызывают образование приливов в океанах и в твёрдой оболочке – земной коре, где амплитуда ее подъема достигает 0,3 м.

Характер движения Земли по солнечной орбите и вокруг своей оси оказывает влияние на количество солнечного тепла, получаемого различными участками планеты и следовательно отражается на ходе геологических процессов. Наличие и характер осевого вращения планеты определяют главные особенности ее формы.

Форма и размеры Земли. Это взаимосвязанные параметры. Под формой (фигурой) Земли понимают конфигурацию ее твердого тела, образованного поверхностью материков и дном океанов. Свою форму планета приобрела в результате приспособления всей ее огромной массы ($5,976 \cdot 10^{21}$ т) к центру силы тяжести, расположенному внутри ее. Поэтому эта форма, как и у других небесных тел обладающих достаточной массой, в целом шарообразная.

Вращение планеты обусловило возникновение в различных широтах соответствующего соотношения сил притяжения и центробежных, что привело к формированию уплощенной ее формы. Геодезические измерения показали, что упрощенная форма Земли приближается к эллипсоиду вращения (сфероиду). Полярный радиус (R_p) равен 6356,8 км, экваториальный ($R_э$) – 6378,2 км, разница между радиусами составляет 21,4 км, а величина сжатия $a = (R_э - R_p) / R_э = 1/298$.

Современные исследования показали, что Земля имеет более сложную фигуру. Изучение поля силы тяжести на поверхности Земли дало возможность с максимальной точностью определить ее форму. Эта форма присуща только Земле и поэтому получила название «геоид». Форма геоида определяется поверхностью океанов, мысленно продолженную под континенты. В любой точке геоида вектор силы тяжести (отвес) перпендикулярен к его поверхности. На суше поверхность геоида на несколько десятков метров выше поверхности эллипсоида вращения, а в океанах на столько же ниже. Вдоль экватора для геоида характерны несколько «впадин» и «поднятий» с амплитудой не более 200 м (рис. 2.2). В целом – геоид – это гидростатически равновесная фигура вращающейся Земли в условиях неравномерного распределения масс в пределах ее мантии и коры.

Именно поверхность геоида принимается за базовую при проведении различных измерений в пространстве. Это и есть так называемый «уровень океана» или нулевая поверхность, от которой проводится измерение высот любых точек на планете со знаком «+» или «-». Полученные значения, называемые «абсолютными отметками» (Z , м). Они применяются в геологии, горном и военном деле, геодезии, маркшейдерии.



Рис. 2.2. Соотношение поверхностей геоида, эллипсоида вращения и топографической поверхности (рельефа) в вертикальном разрезе

Физическая поверхность Земли. Под этим понимается поверхность ее твердого тела площадью в 510 млн. км². Эта поверхность имеет наиболее сложные очертания. Она образована всеми неровностями **рельефа**, который в свою очередь формируется различными геологическими процессами – как эндогенными, так и экзогенными. Особенности и закономерности этих процессов изучает геоморфология, а непосредственно рельеф – объект географии.

По размерам форм в рельефе выделяется несколько групп. Наиболее крупные формы рельефа – материки и океаны. Они являются элементами мегарельефа. Далее выделяют макрорельеф – отдельные горы, долины рек, впадины озер и микрорельеф – овраги, берега рек, озер, морей и т.п. Рельеф континентов, особенно по микрорельефу, существенно отличается от рельефа дна океанов. Для характеристики рельефа Земли служит гипсографическая кривая, где по вертикальной оси показаны высоты неровностей, а по горизонтальной – площади, которые занимают эти неровности (рис. 2.3).

Суша занимает лишь 29,2 % поверхности Земли и состоит из шести материков (континентов) – Евразийского, Африканского, Североамериканского, Южноамериканского, Австралийского и Антарктического. Остальная часть планеты покрыта водами Мирового океана, который разделен материками на четыре океана – Тихий, Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый, или Арктический.

Материки неравномерно распределены на поверхности Земли. Если разделить земной шар по Тихоокеанскому побережью, он окажется состоящим из двух полушарий – океанического, занятого только Тихим океаном, и материкового, в котором сосредоточены все континенты и разграничивающие их остальные океаны.

Средняя высота материков составляет 875 м. Их части, в зависимости от абсолютных высот рельефа, причисляют к равнинам (низменностям), плоскогорьям или высокогорью (табл. 2.2).

Высокогорные участки, образующие вытянутые горные хребты и пояса, приурочены обычно к краевым частям континентов. Выделяют 2 меридиональных (Восточно- и Западно-Тихоокеанский) горных пояса и 1 широтный (Средиземноморский).

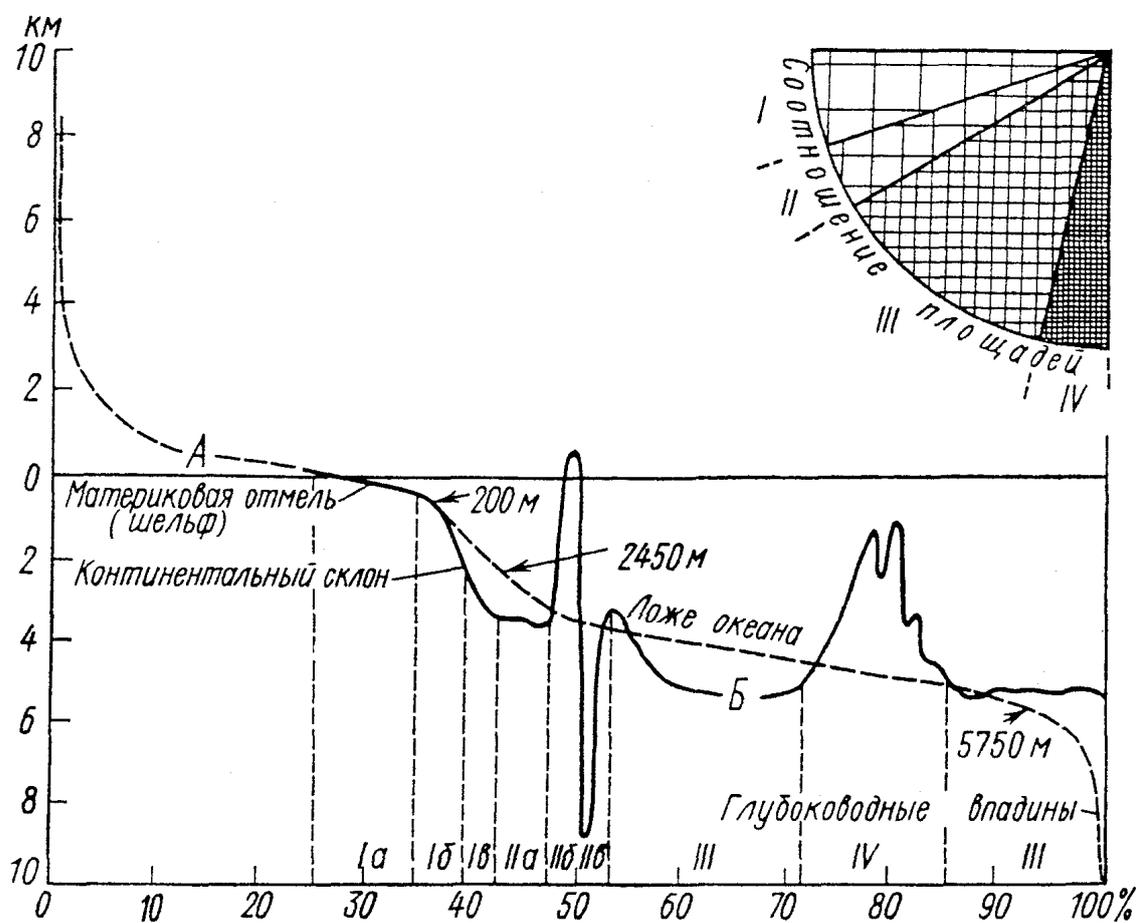


Рис. 2.3. Гипсографическая кривая (А) и обобщенный профиль дна океана (Б) (по О.К.Леонтьеву).

В верхнем правом углу рисунка дана диаграмма, показывающая соотношение площадей подводной окраины материков (I), переходной зоны (II), ложа океана (III), срединноокеанических хребтов (IV)

Таблица 2.2

Основные типы поверхности суши

Типы поверхности суши	Интервалы изменения абсолютных высот рельефа, м	Занимаемая часть площади суши, %
Равнины (низменности)	От 0 до +200	20
Плоскогорье	От +200 до +1000	53
Высокогорье	>1000	27

Средняя глубина океана 3800 м. Поверхность его дна также разнообразна. К материкам примыкает шельф (англ. «шельф» - отмель) с глубинами от 0 до 200 м. Ширина его различна, вплоть до 2000 км у североазиатского побе-

режья Ледовитого океана. Шельф занимает около 20 % площади Мирового океана. До глубины 3000 м дно океана плавно понижается, образуя область материкового склона (11%). Глубже, до абсолютных отметок – 6000 м, располагаются обширнейшие пространства занятые ложем Мирового океана (50%), включающие глубоководные впадины (желоба) – узкие вытянутые зоны глубиной до 11000 м. Особыми структурными формами океанического дна, занимающими около 18% его площади, являются так называемые срединные океанические хребты. Это вытянутые преимущественно вдоль центральных частей океанов поднятия высотой до 2-4 км и шириной от 80 до 2500-3000 км.

Зоны перехода от континентов к океанам не везде одинаковы. По окраинам Тихого океана они более сложны и характеризуются узким шельфом, окраинными морями (Охотским, Японским, Южно-Китайским и др.), так называемыми островными дугами (Японскими, Филиппинскими и другими островами) и глубоководными впадинами, отделяющими островные дуги от ложа Мирового океана.

Методические замечания и рекомендации

Приведенные в разделе сведения необходимы для понимания: условий формирования концентрического, оболочечного строения Земли и ее физических полей – гравитационного, теплового и магнитного.

Необходимо также усвоить, что:

- главные особенности формы Земли (геоида) обусловлены режимом ее осевого вращения и неравномерным распределением масс внутри нее;
- все группы и формы рельефа созданы и образуются в настоящее время соответствующими эндогенными и экзогенными геологическими процессами.

Задания для самоконтроля

1. Почему полярный и экваториальный радиусы Земли отличаются на 21,4 км?
2. Почему со временем скорость осевого вращения Земли замедляется?
3. Объясните механизм возникновения приливов на Земле.
4. Почему происходит смена времен года на Земле? Объясните это с помощью соответствующей схемы.
5. Форма Земли отличается от формы Луны – чем именно?
6. В чем отличие фигуры эллипсоида вращения от геоида и чем оно обусловлено?
7. Какие типы рельефа по Вашему мнению можно выделить в пределах Украины на суше и прилегающих морских акваториях?

2.3. ВНЕШНИЕ ГЕОСФЕРЫ

Земля за длительное время своего существования претерпела грандиозные преобразования. Ее первичное однородное по составу вещество постепенно разделилось (дифференцировалось) на оболочки с различной плотностью. Это произошло и продолжает осуществляться в результате непрерывных физико-химических превращений в условиях высоких температур и давления внутри Земли, обусловленного силами гравитации. В результате в настоящее время Земля характеризуется оболочечным строением с центральной симметрией. Оболочки, или геосферы, отличаются по составу, физическим свойствам, агрегатному состоянию вещества. Они подразделяются на внешние – доступные для непосредственного изучения, и внутренние, исследуемые главным образом косвенными методами – геофизическими. К внешним геосферам относятся воздушная, водная и органическая оболочки Земли, соответственно – атмосфера, гидросфера и биосфера. Внешние геосферы играют важную роль в формировании земной коры. Они подвижны и поэтому находятся в постоянном взаимодействии как между собой, так и с земной корой. В результате такого взаимодействия осуществляется обмен материей и энергией между оболочками в форме различных экзогенных геологических процессов.

Содержание и назначение раздела

Характеристика внешних геосфер Земли – атмосферы, гидросферы и биосферы.

Изучив материалы этой главы, студент должен иметь представления о строении, составе и характере движения атмосферы, гидросферы и биосферы Земли и их исключительной роли в осуществлении экзогенных процессов.

Атмосфера

Атмосфера имеет массу $5,15 \cdot 10^{15}$ т, что составляет 0,00009% массы Земли. Большая часть этой массы (90%) сосредоточена в слое высотой до 16 км. Выше 100 км находится лишь одна миллионная часть массы воздуха.

Атмосферу разделяют на три слоя – тропосферу, стратосферу и ионосферу. Промежуточный слой над тропосферой называют тропопаузой, над стратосферой – стратопаузой (рис. 2.4).

Тропосфера имеет мощность 8-12 км над северными широтами и до 17 км в приэкваториальной зоне. С высотой температура воздуха понижается в среднем на 6°C через каждый километр и падает до -60°C у верхней границы слоя.

Стратосфера простирается до высоты 50-53 км. Воздух в стратосфере разрежен и нагрет непосредственно Солнечными лучами (температура от

–10 до +10°C). В пределах стратосферы находится озоновый слой мощностью 25-30 км, который поглощает большую часть ультрафиолетового излучения Солнца, губительного для живых организмов.

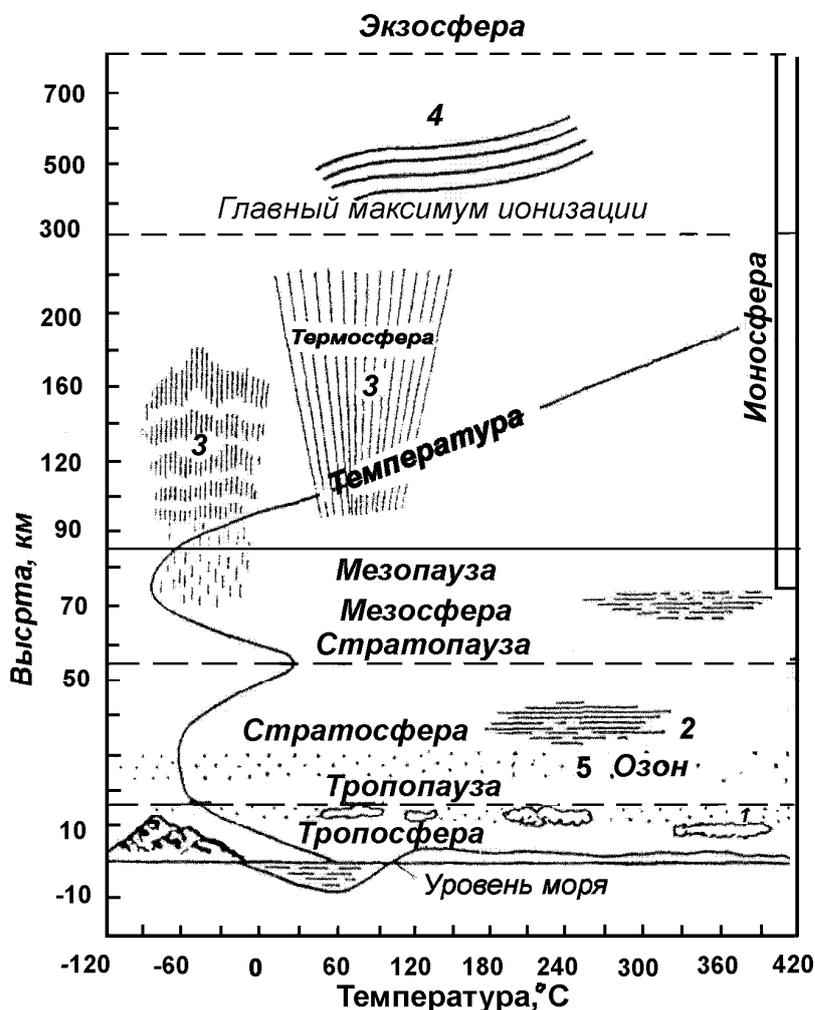


Рис. 2.4. Атмосфера в вертикальном разрезе:

облака разных типов: 1 – конвекции и перистые, 2 – перламутровые; полярные сияния в ионосфере: 3 – нижней, 4 – верхней; 5 – слой наибольшей концентрации озона

Ионосфера включает три оболочки: мезосферу, термосферу и экзосферу. Мощность мезосферы 25-30 км, температура здесь падает до –90 °C. В этой части атмосферы образуются так называемые серебристые облака. В термосфере температура вновь повышается и на высоте 400 км достигает 1000-2000°C. Экзосфера характеризуется высокой температурой (около 2000°C) и крайним разрежением воздуха. Вся зона ионосферы состоит из ионизированного под воздействием ультрафиолетового излучения воздуха, обладающего электропроводимостью. Верхняя граница атмосферы находится на высоте 1300 км. Выше ее состав приближается к составу межпланетного пространства.

Главные компоненты атмосферы – азот, кислород, аргон, углекислота, составляющие 99,99% сухого воздуха. К малым составным частям отно-

сятся озон, водород, инертные газы (He, Ne, Kr, Xe). Особое место в составе земной атмосферы занимают мелкие частицы – пыль различного происхождения: естественная, в том числе космическая и антропогенная – индустриальный дым. Переменными компонентами воздуха являются озон радиационного происхождения, а также SO₂, NO₂, NH₃ промышленного происхождения.

Важной составной частью атмосферы с точки зрения ее воздействия на геологические процессы является атмосферная влага. Испарение воды с поверхности суши и водоемов в атмосферу представляет собой процесс естественной дистилляции. Поэтому химический состав атмосферных осадков в отличие от природных вод характеризуется резкими колебаниями содержания иона хлора и сульфат-иона.

Воздушные массы атмосферы находятся в постоянном движении вызванном неодинаковым прогревом разных широт на Земле, наличием материков и океанов, а также действием сил Кориолиса, которые обусловлены вращением планеты. В результате возникают периодически дующие ветры (бризы, муссоны, пассаты), циклоны и антициклоны. Воздушные потоки переносят влагу, пыль и существенно влияют на изменения температуры в различных областях поверхности Земли.

Все многообразие явлений в тропосфере определяет погоду и климат. Погода – это физическое состояние атмосферы, характеризующееся направлением и силой ветра, температурой, давлением, влажностью. Многолетний режим погоды, свойственный определенным физико-географическим условиям, называется климатом. 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; инвальный – 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 довольно неопределенная и, вероятно, соответствует температурному уровню в земной коре, при котором вся вода переходит в газообразное состояние (критическая температура воды).

В составе гидросферы выделяют четыре основных типа природных вод, обладающих различным составом и разными физическими свойствами. Это океаносфера (воды морей и океанов), воды суши, ледники и подземные воды, сосредоточенные в земной коре. Общая масса гидросферы составляет $1644 \cdot 10^{15}$ т, что не превышает 0,025 % общей массы Земли. Количество океанических вод оценивается в 1370 млн. км³ (86,5 %), вод суши – 0,5 млн. км³, объем материковых льдов около 22 млн. км³, подземных вод – 196 млн. км³.

Любые воды гидросферы Земли в той или иной степени минерализо-

ваны и могут рассматриваться как природные растворы. В отличие от атмосферы в гидросфере проявляется горизонтальная неоднородность (зональность): воды суши в основном пресные, а океанов и морей – соленые. Воды океана содержат в среднем 35 г солей в 1 л (3,5 ‰). Это составляет 35 ‰ (35 промилле), так как 1 ‰ – это содержание в 0,1 ‰.

В составе морской воды ведущая роль принадлежит катионам Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Sr^{2+} и анионам Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Br^- , HBO_3^- , на долю которых приходится 95,8 ‰ массы растворенных веществ. Все остальные элементы составляют только 4,2 ‰. Помимо ионов, в морской воде растворены природные газы – азот, кислород, углекислота, сероводород, концентрация которых меняется в зависимости от физико-географических условий.

Большая часть вод суши образуется за счет атмосферных осадков, которые отличаются минимальной минерализацией.

Под влиянием неравномерного распределения солнечного тепла на Земле воды гидросферы находятся в постоянном движении – круговороте. Вода в виде паров атмосферной влаги, атмосферных осадков и речного стока, в виде течений в океанах перемещается на большие расстояния. Находясь в атмосфере, она максимально насыщается свободным кислородом и затем расходует его, соприкасаясь с верхними слоями земной коры. В процессе круговорота в единую систему связываются все воды гидросферы, а также осуществляется тесная связь природных вод с атмосферой, земной корой и живым веществом планеты.

Влага гидросферы совместно с растворенными в ней веществами активно участвует в химических реакциях, протекающих в гидросфере, а также при взаимодействии с атмосферой, земной корой и биосферой. Поэтому гидросфера, как и атмосфера, – действующая сила и среда, в которой осуществляются экзогенные геологические процессы.

Биосфера

Эта оболочка охватывает все пространство где существует органическая жизнь. Современная биосфера включает в себя всю гидросферу, верхнюю часть земной коры и нижнюю часть атмосферы до ее озонового слоя.

Живое вещество Земли по своей массе ($2,4 \cdot 10^{12}$ т) составляет ничтожную долю в сравнении с любой из внешних оболочек планеты. Но по своему активному воздействию на окружающую (геологическую) среду оно стоит на первом месте и качественно резко отличается от всех других оболочек.

По способу питания и отношению к внешней среде различаются организмы автотрофные, потребляющие неорганические минеральные вещества, и гетеротрофные, питающиеся другими организмами и их остатками. Большинство организмов аэробные – живущие в среде с присутствием воздуха. Значительно меньшая часть, преимущественно микроорганизмы, относится к анаэробным, обитающим в бескислородной среде.

Основу живого вещества составляет углерод, дающий бесконечное

количество разнообразных химических соединений. Кроме углерода, наиболее распространены в живой природе кислород, водород и азот. Остальные элементы встречаются в относительно небольших количествах, однако играют важную роль в физиологии организмов.

Основная масса органического вещества сосредоточена в зеленых растениях, улавливающих энергию солнечных лучей и строящих сложные соединения своих организмов. Этот процесс естественного построения органических веществ – фотосинтез – вовлекает в годовой кругооборот огромные массы вещества Земли и определяет высокий кислородный потенциал ее атмосферы и биосферы в целом.

С химической точки зрения фотосинтез – окислительно-восстановительная реакция $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2$, в результате которой за счет поглощения углекислоты и воды синтезируется органическое вещество и выделяется свободный кислород.

В планетарном масштабе ежегодно в биосфере Земли образуется 266 млрд.т свободного кислорода. При этом главным генератором кислорода в атмосфере является биомасса Мирового океана.

После гибели организмов происходит процесс, обратный фотосинтезу – разложение органического вещества путем его окисления и образование продуктов разложения. Этот процесс в пределах земного шара находится в состоянии динамического равновесия с фотосинтезом, поэтому общее количество биомассы на Земле остается относительно постоянным.

Методические замечания и рекомендации

Знание основных физических параметров и состава внешних геосфер необходимо для изучения экзогенных геологических процессов, происходящих на поверхности Земли, понимания их физической сущности и взаимообусловленности. При этом следует обратить внимание на следующие важные положения.

В процессе взаимодействия между подвижными внешними оболочками Земли и ее твердой каменной оболочкой можно выделить две составляющие – физическое (механическое) воздействие и химическое. Первое способно перемещать в пространстве обломки горных пород и даже разрушать их за счет непосредственного напора воздуха или воды, обладающих определенной скоростью движения и массой, а химическое воздействие осуществляется в форме определенных химических реакций между компонентами, слагающими взаимодействующие среды. Физическое и химическое воздействие внешних геосфер на горные породы, слагающие

поверхность Земли, осуществляется одновременно и со временем приводит к их механическому разрушению и химическому разложению с образованием соответствующих продуктов разрушения, о которых речь будет идти в разделе об экзогенных процессах.

Задания для самоконтроля

1. Почему атмосфера, гидросфера и биосфера Земли находятся в постоянном движении?
2. Интенсивность химического взаимодействия внешних геосфер с горными породами обусловлена температурой, при которой оно происходит. Дайте этому физическое обоснование.
3. Постарайтесь выяснить для себя сущность понятия «силы Кориолиса».
4. Назовите главные компоненты воздуха и объясните их происхождение.
5. В чем заключается защитная роль озонового слоя для органической жизни на Земле?
6. Какие виды климата принято выделять и какие из них имеют место в пределах Украины?

2.4. ВНУТРЕННИЕ ГЕОСФЕРЫ

Большая часть знаний о внутреннем строении Земли – это в основном научные предположения. И тем не менее, исследователи в твердом теле Земли в настоящее время выделяют несколько оболочек, отличающихся одна от другой по составу, агрегатному состоянию их вещества и другим физическим особенностям. Такие выводы получены на основании применения специальных методов исследования.

Содержание и назначение раздела

Методы изучения внутреннего строения Земли – геолого-съемочные, геофизические, глубинного сейсмического зондирования; геолого-геофизическая модель внутреннего строения Земли; характеристика внутренних геосфер Земли – ядра, мантии (вещественный состав, агрегатное состояние и другие физические условия); характеристика земной коры как одной из внутренних геосфер – ее строение, состав и типы; понятие о геосинклиналях и платформах как элементах земной коры.

Сведения о составе и других физических особенностях внутренних геосфер – основа, на которой строится изложение материалов, относящихся к эндогенным геологическим процессам – движениям земной коры, магматизму и метаморфизму. Результатом изучения этой главы должно быть понимание сущности физических и химических преобразований внутри Земли.

Методы изучения внутреннего строения Земли. Методов изучения строения и состава твердого тела Земли много. Анализ позволяет условно объединить эти методы по трем основным направлениям, каждое из которых характеризуется соответственным общим уровнем достоверности:

-геолого-съемочное;

-геофизическое;

-глубинного сейсмического зондирования.

Геолого-съемочное направление включает различные методы непосредственного изучения и опробования горных пород в их естественных обнажениях на поверхности, по образцам, взятым в горных выработках и скважинах. Информация, полученная таким путем, является наиболее достоверной, однако глубина большинства скважин не превышает 5 км. Лишь отдельные скважины, пробуренные специально для изучения верхних частей Земли, проникли на глубину 10 и немногим более километров. Самая глубокая из таких скважин на Кольском полуострове (около 15 км).

Обобщение результатов наблюдений в виде геологических карт и разрезов позволяет получить представление о строении Земли до глубин 10 – 20 км. Дополнительную информацию может дать изучение продуктов извержения действующих и потухших вулканов, магматические очаги которых располагаются на глубинах до 100 км.

Геофизическое направление объединяет косвенные методы. Они позволяют, изучая физические параметры Земли – электропроводимость, силу тяжести и другие, говорить о том, что и в каком состоянии находится внутри Земли, практически не ограничивая глубины исследований. Однако, данные геофизических методов допускают различные толкования и с глубиной их надежность уменьшается. Несмотря на это, геофизические методы – это пока единственная возможность получить сведения о том, что происходит внутри Земли. Много интересных данных получают при изучении скоростей распространения упругих колебаний, которые называют сейсмическими волнами. Раздел геофизики, посвященный этим волнам называется сейсмологией. С помощью сейсмических методов производится выявление газонефтяных структур и других месторождений, устанавливаются многие детали геологического строения отдельных участков зем-

ной коры. Принципы сейсмических исследований положены в основу глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), применяемого для изучения внутреннего строения Земли, включая ее центральные области.

Сейсмические волны проходят в Земле при землетрясениях, падении метеоритов, ядерных и обычных взрывах. Время прихода сейсмических волн к наблюдателю их амплитуда фиксируются приборами – сейсмографами. Сейсмические колебания в земной коре возбуждают три вида сейсмических волн – продольные, поперечные и поверхностные (рис. 2.5).

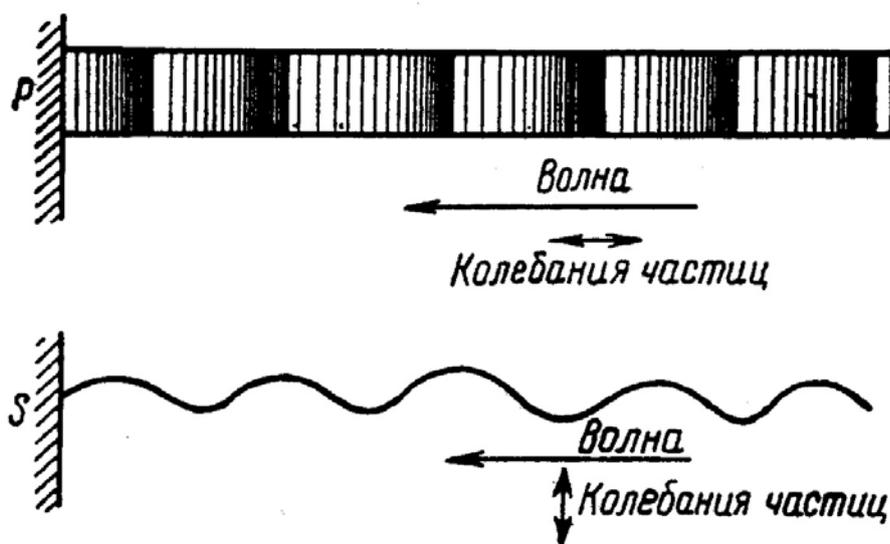


Рис. 2.5. Схема прохождения продольных и поперечных сейсмических волн:

P – продольные волны в металлическом стержне, возникающие при ударе молотком; S – поперечные волны, возникающие при колебании струны

Продольные волны (P) являются реакцией среды на изменение ее объема и распространяются через твердые, жидкие и газообразные среды. Они представляют собой колебательные движения вещества вдоль распространения волн, т. е. во все стороны от места мгновенного высвобождения энергии. В горных породах земной коры продольные волны распространяются со скоростью до 5 – 6 км/с.

Поперечные волны (S) являются реакцией среды на изменение ее формы. Они не могут проходить через жидкие и газообразные среды, так как эти среды не оказывают сопротивления изменению их формы. Частицы вещества при этом колеблются в направлении перпендикулярном к направлению распространения волн. Скорость прохождения поперечных колебаний составляет порядка 3 – 4 км/с.

Поверхностные волны (L) возникают только на границе раздела двух сред, различающихся по своему агрегатному состоянию, например, на поверхности Земли, отделяющей ее кору от атмосферы или гидросферы.

Метод ГСЗ – ведущий геофизический метод в изучении глубин Земли. В его основе лежит анализ поведения сейсмических волн на различных уровнях земных недр. В результате удается оценить плотность вещества, его агрегатное состояние, определить границы основных оболочек Земли и различных неоднородностей в них. Сущность метода заключается в согласованных во времени действиях между пунктом взрыва и сейсмостанциями, регистрирующими различные параметры прохождения сейсмических волн.

Наиболее совершенной моделью строения Земли признана модель Гутенберга – Буллена (рис. 2.6). Разделы (границы) I порядка в ней определяются резкими скачками в скоростях распространения сейсмических волн. К ним относятся границы между главными оболочками Земли – корой и мантией (раздел Мохоровичича), мантией и ядром (раздел Вихерта – Гутенберга). Разделы II порядка отмечают внутренние неоднородности в пределах коры, мантии и ядра. Они соответствуют уровню, на котором меняется производная от скоростей распространения сейсмических волн, т. е. от интенсивности их ускорения или замедления.

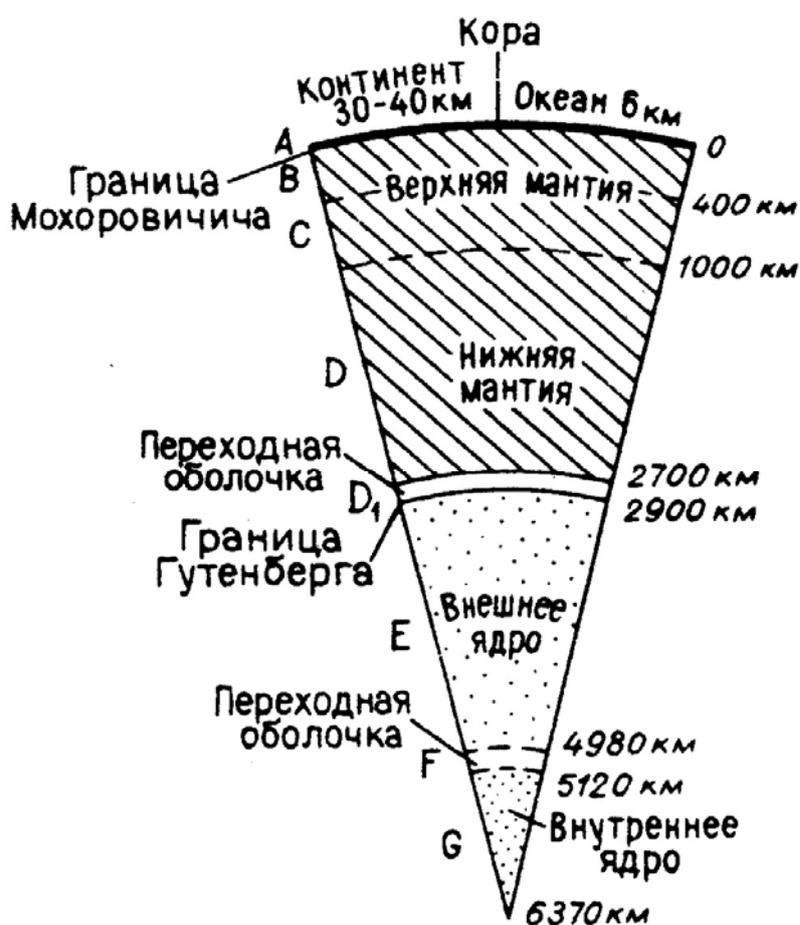


Рис. 2.6. Оболочки Земли, выделенные по характеру распространения сейсмических волн (модель Гутенберга-Буллена)

Ядро и мантия Земли

В таблице 2.3 приведены данные, характеризующие внутренние геосферы для модели Гутенберга-Буллена – интервалы глубин, которые они занимают, их вещественный состав, агрегатное состояние, а также некоторые физические параметры – плотность, давление, температуру.

Ядро. Это внутренняя, наиболее плотная оболочка Земли. Для внешнего ядра характерно резкое снижение скорости распространения продольных волн (с 13,6 до 8,1 км/с), затухание поперечных волн, появление высокой электропроводности, что свидетельствует об изменении агрегатного состояния вещества. Полагают, что внешнее ядро находится в состоянии, приближающемся к жидкому.

В пределах внутреннего ядра скорость продольных волн вновь возрастает, что говорит о твердом состоянии его вещества. Можно предположить, что в условиях высокого давления происходит деструкция вещества, которое во внутреннем ядре существует в металлизированном или плазменном состоянии. Химический состав внешнего и внутреннего ядра по наиболее утвердившейся версии приблизительно одинаков – железоникелевый, близкий, видимо, к составу железных метеоритов. По преобладающим компонентам (Ni – Fe) эту оболочку называют устаревшим определением – «нифе».

Мантия. Эта геосфера состоит из двух оболочек – нижней и верхней мантии. Вместе они образуют самую крупную геосферу Земли, заключенную между поверхностью Мохоровичича (раздел Мохо, или М) сверху и границей Вихерта-Гутенберга снизу. Масса мантии составляет 2/3 массы Земли. О составе вещества мантии имеются лишь гипотетические предположения.

Верхняя мантия характеризуется сложным строением. Оно обусловлено наличием в ней так называемой астеносферы (геосфера «без прочности») – интервала мантии с пониженными скоростями волн, что предположительно обусловлено размягченным, пластичным состоянием ее вещества. Под океанами астеносфера занимает интервал глубин примерно от 50 до 400, а под континентами от 80 до 270 км (рис. 2.7).

Астеносфера, по мнению ученых, обуславливает подвижность всей твердой оболочки, которая залегает на ней и этим вызывает возникновение эндогенных геологических процессов. Это объясняется тем, что отдельные части (блоки) указанной оболочки, включающей земную кору и часть верхней мантии, в полужидкой астеносфере могут «тонуть», «всплывать» или смещаться в сторону – в зависимости от изменений их массы, условий вращения Земли (ротационных условий) или направления конвекционных потоков вещества в самой астеносфере. В результате таких движений (тектонических движений) на Земле образуются впадины (моря), на дне которых формируются многокилометровые толщи осадочных пород или, наоборот, создаются горные сооружения, возникают магматические процессы и метаморфические преобразования горных пород. Описываемая подвижная твердая оболочка, залегающая на астеносфере, носит название литосфера (греч. *литос* – камень) (рис. 2.7).

Таблица 2.3

Характеристика внутренних оболочек Земли для модели Гутенберга-Буллена

Внутренние оболочки Земли (геосферы)	Зоны	Интервал глубин, км	Предел изменения плотности, г/см ³	Скорости волн, км/с		Давление, МПа	Температура, °С	Агрегатное состояние	Вещественный состав	
				Продольной v_p	Поперечной v_s					
Земная кора	A	0 - 33	2,5 – 3,3	5,5 – 7,4	3,2–4,3			твердое	Все известные минералы. Преобладают Si и Al	
Мантия	Верхняя	B	33-410	3,3 – 3,65	7,9-9,0	4,5-5,0	2000	>1000	твердое ²	Минералы – оливин, пироксены, гранаты
	Переходный слой	C	410-1000	3,65 – 4,68	9 – 11,4	5,0 – 6,4			твердое	Преобладают – SiO ₂ , MgO.
	Нижняя	D	1000 - 2900	4,68 – 5,69	11,4 – 13,6	5,4 – 7,3	140000	2500 - 3000	твердое	Присутствуют FeO, Al ₂ O ₃ , CaO
Ядро	Внешнее	E	2900 - 4980	9,4 – 11,5	8,1 – 10,4	---			жидкое	Сплав Fe и Ni (?)
	Переходная зона	F	4980 - 5120	11,5 – 12,0	10,4 – 9,5	---			твердое	
	Внутреннее	G	5120 - 6370	12,0 – 12,3	11,2 – 11,3	---	400 000	6 000	твердое	

² В астеносфере – полужидкое

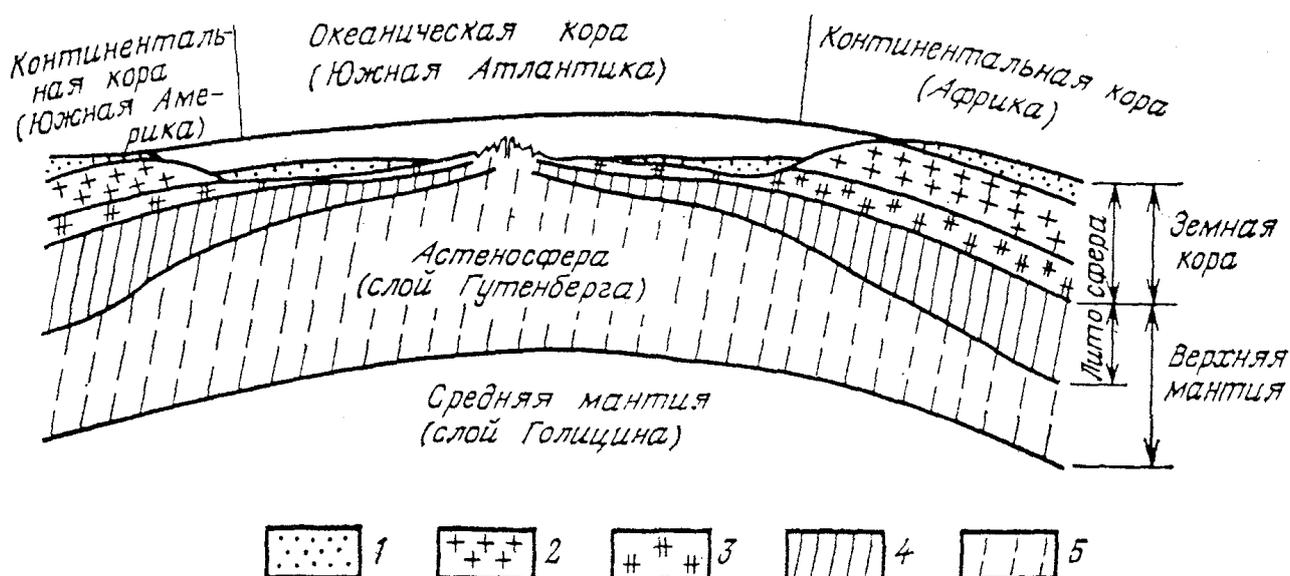


Рис. 2.7. Схематический разрез по линии Южная Америка – Африка:
 1 – осадочный слой; 2 – «гранитный» слой континентов; 3 – «базальтовый» слой континентов и базальтовый – габбро-серпентениновый слой океанов; 4 – подкоровая часть литосферы; 5 – астеносфера

Нижняя мантия по сейсмическим характеристикам относительно однородная. В зоне D скорость волн остается практически постоянной до раздела Вихерта-Гутенберга.

Косвенные данные о химическом составе мантии получены на основании анализа магматических пород, которые предположительно образовались из мантийного вещества и тектоническими движениями впоследствии были подняты в верхние горизонты земной коры. В среднем основную часть (97,7%) этих пород составляют 5 окислов: SiO_2 (45,2%), MgO (37,5%), FeO (8,4%), Al_2O_3 (3,5%), CaO (3,1%). Содержание окислов Na, K, Ti, Mn не превышает 0,1 – 0,4%. В составе преобладают Si и Mg, поэтому эту геосферу сокращенно называют «сима».

Верхняя мантия сложена железомagneзиальными силикатами – минералами оливином, пироксенами, гранатами, что соответствует составу глубинных магматических пород – перидотитов. В переходной зоне и нижней мантии эти минералы в условиях высокого давления существовать не могут. Они разлагаются в соответствующие оксиды, которые имеют более плотную упаковку атомов в своей структуре.

Земная кора

Эта геосфера сложена магматическими, осадочными и метаморфическими породами, имеет мощность от 5 до 70 – 80 км и характеризуется очень сложным строением. Сложность обусловлена тем, что кора и горные породы, слагающие ее, сформировались соответствующими эндогенными и экзогенными процессами не сразу, а постепенно – в разные

периоды существования планеты. В результате различные участки коры отличаются по мощности, составу и возрасту слагающих пород. Объясняется это тем, что в течение предыдущих миллиардов лет непрерывно менялись физические условия на Земле, а следовательно, характер и направленность геологических процессов. Однако, в сложной, мозаичной структуре земной коры устанавливаются и некоторые общие закономерности ее строения в вертикальном и горизонтальном направлениях (рис. 2.8).

Особенности строения земной коры в вертикальном направлении изучаются сейсмическими исследованиями. В результате выделены три оболочки (слоя), сложенные различными по составу, свойствам и происхождению горными породами – осадочная, гранитная и базальтовая.

Осадочный слой или стратисфера является наружной и поэтому относительно самым молодым образованием. Он сложен осадочными и осадочно-вулканогенными породами – глинистыми, песчаными, карбонатными, различными солями, углями, вулканогенными образованиями. Мощность слоя изменяется в широком диапазоне – от полного отсутствия на отдельных участках в горных местностях до 20-25 км в глубоких внутриконтинентальных прогибах земной коры (например, Прикаспийская, Днепровско-Донецкая впадины). Породы осадочного слоя отличаются пониженными значениями параметров, определяющих их прочностные свойства, плотность и скорость распространения сейсмических волн. Плотность осадочных пород в среднем составляет $2,45 \text{ г/см}^3$.

Гранитный слой (гранито-метаморфический) назван так по сходству физических свойств образующих его пород со свойствами гранитов. Он сложен метаморфическими и магматическими породами соответственно – гнейсами, амфиболитами, сланцами, мраморами, кварцитами, гранитами, диоритами, сиенитами. Плотность пород гранитного слоя изменяется в пределах $2,6-2,8 \text{ г/см}^3$.

Резкой сейсмической границей гранитный слой отделен от осадочного (скачок скоростей волн $0,7 \text{ км/с}$). Мощность гранитного слоя от 6 до 40 км. Возможно полное отсутствие его в разрезе. Нижней границей гранитного слоя является сейсмический раздел с подстилающим базальтовым слоем. Раздел этот называется границей Конрада.

Базальтовый слой состоит из более тяжелых магматических кристаллических пород, которые по своим физическим свойствам близки к базальтам. Интервал изменения плотности этих пород $2,8 - 3,2 \text{ г/см}^3$. Мощность базальтового слоя изменяется от нескольких до 30 – 40 км, а нижней границей его является сейсмический раздел с верхней мантией - поверхность Мохоровичича.

Особенности строения Земли в горизонтальном направлении или площадная неоднородность проявляется, прежде всего, в различном строении ее на континентах и в пределах океанических впадин. В соответствии с этим выделяются два основных типа коры – континентальный и океанический, а также промежуточные подтипы – субконтинентальный и субокеанический (рис. 2.8).

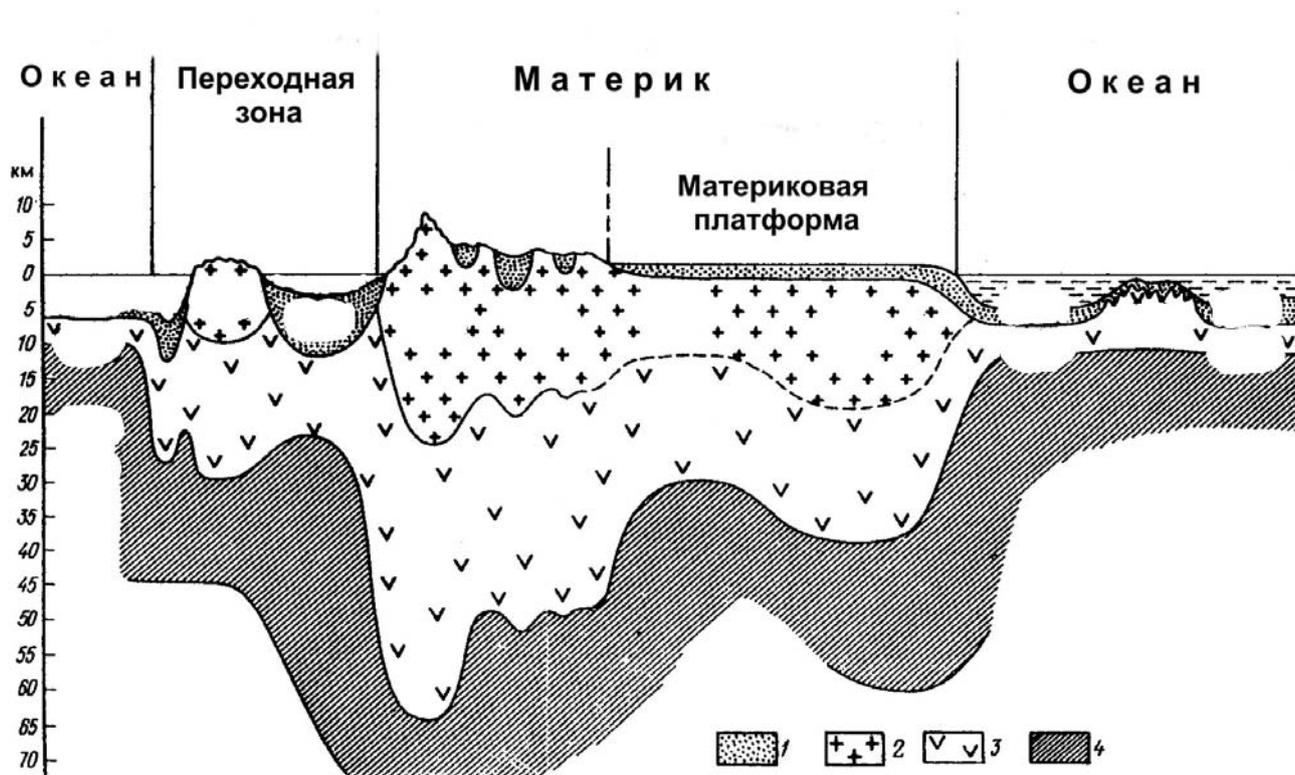


Рис. 1.8. Основные типы строения земной коры и ее главные структурные элементы (по В.Е. Хаину):
 1 – осадочный слой, 2 – гранитный слой, 3 – базальтовый слой, 4 – верхняя мантия

Кора континентального типа в пределах равнин по мощности изменяется в среднем от 30 до 40 км и увеличивается до 70 – 80 км в пределах горных областей. Состоит кора из трех слоев – осадочного, гранитного и базальтового. В отдельных участках материков гранитный слой по тем или иным причинам отсутствует.

Океаническая кора отличается от материковой значительно меньшей мощностью (до 6-7км) и отсутствием гранитного слоя в ее составе. Осадочный слой залегает на базальтовом и мощность его постепенно увеличивается от нулевых значений в центральных частях срединных океанических хребтов до 1 – 2 км вблизи континентов. Еще одной особенностью океанической коры является то, что ее базальтовый слой по

составу существенно отличается от базальтового слоя в пределах континентов и состоит преимущественно из габбро и серпентенитов.

Субокеаническая кора развита во внутренних и краевых морях. Ее строение отличается от строения океанической коры большей мощностью рыхлых осадков (до 3 – 6 км и более).

Субконтинентальная кора характерна для окраин материков и островных дуг. От материковой коры она отличается меньшей мощностью и постепенностью перехода от гранитного слоя к базальтовому.

Горизонтальная неоднородность коры в пределах континентов определяется также наличием таких структурных элементов как платформы и геосинклинали. Минимальная мощность коры наблюдается на платформах, а максимальная – в геосинклинальных – горноскладчатых областях. Увеличение мощности земной коры в горных районах приводит к образованию так называемых «корней» у крупных горных систем (рис.2.8).

Платформы (фр. «плат» - плоский, «форм» - форма) – это обширные тектонически устойчивые области. Они характеризуются средними значениями мощности земной коры, горизонтальным или почти горизонтальным залеганием осадочных пород, равнинным рельефом. Платформы имеют двухъярусное строение. Они состоят из более древнего кристаллического фундамента и перекрывающего его осадочного чехла (рис. 2.9). Вся территория Украины, за исключением горных областей Карпат и Крыма расположена в пределах юго-западной части обширной Восточно-Европейской (Русской) платформы.

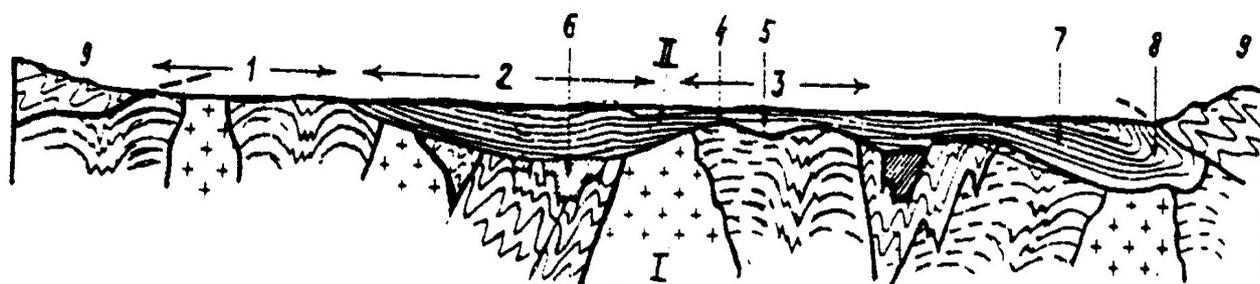


Рис. 2.9. Схема строения платформы в разрезе:

I – фундамент; II – чехол; 1 – щит, 2 – синеклиза, 3 – антеклиза, 4 – свод, 5 – впадина, 6 – авлакоген, 7 – перикратонный прогиб, 8 – передовой прогиб, 9 – складчатая область

Области платформы с двухъярусным строением называют плитами. Выходы фундамента на дневную поверхность называются щитами. Таковы, например, Балтийский и Украинский щиты Русской платформы.

Геосинклинали (греч. «гео» - земля; «син» - вместе; «клин» - наклон) – вытянутые тектонически подвижные зоны в земной коре. Они характеризуются большой (до 70 – 80 км) мощностью коры, нарушенным складчато-разрывным залеганием горных пород, горным рельефом. В геоморфологическом отношении геосинклинали представлены горно-складчатыми сооружениями. Таковы, например, Урал, Кавказ, Карпаты, Памир и т. д., представляющие собой древние, разного возраста образования. Существуют и современные, развивающиеся геосинклинали, например, средиземноморская (между Африкой и Европой), Тихоокеанская, приуроченная к морям, расположенным вдоль всего западного побережья Тихого океана.

Методические замечания и рекомендации

Для лучшего понимания строения Земли рекомендуется вникнуть в сущность ответов на два вопроса, связанных с состоянием вещества во внутренних геосферах. Первый из них – что является причиной скачкообразного увеличения скоростей распространения сейсмических волн ниже раздела Мохо? Второй – почему геосферы, имеющие жидкое агрегатное состояние, чередуются в разрезе Земли с твердыми геосферами?

Наиболее вероятным является предположение о том, что на границе земная кора – мантия происходит не изменение химического состава вещества, а переход его из кристаллического состояния в аморфное (стекловидное), имеющее более высокую плотность.

Относительно второго вопроса следует напомнить, что агрегатное состояние вещества определяется соотношением давления и температуры, при которых оно находится. Давление удерживает атомы и молекулы в определенной кристаллической структуре и этим сохраняет твердость вещества даже в условиях сильного нагрева, а температура наоборот – с ее увеличением возрастает амплитуда тепловых колебаний атомов. Это приводит к нарушению связей между ними, в результате чего вещество теряет структуру и превращается в жидкость.

Таким образом, жидкое состояние внешнего ядра и полужидкое астеносферы удовлетворительно объясняется тем, что в этих интервалах существующее давление не обеспечило сохранность структуры вещества при существующем темпе нарастания температуры в этих геосферах.

Такой механизм лежит в основе возникновения магматических очагов и связанных с ними явлений. Расплавление горных пород и превращение их в магму приурочено к зонам растяжения, т. е. к местам, где в условиях высоких температур происходит резкое снижение давления в мантии или земной коре.

Относительно геофизических методов исследования необходимо принять к сведению, что они применяются и в горном деле для заблаговременного выявления в горном массиве карстовых пустот, ослабленных, трещиноватых и обводненных зон, крупных разрывов и других особенностей строения, определяющих горно-геологические условия работы шахт и рудников.

Задания для самоконтроля

1. *Объясните, почему в более плотных средах скорости распространения сейсмических волн становятся больше?*
2. *Как с помощью сейсмических волн были получены данные о существовании ядра Земли и его агрегатном состоянии?*
3. *Какие оболочки Земли находятся в жидком агрегатном состоянии и почему?*
4. *Что означает понятие «астеносфера» и «литосфера»?*
5. *Начертите разрез Земли и охарактеризуйте состав основных ее оболочек.*
6. *Перечислите черты сходства и различия континентальной и океанической земной коры.*

2.5. ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Внутри Земли и окружающем ее пространстве существуют энергетические, так называемые физические поля – гравитационное, тепловое, магнитное, электрическое, сейсмическое, которые обусловлены самим существованием планеты и особенностями ее строения и состава. Эти поля оказывают определенное влияние на геологические процессы или сами являются их движителями. Например, гравитационное поле, благодаря которому на Земле осуществляются перемещения в пространстве материальных тел, а значит все эндогенные и экзогенные процессы.

Содержание и назначение раздела

Характеристика физических полей Земли – гравитационного, теплового, магнитного и способов измерения их параметров; аномалии физических полей и их использование в геофизических методах изучения земной коры и поисков полезных ископаемых.

Знание природы и параметров физических полей Земли необходимо для понимания всех геологических процессов, а также условий применения тех или иных геофизических методов при решении практических задач в горном деле – для расчетов давления в породном массиве и подземных выработках, определения температурных условий на глубине, при создании различной измерительной аппаратуры. Поэтому не вызывает сомнений значимость информации, помещенной в настоящем разделе для обретения должного профессионального и общеобразовательного уровня.

Исследование физических полей Земли с помощью специальных приборов привело к возникновению геофизического направления в геологии, включающего в себя различные методы, направленные на изучение строения и состава земной коры, поиски месторождений полезных ископаемых, выявление горно-геологических условий разработки месторождений.

Теоретической основой большинства геофизических методов являются следующие. Любые геологические тела, характеризующиеся определенной плотностью вещества, массой и формой также создают вокруг себя физические поля малой силы, которые, взаимодействуя с общеземными полями, изменяют их интенсивность – увеличивают или уменьшают. По величине и характеру таких отклонений – аномалий – можно судить о глубине залегания и форме геологических тел, в том числе полез-

ных ископаемых.

Замеры производятся с помощью приборов, которые, в зависимости от их конструкции, применяются в обычных условиях на поверхности и в горных выработках или устанавливаются на автомобилях, самолетах, спутниках.

Сейсмические методы изучения земной коры и Земли в целом были освещены в разделе 2.4, где речь шла о внутренних геосферах, исследованных этими методами. Другими физическими полями, играющими важную роль в геологических процессах являются гравитационное, тепловое и магнитное.

Гравитационное поле.

Огромная масса Земли обуславливает существование сил притяжения всех тел расположенных на поверхности планеты, внутри нее и за ее пределами. Пространство, в пределах которого проявляются силы притяжения, называется полем силы тяжести или гравитационным полем (лат. «*гравитас*» - *тяжесть*).

Известно, что сила гравитационного взаимодействия двух тел пропорциональна их массам и обратно пропорциональна квадрату расстояния между их центрами. Поэтому напряженность гравитационного поля Земли на том уровне, где располагается Луна, почти в 4000 раз меньше, чем у поверхности. Однако этой силы достаточно, чтобы Земля удерживала Луну в виде своего спутника. В целом сила тяжести в любой точке пространства оценивается по величине ускорения свободного падения g в этой точке. Для поверхности Земли принято среднее (эталонное) значение g , измеренное в Потсдаме и равное $9,81274 \text{ м/с}^2$ (приблизительно $9,81 \text{ м/с}^2$). В центре Земли g равно нулю.

Гравитационное поле на поверхности распределено неравномерно, так как значение силы тяжести на вращающейся Земле складывается в основном из двух сил – притяжения и центробежной, направленных в противоположные стороны.

Сила притяжения зависит от расстояния до центра Земли, т. е. от ее радиуса в точке измерения. Радиус для любой точки земного сфероида – известная величина, которая зависит от географической широты.

Сила центробежная также зависит от географической широты, так как определяется она линейной скоростью вращения Земли в точке замера. Для экватора, как известно, эта скорость и центробежная сила максимальны, а на полюсах они равны нулю.

Закон распространения силы тяжести g на поверхности Земли был выведен еще в XVIII столетии французским математиком А.К. Клеро:

$$g = g_{\text{э}} + (g_{\text{п}} - g_{\text{э}}) \cdot \sin^2 \varphi,$$

где $g_{\text{э}}$, $g_{\text{п}}$ – ускорение силы тяжести соответственно на экваторе и на полюсах; φ – географическая широта.

В настоящее время пользуются международной формулой нормального распределения силы тяжести:

$$g = 978,049 (1 + 0,0052884 \cdot \sin^2\varphi - 0,0000059 \cdot \sin^2 2\varphi).$$

В соответствии с этой формулой на полюсах $g = 9,83 \text{ м/с}^2$, а на экваторе $g = 9,78 \text{ м/с}^2$. Однако эти расчетные значения g отличаются от истинных вследствие влияния высоты местности и масс горных пород, заключенных между уровнем измерения и уровнем геоида. Поправки, которые вносятся в измеренное поле силы тяжести, называются редукцией Буге. Они позволяют сравнивать между собой результаты измерений в разных условиях. Отклонение измеренных значений g от теоретически рассчитанных получило название гравитационных аномалий.

Производя массовые замеры по площади, можно выделить участки с отрицательными и положительными гравитационными аномалиями. Конфигурации аномальных участков и другие их признаки позволяют делать заключение о строении земной коры, наличии тяжелых рудоносных масс или легких – например, газонефтеносных. Такими исследованиями занимается гравиметрия (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Схема гравитационного поля Украинского щита (по К.Ф.Тяпкину, 1982):

участки со значениями гравитационного поля: 1 – высокими, 2 – повышенными, 3 – пониженными, 4 – низкими, 5 – условный контур Украинского щита

Тепловое поле

Это поле сформировалось в результате взаимодействия двух источников тепловой энергии: внутреннего – земного и внешнего – солнечного.

Около половины солнечной энергии падающей на Землю поглоща-

ет атмосфера, растительность и приповерхностный слой земной коры, другая половина отражается в мировое пространство.

Установлено, что Земля излучает в мировое пространство больше тепла, чем она получает от Солнца и поэтому она в целом продолжает остывать.

К внутренним источникам тепла следует отнести: остаточное тепло земного шара, сохранившееся с того времени, когда Земля в результате гравитационного сжатия была раскалена; тепло, генерированное радиоактивным распадом, химическими реакциями и процессами кристаллизации; тепло приливного трения.

Величина теплового потока (ВТП), постоянно исходящего от поверхности Земли в мировое пространство поддается измерениям специальной аппаратурой и является важной геологической характеристикой отдельных участков земной коры. В среднем для планеты ВТП составляет около $6 \cdot 10^6$ Дж/см²·с, изменяясь в разных местах от 0 до 60 Дж/см²·с. Самая низкая ВТП в пределах континентальных равнин (платформ), в горах она повышается и максимальных значений достигает в районах действующих вулканов и центральных частях срединных океанических хребтов.

Тепловые потоки от внутреннего и внешнего – солнечного источника тепла – направлены навстречу друг другу. Их относительное постоянство во времени обусловило то, что для каждого участка на Земле установилось тепловое равновесие. Оно выразилось в том, что на определенной глубине температура горных пород остается постоянной. Уровень расположения таких глубин образует в земной коре своеобразную поверхность, которая разделяет пространство теплового поля на две области: нижнюю – геотермическую и верхнюю – гелиотермическую.

Нетрудно догадаться, что эта поверхность соответствует уровню, на котором полностью затухают сезонные (зима – лето) колебания температуры. Температура на этой глубине остается постоянной и равной среднегодовым ее значениям для конкретной местности.

Глубина залегания этого так называемого пояса постоянных температур (ППТ) изменяется в пределах от 20 до 40 м и зависит от климатических условий, теплофизических свойств горных пород, рельефа местности (рис. 2.11). Таким образом, в зимний период от дневной поверхности в сторону ППТ происходит нарастание температуры горных пород, а летом наоборот – снижение до среднегодового уровня. И только ниже ППТ, в геотермической зоне, отмечается устойчивое нарастание температуры.

Для оценки скорости увеличения температур ниже ППТ принято использовать два параметра – геотермический градиент ГТГ, (°С/100 м), показывающий изменение температуры в °С на каждые 100 метров глубины или обратную ему величину – геотермическую ступень ГТС (м/1°С), которая указывает на сколько метров необходимо углубиться, чтобы температура повысилась на 1°С. ГТГ на планете изменяется в широких пределах, в среднем составляя около 3°С/100 м.

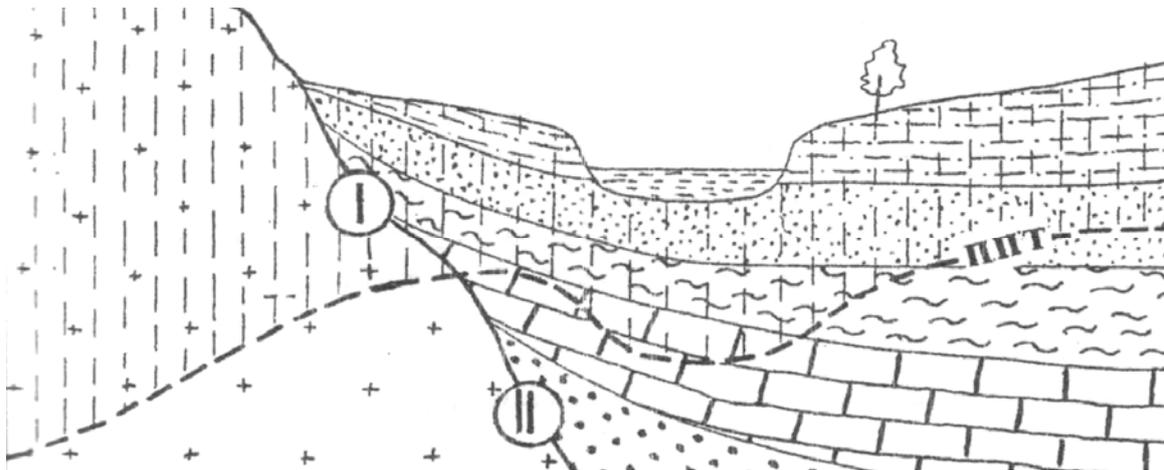


Рис. 2.11. Схема, иллюстрирующая зависимость глубины залегания пояса постоянных температур (ППТ) от состава пород (в магматических породах залегание более глубокое) и рельефа местности.

I – гелиотермическая зона, где происходят сезонные колебания температуры;
 II – геотермическая зона, в которой отмечается нарастание температуры с глубиной

Изменения ГТС, как показывает термометрия, связаны со строением литосферы, составом земной коры и, главное, с тепловым потоком из недр. В горных породах обладающих большей теплопроводностью ГТС уменьшается.

Вблизи дневной поверхности ГТС увеличивается под влиянием циркуляции подземных вод, а также значительной расчлененности рельефа. Резко уменьшается ГТС в районах вулканической деятельности, а также в пределах газонефтяных и угольных месторождений, где имеют место экзотермические процессы.

Глубина расположения ППТ и значение ГТС определяются геологами путем измерения температуры пород в разведочных или специальных скважинах. Эти данные используются при решении ряда технологических задач в горном деле. Прежде всего, в вопросах организации проветривания глубоких выработок и безопасного ведения горных работ.

Температуру горных пород ($T_{гп}$) в любом месте горного массива можно определить по формуле:

$$T_{гп} = t_{ср} + (H - h)/ГТС,$$

где $t_{ср}$ – температура среднегодовая, °С;
 H – расстояние от выработки до поверхности, м;
 h – глубина залегания ППТ, м.

Магнитное поле.

Планета Земля представляет собой своеобразный линейный магнит с полюсами не совпадающими с географическими. Северный магнитный полюс расположен в настоящее время к северу от Гудзонова залива в Канаде, а южный – к югу от Новой Зеландии в Антарктиде. По-

этому магнитная ось Земли отклонена от оси ее вращения (географической оси) на угол равный $11,5^\circ$. Линии, соединяющие магнитные полюса по поверхности земного шара, называются магнитными меридианами.

Магнитное поле Земли распространяется на все внутреннее пространство планеты и за ее пределами на расстояние до 14 земных радиусов. Вначале, на расстоянии около 10 радиусов, поле упорядоченное, а далее оно становится хаотичным, нерегулярным, сильно деформированным – вытянутым по направлению «солнечного ветра» – потока заряженных частиц, входящих в спектр солнечного излучения.

Силовые линии очень слабого магнитного поля Земли выходят из южного магнитного полюса, расходятся, огибая планету, и вновь сгущаются, погружаясь в ее северный полюс. Такая конфигурация поля определяет все особенности параметров, которые используются для его характеристики.

Основной характеристикой магнитного поля является его напряженность. Она пропорциональна количеству магнитных силовых линий, пересекающих единичную площадь, ориентированную перпендикулярно к этим линиям. Напряженность векторная величина. Это становится понятным, если принять во внимание изменяющееся направление магнитных силовых линий в пространстве – на полюсах они располагаются перпендикулярно к поверхности Земли, при удалении от полюсов постепенно выполаживаются и, наконец, в экваториальной области занимают горизонтальное положение, параллельное поверхности Земли.

Для характеристики вектора напряженности магнитного поля в любой точке используют значения углов, которые он образует с горизонтальной плоскостью и с направлением географического меридиана. Первая из этих величин называется магнитным наклоением, а вторая – магнитным склонением (рис 2.12). Измеряются параметры магнитного поля магнитометрами.

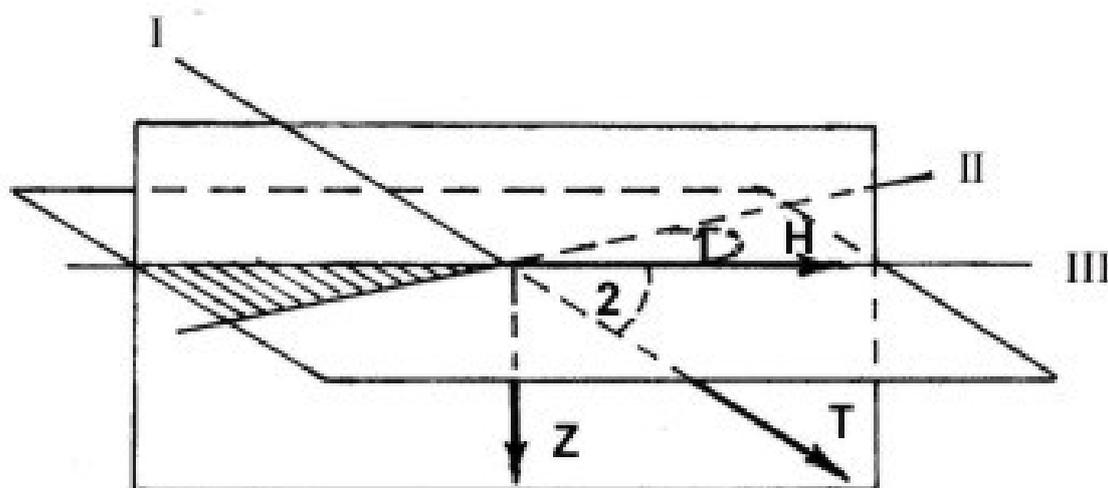


Рис. 2.12. Вектор напряженности магнитного поля T и его составляющие:

Z – вертикальная, H – горизонтальная, D – магнитное склонение, I – наклонение, I и II – соответственно географический и магнитный меридианы

Наклонение в экваториальной области равно 0° и постепенно возрастает к полюсам до 90° . Линии на картах, соединяющие точки с одинаковым значением наклонения, называются изоклинами, а такие же линии, характеризующие положение точек с равными значениями горизонтальных и вертикальных составляющих вектора напряженности магнитного поля, называются изодинамами.

Магнитное склонение может быть восточным, если вектор напряженности (направление стрелки компаса) отклоняется вправо от географического меридиана, и западным – если влево. Земной шар по этому признаку делится на полушария – соответственно с восточным и западным склонением. Величина склонения лишь в отдельных пунктах превышает 10° . В Днепропетровске, например, склонение восточное – около 2° . Величина магнитного склонения должна учитываться в виде поправки при ориентировании на местности с помощью компаса и карты, так как разграфка всех карт производится по географическим меридианам и широтам.

Напряженность магнитного поля изменяется не только в пространстве, но и во времени. В пространстве она изменяется очень сложно в связи с существованием многочисленных, разных по интенсивности и размерам магнитных аномалий. Методами магнитометрии с учетом таких аномалий ведутся поиски месторождений полезных ископаемых. Например, в Курской магнитной аномалии (КМА) напряженность магнитного поля возрастает по сравнению с фоновой в 4 раза, а на территории Криворожского железорудного бассейна она сильно варьирует и достигает еще больших значений. Помимо указанных аномалий существуют мировые аномалии напряженности. Они занимают целые континенты и обусловлены особенностями источника магнитного поля Земли.

Изменения магнитного поля во времени называются вариациями магнитного поля. В зависимости от продолжительности, интенсивности, периодичности и других признаков различают несколько видов вариаций магнитного поля – возмущения, магнитные бури, вековые, палеомагнитные, инверсии поля, перемещения полюсов.

Возмущения – это быстрые изменения поля продолжительностью до нескольких дней.

Магнитные бури – мощные, нерегулярные возмущения магнитного поля, связанные со вспышками (активизацией термоядерных реакций) на Солнце.

Вековые вариации выражаются в смещении мировых аномалий магнитного поля на запад со скоростью около двух угловых минут долготы в год (западный дрейф магнитного поля).

Палеомагнитные вариации выражаются в периодическом (примерно через каждые 10 000 лет) уменьшении и возрастании напряженности поля. Эти вариации установлены по остаточной намагниченности горных пород.

Инверсии магнитного поля – это быстрая смена его полярности, когда полюса меняются местами. Происходит это с разной периодично-

стью. Чем ближе к нашему времени, тем чаще – через каждые 0,1 – 1,0 млн. лет.

Перемещение магнитных полюсов происходит непрерывно. Это вызывает необходимость составления ежемесячных карт магнитного склонения для выполнения точных геодезических работ.

Природа земного магнетизма ясна лишь в общих чертах. Большинство исследователей считает, что магнитное поле возникло под влиянием электрических токов, образующихся в результате механических взаимодействий между твердой мантией Земли и ее жидким внешним ядром. Это взаимодействие в виде взаимного проскальзывания указанных оболочек должно иметь место, потому что режим вращения планеты непрерывно меняется в результате его общего замедления и изменения положения оси вращения.

Методические замечания и рекомендации

Необходимо подчеркнуть, что тема физических полей Земли является наиболее сложной, так как она связана с очень многими особенностями состава, строения и развития Земли. В небольшом по объему учебном пособии невозможно достаточно полно осветить даже наиболее важные проблемы этой темы.

При изучении физических полей Земли следует уяснить их значение для геологических исследований и основные принципы, на которых основано их использование. В связи с этим необходимо знать, что геофизические методы используются и для решения многих технологических задач в период подготовки и ведения горных работ.

Задания для самоконтроля

1. *Что означает понятие «физическое поле Земли»? Какие физические поля Вам известны?*
2. *Укажите где и каким образом используются знания о физических полях Земли.*
3. *Каким образом устанавливаются аномалии физических полей?*
4. *Назовите факторы, от которых зависит величина силы тяжести в любой точке поверхности Земли?*
5. *Какие возможные источники тепловой энергии формируют внутреннюю геотермическую зону теплового поля?*
6. *Дайте прогноз температурных условий на глубине 2000 м для территории горного университета если ППТ здесь залегает на глубине 30 м, геотермическая ступень составляет 50 м.*
7. *Что означает понятие «вектор напряженности магнитного поля»?*
8. *Почему, по Вашему мнению, некоторые планеты не обладают собственным магнитным полем?*

3. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ВОЗРАСТ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Общая характеристика земной коры как одной из внутренних оболочек Земли дана в разделе 2.4. Содержание настоящего раздела дополняет эту характеристику сведениями о химическом, минеральном, петрографическом составе земной коры и ее возрасте, формах тел, которые образуют в ней магматические, осадочные и метаморфические породы, а также об истории становления этой геосферы. Эта информация представляет основу и для проведения любых научных изысканий и при решении геологических, горнотехнических, экологических задач, имеющих прикладное значение.

3.1. ХИМИЧЕСКИЙ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Земную кору слагают разнообразные минералы и горные породы, которые в свою очередь состоят из различных химических элементов. Поэтому характеристика вещественного состава земной коры начинается именно с этого – химического уровня организации вещества в природе.

Содержание и назначение раздела

Характеристика химического состава земной коры; понятие о кларках химических элементов – средних содержаний их в коре; химия коры как результат длительного преобразования вещества верхней мантии; общая характеристика минералов, условия их образования и происхождение; физические свойства, классификация и описание наиболее распространенных минеральных видов.

Сведения о химии и минералах земной коры необходимы при изучении ее главной составной части – горных пород, состоящих из минералов со своими химическими, физическими и механическими свойствами. В результате изучения настоящей главы студент должен знать назначение кларков химических элементов, слагающих земную кору, условия образования и классификацию минералов, их физические свойства, уметь определять по этим свойствам 25 наиболее распространенных породообразующих и рудных минералов.

Химия земной коры

Химический состав земной коры. Один из основных вопросов изучения химии земной коры – определение средних значений процентного содержания в ней отдельных химических элементов. Такие сведения необходимы для установления закономерностей миграции элементов в земной коре с целью разработки методов поиска их месторождений. Без данных о средних содержаниях невозможно также производить оценку вновь выявленных рудопроявлений, планировать направление поисков и разведки отдельных видов полезных ископаемых, решать многие другие задачи.

Единственным способом получения информации о средних содержаниях является массовое опробование горных пород земной коры и определение элементарного химического состава взятых образцов. Перед началом этих работ было ясно, что опробование должно охватывать как можно большее разнообразие горных пород на всех континентах, что достоверность результатов будет прямо зависеть от общего количества проб принятых для расчетов. Такой подход был продиктован чрезвычайной сложностью строения и состава земной коры.

Работы по определению средних содержаний отдельных химических элементов начали проводиться в конце XIX столетия американским геохимиком Ф.В. Кларком, который к 1924 году уже обобщил данные около 6 000 химических анализов пород. С целью уточнения результатов работы проводились и в последующие периоды. Число проб в дальнейшем увеличилось во много раз. Это позволило уточнить результаты, но для большинства элементов мало изменило первоначальные данные.

Кларки химических элементов. Средние массовые доли химических элементов в земной коре получили название кларков по имени первого их исследователя. Наиболее распространенные в земной коре элементы приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Кларки восьми наиболее распространенных в земной коре элементов

Элементы	По Ф.В. Кларку (1924 г.)	По А.П. Виноградову (1949 г.)	По А.Б. Ронову и А.А. Ярошевскому (1976 г.)
Кислород	49,52	47,20	46,50
Кремний	25,75	27,60	25,70
Алюминий	7,51	8,30	7,65
Железо	4,70	5,10	6,24
Кальций	3,29	3,60	5,79
Натрий	2,64	2,64	1,81
Магний	1,94	2,10	3,23
Калий	2,40	2,60	1,34
В сумме (%)	97,75	99,14	98,26

По А.Б. Ронову и А.А. Ярошевскому значительными кларками обладают еще пять элементов:

Титан	0,52
Углерод	0,46
Водород	0,16
Марганец	0,12
Сера	0,11

В сумме они дают 1,37% , что вместе с наиболее распространенными элементами составляет 99,63%.

Таким образом, все остальные (более восьмидесяти) элементы таблицы Д.И. Менделеева составляют лишь 0,37% массы земной коры. Это наиболее важный и интересный вывод, который объясняет всю сложность поисков, разведки и добычи многих полезных ископаемых.

Примеры кларков некоторых элементов (по А.Е. Ферсману):

Сера	0,1
Медь	0,01
Молибден	0,001
Ртуть	$1 \cdot 10^{-4}$
Серебро	$1 \cdot 10^{-5}$

Наиболее распространенные восемь элементов, а также углерод, фосфор, хлор, фтор и некоторые другие играют главную роль в образовании минералов и горных пород. Их называют породообразующими или петрогенными.

Становление химического состава земной коры. Химический состав коры формировался постепенно, по мере ее образования в течение более чем 4,5 млрд. лет. И этот процесс продолжается, так как продолжают эндогенные и экзогенные процессы. Они вызывают непрерывную миграцию химических элементов, их рассеяние или наоборот – концентрацию в отдельных частях коры. Изучением особенностей и поиском закономерностей в поведении химических элементов в земной коре занимается геохимия.

Основным механизмом становления земной коры и ее химического состава явился процесс дифференциации (разделения) вещества верхней мантии. Этот процесс активнее осуществлялся на ранних стадиях развития Земли, когда в условиях высоких температур мантийное вещество могло находиться и в расплавленном, подвижном состоянии. В наши дни дифференциация мантии продолжается посредством магматических явлений. В результате из мантии выносятся преимущественно легкоплавкие соединения (K_2O , NaO , SiO_2 , Al_2O_3), которые и составляют основную массу земной коры.

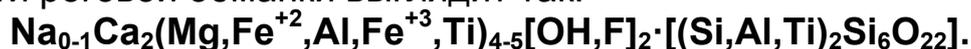
Атомы химических элементов в земной коре, как отмечалось ранее, образуют разнообразные сочетания друг с другом, главным образом химические соединения – минералы.

Минералы и их свойства

В этой части раздела дана краткая общая характеристика минералов – их внутреннее строение и внешний облик, условия образования и формы нахождения в земной коре, физические и химические свойства. Приводится классификация минеральных видов и описание некоторых из них. Эти сведения по минералогии необходимы для всего дальнейшего изложения и в первую очередь для характеристики горных пород и их свойств, обусловленных в значительной мере их минеральным составом.

Общая характеристика минералов. Минералы (*Minera* – средневековое латинское «руда») – природные вещества с более или менее постоянным химическим составом и физическими свойствами, образованные геологическими процессами в недрах Земли и на ее поверхности.

Известно более 2500 основных видов минералов – от самых простых, химический состав которых определяется только одним элементом (например, самородное золото, медь, графит, сера), до очень сложных, состоящих из многих элементов. Например, формула средней по сложности роговой обманки выглядит так:



Кроме природных известно также большое количество искусственных минералов. Синтезируются те минералы, ресурсы которых в природе ограничены или добыча их дороже, чем выращивание в лабораторных условиях. Синтетические минералы – пьезокварц, слюды, рубин, алмаз, сапфир и многие другие широко используются в технике и ювелирном деле.

Чаще всего минералы встречаются в виде кристаллов, имеющих форму многогранников. Способность минералов к геометрически правильному самоограничению обусловлена закономерным расположением входящих в их состав атомов, ионов и молекул. Пространственное расположение этих элементов характеризует внутреннюю структуру минерала – его так называемую кристаллическую решетку (рис. 3.1).

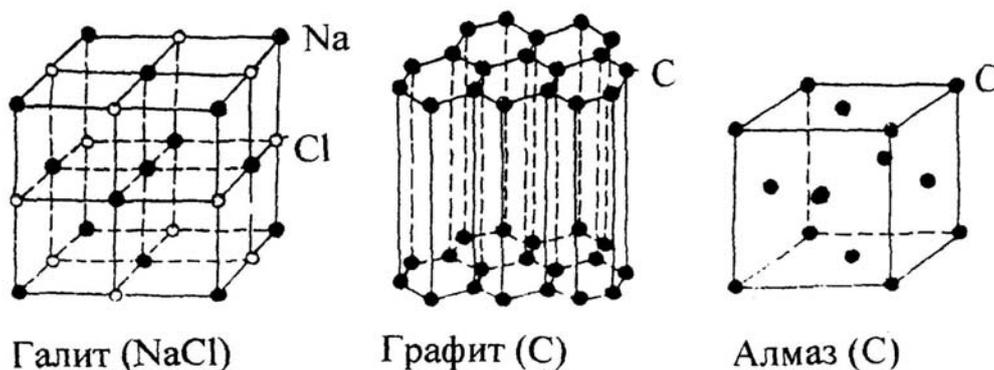


Рис. 3.1. Кристаллические решетки некоторых минералов

Плоскости, ограничивающие кристалл, называются гранями, линии пересечения плоскостей – ребрами, точки пересечения ребер – вершинами. Это главные морфологические элементы кристаллов (рис. 3.2).

Углы между соответствующими гранями у всех кристаллов одного и того же минерала одинаковы и постоянны. В этом заключается закон постоянства граничных углов. Поскольку каждый минерал характеризуется определенными граничными углами, то по их замерам можно определять названия минералов.

Различают следующие внешние формы кристаллов (рис. 3.3):

- вытянутые в одном направлении (призматические, столбчатые, игольчатые, волокнистые);
- вытянутые в двух направлениях (таблитчатые, пластинчатые, листоватые, чешуйчатые);
- одинаково развитые по всем трем измерениям – изометрические (куб, октаэдр и др.);
- правильные срастания одиночных кристаллов (двойники, тройники и т. д.).

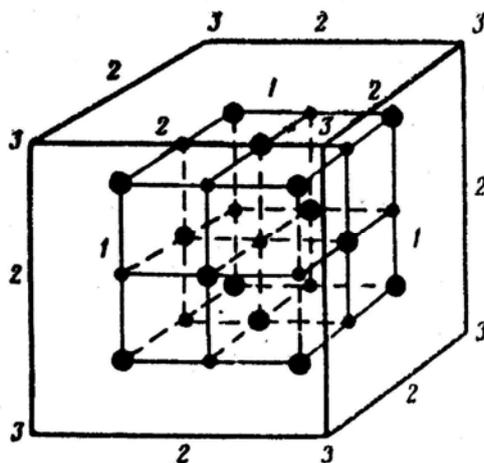


Рис. 3.2. Элементы кристалла:

1 – грани, 2 – ребра, 3 – вершины. Внутри кристалла – кристаллическая решетка галита (NaCl)

Все кристаллы обладают симметрией. Симметричность кристаллов выражается в правильном повторении элементов его ограничения при вращении вокруг определенной линии (оси симметрии – рис. 3.4).

Есть минералы, находящиеся не в кристаллическом, а аморфном состоянии, когда слагающие их атомы, ионы, молекулы беспорядочно расположены по отношению друг к другу. Физические свойства аморфных минералов приблизительно одинаковы во всех направлениях. Такие минералы называют изотропными.

В отличие от аморфных минералы с кристаллической структурой – анизотропные. Их физические свойства (например, твердость, электропроводность) будут различны, в зависимости от выбранного направления, в котором параметры этих свойств измеряются.

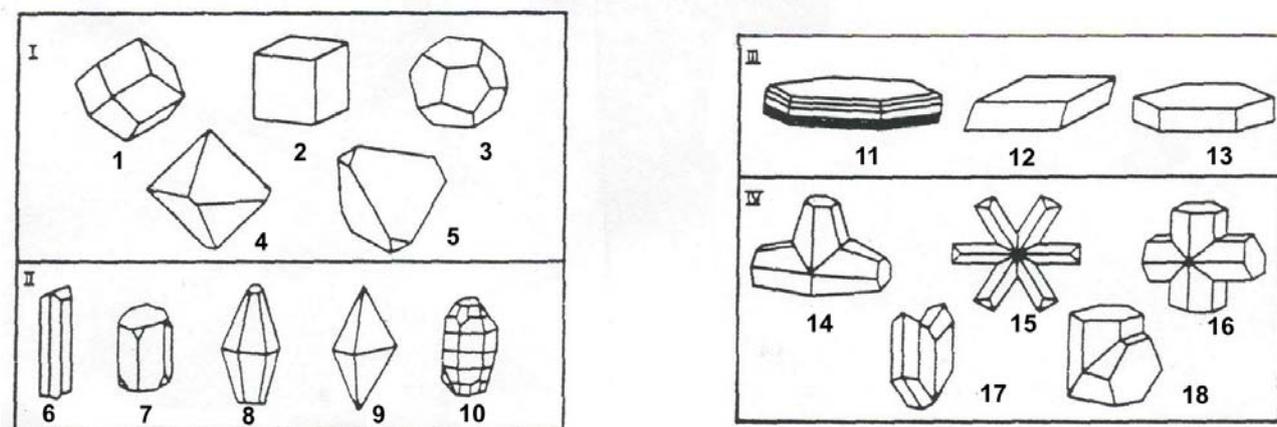


Рис. 3.3. Кристаллические формы минералов и типы их срастания: I – изометрические кристаллы: 1 – ромбический додекаэдр (гранат), 2 – кубический (галенит), 3 – пентагондодекаэдр (пирит), 4 – октаэдр (алмаз), 5 – тетраэдр (сфалерит); II – кристаллы, вытянутые в одном направлении: 6 – столбчатый (барит), 7 – короткостолбчатый (корунд), 8 – усеченно-дипирамидальный (корунд), 9 – пирамидальный (сера), 10 – бочонковидный (корунд); III – кристаллы, вытянутые в двух направлениях: 11 – таблитчатый (графит), 12 – ромбоэдр (кальцит), 13 – таблитчатый (пирротин); IV – типы срастания кристаллов: 14 – двойник пирротина, 15 – тройник арсенопирита, 16 – двойник ставролита, 17 – двойник гипса, двойник кальцита

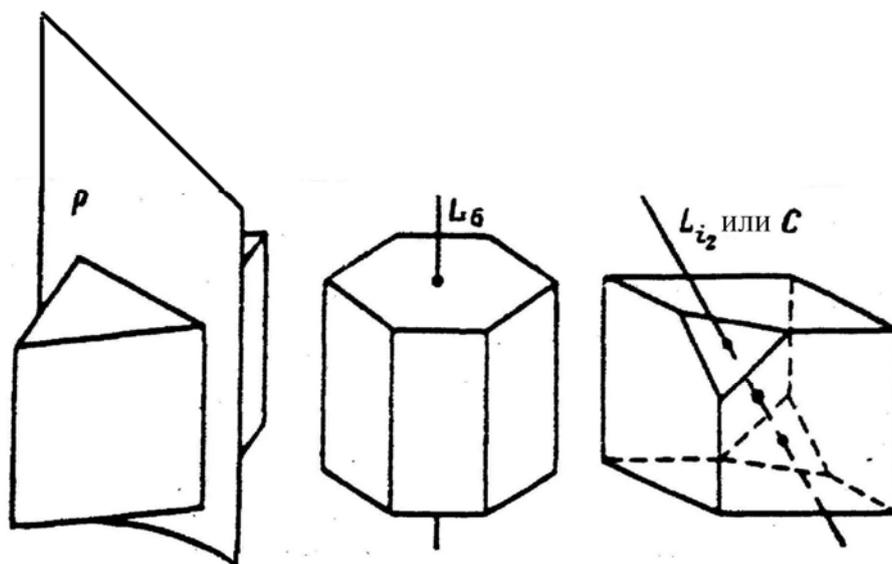


Рис. 3.4. Элементы симметрии кристаллов: P – плоскость симметрии; L_6 – ось симметрии (шестого порядка); L_{i_2} – зеркально-поворотная ось симметрии (или C – центр симметрии)

Образование минералов. Для того чтобы минерал образовался необходимы химические элементы, из которых он будет состоять (концентрация химических элементов) и соответствующие условия образования – давление (P) и температура (T), т.е. P-T-условия. При изменении P-T – условий большинство ранее образованных минералов становятся химически неустойчивыми и изменяются, превращаются в другие – устойчивые или исчезают, переходя в раствор, расплав или газ. Этот процесс сопровождается перестройкой кристаллической решетки и нередко присоединением или утратой воды и углекислоты.

Кристаллы образуются чаще всего из жидкостей – растворов или расплавов, из газов и в результате перекристаллизации твердых масс. Процессы кристаллизации достаточно сложны. В свободном пространстве происходит образование одиночных кристаллов – монокристаллов и друз – скоплений одиночных кристаллов. В условиях стесненного роста кристаллы растут одновременно во всей массе расплава и каждый из них заполняет ту часть пространства, которая ему достается в конкурентной борьбе с другими кристаллами. В результате кристаллы не могут обрести присущую им правильную форму – они образуют агрегаты, состоящие из бесформенных зерен. Лишь очень немногие минералы, обладающие большой силой роста граней, сохраняют в агрегатах свою форму.

Большую роль в процессах образования минералов играет полиморфизм – способность кристаллического вещества в разных P-T – условиях образовывать различные кристаллические решетки. Так, углерод встречается в двух модификациях – алмаз и графит, кварц имеет 4 устойчивых модификации, сера – 6, кальцит – 2.

Изоморфизм – способность химических элементов в силу подобия их атомов – размеров и строения электронных оболочек, замещать друг друга в химических соединениях родственного состава, имеющих сходные структуры.

Минералообразование является неотъемлемой составной частью и эндогенных и экзогенных процессов. Поэтому происхождение минералов целесообразно рассматривать именно в связи с конкретными геологическими процессами.

Эндогенные минералы образуются в результате:

- кристаллизации магмы при охлаждении ее в земной коре и при вулканических извержениях лавы (магматические процессы);
- выпадения в трещинах и в пустотах пород при прохождении через них поднимающихся из глубин горячих водных растворов (гидротермальные процессы) или газов (пневматолитовые процессы);
- диффузионных явлений, происходящих в твердом минеральном веществе под воздействием высокого давления и температуры, а также химически активных веществ в глубинах земной коры (метаморфические процессы);

- химических обменных реакций между магмой и вмещающими породами (метасоматические процессы).

Экзогенные минералы образуются на поверхности Земли или вблизи нее благодаря процессам:

- химического и биохимического разложения минералов и пород в условиях воздействия на них атмосферных газов и водных растворов, приводящих к возникновению новых минеральных видов (процессы выветривания);

- выпадения из водных растворов на дно водоемов солей и других соединений (процессы химического осадконакопления);

- заполнения пустот в рыхлых осадках различными минеральными образованиями, содержащимися в циркулирующих подземных водах (процессы цементации осадка при диагенезе).

Формы нахождения минералов в природе. Самыми распространенными минеральными агрегатами являются зернистые, землистые и оолитовые. Часто встречаются натечные формы, конкреции, секреции, друзы, дендриты (рис. 3.5).

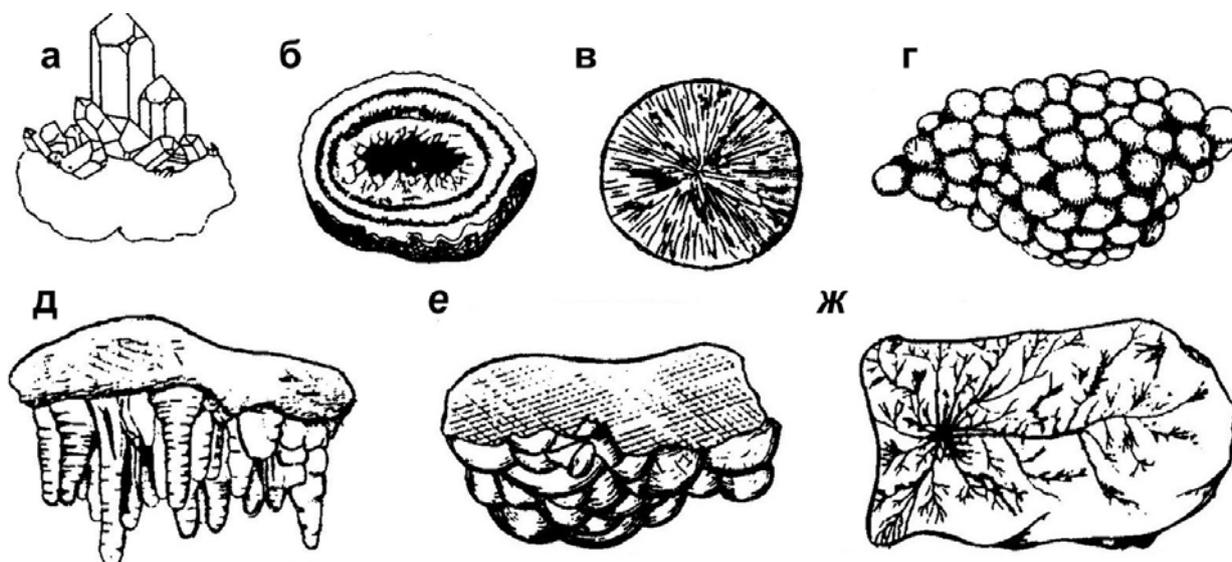


Рис. 3.5. Некоторые формы нахождения минералов в природе:
а – друзы, б – секреция, в – конкреция, г – оолиты, д – сталактиты, е – натечная-почковидная, ж – дендриты

Зернистые агрегаты (собственно горные породы) представляют собой скопления минеральных зерен одного или нескольких видов.

Землистые – характерны для порошковатых, рыхлых минералов. Такие агрегаты обычно пачкают руки, легко распадаются на мелкие комочки, состоящие из мельчайших зернышек.

Оолитовые представляют собой скопления округлых частиц размером от просяного до бобового зерен. Они образуются при постепенном накоплении из раствора минеральных веществ на песчаниках, осколках раковин и т. п., в результате чего возникает концентрически-скорлуповатое строение оолитов.

Натечные образования возникают в пустотах при медленном испарении или охлаждении поступающих туда растворов. Эти образования имеют различную форму: почковидную, гроздьевидную, неправильную, цилиндрическую. Каменные сосульки, свисающие со сводов пустот, называются сталактитами, а поднимающиеся им навстречу со дна – сталагмитами.

Конкреции – минеральные агрегаты шарообразной, неправильной, округлой, сплюснутой формы с концентрическим или радиально-лучистым строением, состоящие из железистых, карбонатных, кремнистых и других соединений. Образуются конкреции внутри осадочных пород.

Секреции возникают при заполнении пустот минеральным веществом, осаждающимся на стенках. Среди секреций различают миндалины (размер до 10 мм) и жеоды (более крупные).

Друзы – сростки относительно правильных, различно ориентированных кристаллов, приросших одним концом к породе.

Дендриты образуются при быстром росте кристаллов вдоль тонких трещин, имеют ветвящееся древовидное строение. Они похожи на отпечатки веточек растений. Например, вода при замерзании также может образовывать дендриты – ледяные узоры на окнах, снежинки.

Физические свойства минералов. Точное определение минералов осуществляется различными методами (рентгеноструктурный, химический, электронно-микроскопический). В полевых же условиях используется макроскопический метод, основанный на определении физических свойств минералов к которым относятся их блеск, цвет, цвет черты (черта), твердость, спайность, прозрачность, удельный вес, особые свойства. Кроме того, отдельные минералы определяются по форме кристаллов, облику зерен, характерным формам агрегатов. Совокупность физических свойств является своеобразной визитной карточкой каждого минерала.

Блеск – способность минерала отражать световые лучи. Различают три категории блеска: металлический, металлоидный и неметаллический. В категории неметаллического блеска выделяются такие разновидности, как алмазный, стеклянный, жирный, перламутровый, шелковистый и матовый.

Цвет. Для цветовой характеристики используются названия семи цветов радуги, а также определения: белый, черный, серый, бурый. Окраска минералов во многом зависит от строения их кристаллической решетки.

Нередко на поверхности непрозрачных минералов наблюдается синевато-зеленая, фиолетовая и другая пятнистая окраска, напоминающая окраску стальных изделий после их отжига (закалки). Такая окраска называется побежалостью. Она вызывается интерференцией света на поверхности минерала.

Кроме того, глубинное синевато-голубоватое свечение отдельных частей прозрачных или полупрозрачных минералов (лабрадорит) носит название «иризация».

Цвет черты (черта) – это окраска минерала в порошке. Получают черту путем трения минералом по шероховатой поверхности фарфора. Цвет черты является более постоянным диагностическим признаком, чем окраска минерала. Так, по ярко-красной черте безошибочно узнают киноварь, по вишнево-бурой – гематит. Окраска минерала и его черта могут совпадать либо резко отличаться. Например, пирит латунно-желтого цвета дает черную черту. Если минерал тверже фарфоровой пластинки, то он будет ее царапать, не оставляя черты.

Твердость – способность минерала сопротивляться разрушению при царапании его другим минералом. В минералогии используется десятибалльная шкала относительной твердости, предложенная немецким минералогом Моосом. Каждый минерал в этой шкале имеет твердость на единицу больше предыдущего, т. е. царапает его. Таким образом, определить относительную твердость минерала означает сравнить его с десятью эталонами. На практике используют заменители шкалы Мооса, которыми могут служить подручные материалы (табл. 3.2). В технике и научных исследованиях используются показатели абсолютной твердости, которая измеряется приборами разных конструкций. В табл.3.2 для сравнения приведены данные такой твердости.

Определение твердости следует начинать со стекла. Минерал, который оставляет на стекле царапину, имеет твердость больше 5, а если скользит по нему, то – ниже 5.

Группа минералов имеет твердость промежуточную между двумя соседними эталонами шкалы Мооса. В таком случае твердость необходимо обозначить дробным числом (между 3 и 4 – 3,5 и т. д.).

Спайность – способность кристаллических минералов при раскалывании образовывать ровные блестящие поверхности (рис. 3.6). Наличие спайности обусловлено анизотропией кристаллических образований.

Шкала относительной твердости минералов (шкала Мооса)

Твердость минерала	Минерал шкалы	Твердость заменителя	Заменитель минеральной шкалы Мооса	Твердость по прибору Хрущева-Берковича
1	Тальк	1	Грифель мягкого карандаша	2,4
2	Гипс	1,5 2	Кожа пальцев рук Игла алюминиевая	36
3	Кальцит	2,5 3	Ноготь Медная проволока	109
4	Флюорит	4	Мягкое железо (гвоздь)	189
5	Апатит	5	Оконное стекло	536
6	Ортоклаз	6 6,5	Лезвие бритвы Неглазурованная поверхность фарфора	795
7	Кварц	7	Напильник	1120
8	Топаз	8	Специальные твердые сплавы	1427
9	Корунд	9	Кусочек наждачного камня	2060
10	Алмаз	10		10 060

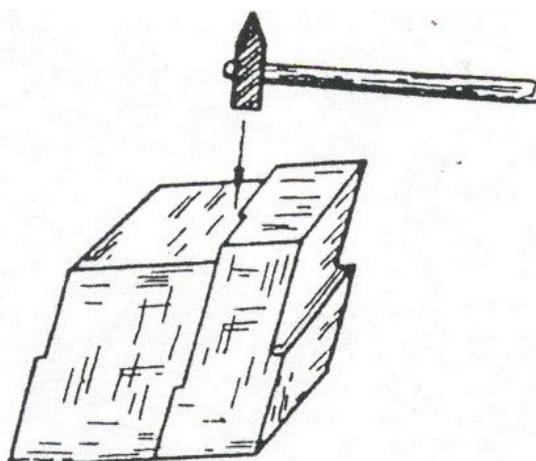


Рис. 3.6. Совершенная спайность в трех направлениях у кальцита

Выделяют несколько классов спайности:

- весьма совершенную – минерал легко расщепляется на весьма тонкие пластинки (слюда);
- совершенную – при раскалывании образуются сплошные блестящие ровные поверхности (галит, кальцит, гипс);
- среднюю – относительно ровная поверхность раскола состоит из сочетания мелких участков со спайностью и без нее;
- несовершенную – на сколе видны лишь редкие ровные участки;
- весьма несовершенную – спайность отсутствует.

Различные минералы могут иметь спайность в одном, двух, трех, четырех и шести направлениях.

Излом – это форма поверхности, образующаяся при раскалывании минерала не только по плоскостям спайности. Эта особенность также характерна для многих минералов. С раковистым изломом кремния человек познакомился в каменном веке – именно такой излом дает острые режущие края. Волокнистый и занозистый изломы у асбеста, роговой обманки, землистый – у каолинита.

Удельный вес. Принято разграничение минералов на три весовые категории – легкую, среднюю и тяжелую – путем ориентировочного взвешивания на руке. Легкие минералы обладают удельным весом до 2,5, средние – от 2,5 до 4, а тяжелые – свыше 4 г/см³.

Особые свойства – это свойства, присущие одному или нескольким минералам. К ним относятся:

- магнитность – способность минерала воздействовать на магнитную стрелку (магнетит);
- вкус (например, галит соленый). Минералы с твердостью больше 3,5 нерастворимы в воде и вкуса поэтому не имеют;
- реакция с соляной кислотой (используется 10%-ный раствор HCl). Карбонаты реагируют с соляной кислотой. При этом бурно выделяется углекислый газ, пузырьки которого создают эффект вскипания;
- горючесть, электропроводность, радиоактивность и др.

Классификация минералов. Существующая классификация минералов учитывает их химический состав и строение кристаллической решетки. В соответствии с упрощенным вариантом классификации выделяются следующие классы минералов и примеры к ним:

Самородные элементы – золото (Au), ртуть (Hg).

1. Сульфиды (сернистые соединения) – пирит (FeS₂).
2. Окислы и гидроокислы – кварц (SiO₂), лимонит (Fe₂O₃·nH₂O).
3. Карбонаты (соли угольной кислоты) – кальцит (CaCO₃).
4. Сульфаты (соли серной кислоты) – гипс (CaSO₄·2H₂O).
5. Галоиды (соединения с Cl, F, Br, I) – галит (NaCl).
6. Силикаты и алюмосиликаты – слюды, полевые шпаты.

В классификацию не вошли еще четыре менее распространенных класса минералов – фосфаты (апатит – Ca₅(F,Cl)(PO₄)₃), вольфраматы (вольфрамит – (Fe,Mn)WO₄), молибдаты, нитраты.

О распространенности разных классов минералов свидетельствуют следующие данные. Силикаты составляют около 75% массы земной коры, окислы – 17, карбонаты – 1,7, сульфиды – 1,15, остальные – десятые доли процента.

Силикаты не только самые распространенные минералы, но и самые сложные по химическому составу и структуре. Главные химические элементы, входящие в состав силикатов – это O, Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Na, K, а также Li, Be, B, Ti, Zn, редкие земли, F, H в виде (OH)⁻ или H₂O и др.

Основа всех силикатов – комплексные анионы в виде кремнекислородных тетраэдров [SiO₄]⁴⁻, которые способны по-разному сочетаться друг с другом. В результате кристаллические решетки силикатов могут строиться в соответствии с различными структурными мотивами и образовывать подклассы силикатов (рис. 3.7):

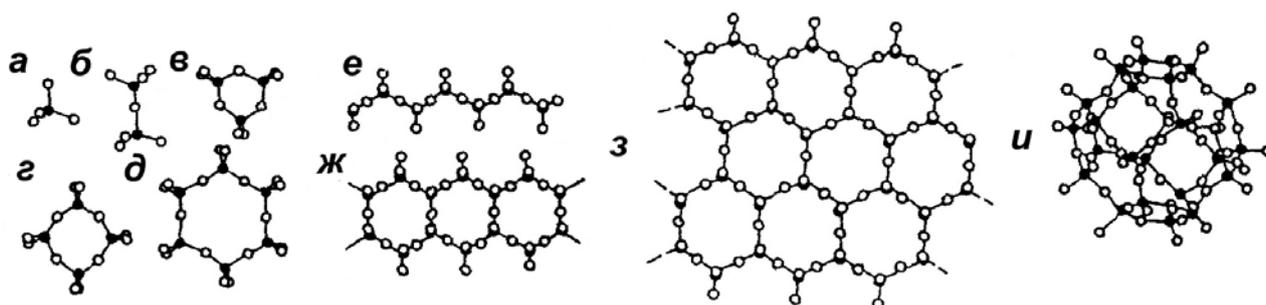


Рис. 3.7. Типы группировок кремнекислородных тетраэдров у силикатов: а – кремнекислородный тетраэдр, б – сдвоенный тетраэдр, в – кольцо из трех тетраэдров, г – кольцо из четырех тетраэдров, д – кольцо из шести тетраэдров, е – цепочка, ж – лента, з – лист, и – каркас

- островные – с изолированными тетраэдрами;
- цепочечные – с цепочками из тетраэдров;
- ленточные – из спаренных цепочек;
- листовые – из соединений тетраэдров, образующих плоские структуры;
- каркасные – трехмерные, объемные структуры.

Сложность химического состава силикатов обусловлена тем, что в их строении благодаря наличию свободных кислородных валентностей могут принимать участие различные металлы и другие химические элементы.

Внешняя форма (облик) кристаллов силикатов и их физические свойства находятся в прямой зависимости от внутреннего структурного мотива. Каркасные и островные, например, самые твердые, изометричные. Листовые – мягкие, образуют пластинки, листочки, чешуйки.

Из общего количества известных в природе минералов силикаты составляют 34%, окислы и гидроокислы – 25%, сульфиды – 20%. На все остальные приходится около 20%.

Характеристика наиболее распространенных породообразующих и рудных минералов, относящихся к различным классам, представлена в таблице 3.3. В таблицу вошли:

- самородные элементы – сера, графит;
- сульфиды – пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, киноварь;
- окислы и гидроокислы – кварц, гематит, магнетит, лимонит, пиролюзит;
- галоиды – галит;
- карбонаты – кальцит;
- сульфаты – гипс;
- силикаты – гранат (островные), роговая обманка (цепочечные), тальк, серпентин, каолинит, мусковит, биотит (листовые), лабрадор, ортоклаз, пироксен (каркасные).

Методические замечания и рекомендации

Следует принять во внимание, что приведенные сведения о химии земной коры и ее минеральном составе носят лишь общий, ознакомительный характер.

Химию земной коры и саму кору следует понимать как результат химических превращений, происходящих в приповерхностном слое Земли, в том числе при участии энергии Солнца. К примеру, на ранней стадии древняя атмосфера Земли состояла из паров воды, азота, метана, аммиака, поступающих из мантии и имела резко выраженный восстановительный характер. Развитие атмосферы до современного ее состояния было вначале обусловлено снижением температуры ниже 100°C, вызвавшим конденсацию водяных паров и образование гидросферы. Затем вступили в действие фотохимические реакции с разложением воды и углекислого газа светом, фотосинтез растений. Органическая жизнь привела к смене восстановительного характера атмосферы на окислительный. Логика дальнейших рассуждений обязательно должна привести к пониманию того, что приведенные выше преобразования вызвали коренные изменения в химическом взаимодействии между горными породами, образующими поверхность Земли и внешними геосферами. Такое взаимодействие привело к возникновению разнообразных по химическому составу осадочных минералов и пород, постепенно наращивающих земную кору.

Необходимо также понять физико-химический смысл явления анизотропии в кристаллах. Анизотропия физических свойств минералов обусловлена наличием самой кристаллической решетки. Она имеет строгую геометрическую конструкцию, обусловленную закономерным взаимным расположением атомов и ионов определенных размеров. В различных направлениях расстояние между элементами этой конструкции, а следовательно и прочность связей между ними будет различной. Естественно, будут различными и параметры физических свойств в этих направлениях.

Задания для самоконтроля

1. Для каких целей используются данные о средних содержаниях химических элементов в земной коре (кларках)?
2. Объясните физический смысл закона постоянства граничных углов кристаллов.
3. Объясните физический смысл явления анизотропии минералов.
4. Что может произойти с минералом, если PT – условия его первичного существования изменятся?
5. Назовите и охарактеризуйте наиболее распространенные минеральные агрегаты.
6. Как образуются эндогенные и экзогенные минералы?
7. Дайте определение понятию «спайность». Какой она бывает и чем обусловлена?
8. Объясните химическую сущность формирования различных структурных мотивов у силикатов.
9. Воспроизведите химическую классификацию минералов и приведите примеры из отдельных классов.

Таблица 2.3

Характеристика важнейших породообразующих и рудных минералов

№	Название и состав	Блеск; цвет	Черта	Спайность	Твердость	Формы нахождения	Диагностические признаки	Где и как используется
1	Графит C	Полуметаллический; черный	Черная, темно-серая	Не заметна	1	Мелкочешуйчатые агрегаты и вкрапления	Жирный на ощупь, твердость, черта	Электротехническая промышленность
2	Сера S	Жирный, стеклянный; желтый	Светло-желтая	Отсутствует	1,5	Кристаллические агрегаты и вкрапления	Желтый цвет, черта, хрупкость	Химическая промышленность, медицина
3	Галенит PbS	Металлический; свинцово-серый	Темно-серая	Совершенная	2,5-3	Кристаллические агрегаты и вкрапления	Свинцовый облик, спайность по кубу, тяжелый	Руда на свинец
4	Пирит FeS ₂	Металлический; латунно-желтый	Черная	Отсутствует	6-6,5	Кристаллические агрегаты и вкрапления	Цвет, блеск, черта, высокая твердость	Не используется
5	Сфалерит ZnS	Алмазный; темно-коричневый	Светло-бурая	Совершенная	4	Кристаллические агрегаты и вкрапления	Алмазный блеск, черта, спайность в 6-ти направлениях	Цинковая руда
6	Халькопирит CuFeS ₂	Металлический; латунно-желтый с побежалостью	Черная, зеленоватая	Отсутствует	4	Кристаллические агрегаты и вкрапления	В отличие от пирита не царапает стекло, побежалость	Медная руда
7	Киноварь HgS	Алмазный; ярко-красный	Красная	Не заметна	2-2,5	Вкрапления, кристаллические агрегаты	Красный цвет, низкая твердость	Руда на ртуть
8	Галит NaCl	Стеклянный; белый, бесцветный	Белая	Совершенная	2	Кристаллические агрегаты	Соленый вкус, низкая твердость, спайность по кубу	Пищевая и химическая промышленность

№	Название и состав	Блеск; Цвет	Черта	Спайность	Твердость	Формы нахождения	Диагностические признаки	Где и как используется
9	Гипс Ca SO_4 $2\text{H}_2\text{O}$	Стеклянный; белый, бесцветный	Белая	Совершенная	2	Кристаллические агрегаты, кристаллы	Царапается ногтем, спайность в одном направлении	Стройиндустрия, медицина
10	Кальцит CaCO_3	Стеклянный; белый, бесцветный	Белая	Совершенная	3	Кристаллические агрегаты, кристаллы	Вскипает с HCL, спайность по ромбоэдру	Стройиндустрия, металлургия
11	Гематит Fe_2O_3	Полуметаллический; буро-красный	Вишнево-красная	Отсутствует	От 1 до 5	Кристаллические агрегаты и вкрапления	Вишнево-красная черта, тяжелый	Железная руда
12	Магнетит Fe_3O_4	Полуметаллический; черный	Черная	Отсутствует	6	Кристаллические агрегаты, кристаллы	Магнитность, черная черта, твердость	Железная руда
13	Лимонит Fe_2O_3 $n\text{H}_2\text{O}$	Матовый; от ржаво-бурого до темно-бурого	Бурая, ржаво-бурая	Отсутствует	От 1 до 5	Землистые, оолитовые агрегаты, пленки	Цвет, ржаво-бурая черта	Низкосортная железная руда
14	Пиrolозит MnO_2	Матовый; черный	Бархатисто-черная	Отсутствует	От 1 до 5	Скрытокристаллические агрегаты	Цвет, черта, низкая твердость	Марганцевая руда
15	Кварц SiO_2	Стеклянный; белый, бесцветный	Отсутствует	Отсутствует	7	Кристаллические агрегаты, кристаллы, зерна	Высокая твердость, отсутствие спайности, цвет	Производство стекла
16	Гранат	Стеклянный; буровато-красный	Отсутствует	Отсутствует	7-7,5	Кристаллические агрегаты, кристаллы	Красный и буро-красный цвет, высокая твердость	Абразивные материалы
17	Пироксен	Стеклянный; черный	Светло-серая	Совершенная	6-6,5	Кристаллические агрегаты, кристаллы	Призматическая форма кристаллов	Не используется

Продолжение таблицы 2.3

№	Название и состав	Блеск; цвет	Черта	Спайность	Твердость	Формы нахождения	Диагностические признаки	Где и как используется
18	Роговая обманка	Стеклянный; темно-зеленый	Зеленова-то-серая	Средняя	5,5-6	Кристаллические агрегаты, кристаллы	Цвет, черта, призматическая форма кристаллов	Не используется
19	Биотит (черная слюда)	Перламутровый; черный	Белая, серая	Весьма совершенная	2,5	Чешуйчатые агрегаты	Цвет, спайность, листовая форма кристаллов	Термостойкий изоляционный материал
20	Мусковит (белая слюда)	Перламутровый; бесцветный	Белая	Весьма совершенная	2,5	Чешуйчатые агрегаты и включения	Цвет, спайность, листовая форма кристаллов	Изоляционный материал
21	Серпентин	Жирный, восковой; зеленоватый	Белая	Не заметна	3-4	Скрьпокристаллические, иногда волокнистые (асбест) агрегаты	Пятнистая окраска, жирный блеск, присутствие асбеста	Огнеупорные материалы, поделочный камень
22	Каолинит (белая глина)	Матовый; белый	Белая	Не заметна	1	Землистые массы	Размокает в воде	Фарфоро-фаянсовая промышленность
23	Тальк	Жирный; белый, серый	Белая	Не заметна	1	Скрытокристаллические агрегаты	Цвет, твердость, жирный на ощупь	Огнеупорные и смазочные материалы
24	Лабрадор	Стеклянный; темно-серый с иризацией	Белая	Совершенная	6	Кристаллические агрегаты, кристаллы	Цвет, иризация, твердость, спайность в двух направлениях	Облицовочный камень
25	Ортоклаз	Стеклянный; от белого до светло-красного	Белая	Совершенная	6	Кристаллические агрегаты, кристаллы	Цвет, твердость, спайность в двух направлениях	Керамическое сырье

3.2. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ

В этом разделе приведена характеристика различных по происхождению и составу горных пород, вся совокупность которых образует земную кору. Без знания условий формирования горных пород, их состава и свойств невозможно проведение работ по разведке месторождений и всей хозяйственной деятельности. Для специалистов горного направления сведения о горных породах имеют особое, первостепенное значение.

Содержание и назначение раздела

Общие сведения о горных породах и их составе; понятие о формах залегания пород, их структуре и текстуре; характеристика магматических, осадочных и метаморфических пород по схеме:

- условия образования и состав;
- структуры и текстуры;
- классификации и характеристика отдельных типов;
- формы залегания в земной коре.

В главе приведена краткая общая характеристика горных пород и несколько десятков наиболее распространенных видов, в то время как известно более тысячи их наименований. В горном деле используются данные о физико-механических свойствах пород, которые в свою очередь зависят от условий их образования, минерального состава и структурных особенностей. Сведения о горных породах будут необходимы также при характеристике всех геологических процессов. В связи с этим очевидна особая значимость настоящего раздела. В результате его изучения студент должен знать приведенные классификации и характеристики пород различного происхождения.

Горные породы. Это однородные по составу минеральные агрегаты, возникшие в результате различных геологических процессов и образующие самостоятельные тела в земной коре.

По своему происхождению горные породы делятся на три основные группы – магматические, осадочные, метаморфические.

Из нескольких десятков породообразующих минералов в горных породах выделяют главные, количество которых превышает 5% объема, и второстепенные – меньше 5 %. Отдельно рассматриваются рудные минералы, количество которых может быть различным. Акцессорные минералы составляют ничтожную, но обычно очень важную во многих отно-

шениях, часть породы. В большем или меньшем количестве в горных породах развиты вторичные минералы, заместившие ранее образованные.

Темноцветные минералы, как правило, содержащие железо, магний и марганец, обуславливают темный цвет горных пород. Такие породы называют меланократовыми. Светлые породы – их называют лейкократовыми – содержат в основном светлоцветные силикаты.

Горные породы образуют в земной коре объемные тела с характерными формами залегания в виде слоев, пластин, линз, столбов и других конфигураций. Размеры их также варьируют от самых незначительных, измеряемых сантиметрами, до грандиозных по своим масштабам. Формы тел горных пород, в том числе полезных ископаемых, это те элементы, из которых складывается общая глубинная геометрия любого участка земной коры или месторождения.

Специфические условия образования любой породы находят отражение не только в минеральном составе, формах нахождения (залегания) в земной коре, но и в особых ее признаках, которые называются структурой и текстурой породы. По этим признакам можно судить и об условиях образования горных пород и об их физико-механических свойствах. Поэтому в характеристике пород всегда присутствуют сведения об их структуре и текстуре.

Под структурой горной породы понимается форма, размер минералов или частиц из которых она состоит, а также степень кристалличности породы (скрытокристаллическая, аморфная, полнокристаллическая структура).

Текстура породы – это особенности пространственного и взаимного расположения минералов, частиц или обломков, из которых состоит порода (массивная, слоистая, пятнистая текстура и т. д.).

Далее приводятся более полные сведения о горных породах различного происхождения, включающие их классификацию, характеристику структурно-текстурных особенностей и состав. При этом, из всего разнообразия горных пород, насчитывающего более тысячи наименований, в качестве примера взяты только наиболее распространенные виды, изучение которых в лабораторных условиях предусмотрено учебной программой.

Магматические породы

Магматические породы образуются в результате остывания и кристаллизации жидкого силикатного расплава (магмы) в недрах Земли или на ее поверхности. В связи с этим выделяют интрузивные (глубинные), эффузивные (излившиеся, вулканические) и промежуточные (полуглубинные) магматические породы.

Общая характеристика магматических пород. Магматические породы самые распространенные в земной коре. Они составляют более 60% ее объема и около 90% массы. Эти породы очень разнообразны по своему минеральному и химическому составу, строению, формам залегания в зем-

ной коре. Их разделяют по содержанию кремнезема (SiO_2). Дополнительным признаком является содержание щелочных металлов (K и Na). Выделяют ультраосновные (SiO_2 менее 45%), основные (45 – 52%), средние (52 – 65%), кислые (65 – 75%) и ультра кислые (более 75%) породы.

К ультраосновным породам (ультрабазитам) относят перидотит, пироксенит, дунит; к основным – габбро, диабаз, базальт; к средним – диорит, андезит, сиенит, трахит; к кислым – гранит, гранодиорит, кварцевый порфир, липарит, дацит; к ультракислым – пегматит.

Главными породообразующими минералами магматических горных пород является кварц, полевые шпаты, слюды, амфиболы, пироксены, оливин. Полевые шпаты представлены ортоклазом, микроклином (калиевые шпаты), альбитом, лабрадором (натрий-кальциевые шпаты – плагиоклазы); слюды – мусковитом и биотитом; из амфиболов – в основном роговая обманка.

Второстепенными (акцессорными) обычно являются апатит, циркон, магнетит, титанит, рутил. Вторичными могут быть хлорит, серицит, серпентин, эпидот, карбонаты и др. Второстепенные и вторичные минералы не играют существенной роли при определении типа магматических пород.

Структура магматической породы отражает те условия, в которых происходило остывание магмы, и определяется двумя признаками: степенью кристалличности породы и размерами кристаллов в ней.

По степени кристалличности выделяются структуры полнокристаллические и неполнокристаллические (скрытокристаллические). Полнокристаллические могут образовываться только в условиях медленного остывания магмы, когда магматический расплав весь без остатка превращается в хорошо видимый кристаллический агрегат. Поэтому полнокристаллические структуры характерны для интрузивных пород, формирующихся при медленном, а следовательно длительном остывании магмы на глубине (рис. 3.8-а).

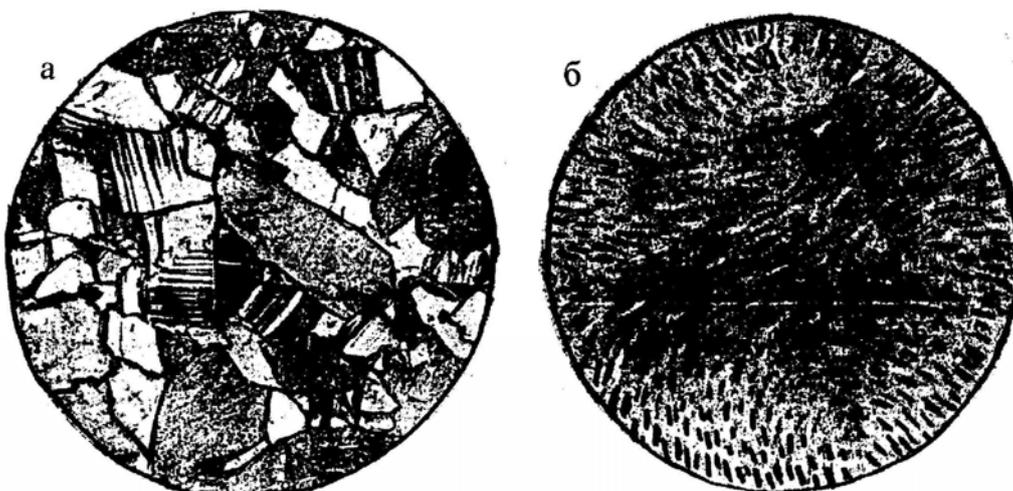


Рис. 3.8. Полнокристаллическая и скрытокристаллическая структуры соответственно у гранита (а) и базальта (б) (под микроскопом)

По абсолютным размерам кристаллических зерен минералов различают гигантозернистую структуру (более 10 мм), крупнозернистую (5-10 мм), среднезернистую (2-5 мм), мелкозернистую (0,5-2 мм), скрытокристаллическую, стекловатую (рис. 3.8-б).

Скрытокристаллическая и стекловатая структуры характерны для эффузивных пород. Образование их происходит при таком быстром остывании, что кристаллы вырасти не успевают. В большинстве случаев различить их можно только под микроскопом. Стекловатая структура характеризует аморфное (как у стекла) состояние вещества.

Текстуры магматических пород различаются по характеру распределения в них минеральных зерен и по степени заполнения ими пространства. Для интрузивных пород характерны массивные текстуры, где минералы, слагающие горную породу, плотно прилегают друг к другу и равномерно распределяются по всему ее объему.

Эффузивные породы также имеют массивную текстуру, но чаще пористую – с кавернами и пустотами, которые оставлены пузырьками газа, выделяющегося из лавы. Особенно крупные каверны образуются в условиях подводных излияний, когда остывание лавы происходило еще быстрее вследствие большой теплоемкости воды.

Классификация магматических пород. В основу классификации положены два основных признака: условия, при которых происходит остывание магмы и ее химический состав, выражающийся в комплексе минералов слагающих породу.

Следует принять во внимание, что классификация магматических пород в табл. 3.4 представляет упрощенный ее вариант. В ней приводятся обобщенные названия только главных разновидностей пород. В частности, не показаны ряды так называемых щелочных пород, представленных аляскитами, сиенитами, трахитами и др.

Формы залегания магматических пород. Эти формы отражают условия, в которых породы образовались.

Для эффузивных, излившихся пород такими формами являются покровы, лавовые потоки, купола.

Лавовые покровы – застывшие лавовые разливы площадью до десятков тысяч квадратных километров. Они формируются из магмы с малой вязкостью и высокой температурой, излившейся обычно через разломы в земной коре.

Лавовые потоки – вытянутые лавовые тела, которые формируются в местах со сложным рельефом местности, заполняя долины водотоков.

Лавовые купола – сводообразные образования, застывшие в процессе выдавливания вязкой магмы через жерло вулкана (экструзивные тела).

Таблица 3.4.

Классификация магматических горных пород

Типы пород по условиям образования	Типы пород по содержанию SiO ₂ , %				Структуры	Текстуры
	Кислые >65	Средние 52-65	Основные 45-52	Ультраосновные <45		
Интрузивные	Гранит	Диорит	Габбро, лабрадорит	Пироксенит, дунит, перидотит	Полнокристаллические	Массивные
Эффузивные	Липарит	Андезит	Базальт	Пикрит	Скрытокристаллические	Пористые, массивные
Преобладающий цвет	Белый, розовый, светло-серый	Серый	Темно-серый до черного	Черный		
Минеральный состав пород	Кварц, калиевые полевые шпаты, кислый плагиоклаз, слюды, амфиболы	Средний плагиоклаз, роговая обманка, слюды, кварц	Основной плагиоклаз, пироксенит, роговая обманка, слюды, оливин	Пироксенит, оливин, амфиболы, основной плагиоклаз, магнетит		

Интрузивный магматизм образует в земной коре разнообразные по форме магматические тела, называемые интрузиями или интрузивами. Форма образующихся интрузивных тел, характер их контактов с вмещающими породами зависит как от механизма внедрения магмы, так и от ее физических свойств.

В зависимости от соотношения с вмещающими породами интрузивы делятся на согласные и несогласные – секущие под разными углами вмещающие породы.

К согласным интрузивным телам относятся силлы, лакколиты, лополиты, факолиты, а к несогласным – батолиты, штоки, дайки, некки, жилы (рис. 3.9).

Силлы – пластообразные тела, образующиеся в результате внедрения магмы между слоями осадочных пород. Площади отдельных силлов могут достигать тысяч квадратных километров.

Лакколиты – тела караваеобразной или грибовидной формы, образующиеся в результате нагнетания вязкой магмы кислого состава. Размеры от сотен метров до километров.

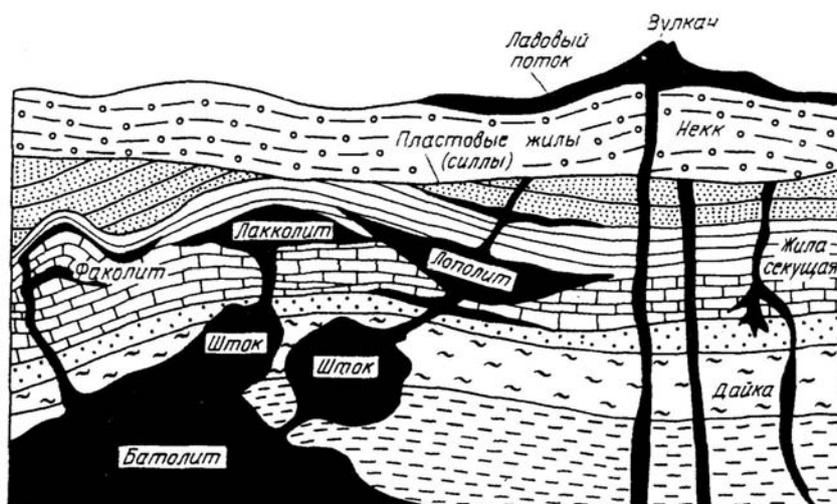


Рис. 3.9. Формы интрузивных и эффузивных тел магматических пород в земной коре (схема)

Лополиты – межпластовые чашеобразные тела, образование которых обусловлено проседанием горных пород под тяжестью внедрившейся магмы.

Факолиты – относительно небольшие тела, приуроченные к местам перегибов слоев осадочных пород.

Батолиты – наиболее крупные глубинные тела, состоящие обычно из гранитов и близких к ним по составу пород. Площадь их распространения измеряется тысячами квадратных километров. К низу батолиты обычно расширяются, однако общая мощность их по геофизическим данным не превышает 5-10 км.

Штоки – тела неправильной формы, иногда площадью сечения до 100 км². Обычно они приурочены к пересечениям крупных вертикальных разломов в земной коре и могут быть сложены разными по составу породами. Нередко штоки являются ответвлениями от батолитов.

Дайки – интрузии плитообразной формы, пересекающие любые другие породы. Размеры варьируют от метровых тел до образований мощностью в сотни метров.

Некки – трубообразные тела, представляющие собой отвердевшие жерла древних вулканических аппаратов заполненных магмой.

Жилы – неправильной формы вытянутые тела с изгибами, изменчивой мощностью и ответвлениями. Образуются в результате заполнения магмой таких же неправильных по форме трещинных зон в земной коре.

Осадочные породы

Осадочные породы могут образовываться различными путями – в результате накопления обломков, выпадением в осадок продуктов химических реакций, из остатков растений и животных или вследствие совместного проявления указанных процессов. В том числе при участии продуктов вулканической деятельности.

В зависимости от способа образования и состава осадочные породы делятся на обломочные, глинистые, химические (хемогенные), органические (ораногенные) и смешанные.

Обломочные породы. Эти породы сформировались из обломков – продуктов разрушения любых пород. По размерности обломков такие осадки и породы, которые из них образовались, делят на:

- грубообломочные или псефиты (обломки размером более 2 мм) – валуны, щебень, конгломерат и др.;
- песчаные или псаммиты (2-0,1 мм) – пески, песчаники;
- пылевые или алевриты (0,1-0,01 мм) – алевриты, лессы, алевролиты;
- глины или пелиты (менее 0,1 мм) – глины, аргиллиты (уплотненные, неразмокающие глины).

Осадки, состоящие из обломков – это рыхлые, сыпучие образования, а породы, формирующиеся из них – монолитные, цементированные. В качестве цементирующего компонента может быть глина, кремнистое вещество, карбонаты, железистые и другие соединения.

Обломки в осадках и породах могут быть остроугольными или окатанными (рис. 3.10). Окатанность (сглаженность) обломки приобретают в процессе переноса их водными и воздушными потоками или в волноприбойной зоне водоемов.

Структуры обломочных пород – обломочные, соответственно, грубообломочные, песчаные, пылевые, глинистые.

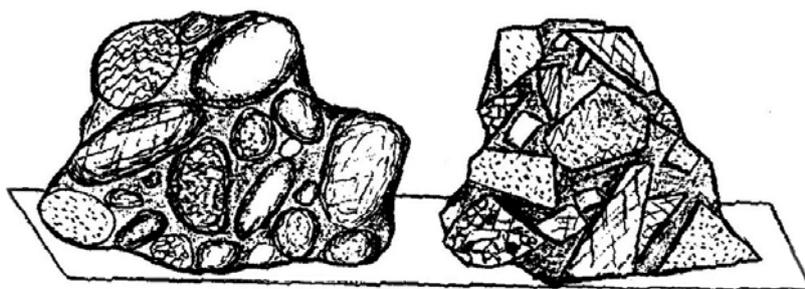


Рис. 3.10. Цементированные грубообломочные породы:
 а – конгломерат гравийно-галечный, б – брекчия дресвяно-щебниевая

Текстуры – слоистые, беспорядочные, землистые. Слоистая текстура образуется чередованием слойков и слоев, отличающихся по составу, цвету или другим признакам. Землистая – у слабосцементированных, легко разминающихся пород, таких как лесс.

В основе классификации обломочных пород три основных признака – размер обломков, степень их сцементированности и окатанности (табл.3.5). Глинистые породы, присутствующие в классификации, рассматриваются здесь условно, с учетом только одного их признака – размера глинистых частиц. Для глин существует своя классификация, которая учитывает их минеральный состав – глины гидрослюдистые, каолиновые, монтмориллонитовые (бентонитовые) и др., отличающиеся по цвету и физическим свойствам.

Таблица 3.5.

Классификация обломочных осадочных пород

Размер обломков, мм	Обломочные породы и формы обломков				Структура
	Рыхлые		Цементированные		
	Остроугольные	Окатанные	Остроугольные	Окатанные	
Более 100	Глыбы	Валуны	Глыбовая брекчия	Валунный конгломерат	Грубообломочная (псефитовая)
100-10	Щебень	Галечник	Брекчия	Конгломерат	
10-2	Дресва	Гравий	Дресвяник	Гравелит	
2-0,1	Песок		Песчаник		Песчаная (псаммитовая)
0,1-0,01	Алеврит (лесс, пыль)		Алевролит		Пылевая (алевритовая)
Менее 0,01	Глина		Аргиллит		Глинистая (пелитовая)

Химические породы. Эти породы возникли в результате химических преобразований других пород на дневной поверхности или за счет выпадения осадков из пересыщенных солями вод (например, при выпаривании водоемов).

В зависимости от химического состава породы делят на карбонатные (известняк – CaCO_3 , известковый туф, доломит - $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$); кремнистые (кремнистый туф); железистые (лимонит - $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$); галоидные (каменная соль – NaCl); сернокислые (гипс - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ангидрит - CaSO_4); глиноземистые (боксит - Al_2O_3); смешанные (мергель – смесь кальцита и глинистоалевролитового материала).

Структуры химических пород кристаллические, скрытокристаллические, оолитовые.

Текстуры – слоистые, землистые, натечные.

Диагностические признаки химических пород отмечены в последней графе их классификации (табл. 3.6).

Таблица 3.6.

Классификация химических осадочных пород

Наименование породы	Тип пород	Минеральный состав	Диагностические Признаки
Известняк, известковый туф	Карбонатные	Кальцит (CaCO_3)	Кристаллическая или скрытокристаллическая структура. У туфа пористая текстура. Цвет разный. Вскипает с HCl .
Гипс	Сернокислые	Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	Кристаллически-зернистая структура. Бесцветный, белый.
Каменная соль	Галоидные	Галит (NaCl)	Соленый вкус.
Бурый железняк	Железистые	Лимонит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)	Ржаво-бурые массы, рыхлые, пористые, иногда с оолитовой структурой
Боксит	Глиноземистые	Глинозем (Al_2O_3)	Агрегаты красновато-бурого цвета, часто с оолитовой структурой
Мергель	Смешанные	Смесь кальцита и глинисто – алевритового материала	Цвет белый. Скрытокристаллическая, алевритовая структура. Вскипает с HCl , оставляя после реакции глинистое пятно

Органические породы. Эти породы образовались в результате жизнедеятельности растительных или животных организмов. Они также разнообразны по составу, происхождению и делятся на основные три типа:

- зоогенные (лат. *зоо* – животное);
- фитогенные или гумусовые (лат. *гумус* – земля, *фитос* – растение);
- сапротелевые (гр. *сапрос* – гнилой, *пелос* – ил).

Зоогенные породы состоят из раковин моллюсков или скелетных остатков организмов. Например, известняк-ракушечник, коралловый известняк, писчий мел.

Фитогенные образуют последовательный генетический ряд пород, началом которого является торф, накапливающийся в болотах. Торф – это растительная масса, превращенная в гумус – продукт ее разложения в восстановительной водной среде болот без доступа кислорода. В результате тектонического погружения торфяных слоев на глубину во впадинах торф претерпевает сложнейшие процессы углефикации и последовательно превращается вначале в бурый уголь, а затем в каменные угли различного марочного состава. Дальнейшее погружение на глубины более 7 – 8 км превращает каменный уголь в антрацит.

Сапропелевые породы образуются из сапропеля, который накапливается в застойных водоемах – озерах, болотах, некоторых морях, лагунах, старицах. Он представляет собой смесь тонкого минерального ила (глины) и разложившейся органической массы, состоящей из остатков простейших водорослей и организмов, мягких тканей животных. В быту эту черную, жирную, липкую грязь с характерным гнилостным запахом называют «мулом». В отличие от высших растений, состоящих в основном из клетчатки [$n(C_6H_{10}O_5)$], органическая масса в сапропеле – это жиры, белки, углеводы, из которых состоят ткани организмов.

Дальнейшее преобразование сапропеля связано с его тектоническим погружением вглубь земной коры. В зависимости от величины погружения, мощности слоев сапропеля, содержания в нем органических веществ и иных условий могут образовываться: сапропелевые угли, горючие сланцы, битумы (лат. битумен – смола) – нефтяные газы, нефти, асфальты и другие породы.

Все горючие полезные ископаемые органического происхождения имеют общее название – каустобиолиты (гр. *каустос* – *горючий*, *биос* – *жизнь*, *литос* – *камень*).

Структуры органических пород – органогенные.

Текстуры – слоистые, беспорядочные, землистые.

В табл. 3.7 приведены некоторые важные характеристики органических пород.

Формой залегания осадочных пород является слой или пласт (если речь идет о полезном ископаемом). Слой – это геологическое тело однородного состава, ограниченное примерно параллельными поверхностями выше- и нижележащего слоев и распространенное на значительной территории. Каждый слой имеет кровлю и почву – поверхности, отделяющие его соответственно от более молодого и более древнего слоя. Истинная мощность слоя – это кратчайшее, по перпендикуляру расстояние между кровлей и почвой.

Таблица 3.7.

Характеристика некоторых органических пород

Название породы	Цвет	Состав и происхождение	Характерные признаки
Известняк - ракушечник	Белый, желтый	Целые раковины моллюсков, или их обломки, скрепленные цементом	По видовому составу моллюсков можно определить возраст породы
Писчий мел	Белый	Обломки скелетов простейших морских организмов	Оставляет белую черту на твердых предметах
Торф	Бурый	Гумифицированные части растений	Легко разминается
Бурый уголь	Бурый	Плотный, полностью обуглероженный торф при температуре до 60-70°	Легкая, высокопористая масса с фрагментами растений
Каменные угли марок Д, Г, Ж, К, ОС, Т, ПА	Черный	Последовательный ряд по степени углефикации вещества при температуре до 370°С	Блеск матовый, сильно трещиноватые, пачкают руки
Антрацит	Черный	Высшая степень углефикации каменных углей при температуре более 370°С	Трещиноватый, блестящий, рук не пачкает
Горючий сланец	Темно-коричневый	Плотная глинистая порода с запахом битума	В тонких сколах свежий сланец горит коптящим пламенем
Нефть и горючий газ (метан CH ₄)	От белого до черного	Из жидких и газообразных углеводородов растительного и животного происхождения	Маслянистая жидкость различной вязкости, газ – без цвета и запаха

Метаморфические породы

Метаморфические породы образуются в результате преобразования осадочных, магматических или ранее существовавших метаморфических пород под воздействием высокой температуры, давления и химически активных веществ – жидких и газообразных флюидов. Преобразования происходят в твердом состоянии и выражаются в изменении минерального, а часто и общего химического состава, текстуры, структуры исходных пород. Степень изменений зависит от интенсивности, глубины и продолжительности воздействия факторов метаморфизма. В связи с этим можно говорить о рядах метаморфических пород, начиная

от исходных и кончая глубокометаморфизованными породами со всеми промежуточными их видами.

Например, исходная порода глина или аргиллит преобразуется вначале в глинистый сланец. Далее, по мере увеличения глубины погружения, глинистый сланец превращается в филлит, филлит – в слюдяной сланец, слюдяной сланец – в гнейс. Такие превращения осуществляются на протяжении многих десятков и сотен миллионов лет.

Сами факторы метаморфизма – давление, температура, флюиды – следствие изменяющихся геологических условий существования исходных пород, вызванных погружением их на большие глубины, проникновением в них магмы или механическим воздействием на породы. Все эти особенности находят отражение в составе, структуре и текстуре метаморфических пород. Некоторые черты этих признаков наследуются ими от исходных пород.

Минеральный состав метаморфических пород определяется с одной стороны условиями метаморфизма, а с другой составом исходных пород. Главными породообразующими минералами метаморфических пород являются кварц, полевые шпаты, слюды, пироксен, роговая обманка, кальцит. Наряду с ними присутствуют такие минералы как гранат, хлорит, тальк, серпентин, которые образуются при метаморфических процессах.

Структура всех метаморфических пород кристаллическая, скрытокристаллическая.

Текстура – важнейший отличительный признак метаморфических пород. Выделяют сланцеватую, полосчатую, гнейсовую, массивную (рис. 3.11).

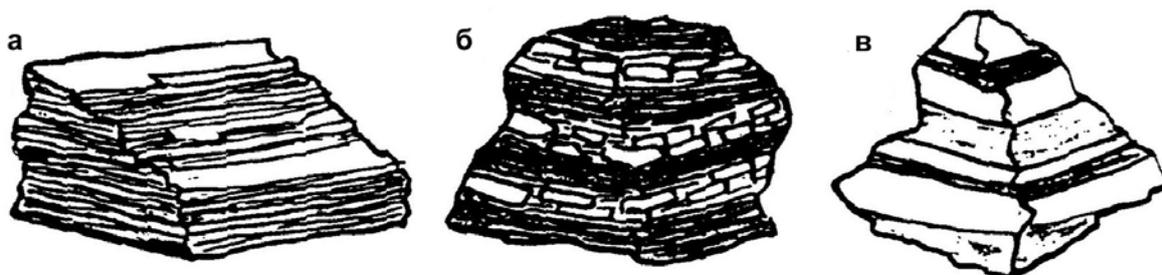


Рис. 3.11. Текстуры метаморфических пород:
а – сланцеватая, б – гнейсовая, в – полосчатая

Сланцеватая текстура обуславливается параллельным расположением в породе вновь образованных чешуйчатых, таблитчатых минералов. Порода раскалывается на плитки по этим же направлениям. Формирование сланцеватых текстур происходит под действием длительного одностороннего давления на исходные породы.

Полосчатая – отличается полосчатым, слоеобразным чередованием полосок, отличающихся по составу, цвету или иным признакам. Такие текстуры наследуются от осадочных слоистых пород.

Гнейсовая – выражается в параллельной ориентировке удлиненных кристаллов, чередовании в породе вытянутых в этом же направлении отдельных ее частей в виде линз и полосочек, отличающихся по минеральному составу.

Массивную отличает равномерное распределение минералов в породе, так же как и у магматических пород.

В таблице 3.8 приведена характеристика наиболее распространенных разновидностей метаморфических пород. В последней графе таблицы даны названия исходных пород – тех, из которых возникла та или иная метаморфическая порода. Например, аргиллит – исходная порода для образования глинистого сланца.

Таблица 3.8

Наиболее распространенные метаморфические породы

Метаморфические породы	Минеральный состав	Некоторые отличительные признаки	Исходные породы
Глинистый сланец	Глинистые минералы, серицит	Цвет темно-серый до черного, текстура сланцеватая	Аргиллит
Филлит	Серицит, кварц	Такие же как у глинистого сланца, но с шелковистым блеском	Глинистый сланец
Слюдяной и кристаллический сланцы	Кварц, слюды, гранат	Текстура сланцеватая, структура чешуйчато-зернистая	Филлит, песчано-глинистая порода
Гнейс	Кварц, полевые шпаты, слюды	Внешний облик и минеральный состав близки к гранитам. Текстура гнейсовая	Кристаллический сланец
Тальковый сланец	Тальк, хлорит, кальцит	Чешуйчатая и скрытокристаллическая масса талька	Магматические ультраосновные породы
Серпентинит	Серпентин	Зеленоватая пятнистая порода часто с прожилками асбеста	Магматические ультраосновные породы
Амфиболит	Роговая обманка, плагиоклазы	Цвет от зеленовато-серого до черного. Текстура массивная	Основные и средние магматические породы
Мрамор	Кальцит (CaCO ₃)	Структура кристаллическая. Текстура массивная, часто полосчатая, вскипает с HCl	Известняк
Кварцит	Кварц	Порода состоит из мелких зерен кварца, скрепленных кварцевым цементом. Очень плотная и крепкая. Текстура массивная	Кварцевый песчаник

Метаморфические породы не имеют самостоятельной формы залегания. Они частично унаследуют формы тех пород, из которых образовались. Чаще всего метаморфические породы залегают в виде сложнонарушенных смятых слоев или слагают периферийные зоны интрузивов.

Методические замечания и рекомендации

Сведения о горных породах будут усвоены лучше, если их дополнить краткой характеристикой условий, при которых происходило их образование на протяжении всего периода формирования земной коры. В связи с этим необходимо понять следующее.

Магматические породы возникли самыми первыми на Земле, когда в условиях существования высоких температур магматические расплавы образовывались повсеместно. Формировались они и во все последующие эпохи, так как магматические процессы периодически возобновлялись. Магма возникала на глубине, внедрялась в вышележащие породы, изливалась на поверхность при вулканических извержениях. В результате магматические породы слагают основную часть земной коры.

Осадочные породы могли возникнуть только из продуктов разрушения магматических, которые выветривались на поверхности до состояния мелких обломков, песка, глин, разнообразных растворимых соединений. При этом процесс осадочного породообразования во все эпохи становления земной коры имел неповторимые черты, так как со временем изменялся химический состав атмосферы, начиная от первичных вулканических газов, не содержащих кислород. Также непрерывно изменялся химизм гидросферы, температурный режим, состав разрушаемых пород, органическая жизнь на Земле. Все это нашло отражение в своеобразном для каждой исторической эпохи составе и распространении осадочных пород. Процесс образования этих пород в настоящее время происходит на Земле повсеместно и также характеризуется своими особенностями. Главная из них в том, что в процесс осадконакопления активно вмешалась производственная деятельность человека.

Осадочные породы слагают самые верхние части материков, дна морей и океанов, часто содержат различные по степени сохранности остатки организмов и растений, существовавших во времена накопления соответствующего осадка. Следует также подчеркнуть, что осадочные породы редко представляют собой чистые разности. Чаще это смесь в различных соотношениях зерен разной крупности. Примесь глины отмечается практически во всех породах, а в углях содержание минеральных примесей – глины, алеврита, (золы) может быть от нескольких до 50% и более. Поэтому осадочную породу называют по той ее составляющей, которая присутствует в количестве более 50%. Например, в углистой глине угольное вещество составляет менее 50% объема породы.

Метаморфические породы являются продуктом изменений любых пород, под влиянием новых, необычных для них физических и химических условий, в которых они по тем или иным причинам вынуждены пребывать длительное время. Каждый минерал исходной породы, попадая в условия, где господствуют высокие давления, температура и существует необычная химическая среда, теряет былую устойчивость. Он вынужден приспособиться к этим условиям – изменить свою кристаллическую решетку, химический состав, то есть образовать новые устойчивые минеральные виды. Метаморфические породы с течением времени также видоизменялись, так как состав исходных пород и температурные условия на Земле не оставались постоянными. Естественно, что метаморфические породы располагаются преимущественно в средней части земной коры в виде сложных по форме деформированных тел.

При изучении горных пород основное внимание следует уделить классификационным таблицам и принципам их построения.

Задания для самоконтроля

- 1. Дайте определение понятию «структурные и текстурные признаки горной породы».*
- 2. Охарактеризуйте признаки, по которым производится классификация магматических пород.*
- 3. По каким основным показателям гранит отличается от базальта?*

4. Охарактеризуйте признаки, по которым производится классификация обломочных осадочных пород.
5. Каковы типы и наименования химических осадочных пород?
6. Что явилось основой для разделения органических осадочных пород на три класса?
7. Как образуются метаморфические горные породы?
8. В чем состоит сходство и различие текстур метаморфических и магматических пород?

3.3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ЛЕТОИСЧИСЛЕНИЕ (ГЕОХРОНОЛОГИЯ)

Земная кора самая сложная по строению оболочка Земли. Она образована сочетанием пород различного происхождения, состава и возраста. К этому следует добавить то, что во многих случаях первичное залегание пород было неоднократно нарушено перемещениями отдельных блоков земной коры относительно друг друга. Поэтому решение главных задач геологии – выяснение условий и последовательности формирования любого участка коры – невозможно без определения возраста горных пород. Это сложнейшая проблема решалась сотни лет усилиями геологов всего мира.

Содержание и назначение раздела

Понятие о возрасте горных пород и земной коры; методы определения относительного и абсолютного возрастов пород – стратиграфические, палеонтологические, изотопные; геохронологическая (временная) шкала истории развития земной коры за весь период ее существования (4,5 млрд. лет); стратиграфическая шкала последовательности пород различного возраста; геохронологическая таблица как основной документ, объединяющий геохронологическую и стратиграфическую шкалы.

Геологическое летоисчисление имеет важнейшее значение. Именно благодаря разработке методов установления возраста горных пород получили развитие геолого-исторические науки (палеонтология, стратиграфия, историческая геология), а на их основе и остальные направления в геологии. В связи с этим необходимо хотя бы краткое ознакомление с методами и результатами геологического летоисчисления.

Возраст любого материального объекта можно оценить путем сравнения его с возрастом другого объекта и решить, какой из них старше или младше. Такая оценка называется относительным возрастом. Другой путь – установить продолжительность существования объекта и выразить это в единицах времени – годах. Такой возраст называется абсолютным.

Методы определения возраста горных пород

Для геологических построений и выводов необходимы знания и относительного и абсолютного возраста горных пород. Поэтому, постепенно дополняя друг друга, развивались следующие основные методы оценки возраста пород:

- стратиграфические;
- биостратиграфические (палеонтологические);
- радиологические (изотопные).

Стратиграфические методы. Эти методы основаны на очевидном факте – верхний из двух горизонтально залегающих слоев является более молодым. Таким способом можно установить относительный возраст пород в тех местах, где они обнажаются (рис. 3.12). Такой же метод определения относительного возраста слоев применяется при сравнении данных, полученных по рядом расположенным скважинам.

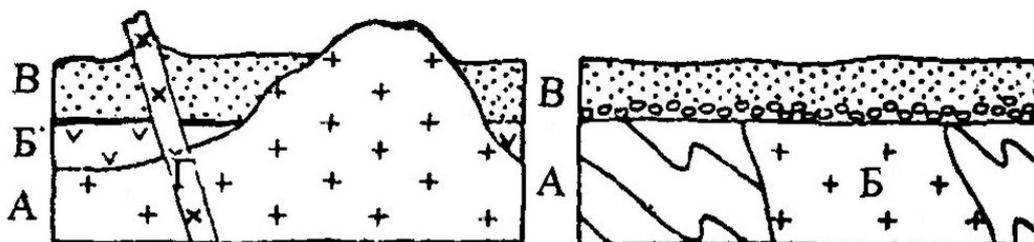


Рис. 3.12. Последовательность образования геологических тел – А, Б, В, Г

Палеонтологический метод. Этот метод широко применяется при установлении относительного возраста пород. В его основе используется главный принцип эволюции органического мира – непрерывное и постепенное усложнение организмов, появление их более организованных форм и вымирание предшествующих, плохо приспособленных к изменениям внешней среды. Поэтому, каждому отрезку геологического времени соответствует определенный состав жизненных форм (рис. 3.13). Следовательно, одновозрастным слоям осадочных пород соответствуют остатки одних и тех же видов организмов или растений.

В палеонтологическом методе используются как видимые остатки организмов, так и микроскопические, в том числе и споры и пыльца растений, различимые только с помощью бинокля и микроскопов (микрорепалеонтологический, споро-пыльцевой методы).

В работе геологи пользуются специальными атласами, в которых помещены фотографии и описания так называемых руководящих форм – остатков организмов, для которых период существования на Земле точно установлен. Сравнивая справочные данные со своими находками органических остатков, можно определить возраст осадочных слоев, в которых они находились.

Изотопные методы. Эти методы позволяют определить абсолютный возраст горных пород. Они совершенствуются и все шире применяются при изучении земной коры.

Изотопными методами возраст пород и минералов определяется по времени распада содержащихся в них радиоактивных изотопов. В основе этих методов лежит предположение о том, что радиоактивный распад в геологическое время протекал с постоянной для каждого изотопа скоростью. Зная количество радиоактивного элемента и конечных продуктов распада в минерале, можно определить время существования породы, содержащий этот минерал. Для этого в расчет необходимо еще ввести данные о периоде полураспада, которые известны для каждого изотопа.

Используются, главным образом, уран-свинцовый, рубидиево-стронциевый, калий-аргоновый, углеродный методы. Выбор того или иного метода определяется относительным возрастом породы. Чем она древнее, тем период полураспада изотопа, который следует использовать для анализа, должен быть продолжительнее. У изотопа ^{238}U период полураспада составляет 4,51, у ^{87}Rb – 50-60, ^{40}K – 1,3 млрд. лет, а углерода (^{14}C) всего 5,5 тысяч лет. Поэтому углеродный метод широко используется в археологии.

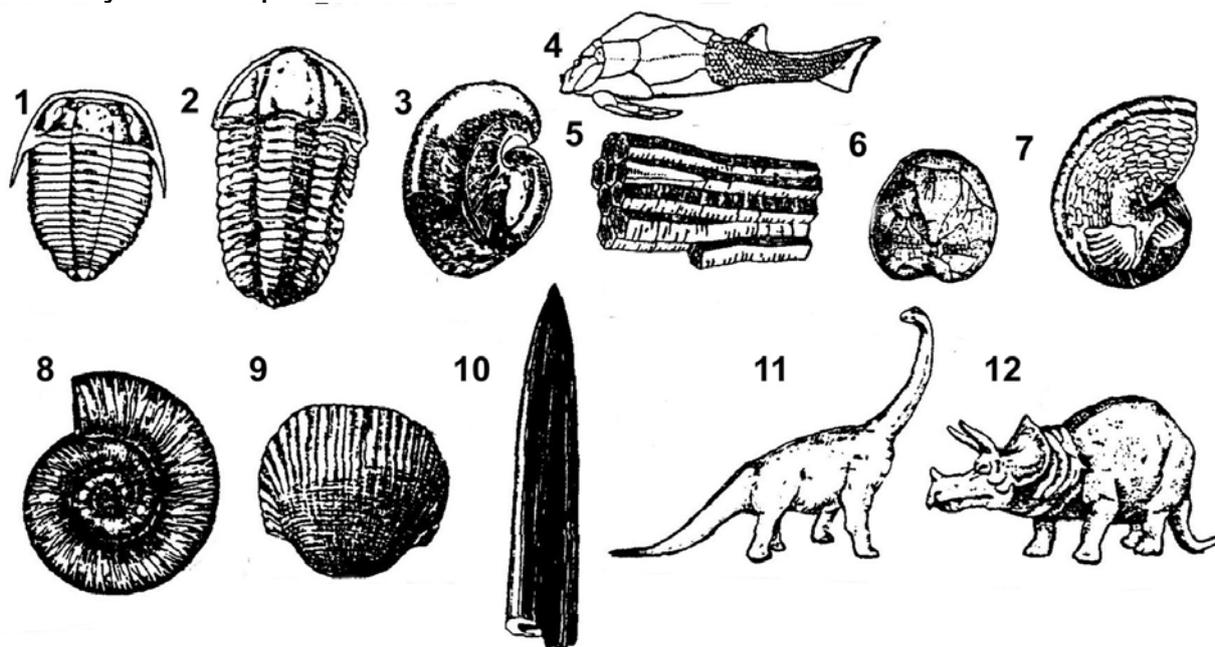


Рис. 3.13. Некоторые руководящие формы ископаемых:

1 – трилобиты (кембрий), 2 – трилобиты (ордовик), 3 – брахиоподы (силур), 4 – рыбы (девон), 5 – кораллы (карбон), 6 – брахиоподы (карбон), 7 – аммониты (пермь), 8 – аммониты (юра), 9 – эхиноидеи (мел), 10 – белемниты (триас), 11 – плезиозавр (юра), 12 – трицератопс (мел)

Геохронология

В эволюции органической жизни происходили масштабные и менее заметные перемены, обусловленные глобальными изменениями геологических условий, главным образом климатических, вызванных активизацией вулканической деятельности, падением крупных метеоритов, перемещениями оси вращения Земли и другими причинами.

Анализ таких перемен в эволюции живой материи позволил разделить геологическую историю Земли на ряд этапов развития – геохронологические единицы – единицы геологического времени. В результате была разработана и принята во всем мире геохронологическая шкала (гр. Хронос – бог времени), в которой наиболее продолжительные отрезки времени разделены на ряд менее продолжительных, а те в свою очередь еще на более короткие интервалы и т. д. Самые продолжительные отрезки – эоны – разделяются на эры, эры на периоды, периоды на эпохи.

При этом необходимо понять, что в каждый из названных отрезков времени на Земле происходило образование осадочных пород. Поэтому временным интервалам соответствуют строго определенные комплексы пород со своими свойствами, особенностями и названиями. Так была разработана соответствующая геохронологической и стратиграфическая шкала осадочного комплекса пород на Земле. Соотношение геохронологических и стратиграфических единиц показано на схеме:

геохронологические единицы:	стратиграфические единицы:
Эон	Энотема
Эра	Эратема
Период	Система
Эпоха	Отдел
Век	Ярус
Фаза	Зона

В результате совмещения геохронологической и стратиграфической шкал была получена так называемая геохронологическая таблица (табл. 3.9). Первые четыре графы таблицы имеют двойное название. Например, период (система). Первое слово здесь – название отрезка времени, а в скобках – название комплекса горных пород, образованных в это время. Так – меловой период (К), но меловая система (К); позднерюрская эпоха (J₃), но верхний отдел юры (J₃) и т. д.

В геохронологической таблице имеются также сведения о возрасте всех стратиграфических подразделений, их буквенные условные обозначения и названия цветов для указания возраста горных пород, которые отображаются на геологической графике – картах, разрезах и т. п.

Возраст Земли, как и Солнечной системы, оценивается в 6,5 – 7 млрд. лет. В истории Земли принято выделять два основных этапа: до-геологический и геологический, начавшийся около 4,5 млрд. лет назад с появлением горных пород на остывающей поверхности планеты. Геологический этап продолжается и в настоящее время.

Определение возраста лунных грунтов показало, что они старше земных на сотни миллионов лет. Это вполне объяснимо. Луна, имея меньшую массу, остывала быстрее, и поэтому процесс породообразования на ней начался раньше чем на Земле.

Методические замечания и рекомендации

Геохронологическая таблица – незаменимый рабочий инструмент, без которого невозможно изучение земной коры и составление геологической документации. По мере поступления новых данных в таблицу вносятся коррективы.

В палеонтологии за долгие годы изучения ископаемых организмов разработана подробная их классификация – так же как и в современной зоологии и ботанике с выделением типов, классов, родов животных и растений.

При изучении геохронологической таблицы обращает на себя внимание то, что в ней подробно освещены лишь последние 600 млн. лет истории земной коры. Это объясняется отсутствием в древних породах органических остатков необходимого качества, по которым можно было бы произвести геохронологическое расчленение. Под качеством остатков понимается степень их сохранности, а она в этих породах очень низкая ввиду отсутствия у примитивных организмов твердых скелетных элементов. Не менее важным является то, что осадочные породы, возникшие в архее и протерозое в подавляющем большинстве своем преобразованы в метаморфические и поэтому лишились следов органической жизни.

Таблица 3.9

Геохронологическая таблица

Эон (эоно- тема)	Эра (группа)	Период (система)	Индексы	Эпоха (отдел)	Возраст, млн. лет	Условный цвет	
Фанерозойский РН	Кайнозойская KZ	Четвертичный	Q	Голоценовая Плейстоценовая	1.8	Серовато- желтый	
		Неогеновый	N	Плиоценовая Миоценовая	23±1	Желтый	
		Палеогеновый	P	Олигоценвая Эоценовая Палеоценовая	65±3	Оранжевый	
	Мезозойская MZ	Меловой	K	Поздне меловая Раннемеловая	135±5	Зеленый	
		Юрский	I	Позднеюрская Среднеюрская Раннеюрская	205±5	Синий	
		Триасовый	T	Позднетриасовая Среднетриасовая Раннетриасовая	245±10	Фиолетовый	
	Палеозойская PZ	Пермский	P	Позднепермская Раннепермская	290±10	Оранжево- коричневый	
		Каменноугольный	C	Позднекаменноугольная Среднекаменноугольная Раннекаменноугольная	350±10	Серый	
		Девонский	D	Позднедевонская Среднедевонская Раннедевонская	405±10	Коричневый	
		Силурийский	S	Позднесилурийская Раннесилурийская	435±15	Коричневато- зеленый	
		Ордовикский	O	Позднеордовикская Среднеордовикская Раннеордовикская	480±20	Темно- зеленый	
		Кембрийский	Є	Позднекембрийская Среднекембрийская Раннекембрийская	570±20	Сине-зеленый	
	Протерозойский PR	Поздний PR	Вендский	V	–	680±20	Розовый
			Рифей	R	–	1650±50	
		Ранний PR	–	PR ₁	–	2600±100	
Архейский AR	Поздний AR	–	AR ₂	–	3600±100	Малиновый	
	Ранний AR	–	AR ₁	–	>4500		

Задания для самоконтроля

1. Назовите методы и цели определения относительного и абсолютного возрастов горных пород.
2. Что является основой палеонтологического (биостратиграфического) метода определения возраста горных пород?
3. Объясните физическую сущность радиологических методов определения возраста горных пород.
4. Объясните понятие «геохронологическая шкала», «стратиграфическая шкала».
5. Какие основные графы содержит геохронологическая таблица и каково ее назначение?

4. ЭНДОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

В зависимости от источника энергии, условий и особенностей протекания все геологические процессы принято делить на две большие группы – эндогенные (внутренние) и экзогенные, протекающие в условиях дневной поверхности.

Деление это в известной степени условно, поскольку эти группы процессов неразрывно связаны и обуславливают друг друга, отражая разнообразие, сложность и единство сил, действующих на Земле. Это органическое единство и составляет сущность процесса саморазвития земного шара – геологической формы движения материи.

Эндогенные процессы – различные формы движений в земной коре, магматизм и метаморфизм – являются результатом непрерывных изменений, происходящих во внутренних оболочках Земли. Они зарождаются в недрах планеты и потому протекают в условиях повышенного давления и температуры.

Все эндогенные процессы теснейшим образом взаимосвязаны. Так, благодаря тектоническим движениям горные породы могут быть опущены на большие глубины и подвергаться метаморфическим преобразованиям. Кроме того, движения блоков литосферы создают в недрах Земли зоны растяжения, в которых снижается давление и горные породы в них расплавляясь превращаются в магму. О взаимосвязи этих процессов всегда необходимо помнить познавая сложнейшую картину развития земной коры.

После изучения четвертого раздела следует ознакомиться с содержанием Приложения А, где в табличной форме дана классификация и краткая характеристика эндогенных процессов. Такая обобщенная информация призвана обеспечить целостное представление об этих процессах, способствовать закреплению учебного материала.

4.1. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭНДОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Без понимания причин возникновения эндогенных процессов трудно судить и о самих процессах, и направленности геологического развития литосферы. Круг вопросов, которые затрагиваются в этом разделе, составляет центральную проблему современной геотектоники.

Содержание и назначение раздела

Рассматривается одна из наиболее вероятных версий возникновения эндогенных процессов, а именно – в результате дифференциации мантийного вещества. Приведена краткая характеристика блокового строения земной коры, глу-

бинных разломов в ней и ее основных элементов – геосинклиналей и платформ.

Цель настоящей главы – приобщить читателя к пониманию центральных проблем геологии – выяснению причин и характера саморазвития Земли, показать всю сложность этих проблем и незавершенность их решения. Приведенные в разделе сведения необходимы также для более полной характеристики отдельных видов эндогенных процессов и их взаимообусловленности. В результате изучения данного материала студент должен иметь представление о физической и химической сущности рассматриваемых вопросов.

Существуют различные гипотезы, объясняющие причины эволюции Земли. Обычно их делят на две группы: фиксистские и мобилистские. Первые, как уже упоминалось в разделе 1.3, объясняют развитие Земли, не привлекая для этого представления о горизонтальном перемещении материковых блоков литосферы (гипотезы: контракционная, расширяющейся Земли, пульсационная, глубинной дифференциации). Вторые видят причину развития в горизонтальном перемещении пластин литосферы (гипотезы: дрейфа материков, глобальной тектоники плит, горячих точек). Детально с этими гипотезами можно ознакомиться в учебниках по общей геологии.

Общим положением всех гипотез развития Земли является то, что эндогенные процессы рассматриваются как следствие непрерывных физических и химических превращений, происходящих в более глубоких геосферах – в мантии и ядре. Указанные превращения, по мнению многих исследователей, являются следствием изменений теплового режима во внутренних оболочках планеты, которые в свою очередь возникают в процессе деления (дифференциации) вещества нижней мантии под действием сил гравитации.

Естественный вопрос – почему изменения теплового режима могут явиться причиной возникновения эндогенных процессов? Объяснить это можно следующим. Вслед за изменениями температуры вещества увеличивается или сокращается его объем, а следовательно и плотность. Этот процесс сопровождается перемещениями огромных масс мантийного вещества. Кроме того, уменьшение или увеличение плотности вещества заставляет его соответственно “всплывать” или “тонуть”, т.е. перемещаться вверх или вниз. Такие формы движения вполне реальны, так как вещество мантии в условиях высокой температуры пластично и ведет себя как вязкая жидкость. Главное при этом то, что все виды движений вещества мантии неизбежно передаются земной коре, которая просто их повторяет.

Однако такое общее заключение не объясняет многие особенности эндогенных процессов и их взаимообусловленность. Поэтому необходимо хотя

бы в общих чертах рассмотреть вариант наиболее вероятного развития земной коры, основанный на учете фактических данных об ее устройстве.

Главные особенности строения и состава земной коры заключаются в следующем:

- земная кора системой пересекающихся глубинных разломов разбита на отдельные блоки;
- состав горных пород и их положение в пространстве свидетельствуют о том, что образование их происходило в огромных прогибах в земной коре (геосинклиналях), на месте которых в результате возвратных, восходящих движений коры возникали горные сооружения;
- благодаря таким колебательным движениям земной коры, нередко повторяющимся на одном и том же месте, образовалась континентальная земная кора;
- каждый период в жизни Земли характеризовался своими особенностями распределения на планете участков коры, испытывающих восходящие и нисходящие движения.

Важно понять причину неравномерного распределения подвижных участков земной коры. Оно вероятнее всего может быть обусловлено такой же неравномерностью процессов дифференциации мантийного вещества.

Действительно, процесс дифференциации не мог быть равномерным по всей площади соприкосновения мантии с жидким внешним ядром, так как Земля имеет быстрое осевое вращение и сложную внутреннюю структуру. На процессы дифференциации могли оказывать влияние изменения скорости вращения планеты и положения оси ее вращения, сила и характер гравитационного взаимодействия с Луной, напряженность и направленность магнитного поля.

На основании таких представлений можно нарисовать дальнейшее развитие событий, связанных с проявлением всего взаимосвязанного комплекса эндогенных процессов.

Фактически любой участок земной коры в таких условиях приобретает определенную направленность и скорость движения. Поэтому вдоль границ соседних участков, движущихся в разных направлениях или с разной скоростью, неизбежно возникновение механических напряжений и, как следствие этого, образование разрывов в земной коре. Дальнейшее перемещение образовавшихся блоков относительно друг друга происходило вдоль разрывов. Такие разрывы называются глубинными разломами. Они представляют собой уходящие в мантию вертикально ориентированные зоны шириной до нескольких километров, сложенные раздробленными, перемятыми, истертыми горными породами. Сетью глубинных разломов вся земная кора разделена на тектонические блоки. На рис. 4.1 и 4.2 показана принципиальная схема и пример блочного строения земной коры. Такое строение является важнейшим ее

свойством. Оно определяет особенности магматических и метаморфических процессов.

В тех местах, где кора опускается (обычно в течение 200-300 млн. лет) формируются прогибы (впадины) глубиной до 20-30 км. Блоки земной коры, расположенные в центральных частях впадин, испытывают наибольшее погружение. Движение всех блоков прерывисто-поступательное, с длительными остановками. Поэтому среднюю скорость опускания каждого блока можно определить, разделив величину его общего погружения на продолжительность этого процесса. Эта скорость измеряется десятими долями миллиметра в год. В периоды активизации процессов опускания или поднятия скорости могут достигать 3 см в год, а в длительные периоды затишья не превышать долей миллиметра.

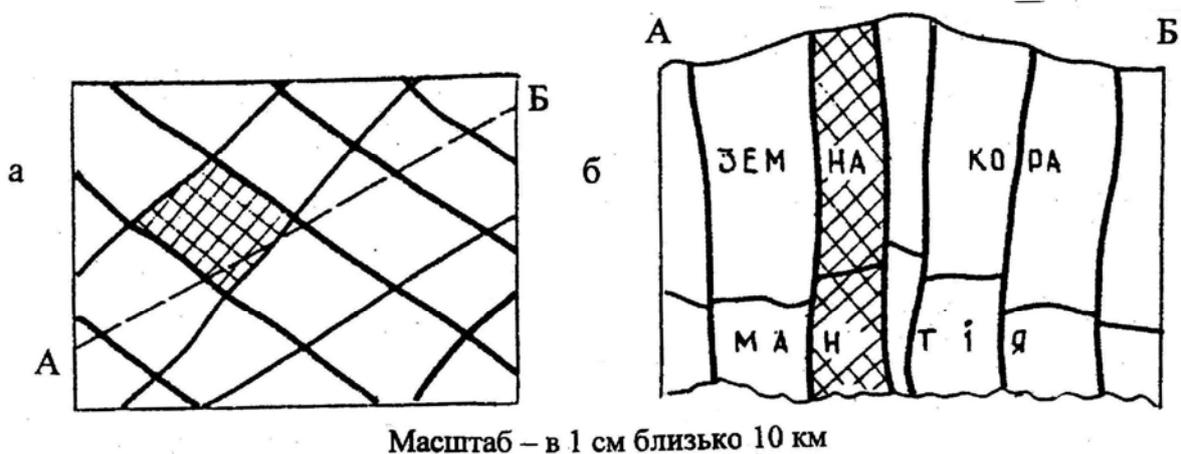


Рис. 4.1. Схема блокового строения земной коры:
а – в плане (на карте), б – в вертикальном разрезе по линии АБ

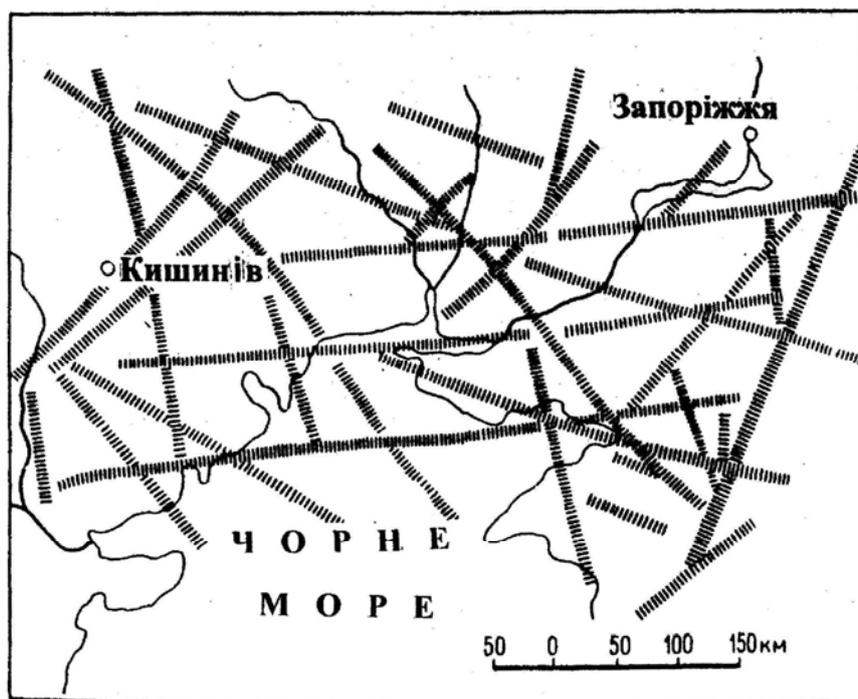


Рис. 4.2. Положение глубинных разломов в пределах южной Украины и Молдавии (по Ю.Г.Ермакову и др., 1975)

Образование впадины сопровождается возникновением на ее площади морского водоема и накоплением в нем разнообразных осадков, приносимых реками с окружающих территорий. В настоящее время такие растущие впадины приурочены к регионам Каспийского, Черного, Средиземного, Охотского, Японского и многих других морей. Во впадине занятой Каспийским морем, например, уже накопилось до 20-25 км осадочных пород, во впадине Черного – около 10 км.

В пределах впадины, одновременно с ее формированием, в верхней мантии периодически возникают магматические очаги, которые связаны с глубинными разломами. Это происходит на глубинах, где температура достигает 1300-1500°C. Расплавление твердых мантийных пород и превращение их в магму в таких местах становится возможным благодаря снижению давления вблизи разломов, вызванного общим растяжением земной коры при погружении ее блоков во впадине.

Образовавшаяся таким путем магма, как и любая жидкость, занимает больший объем по сравнению с объемом твердых пород, из которых она возникла. Это приводит к повышению давления внутри магматического очага, которое выдавливает магму вверх по разломам. На пути своего движения магма заполняет пустоты и трещины, внедряется между слоями пород и, если хватает энергии очага, вырывается на поверхность в виде вулканических извержений лавы. Глубинный магматический очаг в течение 10-15 тыс. лет остывает, магма кристаллизуется и превращается в интрузивные тела. Таким образом, помимо осадочных пород морского происхождения впадина заполняется магматическими изверженными породами. И в этом случае деятельность эндогенных и экзогенных процессов имеет общую направленность.

Третья составляющая эндогенных процессов – метаморфизм пород. Во впадине он начинает проявляться при опускании пород на такую глубину, где температура и давление обуславливают процесс перерождения минералов. Естественно, что интенсивность метаморфизма нарастает с глубиной и это находит отражение в составе вновь образованных минералов. По этому признаку выделяют соответственные стадии и зоны метаморфизма.

Известно, что выведенная из равновесного состояния природная система в дальнейшем развивается по принципу маятника. Не являются исключением и процессы в мантии. После погружения следует подъем коры в границах впадины, образование на ее месте горных сооружений, которые постепенно разрушаются экзогенными процессами. В результате территория преобразуется в так называемую платформу. При этом формирование впадины и превращение ее отложений в горные сооружения в целом называется геосинклинальным процессом (рис. 4.3). Он всегда сопровождается общим увеличением мощности коры за счет того, что амплитуда подъема дна впадины намного меньше амплитуды погружения. Это может быть вызвано тем, что при подъеме на преодоление сил гравитации требуется больше энергии.

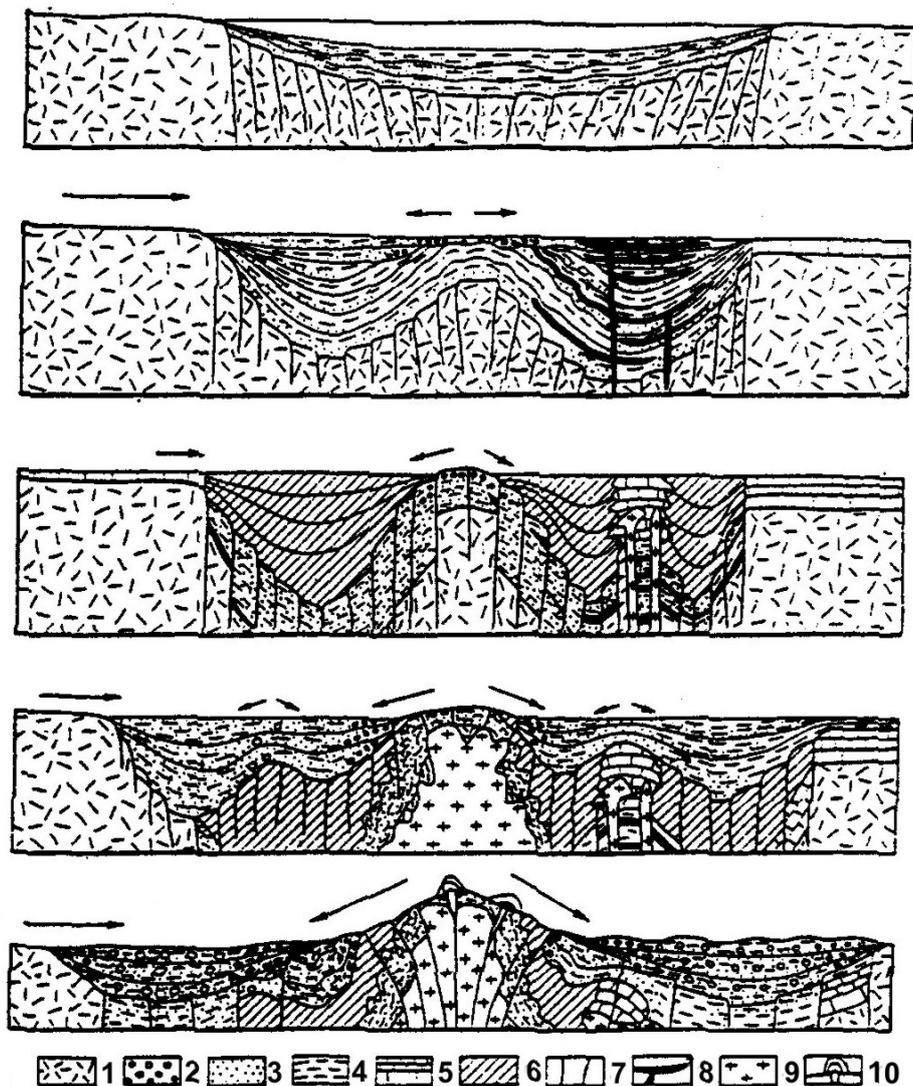


Рис.4.3. Принципиальная схема развития геосинклинальной системы в течение одного тектонического цикла (около 500 млн. лет) (по В.Е. Хаину, 1964): 1 – фундамент, 2 – конгломераты, 3 – песчаники и алевролиты, 4 – глины, 5 – известняки, 6 – флиш, 7 – разрывные нарушения (глубинные разломы), 8 – излияния и пластовые интрузии основных пород, 9 – граниты и плагиограниты, 10 – вулканические образования. Стрелки показывают направление и относительную интенсивность сноса осадочного материала для заполнения впадин

Такая схема нарастания коры в каждую эпоху истории Земли имела свои специфические черты, но в целом универсальна для всех континентов. В морских впадинах в свое время образовались породы, которые слагают современные Уральские горы, Кавказ, Карпаты и другие горные страны. Были такие впадины в протерозое и в районе нашего Среднего Приднепровья. А в относительно молодой Днепровско-Донецкой впадине (PZ-MZ возраста) располагаются угольные бассейны Центрального и Западного Донбасса.

В истории образования земной коры исследователи установили в масштабах всей планеты чередование этапов ее более активного – геосинклинального развития и этапов с преимущественно платформенными условиями. Выделено десять таких геотектонических циклов или эпох складкообразования (тектогенеза): саамскую, беломорскую, карельскую, сатпурскую (закончились к началу позднего протерозоя), байкальскую (от середины протерозоя до начала кембрия), каледонскую (от позднего протерозоя до силура-девона), герцинскую (с ордовика-девона до позднего триаса), мезозойскую (с конца палеозоя до позднего мела), альпийскую и тихоокеанскую (с перми до наших дней).

Большинство геосинклинальных систем превратилось в платформы и в настоящее время сохранились только два геосинклинальных пояса – Средиземноморский, проходящий через Карибское море, Средиземноморье, Карпаты, Крым, Кавказ, Малую Азию, Индию и Океанию и Тихоокеанский пояс, приуроченный к зоне сочленения Тихого океана с окружающими его континентами.

Методические замечания и рекомендации

Представленная геотектоническая схема образования земной коры не претендует на право быть основной идеей в этом вопросе. Но подобные схемы должны выстроиться в сознании каждого, кто хочет лучше понять, а, следовательно, и запомнить тему о причинах возникновения эндогенных процессов. Такие схемы должны отражать причинно-следственную связь между геологическими событиями, основанную на законах физики.

Необходимо принять к сведению, что практически все эндогенные и экзогенные процессы на Земле осуществляются в периоды времени, исчисляемые миллионами и миллиардами лет. Даже самые медленные, не заметные для человека процессы за такое длительное время приводят к колоссальным по своим масштабам преобразованиям. Об этом говорит хотя бы сам факт формирования земной коры. В связи с этим фактор времени в геологии является важнейшим.

Задания для самоконтроля

1. Охарактеризуйте понятие “дифференциация мантийного вещества” и объясните почему она происходит?
2. Объясните – в чем заключается взаимообусловленность эндогенных процессов?

3. Назовите основные научные направления в геотектонике.
4. Каковы главные особенности строения и состава земной коры, которые обусловлены ее движениями?
5. Объясните термины “геосинклиналь” и “платформа”.

4.2. ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ И ИХ ВИДЫ

Анализ условий возникновения эндогенных процессов привел к пониманию того, что магматизм и метаморфизм, составляющие этих процессов, по существу сами являются следствием определенных движений земной коры. Поэтому такие движения являются объектом внимательного изучения ученых во всем мире. При этом изучение движений коры основано на анализе геологических результатов их проявления.

Содержание и назначение раздела

Виды тектонических движений земной коры; колебательные и дислокационные движения, следствием которых является соответственно формирование прогибов в земной коре, горных сооружений и дислокаций – разрывов и складок в горных породах; характеристика и методы изучения колебательных и дислокационных движений; землетрясения как современное проявление дислокационных движений.

Сведения о видах тектонических движений земной коры и их особенностях необходимы для изложения физической сущности всего комплекса взаимосвязанных эндогенных процессов. Велика значимость этой информации для понимания структуры земной коры в целом и геометрии (строения) недр в пределах шахтных и карьерных полей, обусловленной наличием в горных породах разрывов и складок. Поэтому студент должен уметь охарактеризовать основные виды движений – колебательные, дислокационные и геологические результаты их проявления в предыдущие эпохи и в настоящее время.

Выяснение механизма возникновения эндогенных процессов, выполненное в предыдущей главе, позволило сделать заключение о существовании вертикальных (радиальных) движений земной коры, которые происходили всегда и происходят в настоящее время в форме медленных поднятий и прогибаний земной коры в пределах крупных регионов.

Но это только одна форма движений коры. В действительности их больше и проявляются они по-разному – как во времени так и в пространстве.

Помимо вертикальных движений коры установлены и значительные перемещения ее пластин в горизонтальных направлениях (тангенциальные движения). Мобилистские представления отводят такой форме движений основную роль в формировании коры континентов и океанов.

По скорости движения могут быть очень медленными (доли миллиметра в год) и быстрыми, вызывающими землетрясения.

По месту и масштабам проявления движения варьируют от самых незначительных, вызывающих образование трещин и мелких разрывов в горных породах, до глобальных, в результате которых формируются геосинклинальные прогибы, горные системы, глубинные разломы. В связи с этим выделяют соответственно внутрикоровые и общекоровые движения.

Различные виды движений в литосфере называются тектоническими (греч. тектонос – строительный), так как они выполняют роль строителя, архитектора земной коры, которая в результате приобретает ту или иную структуру – мощность, состав, форму и размер тектонических блоков.

Из всего разнообразия тектонических движений следует выделить те, которые играют главную роль в формировании земной коры. В связи с этим существует общепринятое упрощенное деление всех тектонических движений на колебательные и дислокационные.

Под колебательными подразумеваются те движения, о которых шла речь выше. Это медленные (0-3,0 см/год) вертикальные прерывисто-поступательные перемещения блоков земной коры в пределах крупных регионов, сохраняющие свою направленность в течение десятков и сотен млн. лет. Эти движения обусловили формирование геосинклинальных впадин и накопление в них осадочных пород, образование таких же пород на обширных пространствах платформ при их погружении ниже уровня моря. Благодаря им возникают горные сооружения, которые при своем разрушении дают материал для заполнения впадин. В целом эти движения сформировали земную кору как таковую.

К дислокационным относятся движения, которые вызывают образование дислокаций в горных породах в виде разрывов, трещин, складок. Такие нарушения – прямое следствие разрядки тектонических (механических) напряжений в тех или иных объемах земной коры. При этом источником энергии напряжений всегда являются колебательные движения, приводящие к перемещениям блоков земной коры. Поскольку блоки движутся с разной скоростью, между ними неизбежны механические взаимодействия. В местах их соприкосновения возникают зоны высоких напряжений, породы их не выдерживают и либо сминаются в складки, либо разрываются, в зависимости от деформационных свойств пород – их пластичности.

Колебательные движения. По времени проявления колебательные движения условно делят на три вида: древние, новейшие (происходившие в палеогене и неогене) и современные. Следует подчеркнуть, что по своей природе это один вид движений, так как все они вызваны одной причиной – физико-химическими превращениями в мантии. Отличаться они могут по своим масштабам, месту проявления и скорости, так как осуществляются они на различных, неповторимых этапах развития Земли. Еще одно отличие этих движений в том, что изучаются они разными методами.

Изучить тектоническое движение – это означает установить период или время его проявления, направленность, скорость, с которой оно происходило, и амплитуду, измеренную в метрах.

Древние и новейшие колебательные движения изучаются по мощности осадочных пород или их отсутствию в сравнении с соседними территориями или блоками. Например, зная продолжительность накопления отложений во впадине и их мощность, можно вычислить скорость и характер соответственно нисходящих движений земной коры в пределах анализируемой площади.

О современных колебательных движениях необходимо знать главное – они происходят всюду на Земле с разной скоростью и различной направленностью для отдельных ее регионов. Примеров, подтверждающих это заключение очень много. Так, территория Нидерландов в течение исторического времени погружается со средней скоростью 0,5-0,7 мм в год и для защиты берега от наступающего моря постепенно возведены дамбы высотой до 15 м. Та же участь постигла Венецию в Италии. Дно Венецианского залива неуклонно погружается, а вместе с ним и территория прибрежного города. С другой стороны, район Финляндии и северной Швеции испытывает в данное время поднятие со скоростью около 1 см в год. Скорость и направленность таких движений во многих местах рассчитывают по положению уровня моря в разные исторические периоды, которое устанавливается по оставленным морем следам на колоннах и других конструкциях прибрежных сооружений.

Современные колебательные движения изучаются методом наблюдений за изменениями уровня моря (океана) в прибрежной зоне или с помощью повторных нивелировок местности на удаленных от морей участках.

В основе этих методов лежит представление о том, что уровень воды в океане, являясь функцией множества факторов планетарного масштаба, остается постоянным длительное время и поэтому может быть принят за нулевую поверхность отсчета при оценке любых перемещений коры в вертикальном направлении. Установив на побережьях мерные рейки и отмечая по ним изменение уровня воды во времени, можно выяснить направление и рассчитать скорость движения земной коры. Подъем уровня воды на рейке будет свидетельствовать об опускании коры в данном месте и наоборот.

Метод повторных нивелировок – обязательная форма наблюдений (мониторинга) за характером перемещения отдельных блоков земной коры. Результаты их учитываются при строительстве крупных гидротехнических сооружений, трубопроводов, аэродромов, атомных электростанций и других крупных объектов. С этой целью составляются карты современных тектонических движений. Суть метода в том, что периодически определяется абсолютная высота (Z) одних и тех же точек (реперов) в пределах исследуемой площади. По изменениям Z реперов судят соответственно о погружении или поднятии блоков земной коры, их границах и скоростях этого процесса.

Дислокационные движения (лат. “*дислокатиос*” – смещение). Это, собственно, складко- и разрывообразовательные движения. По своим масштабам, скорости и ориентировке в пространстве они чрезвычайно разнообразны и определяются полями напряжений, которые возникают в зонах соприкосновения движущихся тектонических блоков земной коры. В связи с этим дислокационные движения так же как и колебательные могут проявляться периодически. Они часто осуществляются по уже имеющейся сети разрывов в горных породах.

По характеру проявления и результатам дислокационные движения отличаются от колебательных следующими особенностями:

- во времени они носят эпизодический характер и связаны лишь с периодами интенсивного тектонического развития того или иного участка земной коры;
- дислокационные движения необратимы;
- скорости дислокационных движений намного больше скоростей колебательных движений;
- проявляясь главным образом в пределах геосинклинальных зон, дислокационные движения нередко сопровождаются магматизмом и метаморфизмом горных пород;
- главной особенностью дислокационных движений является то, что они изменяют первичные формы залегания горных пород и создают иные условия залегания, которые называют тектонически нарушенными;
- дислокационные движения с образованием разрывов в горных породах вызывают возникновение тектонических землетрясений.

Изучение дислокационных движений производится путем определения параметров (размеров) и ориентировки в пространстве отдельных элементов складчатых и разрывных структур – тектонических нарушений в земной коре. Это осуществляется во время геологической съемки, по данным скважин, горных выработок и с помощью дистанционных методов – аэрофото- и космосъемки.

Землетрясения. Это особый вид последствий дислокационных движений. Они возникают в тех местах, где крепкие породы способны накапливать упругую энергию напряжений. После того, как перемещения блоков, вызванные колебательными движениями создадут высокие напряжения и эти напряжения превысят предел прочности пород, они мгновенно разрушаются. В них возникает сеть новых разрывов со скоростью до 3-4 км/с, а от места, где произошла разрядка энергии, во все стороны в толще Земли распространяются механические колебания в виде сейсмических волн. Такое место является очагом тектонического землетрясения или его гипоцентром. Ближайшая к нему точка на дневной поверхности называется эпицентром землетрясения.

Формирование очагов тектонических землетрясений происходит на разных глубинах, достигающих в отдельных местах сотен километров. Этот процесс является следствием разрушения выступов смежных литосферных блоков при их взаимном перемещении. Естественно, что землетрясения происходят обычно в наиболее подвижных областях земной коры – там, где продолжают свой рост горные сооружения, формируются молодые геосинклинальные прогибы, в срединных океанических хребтах.

Сила, интенсивность землетрясений оценивается в баллах по 10- или 12-балльной шкале, а более точно по магнитудам. Магнитуда землетрясения **M** рассчитывается по величине амплитуды смещения почвы, которая измеряется специальными приборами. Магнитуда связана с силой землетрясения **F**, выраженной в баллах, приближенным уравнением **$M=1,3+0,6F$** . Шкала магнитуд (шкала Рихтера) предложена в 30-х годах прошлого столетия Ч. Рихтером. Значения магнитуды для очень сильных землетрясений могут достигать 8,0-8,8. Катастрофические землетрясения, силой более 7 баллов по шкале Рихтера, в среднем происходят на Земле лишь 1-2 раза в год, а те, которые не ощущаются людьми и улавливаются лишь сейсмическими станциями, отмечаются очень часто. Они исчисляются многими сотнями тысяч в год и это прямое подтверждение того, что земная кора подвержена непрерывным колебательным движениям и сопутствующим им дислокационным.

В наш Приднепровский регион землетрясения распространяются со стороны горных систем Крыма и Карпат, ослабевая за время пути примерно на 2-3 балла. Такие землетрясения могут спровоцировать внезапные обрушения и горные удары в шахтах и рудниках.

Следует также отметить роль колебательных движений в образовании глубинных разломов, разделяющих земную кору на отдельные блоки. Большая их часть – вечноживущие структуры, так как возникнув в первичной, еще тонкой коре, в дальнейшем они навсегда оставались границами раздела между смежными блоками, передвигающимися относительно друг друга.

Методические замечания и рекомендации

Необходимо понять основную сущность тектонических движений. Она вытекает из общего положения, что движение – это форма существования материи. Действительно, даже химические реакции или изменения РТ-условий приводят в движение элементарные частицы, атомы, молекулы и значительные объемы вещества. В непрерывном движении находятся воды и воздушные массы, движутся в пространстве и различные космические тела. Поэтому тектонические движения отражают лишь одну из многих форм движения материи. При этом все формы движений вытекают одна из другой. Они взаимообусловлены. Отсюда главный вывод – дислокационные движения являются следствием колебательных движений.

Следует напомнить о двух важных особенностях колебательных движений. И древние и современные их виды по существу отличаются только тем, что происходили они в разное время. Вторая особенность в том, что эти виды движений носили прерывисто-поступательный характер. Движение вверх или вниз могло прекращаться на достаточно длительные периоды, а затем возобновляться вновь с максимально возможной для него скоростью. Поэтому наблюдения за современными движениями показывают такой широкий диапазон изменений их скоростей – от 0 до 3 см/год.

Задания для самоконтроля

1. Охарактеризуйте понятие “колебательные движения земной коры”.
2. Охарактеризуйте понятие “дислокационные движения”.
3. На какие основные виды разделяют колебательные движения?
4. Каковы методы и цели изучения современных колебательных движений?
5. Каким образом изучаются древние колебательные движения?
6. Назовите способы изучения дислокационных движений.
7. Опишите механизм возникновения тектонических землетрясений. Какова частота возникновения их на Земле?

4.3. ТЕКТОНИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Одной из главнейших задач при разведке месторождений полезных ископаемых, подготовке шахтных и карьерных полей к эксплуатации является изучение последствий дислокационных тектонических движений – дислокаций или тектонических нарушений в горных породах. Это связано с тем, что нарушения в виде трещин, разрывов и складок в некоторых случаях настолько усложняют строение горного массива, что вести горные работы в нем нерентабельно.

Выявление нарушений и определение их параметров производится по скважинам, а также при помощи геофизических методов, в основном сейсмических и электрических. Данные о тектонической нарушенности шахтных полей используются при проектировании горнодобывающих предприятий и в период их работы. В связи с этим становится очевидной необходимость изучения и самих тектонических нарушений и физических условий их возникновения.

Содержание и назначение раздела

Краткие теоретические сведения о физических условиях деформации геологических тел – образовании в них складчатых и разрывных дислокаций (тектонических нарушений); характеристика различных морфологических и генетических видов складчатых и разрывных тектонических нарушений, а также трещин в горных породах; рассмотрение показателей, определяющих положение слоя в пространстве (элементов залегания слоя); характеристика несогласных форм залегания слоев, обусловленных проявлением колебательных движений земной коры; понятие о геологических картах как графических моделях отражающих условия залегания горных пород и строение земной коры.

Сведения, помещенные в этой главе имеют важное значение для практики горного дела, начиная с этапа проектирования добывающего предприятия. В связи с этим студент должен понимать исключительную значимость этих сведений, знать все аспекты рассматриваемых вопросов, уметь графически изображать различные складчатые и разрывные структуры.

Физические условия деформации горных пород. Для ознакомления с этими условиями необходимо обратиться к начальным сведениям о физико-механических свойствах пород и видах их деформаций. Горные породы – сложные природные системы, состоящие из трех фаз: твердой (минеральный скелет), а также жидкой и газообразной, которые заполняют поры, пустоты и трещины, имеющиеся в твердой фазе. Состав и соотношение фаз, структурные и текстурные особенности определяют показатели физических, прочностных и упругих свойств пород.

Физические свойства – это плотность – ρ , г/см³; пористость – P , %; влажность – W , %. Главные из прочностных – предел прочности породы на разрыв $\sigma_{разр}$ и на сжатие $\sigma_{сж}$, измеряемые в Н/м². Упругие показате-

ли – коэффициент крепости (f), модуль Юнга (E) и некоторые другие – определяют деформационные свойства пород.

Все виды тектонических нарушений в горных породах представляют собой деформации, т.е. изменение формы первичных геологических тел под действием приложенных к ним сил. Учение о деформациях горных пород – один из разделов тектонофизики.

Деформации возникают в том случае, когда геологические тела под действием внешних сил не могут перемещаться в пространстве, так как они окружены (блокированы) другими горными породами. В таких условиях в теле появляются внутренние силы сопротивления, уравнивающие внешние нагрузки. Отнесенные к единице площади (1 см^2 или 1 м^2), эти силы носят название напряжений. Общее напряжение в сечении можно разложить на две составляющие: нормальное напряжение – перпендикулярное к сечению и касательное, лежащее в плоскости сечения.

Напряжения вызывают в породе деформации трех типов: упругие, исчезающие после снятия нагрузки (как пружина), пластические, сохраняющиеся после такого снятия и деформации разрушения. Пластические деформации и деформации разрушения представляют собой остаточные необратимые деформации или тектонические нарушения в горных породах.

В общем ходе деформаций по мере нарастания действующих сил первой проявляется упругая деформация, прямо пропорциональная росту напряжений в соответствии с законом Гука: $\varepsilon = \sigma / E$, где ε – деформация, σ – напряжение, E – модуль упругости или модуль Юнга.

На определенном уровне напряжений (пределе упругости) начинается пластическая деформация, а после достижения напряжениями предела прочности начинается разрушение тела – в нем появляются поверхности более свободного скольжения, но без существенных разрывов сплошности. Процесс завершается хрупким разрушением с разрывом сплошности материала, из которого состоит тело (рис. 4.4).

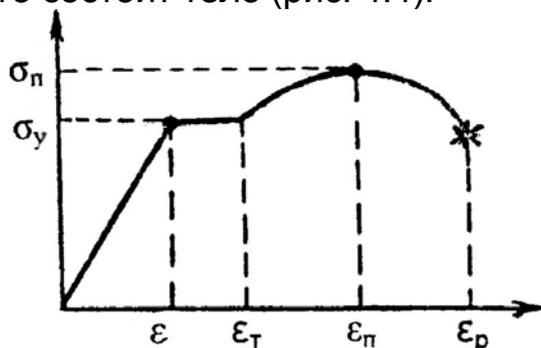


Рис. 4.4 График деформаций при растяжении:

ε_y – деформация, которая переходит из упругой в пластическую при напряжении σ_y (пределе упругости); ε_T – деформация текучести, после которой удлинение возможно только с увеличением напряжений; $\varepsilon_п$ – деформация, соответствующая пределу прочности $\sigma_п$, после чего удлинение происходит при уменьшении напряжения вплоть до деформации разрушения ε_p

В зависимости от способа приложения сил и от свойств тел различают несколько видов упругой деформации: сжатие, растяжение, сдвиг, изгиб и кручение (рис. 4.5). Разрушение происходит в результате скалывания или отрыва (сжатия или растяжения).

Механизмы деформаций сжатия и растяжения взаимосвязаны и немыслимы один без другого, хотя они значительно отличаются по величине пределов напряжений ($\sigma_{сж}$ и $\sigma_{раст}$).

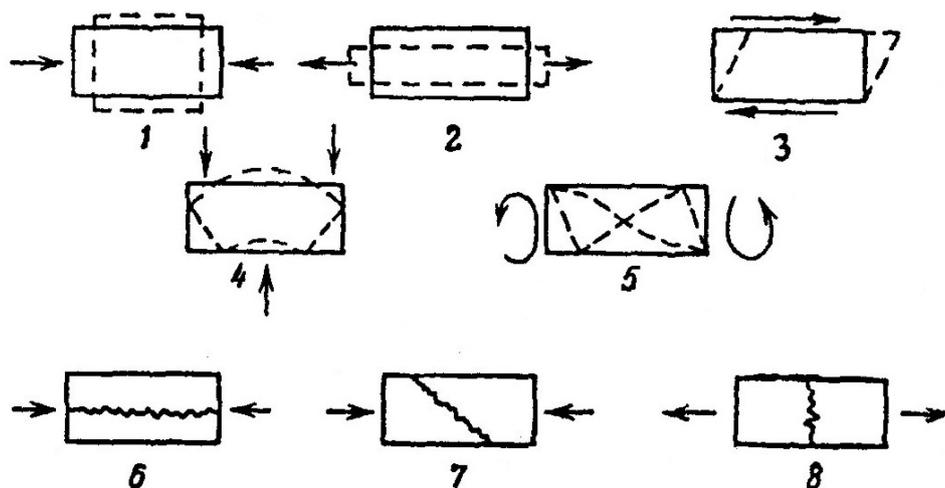


Рис. 4.5. Деформации:

1 – сжатия, 2 – растяжения, 3 – сдвига, 4 – изгиба, 5 – кручения, 6 – отрыва при сжатии, 7 – скалывания, 8 – отрыва при растяжении

При сдвиге деформация сводится к растяжению – сжатию по осям, расположенным косо к направлению действующих сил.

При изгибе верхняя половина тела испытывает растяжение, а нижняя сжатие и наоборот, если сам изгиб направлен в противоположную сторону.

В процессе кручения также возникают деформации растяжения и сжатия сложно ориентированные в пространстве и приуроченные к противоположным концам тела.

Сжатие и растяжение – это простейшие деформации, к которым сводятся все остальные виды деформаций.

Скалывание происходит под действием касательных напряжений в теле (рис. 4.5, позиция 7) при достижении ими предела прочности.

Отрыв вызывается нормальными напряжениями и происходит, когда их величина превысит предел прочности горной породы. Отрыв связан с хрупким разрушением и может следовать непосредственно за упругой деформацией.

В различных веществах упругие и пластичные деформации, а также разрушение происходят по-разному. Для некоторых твердых тел предел прочности почти совпадает с пределом упругости и пластическая

деформация в них практически не проявляется – за упругой деформацией сразу следует разрушение. Такие тела называют хрупкими. Другие твердые тела, напротив, способны до разрушения испытывать значительную пластическую деформацию. Их называют пластичными.

Хрупкими являются монолитные, крепкие породы – магматические, метаморфические и некоторые осадочные. Пластичные породы – это малопрочные молодые осадочные, содержащие в своем составе глины и соли. Под напряжением они образуют не разрывы, а складки.

Пластическая деформация слоистых толщ всегда начинается с изгиба слоев за счет проскальзывания их относительно друг друга (рис. 4.6). В результате толщи пород приобретают нарушенные, складчатые условия залегания, а сами складки (складчатые структуры) называются складчатыми тектоническими нарушениями.

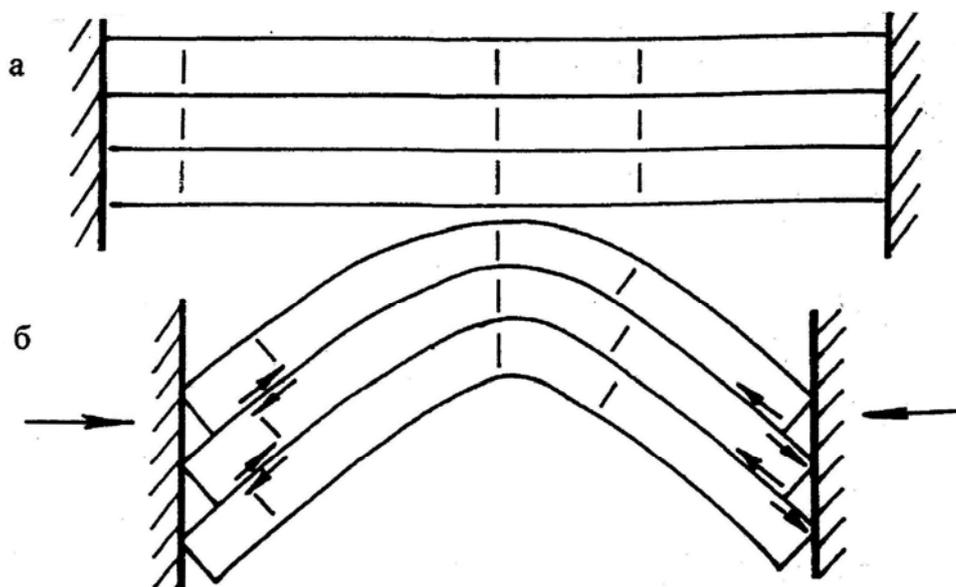


Рис. 4.6. Механизм формирования складки (б) в результате продольного сжатия слоев (а).

Стрелки показывают направление и амплитуду взаимного проскальзывания слоев при их изгибе

Все многообразие тектонических нарушений охватить трудно. Существующие классификации рассматривают только главные из них. Нарушения по типу деформаций делят на две группы – складчатые и разрывные, в которых отдельно выделяют трещины.

Складчатые нарушения

К группе складчатых тектонических нарушений относятся такие структурные формы как флексуры, складки и моноклинали, отличающиеся друг от друга по своим морфологическим (геометрическим) особенностям и условиям формирования.

Флексуры – это различного размера коленообразные изгибы слоев горных пород, в которых выделяют три главных элемента: верхнее, нижнее и смыкающее крылья (рис. 4.7). Иными словами, флексура – это структура, в пределах которой на фоне горизонтального или наклонного положения толщи пород происходит резкий перегиб слоев к более крутому залеганию и возвращение их к первоначальному наклону.

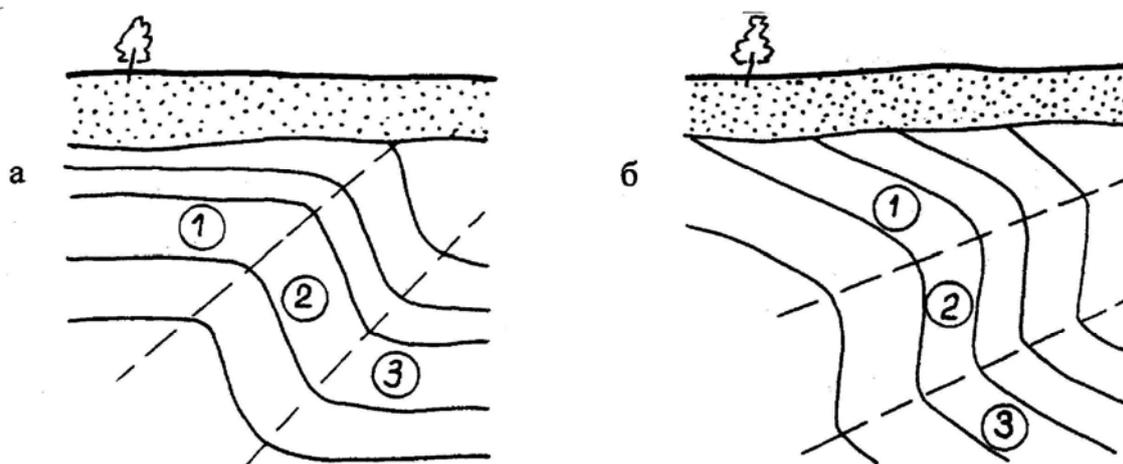


Рис. 4.7. Флексуры, образованные в горизонтально (а) и наклонно (б) залегающих осадочных породах.

Цифрами показаны соответственно верхнее, смыкающее и нижнее крылья флексур

Флексуры – надразломные структуры. Формируются они в осадочных породах вдоль границ между тектоническими блоками и являются следствием их взаимных перемещений. Смыкающее крыло обычно характеризуется повышенной трещиноватостью пород, так как фактически только оно испытывает пластические и частично хрупкие деформации при формировании флексуры.

Складки – волнообразные изгибы слоев горных пород, которые обычно образуются в результате продольного сжатия слоев. Их моделью вполне могут служить такие же формы, которые образуются при смятии ткани. Важными параметрами складок являются их ширина и длина. Изображают складки обычно в вертикальном разрезе и на карте, как это показано на блок-диаграмме (рис. 4.8).

Главные разновидности складок – синклинали, антиклинали, полные складки. Синклинали и антиклинали складки состоят из шести главных морфологических элементов (рис. 4.9): крыльев – боковых наклонных частей складки; замка – перегиба, соединяющего крылья; ядра – внутренней части складки; угла складки, образующегося пересечением крыльев; осевой поверхности (ОП), делящей складку на две равные части; шарнира – линии пересечения ОП с поверхностью любого слоя в складке.

По строению и размерам складки очень разнообразны. Их геометрическая классификация учитывает особенности отдельных элементов – положение крыльев (рис. 4.10), конфигурацию замка (рис. 4.11), величину угла складки (рис. 4.12).

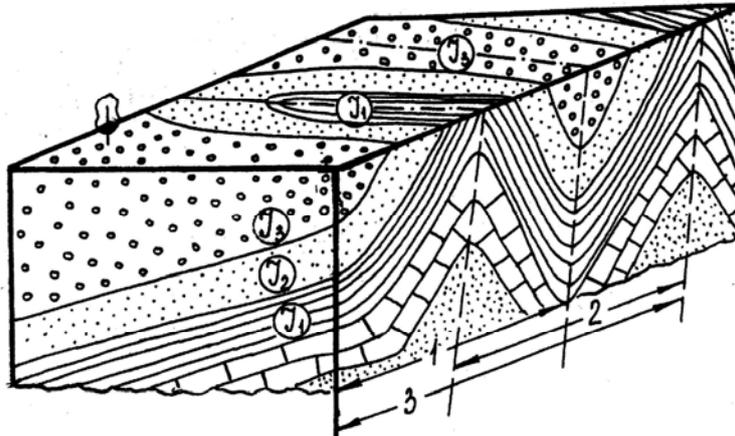
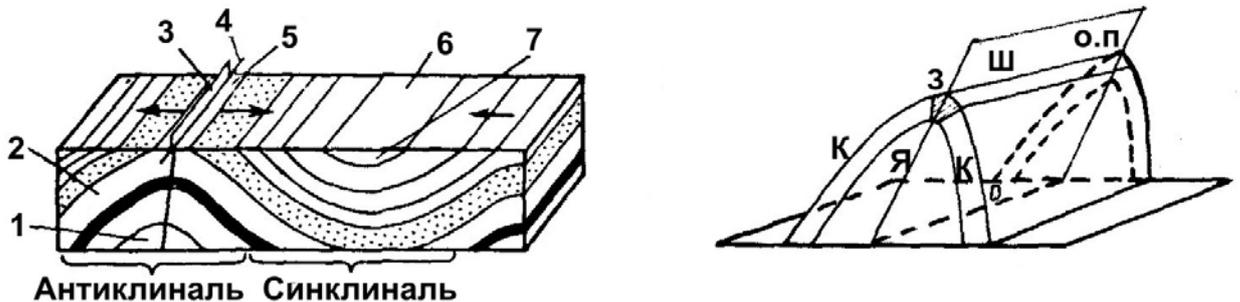


Рис. 4.8. Блок-диаграмма с изображением основных видов складок (складчатых структур):

1 – складка антиклинальная (антиклиналь), 2 – синклиная (синклиаль), 3 – полная



Антиклиналь Синклиаль

Рис. 4.9. Антиклинальная и синклиальная складки и их элементы:
1 - ядро антиклинали, 2 – крыло, 3 - осевая поверхность, 4 – ось (шарнир), 5,6 – замки складок (5 – свод антиклинали, 6 – перегиб синклинали, 7 – ядро синклинали;), з – замок, к – крылья, я - ядро, о.п. - осевая поверхность, ш – шарнир, о – ось складки

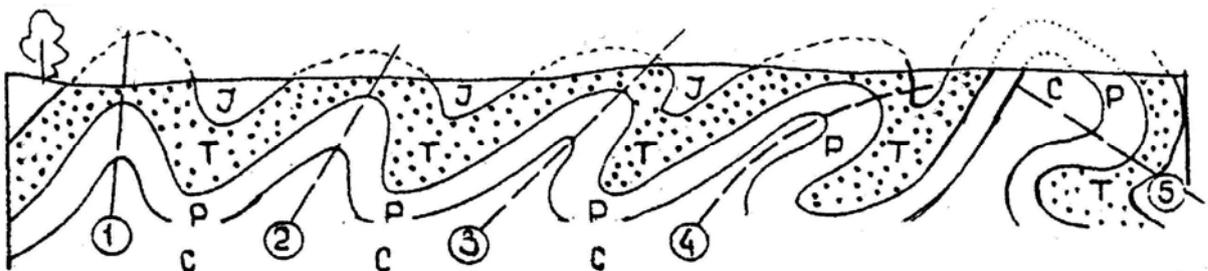


Рис. 4.10. Виды складок по положению их крыльев:

1 – складка прямая, 2 – наклонная, 3 – опрокинута, 4 – лежачая, 5 – перевернутая

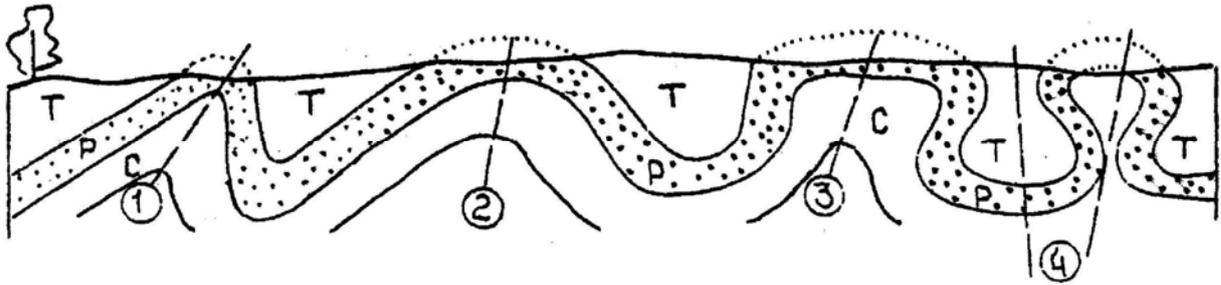


Рис. 4.11. Виды складок по форме замка:
1 – складка острая, 2 – округлая, 3 – сундучная, 4 – веерообразная

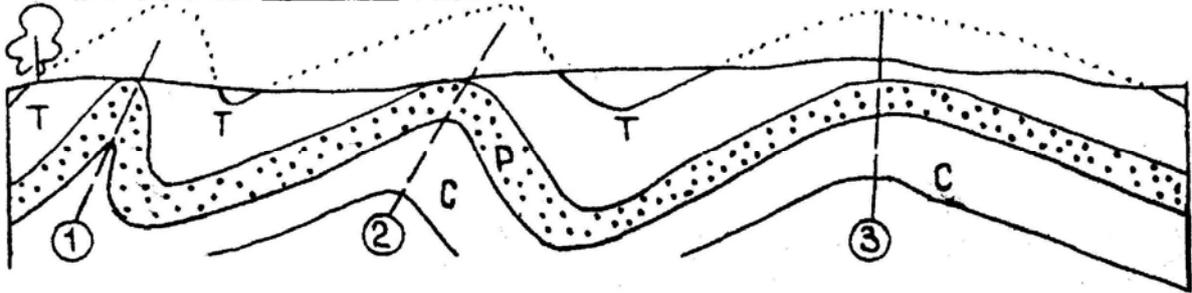


Рис. 4.12. Виды складок по величине их угла:
1 – складка острая, 2 – прямая, 3 – тупая

В ядрах антиклинальных складок располагаются более древние породы, а в ядрах синклинальных – молодые.

Положение шарнира может быть любым – от горизонтального до вертикального.

Если ширина складки относится к длине как 1:1, то синклинальная структура называется чашей, а антиклинальная – куполом. При соотношении этих величин до 1:5, те же складки называются брахисинклиналями и брахиантиклиналями. Если соотношения еще меньше, складки – линейные.

Моноклиналь – самая простая структура. Корень слова “моно” означает один, а “клин” – наклон. Как показано на рисунке 4.13, все слои в моноклинали погружаются (падают) в определенном направлении под одним и тем же углом.

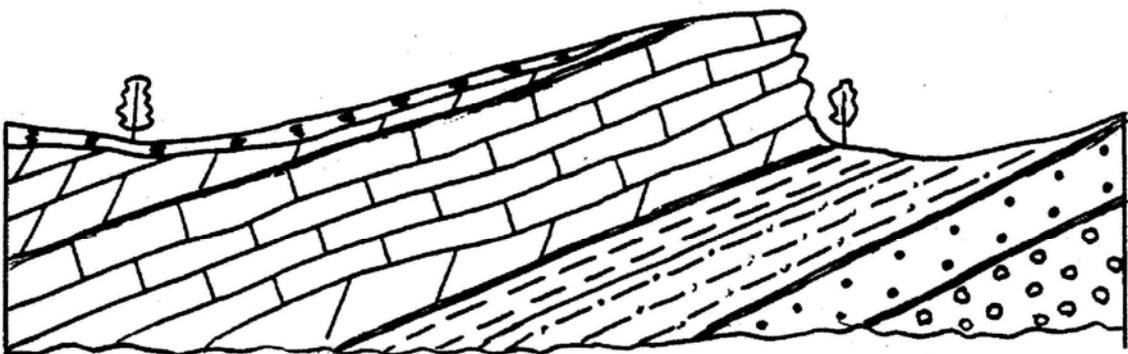


Рис. 4.13. Моноклиналь в вертикальном поперечном разрезе

Формирование моноклиналей может быть обусловлено вертикальными движениями смежных тектонических блоков. К этим структурам относятся и крылья крупных складок. Шахтные поля стараются располагать целиком в пределах одной моноклинали. Это упрощает схему вскрытия месторождения и ведение горных работ.

В Центральном Донбассе, например, широко представлены все виды складчатых структур. В срединной части бассейна располагаются линейные складки. В сторону бортов Донецкой впадины они сменяются брахиантиклиналями и брахисинклиналями. Моноклинали располагаются на крыльях крупных линейных складок и на бортах впадины. В угленосной толще также много разнообразных флексур (рис. 4.14). Структура западного Донбасса – это крупнейшая моноклинали на южном борту Днепровско-Донецкой впадины.

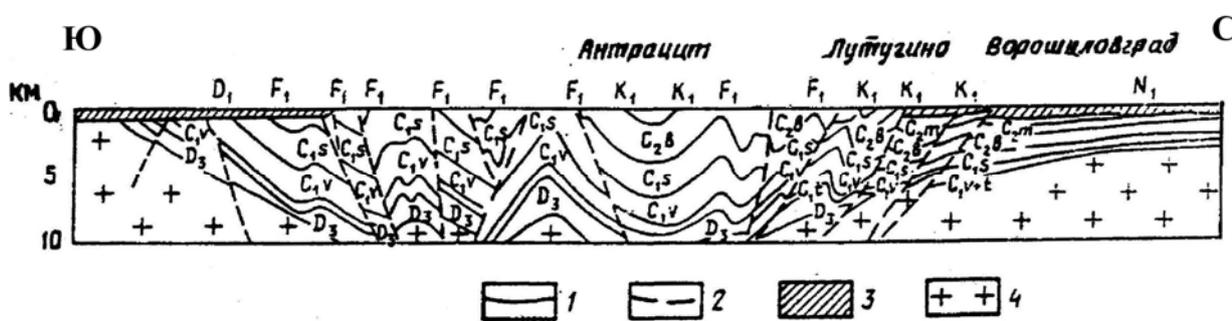


Рис. 4.14. Геологический разрез через Донецкий бассейн (по В.С. Попову):
 1 – граничные известняки свит карбона, 2 – разрывные нарушения, 3 – отложения мезокайнозойского возраста, 4 – кристаллические породы фундамента архей-протерозойского возраста

Хорошо выраженные линейные складки чаще всего возникают в тектонически активных зонах земной коры при продольном сжатии слоев. Такими местами являются геосинклинальные области. Ширина складок здесь изменяется в широких пределах – от сантиметров до километров. При этом, чем пластичнее породы, тем меньших размеров складки в них образуются. При переходе от геосинклинальных областей к платформенным отношение ширины складок к их длине и размеры самих структур становятся все больше. Брахискладки сменяются крупными чашами и куполами.

Разрывные нарушения

Образование разрывных тектонических нарушений в горных породах, так же как и хрупких дислокаций в твердом теле при лабораторных экспериментах, в упрощенном виде будет таким.

При сжатии в породе образуются системы так называемых сколовых трещин, расположенных под углом около 45° по отношению к направлению сжатия (рис. 4.5). Затем по отдельным направлениям проис-

ходит объединение трещин и образуются крупные сколы или разрывы. Поверхности их становятся сместителями, вдоль которых разобщенные блоки породы перемещаются относительно друг друга.

При растяжении в породе возникают трещины отрыва (рис. 4.5). Дальнейшее приложение сил приводит к образованию отдельных крупных поверхностей отрыва в виде разрывов сплошности.

При сдвиге, вызванном парой сил (рис. 4.5), образуется серия близко расположенных параллельных поверхностей, по которым происходит смещение блоков в противоположные стороны.

При изгибе и кручении в пачке слоев на противоположных ее участках возникает сжатие и растяжение, приводящее к образованию соответствующих разрывных дислокаций – сколовых и отрыва.

В природных условиях формируются самые разнообразные условия деформации пород. Поэтому поверхности разрывов (сместителей) могут быть вертикальными, горизонтальными или наклоненными в любую сторону под разными углами. Они обычно не образуют ровные поверхности, а плавно изгибаются, так как пересекают различные по крепости породы.

Многие виды разрывных нарушений изображают на вертикальных разрезах, ориентированных перпендикулярно поверхности разрыва (сместителя).

В любом разрыве можно выделить следующие элементы (рис. 4.15):

- сместитель – поверхность разрыва;
- лежащий блок, располагающийся под сместителем;
- висячий блок, располагающийся над сместителем;
- амплитуды разрыва, измеряемые в метрах;
- угол наклона сместителя – β ;
- угол падения пород – α .

Самыми распространенными и простыми видами разрывных нарушений являются: взбросы, надвиги, сбросы, горсты, грабены, сдвиги, раздвиги.



Рис. 4.15. Схемы расположения основных элементов разрывных нарушений в вертикальных поперечных разрезах:

ВБ – висячие блоки, ЛБ – лежачие блоки, СМ – сместители, β – углы наклона сместителей, α – углы падения пород; амплитуды нарушений: АВ – истинные, ВС – вертикальные, АС – горизонтальные

Взбросы возникают в местах сжатия земной коры и представляют собой крупные сколы. Поэтому висячий блок у них надвинут на лежащий, перекрывает его и вступает в тектонический контакт с более молодыми породами (рис. 4.16). Взбросы – это так называемые закрытые, притертые структуры, с которыми обычно не связаны прорывы воды и газов в горные выработки.

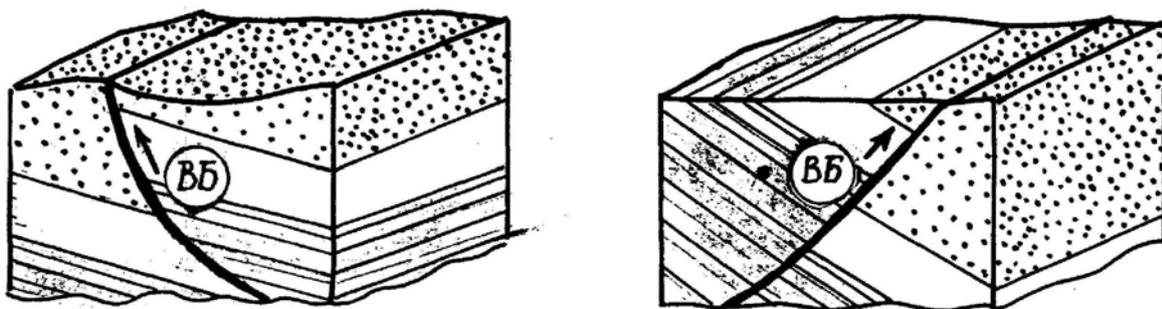


Рис. 4.16. Схемы строения взбросов при различном положении сместителей

Надвиги – это взбросы, у которых угол наклона сместителя составляет менее 45° .

Сбросы, как и трещины отрыва, образуются в местах растяжения земной коры или в результате сдвига в субвертикальном направлении. В любом случае у сбросов висячий блок отодвинут от лежащего и его породы входят в контакт с более древними (рис. 4.17). Сбросы – это так называемые открытые, зияющие структуры, с которыми нередко связаны прорывы в выработки газов и воды.

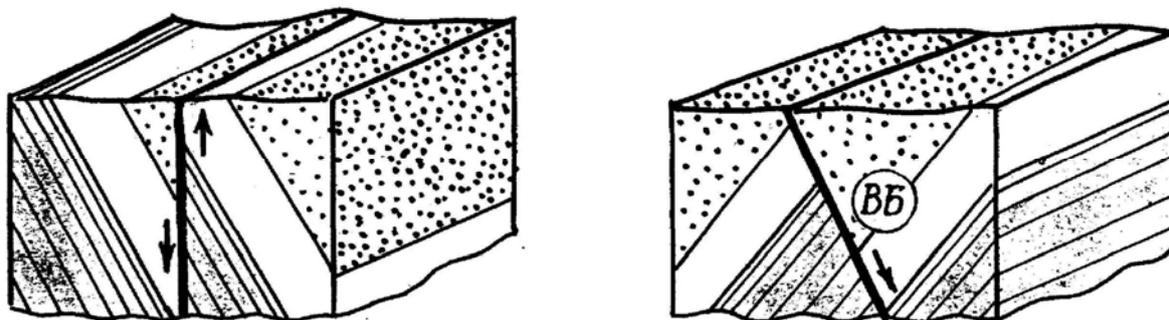


Рис. 4.17. Схемы строения сбросов

Горсты и грабены образуются парой сбросов, взбросов или их сочетанием. При опущенной срединной части структуры она называется грабеном, а в случае приподнятого ее положения – горстом (рис. 4.18).

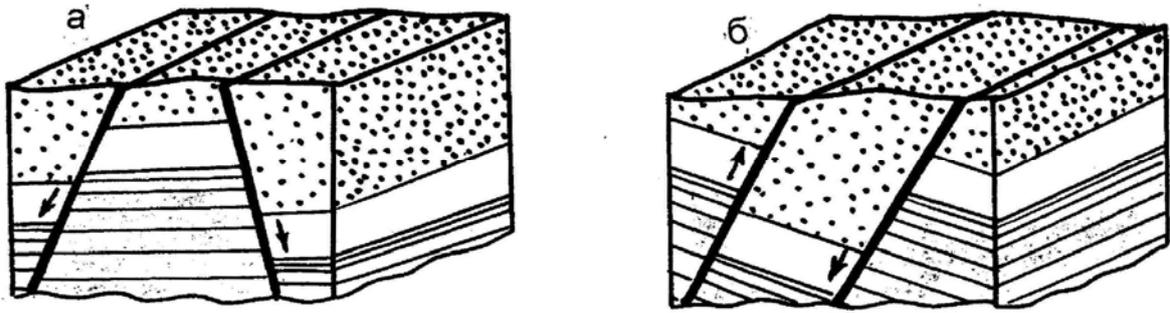


Рис. 4.18. Схемы строения горста (а) и грабена (б)

Сдвиги и раздвиги – это разрывы, которые образуются в условиях горизонтально направленного сжатия или сдвига. Сместители их вертикальны, а блоки перемещаются в горизонтальном направлении. Поэтому на вертикальных разрезах параметры сдвигов не могут найти полного отражения. Они хорошо видны на геологических картах (рис. 4.19).

Раздвиги – это структуры, которые формируются как трещины отрыва в условиях растяжения земной коры. Разобщенные блоки в них отдаляются друг от друга, образуя зияющее пространство. Раздвиги хорошо отображаются и на разрезах и на картах.

Размеры всех рассмотренных выше разрывных нарушений изменяются в широком диапазоне – от сантиметров до многих километров. По этому признаку они делятся на коровые (глубинные разломы), внутрикоровые, внутриформационные, внутрислойные (самые мелкие).

При разведке, к примеру, угольных месторождений нарушения с амплитудой менее 10 м с помощью скважин часто не могут быть обнаружены. Поэтому в забое встреча с ними может быть непредвиденной и сопровождаться негативными последствиями. В интервале нескольких метров от нарушения породы в выработке становятся трещиноватыми, неустойчивыми и легко обрушаются. С этими же участками, как уже отмечалось, связаны повышенные выделения газа и воды. Наличие таких нарушений в лавах приводит к их остановке и демонтажу оборудования. Крупные разрывы обычно служат естественными границами шахтных полей.

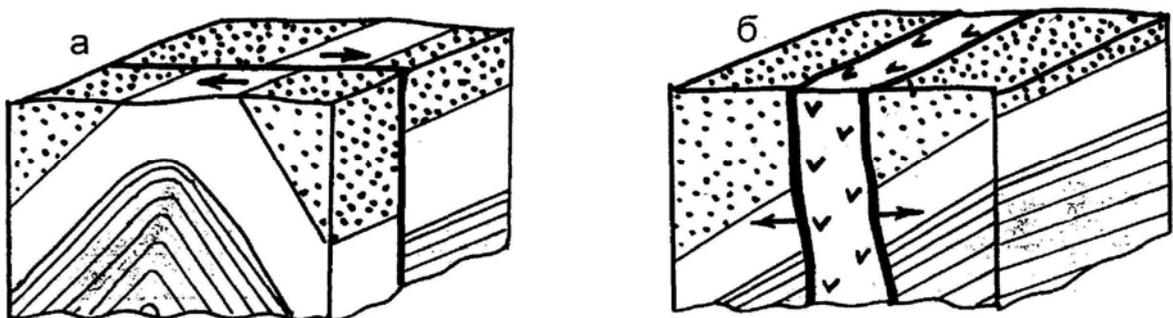


Рис. 4.19. Схемы строения сдвига (а) и раздвига (б)

Трещины в горных породах

Трещины – самые мелкие по своим масштабам разрывы. Их образование является ответной реакцией пород на возникающие в них напряжения. Как показано выше, некоторые из трещин могут постепенно трансформироваться в более крупные разрывы. Таким образом, все хрупкие дислокации начинают свое развитие с трещин.

Трещины – это результат не только внешнего, тектонического воздействия. Они могут быть следствием внутренних напряжений в породе, которые создаются например при ее неравномерном или попеременном нагреве и охлаждении. В этом случае более нагретые участки испытывают тепловое расширение, а более холодные – сжатие. Напряжения, возникающие на границе между этими участками, способны вызвать трещинообразование. Поэтому все магматические породы, формирующиеся в условиях неравномерного охлаждения магмы – трещиноваты. Трещины в породах возникают и в поверхностных условиях под воздействием суточных и сезонных колебаний температуры, которые распространяются до глубины залегания пояса постоянных температур (ППТ). Еще одна причина возникновения напряжений и трещин в породе – изменение ее общего объема, которое может быть связано с появлением в ней конкреций, с увлажнением, обезвоживанием, усыханием, уплотнением, новым минералообразованием.

В соответствии с классификацией трещины в горных породах делятся на тектонические и нетектонические. К тектоническим относятся трещины скалывания и отрыва. К своеобразным тектоническим трещинам относится кливаж. Он выражается в образовании многочисленных поверхностей скольжения и срезывания в породе, по которым происходили небольшие смещения. Образование кливажа соответствует последней стадии развития пластической деформации и характеризует потерю прочности пород перед их разрывом.

Нетектонические трещины делятся на две подгруппы – петрогенетические и экзогенные. Образование петрогенетических связано с процессами формирования самой породы, о которых сказано выше. В магматических породах это так называемые трещины отдельности, которые определенным образом ориентируясь в пространстве создают соответствующую форму обломков (отдельности) при разрушении породы (рис. 4.20). В метаморфических – трещины рассланцевания. Эта сеть тончайших трещин возникает в процессе нового минералообразования, проходящего в условиях одностороннего стресса. Она также обуславливает определенную форму обломков при разрушении пород (рис. 3.11 а).

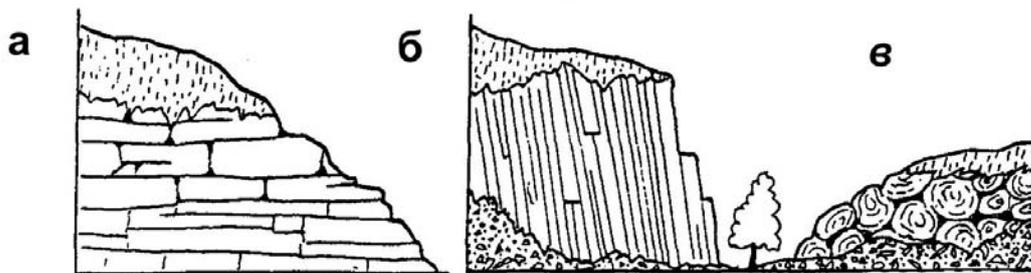


Рис. 4.20. Плитообразная (матрацевидная) отдельность гранитов (а), столбчатая (б) и шарообразная (в) отдельность базальтов.

К экзогенным относятся трещины, которые возникают в результате изменения температуры в приповерхностных условиях (трещины выветривания).

В целом классификацию трещин по их происхождению можно представить в виде схемы:



Во всех породах за всю длительную историю их существования неоднократно возникали различного рода напряжения, которые приводили к трещинообразованию. Поэтому нетрещиноватых пород не существует. Вопрос только в том, с какой частотой располагаются трещины, какова их выраженность и сколько их систем (рис. 4.21). В связи с этим применяются различные методики оценки этих параметров.

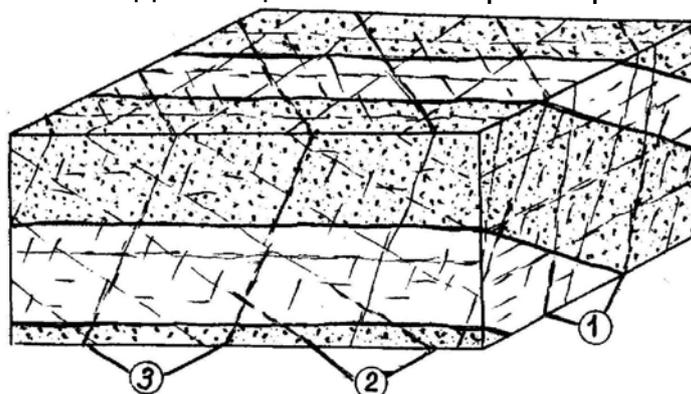


Рис. 4.21. В данном образце слоистой осадочной породы имеют место три системы тектонических трещин – трещины продольные крутопадающие (1), поперечные пологопадающие (2) и диагональные (3)

Трещиноватость горных пород – важнейший геологический и горно-геологический фактор. Трещиноватость обуславливает проницаемость пород земной коры в целом, а это – необходимое условие для формирования разнообразных рудных месторождений. Нагретые растворы и газы, поднимаясь из глубин и магматических очагов, проходят через трещинные зоны, остывают и оставляют там содержащиеся в них рудные компоненты различного состава. Поэтому трещины являются и проводниками для рудных растворов, и вместилищем образующихся из них руд.

Как горно-геологический фактор трещиноватость трудно переоценить. От ее интенсивности зависят физико-механические свойства пород, что определяет их устойчивость в забое, способы проходки и крепления, газо- и водообильность выработок и многие другие особенности. При добыче камня в карьерах от характера трещиноватости зависят системы отработки и в целом качество сырья, которое определяется размерами, формой его блоков и кусков. Ориентировка трещин в горном массиве обязательно должна учитываться при выборе направления горной выработки и ее основных параметров.

Условия залегания горных пород

Наряду с вещественным составом и возрастом земной коры важное значение, особенно для практики, имеют сведения о ее внутреннем строении. Под этим понимается положение в пространстве геологических тел, слагающих кору, т.е., собственно, условия их залегания. Специалисты горного дела такие условия называют короче и точнее – геометрией недр.

В этой части раздела рассматриваются способы оценки условий залегания слоев осадочных пород и отображения их графическим путем – на геологических картах и разрезах.

Необходимо понимать, что первичное – горизонтальное залегание слоев осадочных пород определено условиями накопления осадков и что оно может быть присуще только самым молодым осадочным образованиям в земной коре. Все более древние слои за период своего существования неоднократно подвергались тектоническим воздействиям и деформировались – сминались в складки, в них появлялись разрывы. В результате таких воздействий слои обретали нарушенное залегание в земной коре.

Нарушенное, аномальное залегание слоев может быть вызвано как дислокационными, так и колебательными движениями.

В результате дислокационных движений слои могут приобрести наклонное, вертикальное, складчатое или осложненное разрывами залегание.

В результате проявления колебательных движений возникают иного рода аномальные условия залегания слоев – их чередование в разрезе не отражает возрастную последовательность, которая принята в геохронологической таблице. Например, на слоях девонского возраста залегают отложения триаса, а обычно расположенные между ними отло-

жения карбона и перми отсутствуют. Однако, это легко объясняется тем, что в каменноугольное и пермское время восходящими колебательными движениями поверхность на данном участке была поднята выше уровня моря и осадки здесь не накапливались вообще. В таком случае можно сказать о несогласном залегании слоев девона и триаса.

Оценка нарушенного и несогласного залегания слоев производится по-разному.

Способы изучения нарушенного залегания слоев. Такое изучение производится разными способами. У складок и разрывов небольших размеров измеряются их параметры, соответственно – ширина, длина, высота, а у разрывов – их амплитуды. Складки и разрывы больших размеров после их изучения находят отражение на геологических картах и разрезах. Поэтому об их параметрах можно судить по замерам, которые производятся непосредственно на указанных графических построениях.

Изучение любых условий нарушенного залегания слоев предусматривает оценку положения их в пространстве. Для этого измеряют так называемые элементы залегания слоя в любой интересующей нас точке, где это возможно. Замеры производятся с помощью специального прибора – горного компаса.

Главные элементы залегания слоя – это его простираание и падение, которые уточняются дополнительными показателями.

Простираание – это линия пересечения кровли или почвы слоя с горизонтальной плоскостью. Ориентировка в пространстве этой линии определяется азимутом линии простираания. Известно, что магнитный азимут – это правый горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления стрелки компаса до измеряемого направления.

Падение – наклон слоя по отношению к горизонтальной плоскости – характеризуется азимутом линии падения и углом падения. Линия падения перпендикулярна простираанию и направлена в сторону наклона слоя. Угол падения – это двугранный угол между кровлей или почвой слоя и горизонтальной плоскостью (рис. 4.22).

Так как угол между линиями простираания и падения составляет 90° , то при передаче информации указывают только азимут линии падения. Таким образом, главные элементы залегания слоя – это азимут линии падения и угол падения. Измеряют их на обнажениях, в горных выработках и даже в скважинах специальными приборами – инклинометрами.

Согласное и несогласное залегание слоев. Характер залегания слоев устанавливается после соответствующего изучения их возрастов и геологических особенностей в зоне контактов между ними.

При согласном залегании поверхности разных по возрасту слоев параллельны между собой, а чередование их происходит в соответствии с геохронологической шкалой. Последнее обстоятельство указывает на то, что процесс накопления осадков был непрерывным. При этом со-

гласное залегание может быть горизонтальным и нарушенным – наклонным или складчатым (рис. 4.23).



Рис. 4.22. Элементы залегания слоя (А) и графическое отображение их на плане (карте) (Б):

α – угол падения песчаника (слоя), γ – азимут линии простираания, β – азимут линии падения

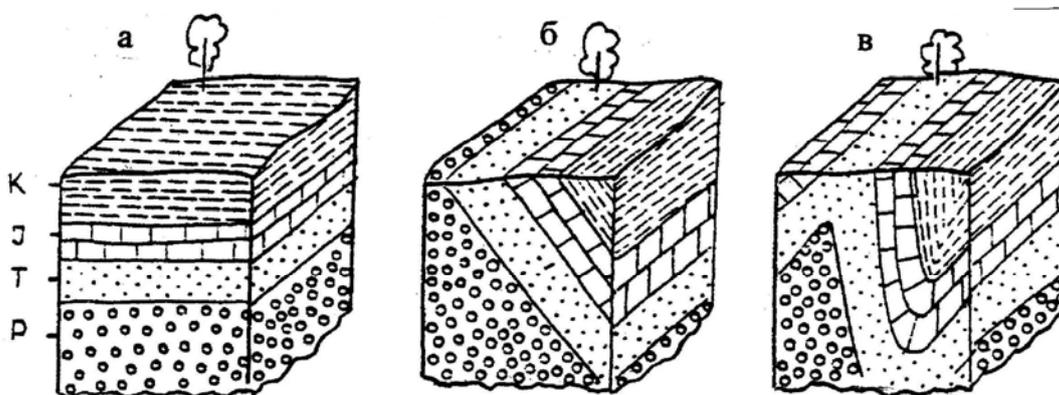


Рис. 4.23. Примеры согласного залегания осадочных пород: а – горизонтальное, б – наклонное, в – складчатое

При несогласном залегании главным признаком является отсутствие (выпадение из разреза) слоев какого-либо возраста. Это указывает на то, что в процессе формирования осадочной толщи был период, когда накопление осадков не происходило или уже образовавшиеся слои впоследствии подверглись размыву. Несогласное залегание может быть параллельным и угловым (рис. 4.24).

Понятие о геологических картах. Формы и условия залегания пород отражаются на геологических картах – горизонтальных проекциях выходов коренных пород на дневную поверхность (рис. 4.25). Карта составляется на топографической основе, где рельеф местности выражается в виде горизонталей – линий, соединяющих точки местности с одинаковыми высотами над уровнем моря (Z). В зависимости от масштаба геологические карты подразделяются на обзорные (масштаб от 1:1000000 и более мелкий), региональные (от 1:1000000 до 1: 500000), среднемасштабные (от 1:200000 до 1:100000), детальные (от 1:50000 и более крупный).

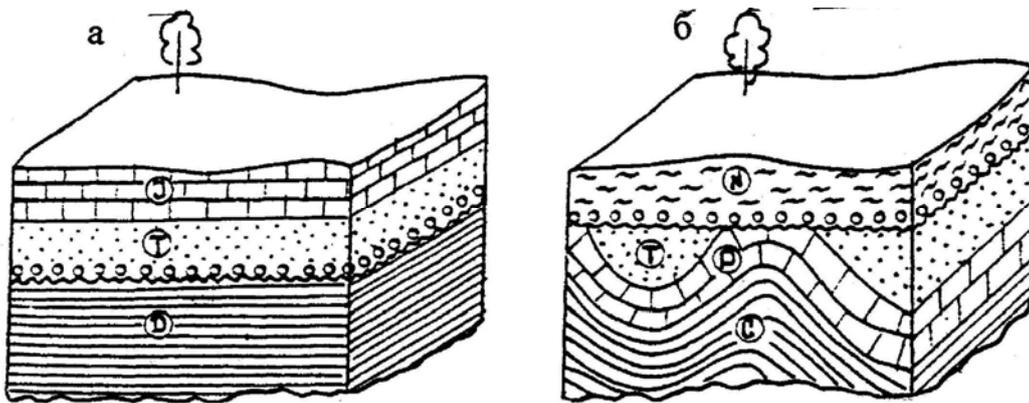


Рис. 4.24. Примеры несогласного залегания осадочных пород:
 а – параллельное несогласие (в разрезе отсутствуют породы карбона и перми); б – угловое несогласие (отсутствуют породы юры и мела)

Геологические карты выполняются в цветовой гамме, приведенной в геохронологической таблице. Применяют также буквенные, цифровые, штриховые условные обозначения. Особыми знаками показывают элементы залегания пород и линии разрывов в них. Складки на карте выражаются концентрическими или овальными пятнами. В ядрах (центре) выпуклых (антиклинальных) складок будут располагаться более древние породы, а в ядрах вогнутых (синклинальных) – более молодые (рис. 4.25).

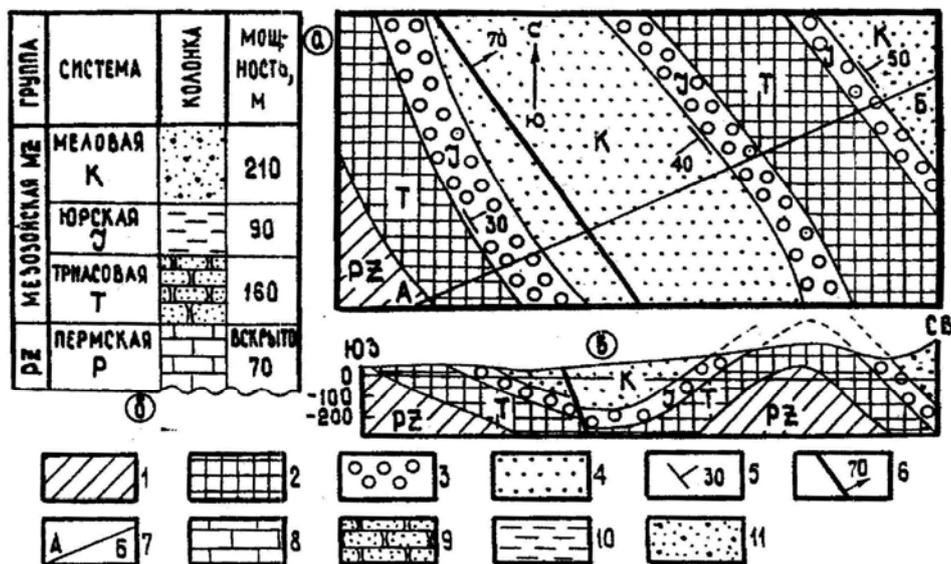


Рис. 4.25. Пример геологической карты участка (а), литологостратиграфической колонки (б) и разреза по линии АБ (в):

1 – отложения палеозойские, 2 – триасовые, 3 – юрские, 4 – меловые; 5 – элементы залегания пород (цифра-угол падения); 6 – направление падения сместителя разрыва; 7 – линия вертикального разреза; породы: 8 – известняки, 9 – песчаники, 10 – глины, 11 – пески

Геологические карты, как правило, сопровождаются вертикальными геологическими разрезами и стратиграфическими колонками. Разрезы строятся по заданным на карте линиям (профилям). На колонках отражена последовательность образования всех пород с указанием их возраста, состава и мощности.

Геологические карты составляются по результатам геологических съемок всей территории государства и являются его достоянием. На их основе ведутся поиски, разведка месторождений полезных ископаемых, строительство шахт, рудников, карьеров. Существуют карты специального назначения – металлогенические, гидрогеологические, инженерно-геологические и др.

Методические замечания и рекомендации

При изучении тектонических нарушений необходимо обратить внимание на следующие важные обстоятельства.

Все виды нарушений – складчатые и разрывные – это результат разрядки возникающих в породах напряжений, вызванных внешним воздействием или силами, которые возникают внутри них. Таким образом, энергия тектонических движений тратится на деформацию горных пород и тепло, которое при этом выделяется.

Вид дислокаций – будут ли они складчатыми или разрывными – зависит от приложения (ориентировки) действующих сил и пластических свойств пород, которые в свою очередь определяются также РТ-условиями.

На больших глубинах при высоком давлении и температуре хрупкие породы обретают пластичность. Поэтому в массиве горных пород обычно наблюдаются и те и другие виды дислокаций. Их образование могло происходить как в один, так и в разные периоды геологического времени.

Задания для самоконтроля

- 1. Назовите виды деформаций в горных породах, вызванные возникающими в них напряжениями.*
- 2. Охарактеризуйте условия, при которых в породах возникают трещины скола и отрыва.*
- 3. Назовите факторы, от которых зависят пластические свойства пород.*

4. *Дайте определение таким складчатым структурам как моноклираль, флексура, складка – антиклинальная, синклинальная, полная.*
5. *Нарисуйте синклинальную складку и покажите все ее морфологические элементы.*
6. *Изобразите в разрезе схемы основных морфологических видов складок.*
7. *Нарисуйте в поперечном разрезе разрывное нарушение и укажите его основные морфологические элементы.*
8. *В чем различие механизмов образования сбросов и взбросов?*
9. *Составьте схему генетической классификации трещин в породах.*
10. *Охарактеризуйте роль трещиноватости пород в деле образования месторождений и как горно-геологический фактор.*
11. *Назовите параметры (элементы залегания), по которым можно определить положение слоя в пространстве.*
12. *Какими причинами обусловлено возникновение согласного и несогласного залегания пород?*
13. *Что представляют собой геологические карты, из каких элементов они состоят и где используются?*

4.4. МАГМАТИЗМ И МЕТАМОРФИЗМ

В разделе приводится краткая характеристика магматических и метаморфических процессов, которая по своему объему не соответствует той огромной роли, которую эти процессы играют в деле формирования земной коры.

Содержание и назначение раздела

Определение понятия магматизма; характеристика и условия образования различных типов магмы – базальтовой и гранитной; интрузивный (глубинный) и эффузивный магматизм (вулканизм) – их особенности и геологические результаты проявления; полезные ископаемые, связанные с магматизмом.

Определение понятия метаморфизма и его физико-химической сущности; характеристика факторов, обуславливающих метаморфизм и типы метаморфизма в зависимости от сочетания факторов – регионального, контактового, дислокационного.

Основная цель раздела – показать физические условия возникновения и осуществления магматических и метаморфических процессов, охарактеризовать исключительную роль их в образовании соответствующих горных пород, полезных ископаемых и при формировании земной коры. Студент должен понять существо рассматриваемых в главе вопросов и дать ответы на контрольные задания.

Магматические процессы

Под магматизмом понимается весь комплекс процессов и явлений, связанных с образованием магмы, ее перемещениями в литосфере и превращением в магматические горные породы. Главный действующий объект в магматических процессах – магма. Одна из главных ее особенностей – неоднородность химического состава. Об этом свидетельствует большое разнообразие магматических пород.

Магма и ее типы. Магма – это многокомпонентный силикатный расплав горных пород. Поэтому химический состав ее соответствует составу пород, из которых она образовалась. Процессы магматизма начинаются с возникновения так называемых магматических очагов, которые могут размещаться в верхней мантии или в глубинах земной коры.

Плавление пород мантии или земной коры может произойти при возникновении следующих условий:

- в результате снижения давления, вызванного растяжением в мантии на таких глубинах, где температура составляет не менее 1300-1500°C;
- при опускании преимущественно осадочных водонасыщенных пород до глубин, где температура достигает 700-800°C и становится достаточной для их плавления благодаря наличию водяных паров и других газообразных флюидов.

Данные вулканологии подтверждают эту общую схему. Образование магматических очагов в верхней мантии, как уже отмечалось ранее, приурочено к глубинным разломам и вызвано уменьшением давления в зоне их развития. Образующаяся в этом случае магма называется базальтовой или материнской. Температура ее, измеренная при извержении вулканов, составляет 1100-1500°C и более.

При опускании земной коры в геосинклинальных прогибах формируются обширные области плавления погружающихся пород. При этом образуется так называемая гранитная магма, а сам процесс называется гранитизацией (рис.4.3). В результате на глубине формируются огромные, протяженностью в десятки и сотни километров гранитные массивы – батолиты и их ответвления – штоки.

Базальтовая (основная) и гранитная (кислая) магмы характеризуются не только различными условиями образования, составом и температурой, но и разными физическими параметрами, которые приведены в сравнительной табл. 4.1.

Таблица 4.1.

Сравнительная характеристика базальтовых и гранитных магм

Тип магмы	Содержание SiO ₂ , %	Удельный вес, г/см ³	Цвет	Температура при извержениях, °С	Характеристика вязкости
Базальтовая	45-52	3-3,2	Темный	1000-1300	Жидкая, текучая
Гранитная	>65	~2,7	Светлый	700-900	Густая, тестообразная

Все магматические процессы, происходящие внутри Земли, называются интрузивным магматизмом, а те, которые связаны с выходом магмы (лавы) на дневную поверхность – эффузивным или вулканизмом.

Интрузивный магматизм. Плавление пород и образование из них магмы сопровождается как известно их расширением. Возникающее при этом высокое давление внутри очага заставляет магму двигаться вверх по разломам, чаще по вертикальным зонам их пересечений. На своем пути магма частично расплавляет окружающие породы, изменяя этим свой химический состав, заполняет пространство ослабленных зон, возникающих в местах растяжения коры, внедряется между слоями осадочных пород.

Такие магматические явления называются интрузивным (глубинным) магматизмом. В результате остывания и кристаллизации магмы все заполненное ею пространство в земной коре постепенно превращается в соответствующие магматические породы. Они образуют различные по размерам и сложные по конфигурации тела – интрузивы: лакколиты, силлы, дайки, жилы, жерла и другие, о которых уже было сказано ранее (рис. 3.9).

Интрузивные тела состоят из различных по составу интрузивных пород – кислых (граниты), средних (диориты), основных (габбро), ультраосновных (пироксениты). При этом кислые и основные породы образуются соответственно из гранитной и базальтовой магмы, а средние и ультраосновные – из продуктов разделения базальтовой. Такая естественная дифференциация базальтовой магмы на среднюю, основную и ультраосновную происходит в процессе ее кристаллизации в магматических очагах в течение длительного времени. Это происходит в результате

того, что темные минералы (оливин, пироксены, амфиболы) перемещаются из верхней части очага в нижнюю и придают этим ей ультраосновный состав. В верхней части очага в результате такой миграции минералов увеличивается содержание SiO_2 и магма здесь по своему составу становится кислой. Механизм этого процесса состоит в том, что в поле силы тяжести обязательно происходит разделение веществ по их плотности. Указанные темные минералы кристаллизуются из магмы первыми и, обладая большей плотностью, тонут в жидком магматическом расплаве.

Эффузивный магматизм. Мощные магматические очаги могут генерировать столько магмы, что ее хватает еще и на вулканические извержения. Все явления, связанные с выходом магмы (лавы) на поверхность и ее превращениями, называются эффузивным магматизмом или вулканизмом.

Как известно, каждый вулкан проявляет свою активность периодически в течение около 10000 лет. Затем энергия его иссякает, магма в очаге кристаллизуется, вулкан переходит в категорию потухших вулканов, оставив в составе земной коры разнообразные постройки из эффузивных пород – вулканические конусы, лавовые потоки, покровы, занимающие иногда огромные объемы среди других пород.

Большая роль в вулканической деятельности принадлежит газам – водяным парам, CO , CO_2 , NH_3 , H_2S , CH_4 . Это они, накапливаясь под огромным давлением, выбрасывают иногда из кратеров лаву в виде отвердевшего вулканического пепла, песка, камней – так называемых вулканических бомб. Лава – это магма, из которой выделились газообразные компоненты.

Извержение магмы основного состава чаще происходит не из жерла, а из линейных разломов, трещин в виде спокойного излияния раскаленной лавы. Она растекается в виде потоков на большие расстояния от места извержения не образуя вулканических конусов. И это естественно, потому что характер проявления вулканизма определяется типом магмы, ее физическими свойствами. Кислые лавы очень вязкие, “холодные”, быстро остывают и твердеют. Поэтому их извержение возможно только через центральные аппараты – широкие жерла, образующиеся в местах пересечения вертикальных разломов. При этом в жерлах часто образуются “пробки” из отвердевшей лавы, которые периодически в форме взрыва выбрасываются газами. Приведенные, а также другие особенности вулканизма в зависимости от типа извергающейся лавы показаны в табл. 4.2.

Полезные ископаемые магматического происхождения. С процессами магматизма, особенно интрузивного, связано большое разнообразие полезных ископаемых. Достаточно сказать, что магматическое происхождение имеют около 46% известных месторождений.

На стадии кристаллизации магмы образуются собственно магматические месторождения, связанные соответственно с породами ультраосновного, основного и щелочного составов. Это месторождения хромитов, алмазов, титаномагнетитовых, сульфидных, медно-никелевых руд, платины, а также апатитов, используемых в производстве фосфорных удобрений.

Таблица 4.2

Особенности вулканизма в зависимости от типа магмы

Тип магмы	Содержание SiO ₂ , %	Вязкость	Тип вулканического аппарата	Вулканическая постройка	Тип извержения	Эффузивные породы
Базальтовая (основная)	45-52	Хорошо текучая	Трещинный, центральный	Лавовые покровы, потоки	Лавовый	Базальты
Андезитовая (средняя)	52-65	Средней подвижности	Центральный	Вулканический конус, потоки	Смешанный	Андезиты
Гранитная (кислая)	>65	Густая, тестообразная	Центральный	Вулканический конус	Газово-взрывной	Липариты

На стадии кристаллизации гранитоидной магмы в верхней части ее массивов образуются гигантокристаллические породы – пегматиты, которые часто содержат месторождения слюды, драгоценных камней, олова, вольфрама, молибдена, лития, бериллия, урана, тантала, ниобия и др.

Много крупных месторождений связано с деятельностью гидротермальных растворов, способных переносить от магматических очагов и откладывать в трещинных зонах рудные минералы. Так образуются месторождения меди, золота, серебра, свинца, цинка, ртути, сурьмы, молибдена, вольфрама, урана и др.

При обменных химических процессах, развивающихся на контакте интрузивов с вмещающими породами, формируются месторождения железных, медных, свинцово-цинковых и вольфрам-молибденовых руд.

Формы рудных тел магматических месторождений сложные – в виде жил, гнезд, труб, линз, реже плит. Другая особенность – их комплексность, что обуславливает специфику добычи и переработки рудного сырья.

Сами магматические породы используются как штучные строительные и облицовочные камни, в камнелитейной промышленности, а в раздробленном виде – в качестве бутового материала, наполнителя бетона и пр.

Метаморфизм горных пород

Роль метаморфизма в образовании земной коры, так же как и магматизма, очень велика. Под метаморфизмом понимают изменение и преобразование горных пород под влиянием эндогенных геологических процессов, вызывающих повышение температуры, давления и присутствие химически активных растворов и газов.

Физико-химическая сущность метаморфизма. Она заключается в приспособлении минералов горных пород к новым термодинамическим условиям, отличным от тех, при которых они сформировались ранее.

Фактически во всем объеме коры, который располагается ниже температурного уровня 150-200°C, непрерывно происходят метаморфические преобразования в горных породах. Это вызвано тем, что вода, насыщающая горные породы, в таких условиях переходит в парообразное состояние, проникает в поры и трещины, где играет роль катализатора химических реакций. С повышением температуры, т.е. с глубиной интенсивность этих преобразований многократно возрастает.

Все преобразования в породах происходят путем перекристаллизации минералов и образования новых их видов за счет процессов диффузии в твердом состоянии и активного участия газообразных веществ, насыщающих породную массу и проникающих в кристаллическую структуру минералов. Особая роль в этом принадлежит кислороду и водороду, которые в огромном количестве образуются в результате полного распада молекул паров воды на атомы при температуре 400-500°C.

В таких условиях горные породы могут расплавиться и превратиться в магму, если температура достигнет 700-800°C. Это собственно и происходит в геосинклинальных прогибах, где толщи осадочных пород, насыщенные остаточной влагой, погружаются на большие глубины и преобразуются в огромные массивы кислой (гранитной) магмы. Последующее охлаждение такой магмы превращает ее в интрузив – батолит.

Метаморфизму, как отмечалось ранее, могут подвергаться породы любого происхождения – осадочные, магматические и ранее существовавшие метаморфические.

При метаморфизме меняются структурные и текстурные признаки пород и их минеральный состав. Степень изменения исходных пород, т.е. степень их метаморфизма, может быть разной – от начальных преобразований до полного изменения состава и внешнего облика.

Факторы метаморфизма. Главными факторами метаморфизма являются: температура, давление и химически активные вещества – растворы и газы.

Температура. Повышение температуры на 10° увеличивает скорость химических реакций в два раза, а на 100° – примерно в 1000 раз.

Увеличение температуры в земной коре может быть вызвано погружением пород на большие глубины, присутствием раскаленных магматических расплавов, трением в породах, возникающим при тектонических движениях, и другими причинами.

Давление. Различают давление петростатическое и боковое. Первое создается весом вышележащих пород, постепенно нарастает с глубиной примерно на 100 МПа через каждые 3 км. Величину петростатического давления P (т/м²) можно оценить в любой точке расположенной на глубине. Она прямо пропорциональна этой глубине H (м) и плотности горных пород, из которых состоит вышележащая толща γ (т/м³), т.е. $P = \gamma H$.

Боковое, однонаправленное давление (стресс) возникает при дислокационных движениях. Оно приводит к деформациям, дроблению минералов и истиранию пород. В условиях стресса перекристаллизация и образование новых минералов происходят в строгом соответствии с его направленностью. Вновь образующиеся чешуйчатые, удлиненные минералы располагаются перпендикулярно к направлению давления, в результате чего формируются сланцеватые текстуры метаморфических пород.

Важно отметить, что петростатическое давление на относительно небольших глубинах проявляет себя как одностороннее, направленное вниз, а с глубиной, где породы приобретают пластичность, оно постепенно трансформируется во всестороннее – гидростатическое. Последнее обуславливает образование минералов с большими плотностями и пород с однородными, массивными текстурами (амфиболиты, кварциты, мрамора).

Химически активные вещества – вода, углекислота, кислород, водород, соединения хлора, серы и др. – выполняют важную роль в минеральных преобразованиях при метаморфизме. Источники химически активных веществ – магматические очаги, сама земная кора и мантия. Вид метаморфизма, при котором заметную роль играют химически активные вещества, называется метасоматическим.

Типы метаморфизма. По сочетанию факторов метаморфизм может быть региональным, контактовым и динамическим.

Региональный – наиболее распространенный и масштабный тип. Он осуществляется на больших глубинах при участии всех факторов метаморфизма в условиях глубокого погружения пород. Обычно это происходит при формировании геосинклинальных прогибов. Вот почему горные сооружения, возникающие на их месте, сложены преимущественно метаморфическими породами, а степень их метаморфизма в силу различной глубины погружения неодинакова. В зависимости от этого выделяются зоны регионального метаморфизма – верхняя (эпизона), средняя (мезозона), нижняя (катазона) и зона ультраметаморфизма, где в результате частичного или полного расплавления (анатексиса или палингенеза) возникает гранитная магма. Она проникает в другие породы, частично расплавляя их. В итоге появляются сложные по составу и сме-

шанные по происхождению породы – мигматиты. В нашем регионе мигматиты обнажаются в виде скальных обрывов на берегу Днепра в парке им. Т.Г. Шевченко. Возраст их составляет более 3 млрд. лет.

Контактовый метаморфизм осуществляется в местах соприкосновения пород с магмой. Его особенности определяются температурой, составом магмы и пород. Глины подвергаются обжигу, превращаясь в естественную керамику – роговики. Песчаники преобразуются в кварциты, известняки – в мрамор. Если породы сами состоят из химически активных минералов, между ними и магмой происходит химический обмен (метасоматоз) с образованием крупнокристаллических разнообразных по составу пород – скарнов. Они являются вместилищем разнообразных рудных и нерудных минералов. Схема строения зоны контактового метаморфизма показана на рис. 4.26.

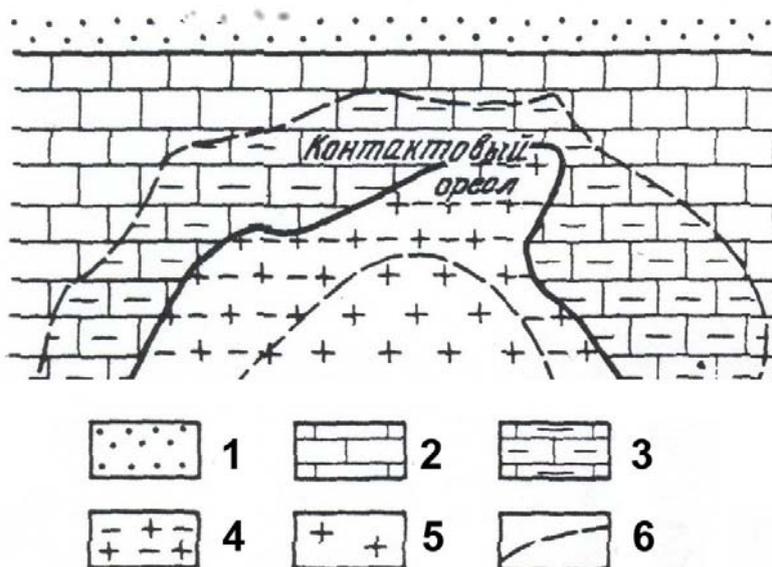


Рис. 4.26. Схема расположения зон контактового метаморфизма:

1,2 – осадочные породы, 3 – метаморфизованные породы экзоконтактовой зоны, 4 – метаморфизованные породы эндоконтактовой зоны, 5 – неизменные граниты, 6 – граница контактового ореола

Динамометаморфизм (дислокационный метаморфизм) осуществляется под действием стресса в зонах глубинных разломов и других разрывных дислокаций. Породы в этих местах дробятся, истираются, перекристаллизовываются, цементируются и превращаются в так называемые тектониты – катаклазиты и милониты. Первые представляют плотно сцементированную массу, состоящую из обломков пород (тектонические брекчии), а вторые – такой же монолит из тонко перетертого материала.

Метаморфизм и полезные ископаемые. Рудные и нерудные полезные ископаемые, горные породы, подвергаясь метаморфизму, меняют условия залегания, химический состав, структуру и текстуру. Так, содержащийся в породе лимонит замещается гематитом и магнетитом, пиролюзит – браунитом, боксит – корундом, углистое вещество – графитом.

том. Структуры становятся кристаллическими, а текстуры – сланцеватыми, полосчатыми.

Все месторождения полезных ископаемых, формирование которых связано с процессами метаморфизма, называются метаморфогенными. Среди них различают метаморфизованные и метаморфические.

Метаморфизованные – возникают за счет изменения ранее существовавших месторождений различного происхождения.

Метаморфические – представляют собой измененные горные породы, которые в результате этого процесса приобрели полезные качества. Такими являются месторождения мраморов, кварцитов, кровельных сланцев, графита, яшмы.

Методические замечания и рекомендации

В процессе изучения магматизма и метаморфизма необходимо повторить раздел 3.2 – ту его часть, где описываются магматические и метаморфические горные породы.

У некоторых складываются неправильные представления о магматических очагах в недрах Земли. Их воспринимают как постоянно существующие огромные резервуары. Это не так. Магматические очаги – эпизодически образующиеся расплавы горных пород, которые возникают только в тех местах, где создались необходимые условия. В дальнейшем обычно такие условия не воссоздаются, магма в очаге постепенно остывает и он прекращает свое существование. Понятным становится и вопрос о мощности магматических очагов – она варьирует в широких пределах.

Магматизму принадлежит ведущая роль в формировании земной коры, особенно в начальные периоды ее образования. По мере общего остывания Земли его роль сокращалась. В настоящее время в мире около 500 действующих вулканов, которые, как и очаги землетрясений, приурочены к наиболее подвижным областям земной коры – побережью Тихого океана, Средиземноморью, средней части Атлантического океана и некоторым другим.

Главная рекомендация – понять физическую и химическую сущность метаморфических преобразований горных пород, знать основные блоки, из которых состоит материал

по метаморфизму, а именно – факторы метаморфизма и его основные типы.

Четкую границу между высшей ступенью метаморфизма – ультраметаморфизмом и магматическими явлениями провести невозможно – ее не существует, она условна.

Метаморфизм пород – это только часть их непрерывных преобразований на Земле, вызванных изменениями условий их существования, которые определяются температурой, давлением (РТ-условиями) и химической средой.

Задания для самоконтроля

1. Почему магма материнского типа названа “базальтовой”? Где и при каких условиях она образуется?
2. Почему магма гранитного типа называется “кислой”? Где и как она образуется?
3. По каким признакам интрузивную горную породу можно отличить от эффузивной?
4. Какими факторами определяются различные типы извержения лавы?
5. Назовите способы образования полезных ископаемых, обусловленных магматизмом.
6. В чем заключается физическая сущность процессов метаморфизма?
7. В каких условиях процессы метаморфизма трудно отделить от магматических?
8. На каком основании выделяют различные типы метаморфизма?
9. Рассчитайте давление, под которым находятся породы на глубинах 1, 10, 20 км, если плотность пород до глубины 10 км составляет в среднем $2,5 \text{ т/м}^3$, а в интервале 10-20 км – $2,8 \text{ т/м}^3$.

5. ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Знание физической и химической сущности экзогенных процессов необходимо специалистам различных направлений. Это вызвано тем, что в жизни человечества наступил очень сложный период, когда производственная деятельность, оказывая сильнейшее воздействие на природные геологические процессы, стала значительно ухудшать среду обитания. Перед людьми постепенно возникла глобальная экологическая проблема, которая по своей исключительной значимости не может быть сравнима с какими-либо иными проблемами. В связи с этим очевидно, что разработка и осуществление мер по предотвращению отрицательного влияния производства должны основываться на знании закономерностей и особенностей экзогенных процессов.

Экзогенные геологические процессы в отличие от эндогенных протекают в самых верхних частях земной коры на границе ее с внешними оболочками Земли – атмо-, гидро-, биосферой. Их энергетическая основа – солнечное излучение, силы гравитации и силы, возникающие в связи с осевым вращением Земли. В целом деятельность экзогенных процессов направлена на выравнивание физической поверхности Земли, приближение ее к поверхности геоида путем разрушения возвышенных участков суши и заполнения пониженных продуктами разрушения.

При современных скоростях экзогенных процессов такое выравнивание за всю геологическую историю Земли могло бы произойти многократно, так как на один такой цикл понадобилось бы всего около 10 млн. лет. Но этого никогда не происходило – эндогенные процессы создают все новые горные сооружения и впадины. И чем интенсивнее протекают эти процессы, тем с большей скоростью разрушается то, что ими создается.

Экзогенные процессы осуществляются в виде последовательных стадий:

- выветривания;
- денудации;
- аккумуляции;
- диагенеза.

Выветривание представляет собой процесс разрушения и химического разложения любых пород в условиях земной поверхности в результате колебаний температуры, воздействия на породы кислорода воздуха, воды и растворенных в ней соединений, а также органических соединений и живых организмов. Следует подчеркнуть, что к процессу выветривания деятельность ветра прямого отношения не имеет.

Денудация (лат. “денудацио” – обнажение) – это совокупность процессов, производящих удаление, перенос продуктов выветривания и дальнейшее их разрушение силами гравитации, водой, ветром, льдами. Перемещаются эти продукты с возвышенных в пониженные участки, что приводит к общему выравниванию рельефа.

Аккумуляция – это процессы накопления перемещенных продуктов выветривания в виде разнообразных осадков в понижениях рельефа, речных долинах, озерах, болотах, морях, океанах.

Диогенез – это сложный и длительный процесс преобразования накопившихся осадков в осадочные горные породы путем их гравитационного уплотнения, перекристаллизации и химических преобразований.

Все экзогенные процессы, как и эндогенные, тесно взаимосвязаны. Характер и интенсивность их зависят от многих факторов. Важнейшие из них – тектонические движения земной коры, геологическое строение района, рельеф, климатические условия.

Благодаря экзогенным процессам происходит непрерывное преобразование рельефа на Земле, формирование почв, осадочных пород и полезных ископаемых, таких как уголь, нефть, газ, бокситы, фосфориты, соли, различные металлы, строительные материалы и др.

Вместе с тем разрушение берегов рек, озер и морей, обвалы и оползни, снежные лавины, ураганы, размыв склонов, рост оврагов и заболачивание территорий – это также проявление экзогенных процессов.

После изучения пятого раздела следует ознакомиться с содержанием Приложения Б, где в табличной форме дана классификация и краткая характеристика экзогенных процессов. Такая обобщенная информация призвана обеспечить целостное представление об этих процессах, способствовать закреплению учебного материала.

5.1. ВЫВЕТРИВАНИЕ

Процессы выветривания – это начальное и самое главное звено в единой цепи экзогенных преобразований на Земле, которые осуществляются повсеместно и непрерывно.

Содержание и назначение раздела

Физическая и химическая сущность выветривания и его основные формы; характеристика физической и химико-биологической форм выветривания пород и конечных продуктов этих процессов; коры выветривания, почвы и условия их формирования; выветривание как горно-геологический фактор.

Вводная часть пятого раздела и содержание настоящей главы позволяют сделать вывод о ведущей роли процессов выветривания в осуществлении всего комплекса экзогенных процессов и особой значимости их для хозяйственной деятельности людей.. Поэтому к изучению материалов раздела следует отнестись внимательно, понять физическую и химическую сущность процессов выветривания и особенности состава их конечных продуктов.

Сущность процессов выветривания. Выветривание сводится к механическому разрушению и изменению химического (минерального) состава горных пород, слагающих поверхностный слой земной коры.

Факторами выветривания являются:

- колебания температуры;
- химическое воздействие атмосферы и гидросферы;
- продукты жизнедеятельности растительных и животных организмов.

Сущность выветривания заключается в том, что минералы, слагающие магматические, метаморфические и большинство осадочных пород, оказываясь в условиях поверхности Земли, становятся физически и химически неустойчивыми. Чтобы приспособиться к новым условиям существования они вынуждены изменять свое физическое состояние и химический состав. В результате возникают новые минеральные виды – устойчивые в поверхностной среде, которые образуют так называемые продукты выветривания.

В процессе выветривания условно выделены две главные его формы: физическое и химическое (химико-биологическое) выветривание, которые тесно взаимосвязаны и протекают одновременно. Преобладание той или иной формы обусловлено в первую очередь климатическими условиями.

Физическое выветривание. Процессы физического выветривания приводят к механическому разрушению горных пород – их измельчению и превращению в щебень, дресву, песок. Основные факторы этого процесса – колебания температуры, распирающее действие льда в трещинах горных пород, жизнедеятельность роющих животных. При этом выделяют две разновидности физического выветривания: температурное и морозное.

При температурном выветривании разрушение пород происходит в результате образования в них экзогенных трещин под влиянием многократных суточных и сезонных колебаний температуры.

В основе этого процесса два одновременно действующих механизма трещинообразования. Один связан с малыми полями напряжений вокруг минеральных зерен, возникающих в силу неодинаковой величины теплового расширения у разных минералов. При этом зерна в породе расшатываются, отделяясь от соседних, и она разрушается до состояния дресвы и песка. Второй механизм образования трещин связан с более крупными полями напряжений, которые возникают на границе между участками породы с разной температурой.

Интенсивность температурного выветривания зависит от климата, особенностей рельефа, глубины залегания пород, их минерального состава, текстуры и структуры, окраски, степени трещиноватости.

Морозное выветривание происходит вследствие повторяющегося оттаивания и замерзания воды в трещинах и порах горных пород. Вода

при замерзании расширяется примерно на 9% своего начального объема и образовавшийся при этом лед производит давление на стенки трещины с силой до 1000 кг на 1 см². Такие усилия способны расширить трещины даже в самых крепких породах.

Морозному выветриванию в наибольшей степени подвержены пористые, влагоемкие осадочные породы – глины, суглинки, мергель, мел, глинистые пески, а также интенсивно трещиноватые породы иного происхождения.

Химико-биологическое выветривание. Процессы химического выветривания различны по своей интенсивности и степени преобразования пород. Это зависит от минерального состава исходных пород, их сложения, обводненности и климатических условий. Основным фактором химического разложения пород – вода. Она является хорошим растворителем и катализатором, повышающим активность содержащихся в ней кислорода, углекислого газа, органических кислот и органических соединений.

Наиболее интенсивно разлагаются магматические породы, особенно ультраосновные и основные. В результате химических реакций в выветрелых породах снижается содержание K₂O, Na₂O, CaO, MgO, SiO₂ и возрастает содержание Al₂O₃ и Fe₂O₃. Во влажном и жарком климате интенсивность химического выветривания наибольшая. Мощность продуктов выветривания в условиях равнинного рельефа может достигать 100 м и более. В холодном (аридном) климате интенсивность химического разложения пород резко падает.

Большую роль при химическом выветривании играет жизнедеятельность высших растений и животных, а также бактерий, дрожжей, микроскопических грибов и водорослей, вирусов, добывающих себе пищу из неорганических минеральных соединений.

Химические реакции в зоне выветривания подразделяются на четыре основные группы: окисление, гидратация, растворение, гидролиз, которые нередко протекают одновременно.

Окисление выражается в переходе закисных соединений в окисные. Этот процесс может проникать на разную глубину вместе с просачивающимися атмосферными водами. Окислению подвержены в первую очередь минералы и горные породы, содержащие Fe, S, V, Mn, Ni, Co и другие легко соединяющиеся с кислородом химические элементы и органические вещества. Наиболее интенсивно происходит окисление сульфидов сначала в сульфаты, затем в гидрооксиды, оксиды, карбонаты и другие кислородные соединения.

При окислении породы меняют свою окраску. Окислы железа обуславливают появление желтых, бурых, красных тонов; меди – синезеленых; углистые породы становятся светлыми.

При окислении органического вещества в условиях избытка кислорода образуются простые минеральные соединения – вода, углекисло-

та, сульфаты и карбонаты. В условиях недостатка кислорода возникает комплекс органических соединений, называемый перегноем или гумусом, который является главным элементом плодородия почв.

Гидратация – это воздействие воды на минералы исходной породы. При этом происходит перестройка внутренней структуры минералов за счет присоединения молекул воды. Например, ангидрид (CaSO_4) превращается в гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), гематит (Fe_2O_3) – в лимонит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Растворение минеральных веществ связано с комплексным воздействием на них воды, углекислоты, минеральных и органических кислот. Все минералы в той или иной степени растворимы. Наиболее растворимы галогены, слабее – сульфаты, еще меньше – карбонаты.

Гидролиз – это реакция разложения минералов под действием воды с разрушением и перестройкой их кристаллических решеток. С ним связано химическое разложение труднорастворимых минералов и, в первую очередь, силикатов. При этом образуются новые легко- и труднорастворимые соединения.

Первыми разлагаются слюды, дающие нерастворимый глинистый компонент в виде гидрослюд и каолинита. Из роговой обманки образуются алюмосиликаты (Al_2O_3 – бокситы). Полевые шпаты преобразуются в глины. В жарком влажном климате каолинит также может разлагаться до образования бокситов.

Гидролизу в наибольшей степени подвержены основные и ультраосновные магматические породы. Продукты такого разложения – глины монтмориллонитовые, бейделитовые, каолинитовые.

Коры выветривания. В процессе выветривания возникают две группы продуктов: подвижные, которые удаляются в растворенном состоянии водой, и остаточные – остающиеся на месте разрушения коренных пород. Остаточные продукты называются элювием. Он состоит из смеси щебня, дресвы, песка, глин. Верхняя часть элювия благодаря растительности со временем превращается в почвенный слой (рис. 5.1).

Комплекс остаточных продуктов выветривания называется корой выветривания. Самые благоприятные условия для образования мощных (до 100 м) кор – это жаркий влажный климат в сочетании с равнинным рельефом. В таких условиях может осуществиться полный цикл процесса выветривания, который включает четыре последовательные стадии:

- физическое выветривание;
- удаление легко растворимых компонентов в процессе гидролиза;
- образование остаточных глин;
- образование латеритов (бокситов).

Различным климатическим зонам соответствуют определенные стадии выветривания. Так, в приполярных областях и в засушливых жарких условиях может осуществляться в основном лишь физическая форма выветривания.



Рис. 5.1. Выветривание горных пород и почвообразование

Кора выветривания постепенно меняет свой состав – от слабо измененных коренных пород внизу до продуктов полного химического разложения в верхней части (рис. 5.2).

Коры выветривания по времени своего формирования делятся на современные и древние (ископаемые) – перекрытые молодыми образованиями. Древние коры обнаруживаются и изучаются с помощью бурения скважин и по горным выработкам. По своей форме коры могут быть площадными и линейными. Последние вытянуты в пространстве и распространяются на глубину. Длина их может достигать десятков километров, а ширина сотен метров. Линейные коры приурочиваются к крупным разломам, где в силу раздробленности пород и их высокой водопроницаемости создаются благоприятные условия для выветривания.

Коры выветривания обычно формируются в пределах равнинных – платформенных частей континентов. В горных областях они отсутствуют, так как скорость их образования уступает скорости разрушения процессами денудации. Наличие в разрезе земной коры кор выветривания свидетельствует о длительном перерыве в осадконакоплении на данной территории и стратиграфически несогласном залегании вышележащих отложений.

С корами выветривания связаны комплексы минералов и горных пород, представляющие собой ценные полезные ископаемые. Рыхлые продукты – щебень, гравий, песок являются строительными материалами. В элювии накапливаются многие стойкие к выветриванию минералы. Поэтому в корях выветривания образуются россыпные месторождения золота, платины, касситерита, ильменита, алмазов. В них также формируются месторождения каолинов, бокситов, никелевых, железных, марганцевых руд.

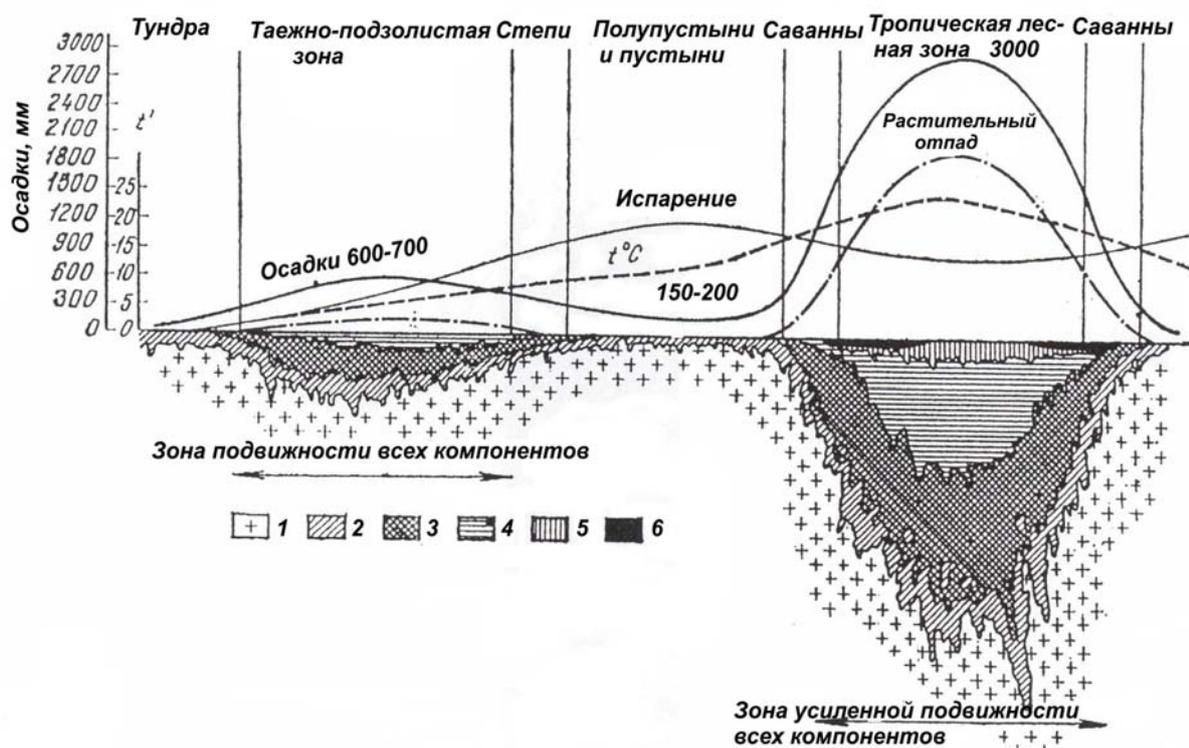


Рис. 5.2. Схема строения кор выветривания в различных климатических зонах (по Н.М.Страхову):

1 – свежая порода; 2 – зона дресвы, химически малоизмененной; 3 – гидрослюдисто-монтмориллонитово-бейделлитовая зона; 4 – каолинитовая зона; 5 – охры, Al_2O_3 ; 6 – панцырь, состоящий из Fe_2O_3 и Al_2O_3

Выветривание как горно-геологический фактор. Образование трещин, изменение минерального состава, структуры и текстуры коренных пород при выветривании приводит к изменению их физико-механических свойств. Такие породы отличаются повышенной пористостью. Их прочностные показатели становятся значительно ниже и зависят от степени выветрелости. Выветрелые породы неустойчивы в горных выработках, в откосах карьеров и естественных обнажениях на поверхности. Они являются той средой, где зарождаются осыпи, обвалы, сели и оползни.

Важное значение имеет оценка свойств выветрелых пород при проектировании карьеров, выборе крутизны и конструкции откосов дорожных выемок, строительных котлованов, установлении глубины вскрышных работ на месторождениях строительного камня, при расчете глубины заложения фундаментов строительных сооружений и т.д. Сама оценка прочностных показателей пород производится путем расчета их коэффициента выветрелости (K_v) по соотношению плотностей выветрелой и неветрелой породы. Плотность пород определяется в специальных лабораториях.

Процессы выветривания особенно активно протекают в подземных выработках. Этому способствует обилие влаги в рудничном воздухе, принудительное проветривание выработок, присутствие химически аг-

рессивных шахтных вод. Поэтому в таких условиях породы быстрее выветриваются, теряют устойчивость, обрушаются. Деревянная и металлическая крепь, все виды шахтного оборудования разрушаются, покрываются ржавчиной и требуют частой замены.

Методические замечания и рекомендации

Для лучшего усвоения данной темы целесообразно принять к сведению следующие положения и рекомендации.

Потери материальных ресурсов во многом связаны с недооценкой роли процессов выветривания, непониманием их сущности и с отсутствием достаточных мер по предотвращению отрицательного воздействия этих процессов.

Выветриванию подвергается все, что располагается на поверхности и на глубине – до того уровня, куда может проникать воздух или просачиваться вода насыщенная кислородом и другими активными веществами. Поэтому необходимо стремиться увидеть в окружающих нас объектах результаты выветривания, определить какие его виды проявили себя. Например, обрушающиеся стены старых домов, густая сеть трещин в асфальтовом покрытии или глубокие выбоины в нем на проезжей части дороги. Эти выбоины периодически ликвидируют, но они появляются вновь. В нашей климатической зоне все это является следствием физического выветривания и, в первую очередь, морозной его разновидности. Результаты проявления преимущественно химического выветривания – коррозия водопроводных труб, автомобильных кузовов, потеря эластичности деталей из резины и многое другое. В связи с этим необходимо думать над тем, какие меры защиты от выветривания были бы оптимальными в тех или иных условиях.

Задания для самоконтроля

- 1. Охарактеризуйте основные химические реакции, обуславливающие процессы выветривания.*
- 2. Назовите геологические факторы, которые способствуют мощному корообразованию.*
- 3. Какая из форм выветривания преобладает в Приднепровском регионе, в пустыне Сахара, в Антарктиде, в выработках шахт Дон-*

басса?

4. Назовите конечные продукты физического и химико-биологического выветривания.

5. Как называются отложения, на которых формируется почвенный слой и благодаря чему это происходит?

6. Существует ли современная кора выветривания в той местности где Вы постоянно проживаете?

7. Какие виды полезных ископаемых образуются в корах выветривания и каким образом?

8. Какие способы защиты от выветривания хозяйственных объектов Вам известны?

9. Какая из сторон дома будет выветриваться более интенсивно – обращенная к югу или к северу?

5.2. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВЕТРА, ВОД, ЛЬДА И СИЛ ГРАВИТАЦИИ

Следующими стадиями экзогенных преобразований являются разрушительные процессы денудации и созидательные процессы аккумуляции, которые неразрывно связаны между собой и трудно поддаются разграничению в пространстве и времени. Они представляют собой совокупную деятельность подвижных геологических агентов (факторов), к которым относятся:

- ветер;
- поверхностные текучие воды;
- подземные воды;
- воды водоемов (морей, озер, болот);
- лед в различных формах его нахождения;
- силы гравитации, приводящие в действие все экзогенные и эндогенные факторы на Земле.

Основной результат денудационных и аккумулятивных процессов заключается в постепенном снижении абсолютных отметок рельефа и его выравнивании за счет разрушения возвышенных частей земной коры и заполнения продуктами разрушения всех понижений в рельефе – морских, озерных впадин и речных долин.

Содержание и назначение раздела

Общая оценка результатов совместной деятельности геологических агентов экзогенных процессов; характеристика денудационной (эрозионной) и аккумулятивной деятельности отдельных агентов – ветра, текучих поверхностных и подземных вод, льда, вод морей, озер, болот и сил гравитации.

Знание условий и характера геологической деятельности агентов экзогенных процессов необходимо для понимания их роли

при формировании земной коры в прошедшие геологические эпохи и в настоящее время. Объем этих знаний определяет соответствующий уровень образованности человека и его возможности применить их в научной и практической работе. Студент должен иметь представление об эрозионной и аккумулятивной деятельности ветра, вод, льда, сил гравитации, а также способах и области применения этих знаний.

Общеизвестно, что скорость денудации находится в прямой зависимости от контрастности форм рельефа, т.е. от наличия и крутизны его склонов. И это естественно, так как только на склонах может реализоваться потенциальная энергия гравитационного поля в виде кинетической энергии обвалов, осыпей, разрушающих потоков текучих вод, сползающих ледников и перемещающихся воздушных масс.

В процессе денудации сами склоны разрушаются, видоизменяются, на них возникают более мелкие формы рельефа, образованные теми или иными геологическими агентами экзогенных процессов. Особенности таких преобразований зависят от основных параметров склонов – их протяженности, крутизны, строения и формы, которые, в свою очередь, определяются геологическими условиями – тектоническим строением, составом пород, климатическими особенностями.

Деятельность геологических агентов приводит к образованию специфических форм рельефа, которые в соответствии с направленностью процесса подразделяются на денудационные (эрозионные) формы, созданные в результате разрушения горных пород, и аккумулятивные, возникающие за счет накопления осадков.

Работа всех геологических агентов совершается по одной и той же схеме в такой последовательности:

- удаление продуктов выветривания с мест их образования;
- перенос (транспортировка) этих продуктов с попутным их разрушением;
- разрушение горных пород, по которым осуществляется транспортировка продуктов выветривания;
- сортировка переносимого материала по форме, размерам и весу обломков;
- аккумуляция отсортированного материала в виде осадка.

Деятельность ветра

Движущаяся атмосфера (ветер) совершает на Земле большую геологическую работу, особенно на открытых пространствах и при значительных скоростях движения воздуха. В последние десятилетия, благодаря интенсификации хозяйственной деятельности, все новые области земной поверхности вовлекаются в сферу активной работы ветра.

Геологические процессы, связанные с деятельностью ветра и отло-

жения, возникающие при этом, называются эоловыми (гр. *Эол* – *Бог ветра*).

Разрушительная работа, производимая ветром и текучими водами, называется – эрозией (лат. *эрозио* – *размывание, разъедание*).

Эрозионная работа ветра. Эта работа зависит от скорости ветра и осуществляется двояко:

- путем механического воздействия непосредственно воздушных струй на рыхлые продукты выветривания;
- в результате ударов о горные породы твердых частиц, которые переносятся ветром.

Первый вид ветровой эрозии называется дефляцией (лат. *дефляцио* – *выдувание, развевание*), второй – корразией (лат. *корразио* – *обтачивание*). Конечно, эти два вида эрозии представляют единое целое и осуществляются одновременно.

В процессе эрозии ветер подхватывает рыхлые продукты выветривания и переносит их в направлении своего движения. Дальность переноса частиц определяется их размерами и силой ветра. Для мелкопылеватых частиц она практически неограниченна.

В крутых обрывах ветровая эрозия носит избирательный характер – в более мягких слоях образуются ниши выдувания, углубления и соты, а в твердых – выпуклости, карнизы, выступы.

Аккумулятивная работа ветра. О масштабах геологической работы ветра свидетельствует распространенный на планете вид пустынного ландшафта с его песчаными барханами и грядами, а также наличие огромных песчаных дюн на берегах некоторых морей и рек. Все эти аккумулятивные формы созданы ветровой деятельностью. Переваемые ветром барханы и дюны движутся по направлениям ветра и производят прогрессирующее в настоящее время опустынивание многих регионов на Земле.

Среди осадочных пород, образовавшихся в прошедшие эпохи, эоловым отложениям принадлежит значительная роль. Современные эоловые пески и алевриты (лессы) распространены на огромных территориях всех континентов. На Украине лессы чехлом мощностью до нескольких десятков метров покрывают более 60 % ее территории. Породы эти мягкие, высокопористые, хорошо впитывают влагу и превращаются в пластичную, легко деформируемую массу. В связи с этим возведение строительных объектов на лессах производится только с соблюдением специальных технологий.

Огромный ущерб дефляция приносит сельскому хозяйству, разрушая в определенных климатических зонах почвенный слой. Такая ветровая эрозия почв происходит на сотнях миллионов гектаров Украины, Северного Кавказа, Казахстана. Особенно крупных масштабов этот процесс достиг в США, где более 400 млн. гектаров пострадали от ветровой

эрозии – вплоть до полного уничтожения почвенного слоя. Одна из мер защиты от ветровой эрозии – насаждение лесных полос.

Потери от дефляции терпит и промышленное производство вследствие развевания сыпучих полезных ископаемых, в том числе угля в местах складирования, обогащения и при транспортировке. В горнорудных районах дефляция приводит к загрязнению почв, воздуха и воды при развевании продуктов выветривания из породных отвалов и складов полезных ископаемых. В связи с этим проектирование и строительство наземных объектов горнодобывающих предприятий должно производиться с учетом преобладающих направлений ветра, его силы и рельефа местности.

Деятельность поверхностных текучих вод

Источником поверхностных текучих вод являются атмосферные осадки в виде дождя, снега, града, инея, тумана и т.д. и подземные воды, попадающие в реки и другие водотоки. Сток текучих вод производит колоссальную геологическую работу, в результате которой происходит денудация (водная эрозия) континентов и образование разнообразного осадочного материала, состоящего из обломков минералов и горных пород, глинистых частиц и растворимых соединений.

Сток поверхностных вод и его виды. Сток – это количество воды, стекающей по дневной поверхности в открытые водоемы и водотоки. Он составляет лишь 6 % от общего количества выпадающих атмосферных осадков. Основная их часть тратится на испарение и инфильтрацию через горные породы, за счет чего постоянно пополняются запасы подземных вод. Величина стока зависит от рельефа местности, растительности, состава горных пород и климатических условий.

Различают две формы стока поверхностных текучих вод: начальную – площадной сток и конечную – линейный или русловый.

Площадной сток формируется на поверхности склонов только в период выпадения атмосферных осадков или быстрого таяния снега и представляет собой густую сеть мельчайших бороздочек и желобков, по которым стекает вода.

Линейный сток возникает в результате слияния вод площадных стоков в единый русловый поток (рис. 5.3).

Денудационная работа площадного стока выражается в плоскостном смыве продуктов выветривания и перемещении их в нижнюю часть (основание) склонов. В результате этого склоны сглаживаются, становятся более пологими, происходит выравнивание и общее снижение рельефа суши.

Аккумулятивная деятельность площадного стока заключается в на-

коплении у основания склонов делювия – слабоотсортированного обломочного материала с тонкой слоистостью и характерной плащеобразной формой залегания. В составе делювия преобладают супеси и суглинки, в разной степени обогащенные крупным песком, дресвой, щебнем. Мощность делювия зависит от крутизны и протяженности склона, состава пород и изменяется от сантиметров до 10-15 метров. При удалении от основания склона эти отложения выклиниваются, уменьшаясь в мощности до полного отсутствия. Делювий широко распространен у подножия холмов, бортов речных долин и горных склонов (рис. 5.4).

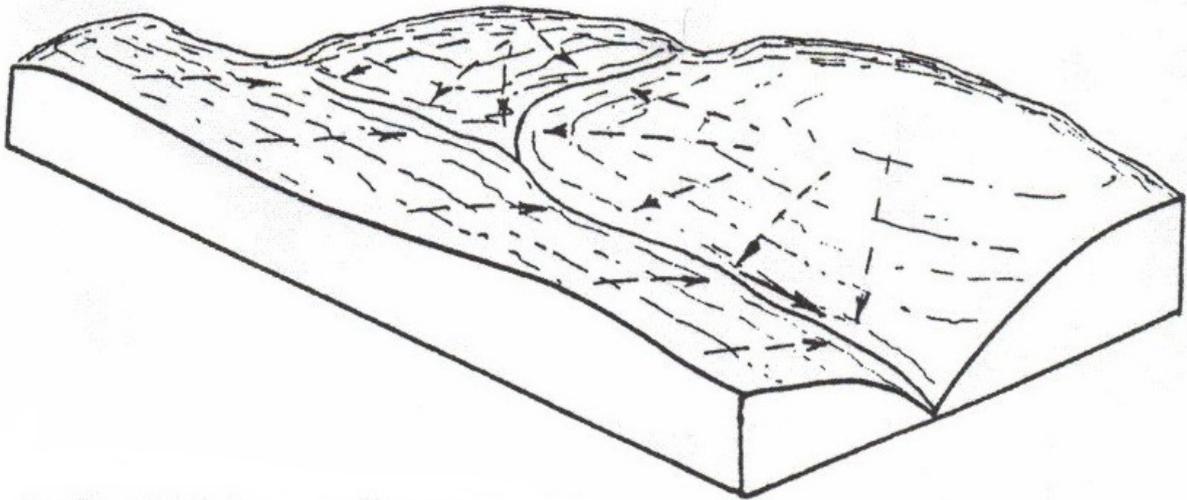


Рис. 5.3. Схема площадного (пунктирные стрелки) и линейного (руслового) стоков поверхностных текучих вод

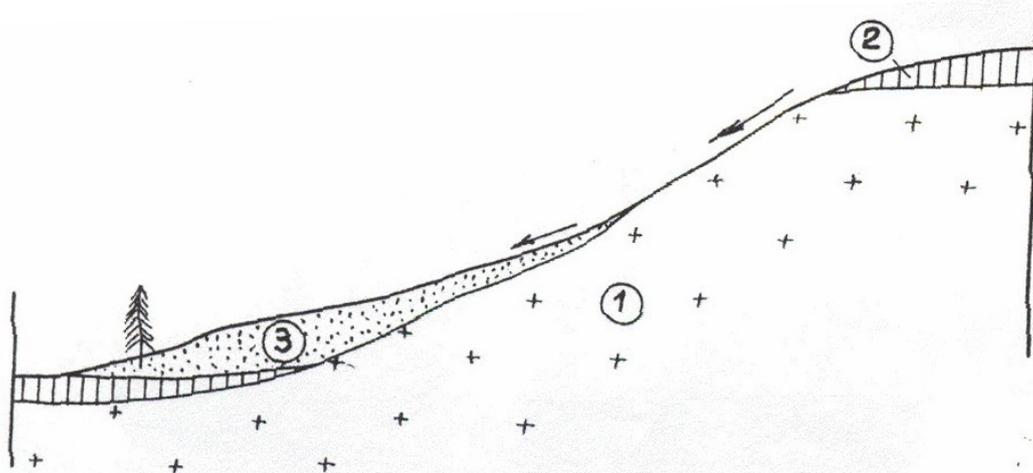


Рис. 5.4. Механизм образования делювиальных отложений у основания склонов:

1 – коренные породы, 2 – элювий, 3 – делювий

Делювиальный процесс наносит ущерб сельскому хозяйству, так как с распаханых склонов легко смывается плодородный слой. В горнодобы-

вающем производстве под влиянием этого процесса расширяются породные отвалы (терриконы), а в карьерах происходит сглаживание бортов. На горных склонах в периоды дождей пересыщенный влагой делювий часто теряет устойчивость и в виде оползневой массы смещается вниз.

Линейный (русловый) сток неоднороден по своей структуре. Вначале он осуществляется по мелким эрозионным формам – бороздам и рытвинам, которые располагаются на склонах. Слияние рытвин образует более мощный водный поток, который вырабатывает себе в нижней части склона углубление в виде оврага. Овраги выносят свои воды в более крупные долины ручьев и балок. Слияние ручьев образует уже русловый речной сток (рис. 5.5).



Рис. 5.5. Схема последовательности образования (трансформации) основных эрозионных форм на склоне: борозда (1) – рытвина (2) – молодой овраг (3) – старый овраг, балка (4)

Разрушительная (денудационная) работа руслового стока зависит от характера движения воды и ее скорости. Течение может быть ламинарным и турбулентным. Ламинарное, упорядоченное течение почти не дает эрозионного эффекта. Турбулентное движение воды происходит беспорядочно, в виде завихрений и оказывает на ложе водотока сильное эрозионное действие.

Скорость течения воды в водотоке определяется уклоном его русла – отношением между превышением истока водотока над его устьем и расстоянием между ними по горизонтали. С увеличением скорости водотока возрастает и его способность к транспортировке переносимых им обломков, которые в свою очередь усиливают эрозию пород, слагающих русло. Согласно закону Эри, при увеличении скорости водотока в 2 раза его способность к транспортированию возрастает в 4 раза, а при увеличении в 3 раза – в 729 раз.

Способность водотока производить разрушительную и транспортирующую работу определяется его кинетической энергией или живой силой, которую можно рассчитать по известной формуле:

$$E = \frac{mv^2}{2},$$

где E – энергия текущей воды; m – расход (масса) воды, протекающей через поперечное сечение водотока за единицу времени; v – средняя скорость течения воды.

Ложе водотока разрушается под действием, в основном, трех факторов: абразии, гидравлического выпахивания и растворения. Абразия – это механическое разрушение дна под действием ударов и трения обломков, переносимых водотоком. Они долбят, строгают, шлифуют русло. Гидравлическое выпахивание осуществляется за счет расклинивающего и подъемного действия движущейся воды. Водоток способен разрыхлять, поднимать и перекачивать по дну кусочки грунта, а также выбивать и увлекать в движение кусочки твердой породы. Растворение происходит за счет растворяющей способности воды, содержащей вещества (диоксид углерода, органические кислоты и др.), усиливающие эту способность.

По условиям питания и режиму русловые водотоки делятся на постоянные или речные, питающиеся в основном за счет подземных и ледниковых вод, и временные, эпизодическое возникновение которых обусловлено выпадением дождя или активным таянием снега. К последним относятся любые линейные понижения в рельефе – борозды, рытвины, овраги, сухие русла на склонах гор. Характеристики постоянных и временных водотоков и результатов их деятельности целесообразно рассмотреть отдельно.

Деятельность рек. Река – это постоянно действующий (в течение многих тысяч лет) водный поток, протекающий в долине и обладающий достаточно большой протяженностью (от нескольких до тысяч километров).

В строении реки различают ее исток, русло, устье и притоки. Поверхность, по которой течет река, называется речным ложем. Река вместе с притоками образует водосборную площадь или бассейн реки. Границы бассейнов рек, которыми обычно служат горы и возвышенности, называются водоразделами. У берегов скорость течения меньше, чем в средней – стрежневой части реки.

Денудационная работа рек осуществляется в форме эрозионной и транспортирующей их деятельности. Различают глубинную (донную) и боковую эрозии. Первый вид ее выражается в углублении русла за счет разрушения пород ложа реки. Второй вид эрозии заключается в разрушении (боковом подмыве) водным потоком крутых бортов его долины, вследствие чего происходит ее постепенное расширение. Механизм этого процесса осуществляется за счет многократных изгибов (меандриро-

вания) русла в пределах плоской, донной части долины (рис. 5.6). Оба вида речной эрозии проявляются одновременно, однако в зависимости от места реки и периода ее развития может преобладать тот или иной вид эрозии. Так, в верховье реки преобладает глубинная, а в низовье – боковая.

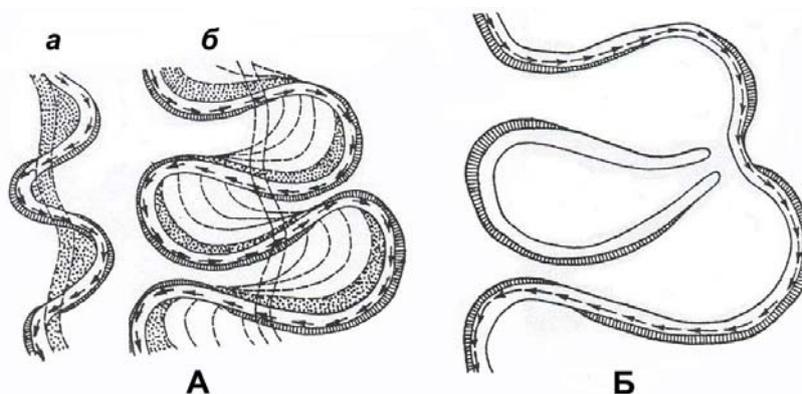


Рис. 5.6. Схема последовательного смещения речных меандр по мере их роста (А) и образования из них стариц – озер, приуроченных к дугообразным участкам старого русла (Б):

а – начальная стадия; б – развитие меандр в более поздних стадиях

Конечная цель речной эрозии – выработка продольного профиля равновесия реки, представляющего собой кривую изменения абсолютных отметок дна реки на всем ее протяжении – от истока до устья (рис. 5.7). Форма этого профиля определяется первичным рельефом местности, количеством притоков, прочностью горных пород речного ложа и т.д.

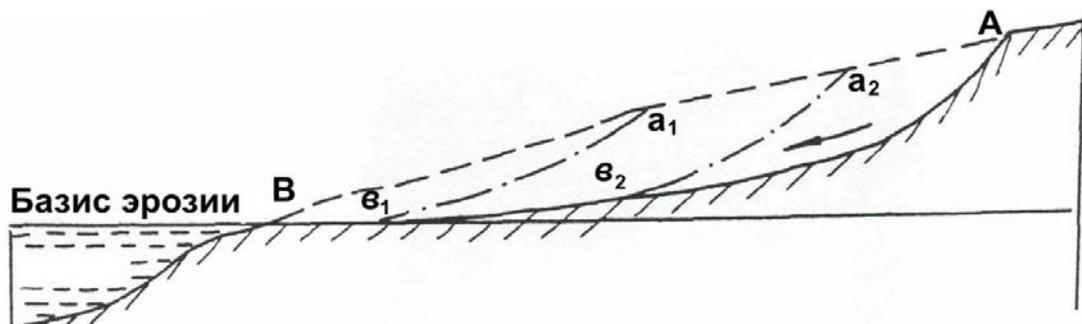


Рис. 5.7. Схема формирования продольного профиля равновесия реки:

$Вв_1a_1$, $Вв_2a_2$ – промежуточные продольные профили русла реки; $Вв_2A$ – продольный профиль равновесия; $Ва_1a_2A$ – исходный профиль рельефа местности

По мере эрозионной работы реки ее продольный профиль углубляется, приближаясь к уровню водоема, куда впадает река. Этот уровень получил название базиса эрозии. Профиль равновесия формируется не только по всей длине реки, но и по отдельным ее частям. Это обусловлено наличием трудноразрушаемых пород вдоль течения реки. В таких местах образуются пороги, перекаты, водопады и они же создают так называемые промежуточные базисы эрозии.

С течением времени все неровности, по которым течет река, сглаживаются и вырабатывается ее продольный профиль равновесия. Донная эрозия такой реки прекращается практически на всем протяжении, устанавливается динамическое равновесие между силами эрозии и прочностью пород в русле.

Возобновление донной эрозии реки, ее омоложение может наступить в том случае, если благодаря колебательным движениям земной коры увеличивается наклон продольного профиля ее русла. Это может произойти в двух случаях: когда блоки земной коры начнут опускаться в районе базиса эрозии, и он понизится или когда будет происходить их подъем в области верхнего течения реки. И в том и в другом случае произойдет увеличение уклона русла. Именно поэтому в жизни реки различают несколько периодов: юность, зрелость и старость.

Юность реки характеризуется невыработанным профилем равновесия, большой скоростью течения, наличием порогов и водопадов, V-образной формой долины в поперечном ее сечении.

Зрелость реки наступает по мере приближения рельефа речного дна к профилю равновесия. В среднем и нижнем течении преобладает боковая эрозия. Долина расширяется и приобретает U-образную форму. Русло часто образует меандры. Скорость течения уменьшается от истоков к устью.

Старость реки характеризуется повсеместным общим приближением продольного профиля к равновесному положению, но все же он больше у истока. В качестве примера старой реки – современная Волга.

Омоложение реки – возобновление в ней донной эрозии – может произойти не только в результате движения блоков земной коры, но и за счет увеличения массы протекающей в реке воды в силу изменений климата или перехвата рекой вод других водотоков. Во всех таких случаях в срединной части старой долины река начнет за счет донной эрозии формировать свою новую долину, а возвышенные остатки старой в виде выровненных участков образуют речные террасы. Таких террас у реки может быть несколько (рис. 5.8). Например, самая молодая пойменная терраса реки Днепр в районе г. Днепропетровска располагается на 80 м ниже самой высокой ее террасы. Изучая распределение и высоту террас вдоль реки, можно восстановить историю колебательных движений земной коры в исследуемом регионе.

Транспортирующая работа реки проявляется в переносе обломочного материала путем его перетаскивания и перекачивания по дну, во взвешенном состоянии или в перемещении разнообразных растворимых веществ. Максимальный размер транспортируемых обломков определяется скоростью течения. В среднем скорость перемещения песка равна половине скорости течения воды.

В процессе донной транспортировки обломки горных пород сортируются, истираются, обтачиваются и шлифуются, приобретая округлые очертания. Этот процесс называется корразией. Конечная ее стадия –

полное истирание обломков. Скорость корразии зависит от крепости пород, т.е. от их состава. Так, в среднем при массе 40 г галька, состоящая из песчаника истирается на протяжении 10-15 км пути, из глинистого сланца – 30-40 км, известняка – 40-80 км, гранита – 250-300 км.

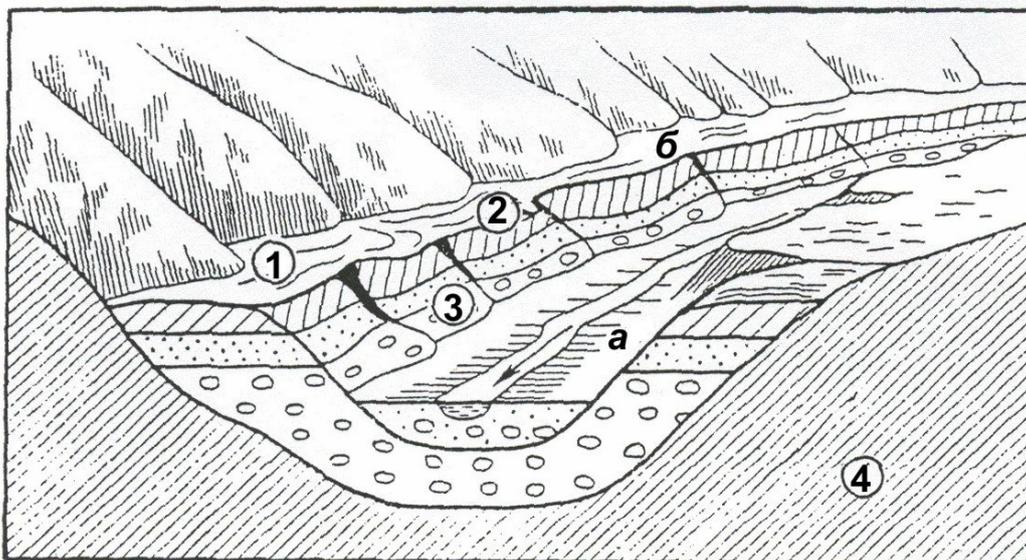


Рис. 5.8. Схематический поперечный профиль речной долины:
а – пойменная терраса; б – первая надпойменная терраса; 1 – поверхность террасы, 2 – бровка террасы, 3 – уступ террасы, 4 – коренные породы, в которые вложена аллювиальная долина

Большое количество материала переносится во взвешенном состоянии. Количество такого материала в воде определяет его мутность. Так, вода самой мутной реки Хуанхэ содержит до 34 кг взвеси в 1 м³ (мутность воды открытого океана 0,1 мг/л). Река Амазонка, например, ежегодно во взвешенном состоянии выносит в океан почти 1 млрд. т. материала.

Около 40% всего транспортируемого реками материала переносится в растворенном состоянии (химический сток). Основную его часть составляют легкорастворимые соли (NaCl, KCl, MgSO₄, CaSO₄), карбонаты (CaSO₃, MgSO₃, Na₂CO₃), различные соединения железа, фосфора, марганца.

Речные отложения в виде разнообразных осадков формируются в долинах и в местах впадения рек в водоемы. Эти отложения называются аллювиальными и состоят из глины, песка, гравия, гальки, дресвы, щебня, иногда валунов и глыб.

В зависимости от места в реке и условий образования выделяются разновидности аллювиальных отложений: 1) русловые – наиболее крупные обломки, залегающие в руслах рек; 2) пойменные – глины, суглинки, мелкозернистые пески с органическими остатками, слагающие речные поймы; 3) старичные – супесь, ил с органикой, образующиеся в речных

старицах, лиманах; 4) дельтовые – хорошо отсортированный песчано-глинистый материал, слагающий речные дельты. Дельты образуются в местах впадения реки в море и представляют собой обширные ровные участки суши, пересекаемые многочисленными речными протоками и рукавами.

Среди аллювия нередко встречаются россыпные месторождения. Речная вода разрушает горные породы и вымывает содержащиеся в них ценные минералы. При переносе всех этих обломков происходит их сортировка по размеру, удельному весу и форме. Поэтому однородные по свойствам обломки образуют скопления в отдельных участках речного стока. Так возникают россыпные месторождения галечников, песков, золота, платины, вольфрамита, касситерита, алмазов.

Деятельность временных водотоков. Наиболее существенная по своим геологическим результатам деятельность временных водотоков осуществляется в местностях со сложным рельефом и большим количеством атмосферных осадков. В таких местах часто образуются так называемые селевые потоки, а также происходит активное оврагообразование.

Селевые потоки возникают в сухих руслах на склонах, в горных долинах ручьев и малых рек во время ливней или быстрого таяния снега. Сель – это бурный водно-грязевой поток, транспортирующий разноразмерные обломки горных пород. Размер обломков, в зависимости от мощности потока, может достигать десяти метров. Мелкообломочный и глинистый материал попадает в русла селевых потоков в результате плоскостного смыва дождевыми водами продуктов выветривания с окружающих склонов.

При выходе потока на ровный участок, например, на террасу основной реки, скорость течения в нем резко падает и весь переносимый неотсортированный материал откладывается в виде конуса выноса (рис. 5.9). Такие отложения называются пролювиальными. Мелкие селевые потоки могут также формироваться на бортах крупных карьеров и на терриконах. В горных местностях они представляют угрозу для населения и инженерных сооружений.

Образование оврагов. Этот процесс происходит в условиях расчлененного рельефа, на склонах возвышенностей, вдоль крутых бортов речных долин и морского побережья. Наиболее интенсивно овраги развиваются в рыхлых, легкоразмываемых породах не закрепленных корневой системой древесной растительности – в глинах, лессовидных глинах, лессах. Этим объясняется широкое развитие оврагов на большей части территории Украины.

Овраги формируются следующим образом. Дождевая вода, стекающая по склонам, наибольшую живую силу обретает в нижней их части. Поэтому наличие здесь любых неровностей приводит к возникновению борозд, ложбин, которые углубляясь превращаются в рытвину, а затем и в

молодой овраг с V-образным поперечным профилем. Таким образом, процесс этот происходит снизу вверх путем так называемой попятной эрозии.

Продольный профиль равновесия оврага формируется так же как у рек. В соответствии с процессами, протекающими в овраге, его можно разделить на три участка: верхний (верховье), где происходит углубление дна (донная эрозия); средний, где осуществляется перенос продуктов разрушения; нижний, где идет накопление овражного аллювия. В устье оврага эти отложения образуют конус выноса. Обычно овраг имеет несколько отвершков, которые все вместе образуют овражную сеть.

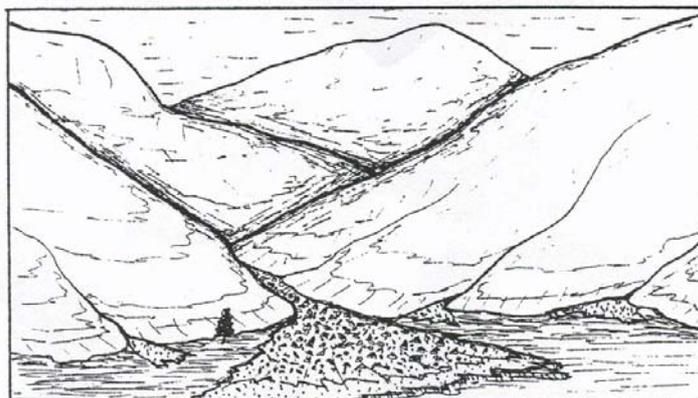


Рис. 5.9. Отложения (осадки) временных русловых водотоков в виде конусов выноса

Со временем, благодаря обрушениям крутых бортов и плоскостному их смыву, поперечный профиль овражных долин приобретает пологие U-образные очертания, на дне появляется древесная растительность и молодой овраг превращается в старый, а затем в балку (рис. 5.5).

Оврагообразование наносит огромный ущерб. Оно приводит к осушению территорий, так как дренируются подземные воды и увеличивается испарение грунтовой влаги. Понижается уровень грунтовых вод, постепенно исчезает растительность. За этим следуют процессы выветривания и эрозии почв, в результате чего плодородные земли превращаются в пустыри.

Борьба с оврагообразованием может осуществляться путем регулирования стока атмосферных вод с помощью бетонных дренажных канав, укрепления склонов путем посадки растительности, сооружения запруд по руслу оврага, заваливания его верховьев бутовым материалом.

Деятельность подземных вод

Общая характеристика подземных вод. Вся влага, которая находится в земной коре ниже ее поверхности, образует подземные воды. По некоторым оценкам до глубины 16 км в земной коре содержится около 1/3 объема вод Мирового океана. Подземные воды имеют различное происхождение:

- инфильтрационные воды – это просочившиеся с поверхности в горные породы атмосферные осадки;
- конденсационные – образующиеся в результате конденсации воздушных паров в трещинах и порах горных пород;
- остаточные – те, которые сохранились в осадочных породах со времени образования этих пород;
- ювенильные (лат. ювенилис – юный) – первичные эндогенные воды, отделившиеся от магмы, а также образовавшиеся при метаморфизме горных пород;
- техногенные – поступающие в породы при искусственном орошении полей, утечках из коммуникационных систем, шахтные и другие воды как отходы промышленного производства.

В горных породах вода может находиться в различных физико-химических состояниях:

- химически связанная вода входит в состав минералов;
- физически связанная удерживается молекулярной связью с породой и образует в ее порах пленки (гигроскопическая и пленочная влага);
- капиллярная;
- гравитационная (капельно-жидкая) или свободная вода заполняет трещины, пустоты в породе и под воздействием силы тяжести может перемещаться путем фильтрации.

Когда речь идет о геологической деятельности подземных вод, то прежде всего имеются в виду гравитационные, подвижные воды. Их режим зависит от водно-физических свойств горных пород – водопроницаемости и влагоемкости. Хорошо водопроницаемы – галечники, пески; водопроницаемы – трещиноватые породы, песчаники, супеси; непроницаемы (водоупорные) – глины, нетрещиноватые породы. При этом полностью непроницаемых пород не существует (рис. 5.10).

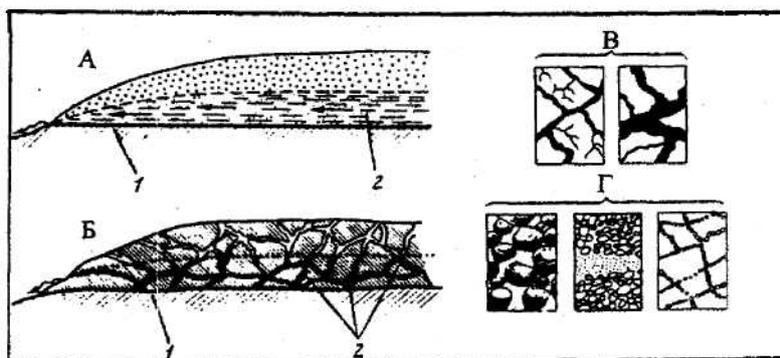


Рис. 5.10. Факторы, обеспечивающие водопроницаемость пород:

А – пористые породы; Б – трещиноватые породы; В – размеры водопроницающих трещин; Г – размеры и характер расположения зерен в пористых породах; 1 – водонепроницаемые породы (водоупоры); 2 – нижние части водопроницаемых слоев, насыщенные водой

Влагоемкость – это способность пород вмещать и удерживать влагу. Самые влагоемкие – глины (от 400 до 700 л воды в 1 м³, у песка лишь около 80 л).

Химический состав и величина минерализации подземных вод очень разнообразны. В них может содержаться растворенных минеральных веществ до 50 г/л. Среди них преобладают ионы (Cl, SO₄, HCO₃, CO₃, Na, K, Ca, Mg) и газы (кислород, углекислый газ, водород, аммиак, азот, сероводород). Состав растворенных веществ определяет жесткость, соленость и агрессивность вод по отношению к породам и строительным материалам.

Подземные воды находятся в движении, направленном из области их питания в область разгрузки (дренирования) – к речным долинам, оврагам, водоемам, где они выходят на поверхность в виде источников (родников). Скорость движения вод очень мала и колеблется в среднем от 0,1 до десятков метров в сутки, т.е. в тысячи раз меньше, чем в реках.

По условиям залегания, питания и движения подземные воды подразделяются на:

- почвенные, находящиеся в почвенном слое;
- верховодку, залегающую на неглубоких местных водоупорах, располагающихся среди проницаемых пород;
- грунтовые воды, приуроченные к первому от поверхности водопроницаемому слою, залегающему на первом же водоупорном;
- межпластовые воды, отличающиеся от грунтовых наличием водоупорной и кровли и почвы, что исключает возможность их непосредственного атмосферного питания (рис. 5.11).

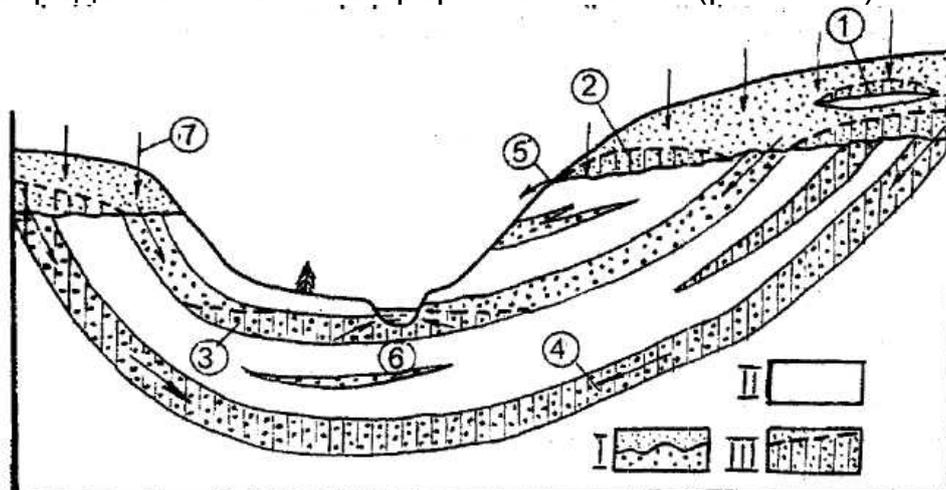


Рис. 5.11. Виды подземных вод по условиям их питания и залегания на примере крупной синклинальной складки:

I – водопроницаемые породы; II – водонепроницаемые породы; III – зоны полного водонасыщения; подземные воды: 1 – верховодка, 2 – грунтовые воды (пунктирные линии – уровень грунтовых вод-УГВ); 3 – первый водоносный горизонт межпластовых безнапорных вод; 4 – второй водоносный горизонт межпластовых напорных (артезианских) вод; 5 – нисходящий источник (родник); 6 – восходящие источники, питающие речной сток; 7 – атмосферные осадки

Грунтовые и межпластовые воды движутся по водопроницаемым водоносным слоям из области питания в область своего залегания, проходя путь иногда в сотни километров и увеличивая при этом свою минерализацию.

Межпластовые воды могут быть безнапорными, если постоянный их дренаж не позволяет им полностью насытить водопроницаемый слой, и напорными, если такое насыщение наступает. При этом гидростатический напор (давление) в таких водоносных слоях определяется как разность абсолютных высот (Z) между областью питания и местом дренажа (рис. 5.11).

Подземные воды также могут насыщать пустоты в породах и трещиноватые зоны в них, в том числе приуроченные к разрывным и складчатым тектоническим нарушениям.

Денудационная работа подземных вод. Эта работа сводится главным образом к химическому взаимодействию их с горными породами (растворению, гидратации, гидролизу, окислению, выщелачиванию) и частично к механическому вымыванию частиц породы силами движущейся воды (суффозионные процессы). В соответствии с этим перенос продуктов разрушения осуществляется в растворенном состоянии и в меньшем количестве в виде взвешенного материала.

Интенсивность химического разложения пород определяется их составом, минерализацией подземных вод, рельефом и климатическими условиями. Химическое разложение горных пород под воздействием подземных и просачивающихся поверхностных вод с образованием пустот в породах называется процессом карстообразования.

В наибольшей степени карстовым процессам подвержены породы, состоящие из галоидов (каменные и другие соли), сульфатов (гипсы, ангидриты), карбонатов (известняки, мрамора, мергели). В таких породах образуются пустоты разных размеров и форм – карстовые полости (карст). Различают так называемый поверхностный карст – карры, воронки, поноры, поля и подземный (закрытый) в виде пещер, шахт, пропастей (рис. 5.12).

В карстовых пещерах могут протекать подземные ручьи и реки, которые после выхода в нижних частях склонов на поверхность продолжают свою геологическую деятельность как обычные поверхностные водотоки.

Аккумулятивная работа подземных вод. Эта работа выражается в отложении растворенных в них химических и глинистых осадков в пустотах, трещинах, порах пород, через которые воды фильтруются, а также в местах дренажа. Такими веществами чаще всего являются карбонаты (CaCO_3), кремнистые ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), железистые ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и некоторые другие соединения.

В крупных карстовых полостях химические осадки образуют натечные формы – пленки, корочки, сосульки (сталактиты и сталагмиты), а в

местах выхода подземных вод на поверхность отлагается известковый туф – пористая светлая, легкая порода, используемая как строительный материал. Но основная масса химических осадков остается в трещинах и порах рыхлых пород, по которым циркулируют подземные воды. Благодаря этому породы становятся сцементированными, монолитными, крепкими. В зависимости от состава цементирующего вещества пески превращаются в известковые, кремнистые, железистые или глинистые песчаники; галечники и щебень – в конгломераты и брекчии.

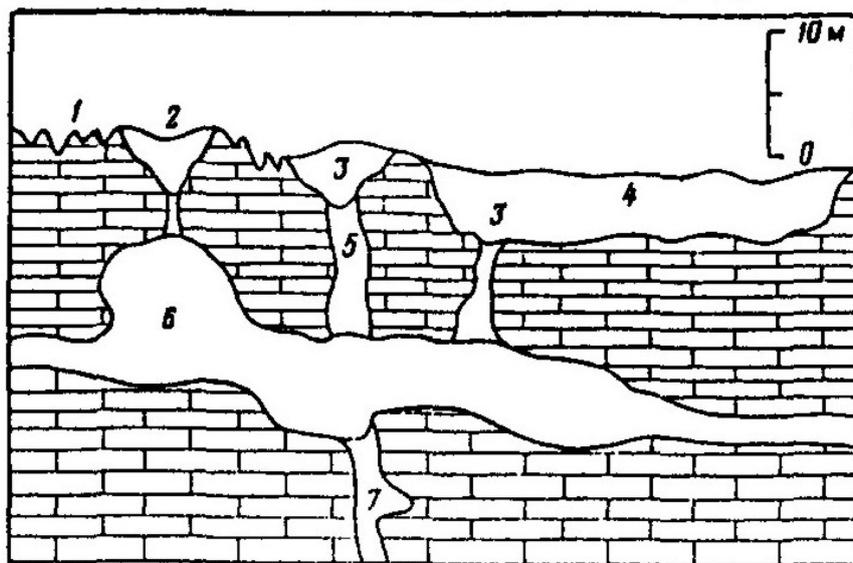


Рис. 5.12. Схема расположения поверхностных и подземных (закрытых) форм карста:

1 – карры, 2 – воронка, 3 – понор, 4 – полье, 5 – шахта, 6 – пещера, 7 – пропасть

Большую ценность представляют незагрязненные промышленными отходами пресные воды, которые можно использовать для питьевого и технического водоснабжения путем строительства скважинных водозаборов. В частности, в Украине к 2000 году выполнена оценка прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов подземных вод, величина которых составляет соответственно 61,7 и 15,8 млн. м³/сут. Разведано 365 месторождений пресных подземных вод, но дефицит их в стране тем не менее остро ощущается, особенно в Крыму, Донбассе, южных областях.

Иногда подземные воды содержат ценные минеральные вещества в промышленных концентрациях (йодо-бромистые, радиоактивные и другие воды).

В некоторых регионах с активной вулканической деятельностью (например на Камчатке) гидротермальные воды используются для отопления жилых и хозяйственных помещений. Известно, наконец, какое широкое распространение получило использование различных минеральных вод в бальнеологических целях и в пищевой промышленности.

Подземные воды – основной источник образования шахтных вод. Попадая в выработки, они обводняют их и усложняют ведение горных работ. Например, водопритоки в угольных шахтах Украины колеблются в широких пределах и составляют от 40 до 1200-1600 м³/ч. Шахтные воды необходимо откачивать на поверхность, что требует затрат энергии и других ресурсов. Так, суммарный водоотлив только в Донбассе составляет около 88 тыс. м³/ч, в Западном Донбассе – 5,5 тыс. м³/ч.

Сами шахтные воды – минерализованные и химически активные. В процессе работы шахты они дополнительно загрязняются различными химическими веществами, минеральной пылью, продуктами жизнедеятельности, вредными микроорганизмами, горюче-смазочными материалами. От контакта с такими водами быстро выходит из строя различное шахтное оборудование и крепление горных выработок. Поднятые на поверхность шахтные воды требуют дополнительных затрат на их очистку и осветление, эффективность которых на разных предприятиях колеблется от 8 до 93 %. Неочищенные полностью, минерализованные воды сбрасываются в поверхностные водотоки и водоемы, нанося урон окружающей среде.

Следует также иметь в виду, что плохо организованный сток шахтных вод способствует просачиванию их на глубину, что может вызвать образование карстовых полостей и их обрушение с аварийными последствиями.

Негативная роль подземных вод проявляется также при формировании водногравитационных явлений – оплывин и оползней на склонах.

Деятельность льда

Лед производит большую геологическую работу по разрушению горных пород, транспортировке и накоплению продуктов разрушения. Количество льда на планете таково, что вода, образованная из него, смогла бы повысить уровень океанов на 80 м.

Формы нахождения льда. Лед может быть озерным, морским, речным, грунтовым, атмосферным.

Озерный и морской лед образуется в соответствующих водоемах, достигая различной толщины в зависимости от климатических условий и глубины тех мест где он образуется.

Речной лед может оказывать истирающее воздействие на берега и дно реки во время ледохода. При сильных морозах толщина льда увеличивается и давление воды под ним настолько возрастает, что она может прорываться наружу и замерзает вдоль берегов. Так образуются речные наледи толщиной до нескольких метров. В период ледохода речной лед часто скапливается в узких местах реки, что приводит к образованию ледовых плотин, неизбежному разливу речных вод и подтоплению прилегающих территорий. Ликвидируются такие заторы с помо-

щью специальных взрывов или бомбометания.

Грунтовый лед образуется при замерзании воды находящейся в горных породах. Промерзание грунтов может быть сезонным и многолетним (вечным).

Атмосферный лед образуется в атмосфере при замерзании водяных паров и в виде снега покрывает земную поверхность. В районах со среднегодовой температурой близкой к 0°C снег полностью не растаивает, накапливается и образует массу так называемых вечных снегов. Нижняя граница их распространения называется снеговой линией. В полярных районах она располагается на высоте от 0 до 70 м, в Норвегии на высоте 1,5 км, на Кавказе соответственно 2,7-2,8 км, в Гималаях – 5,1-6 км. Снег выше снеговой линии уплотняется и постепенно превращается в мелкие округлые зерна. Такой снег называется фирном. Еще глубже фирн постепенно сливается в единую массу – так называемый глетчерный лед. Заполняя обширные понижения в горах такой лед образует ледники (рис. 5.13).



Рис. 5.13. Ледник Федченко. Темные полосы на поверхности ледника – срединные морены

Наибольшие геологические преобразования связаны с деятельностью грунтового льда, образующегося при промерзании грунтов, и атмосферного, из которого формируются ледники.

Промерзание грунтов. В регионах с положительной среднегодовой температурой происходит сезонное промерзание грунтов в зимний период на глубину до нескольких метров. Трещинная и поровая вода в грунтах при переходе в состояние льда расширяется и оказывает на них давление. Поэтому грунт слегка поднимается, верхняя часть его становится рыхлой, а поверхность неровной. Такие явления называются пучением грунтов.

Глинистые грунты, обладающие высокой влажностью, при оттаи-

вании разжижаются и обретают текучесть на склонах – возникает солифлюкция, т.е. течение грунтов при оттаивании.

Многолетнее промерзание грунтов возникает в тех районах, где среднегодовая температура ниже 0°C. Промерзание грунтов, а точнее воды содержащейся в них, в отдельных районах распространяется до глубины 800-1000 м. Территории распространения многолетнемерзлых пород на земном шаре занимают около 24 % площади суши.

В строении толщи многолетнемерзлых пород выделяют деятельный слой, который в летний период оттаивает и многолетнемерзлый слой. Важную роль в геологических процессах играют подземные воды, содержащиеся в деятельном слое – надмерзлотные воды.

Для районов развития многолетней мерзлоты характерны специфические геологические явления – морозное расклинивание, наледь, ледяные бугры, термокарст.

Морозное расклинивание происходит за счет замерзания поверхностной воды в трещинах пород и распирающего действия льда. Такие трещины каждый год все больше увеличиваются в размерах, достигая ширины нескольких метров и глубины проникновения в десятки метров. Такие ледяные жилы разрывают породы и образуют на поверхности своеобразные формы рельефа.

Наледи образуются в начале зимы, когда замерзает только верхняя часть деятельного слоя. В этих условиях надмерзлотные воды, расположенные в незамерзшей части этого слоя, оказываются зажатыми между водонепроницаемыми слоями снизу и сверху. Прорыв таких вод на поверхность приводит к образованию ледяных покровов – наледей.

Ледяные бугры – поднятия грунтов, достигающие в диаметре 100 м и высоты до 20-40 м, образующиеся в результате замерзания надмерзлотных вод не нашедших выхода на поверхность.

Термокарст образуется летом на месте ледяных бугров в результате таяния находящегося в них льда. В образовавшуюся пустоту проваливаются слагающие бугор грунты и возникает воронка, частично заполненная водой.

Ледники. Ледниками покрыто около 11 % площади суши. Общий объем льда на Земле составляет 30 млн. км³, в том числе в Антарктиде – 24 млн. км³.

Глетчерный лед обладает текучестью со скоростью до нескольких метров в сутки – в зависимости от крутизны склона, на котором он располагается.

По особенностям строения области питания ледников и области стока их делят на типы: горные (альпийские), плоскогорные (скандинавские) и материковые (гренландские).

Горные ледники в виде языков сползают по долинам с гор и постепенно тают ниже снеговой линии. Эти ледники имеют сравнительно не-

большую мощность и площадь распространения. Так площадь эльбрусского ледника 144 км^2 , на Памире ледниками занято около 10 тыс. км^2 , на Тянь-Шане – 8,5 тыс. км^2 . Наиболее мощный ледник этого района – ледник Федченко имеет мощность до 1 км, протягивается на 77 км при ширине 4 км и движется со скоростью 1 м/сут.

Плоскогорные ледники – сплошные образования на плоских возвышенностях в приполярных областях, образующие ледниковые поля площадью до 900 км^2 . На Скандинавском полуострове их общая площадь составляет около 5 тыс. км^2 .

Материковые ледники формируются в полярных областях – в Антарктиде и Гренландии. Площадь Антарктического ледника почти 14 млн. км^2 , а максимальная толщина 4 км. Поверхность материковых льдов имеет форму выпуклого щита. От спускающегося в морскую воду льда откалываются глыбы – айсберги. Размер их достигает десятков километров.

В геологической истории Земли неоднократно возникали условия для гораздо более широкого развития ледников по сравнению с настоящим временем. Такие периоды получили название эпох оледенения. В конце кайнозоя в Европе выделяются четыре главные эпохи оледенений: гюнц (N_2), миндель (Q_1), рисс (Q_2), вюрм (Q_3). В Восточной Европе принято выделять последние три эпохи, которые называются соответственно – лихвинская (Q_1), днепровская (Q_2) и валдайская (Q_3). Продолжительность каждой из этих эпох похолодания была около 50-90 тыс. лет. Межледниковые эпохи характеризовались относительно теплым климатом. Мы живем в последнюю межледниковую эпоху, которая началась около 10 тыс. лет назад. Во время Великих оледенений материковые льды покрывали Скандинавию, Финляндию, Карелию и сползали на южные равнины. Ледники наиболее сильного днепровского оледенения достигли широты Киева и Полтавы.

Причины оледенений окончательно не выяснены. В качестве возможных предлагаются астрономические (изменения условий вращения Земли, активности Солнца и др.) и геологические причины – за счет уменьшения содержания CO_2 в атмосфере, горообразования, засорения атмосферы продуктами вулканических извержений.

Денудационная и аккумулятивная деятельность ледников.

Ледники производят большую геологическую работу, которая заключается в разрушении горных пород, транспортировке продуктов разрушения и накоплении ледниковых отложений.

Разрушительная работа ледников называется ледниковой эрозией – экзарацией. Она заключается в истирании, выпахивании горных пород на пути движения ледника. Обломки пород, вмёрзшие в основание ледника также оказывают разрушающее действие на подстилающие породы. В результате долина, по которой прошел горный ледник, приобретает в сечении корытообразную форму с крутыми бортами. Это троговая долина.

Обломочный материал, захваченный ледником, переносится им на значительные расстояния. Этот материал образует морены – скопление различного размера обломков. Различают движущиеся вместе с ледником морены (поверхностные и внутренние) и неподвижные, оставшиеся на месте таяния ледника. Последние иногда формируют сплошные моренные покровы. Среди них выделяют моренные валы (друмлины) и моренные холмы (камы), а также сильно вытянутые моренные гряды – озы длиной до десятков километров и высотой до 50 м. Сложены эти формы промытыми песками, гравием и галькой. Особое место среди моренных отложений занимают конечные морены. Это валы обломочного материала, накопившиеся перед ледником и оставшиеся после его таяния.

Аккумулятивная деятельность ледника приводит также к образованию зандр – пологоволнистых равнин, расположенных за конечными моренами и сложенных вблизи них гравием и галькой, а затем песками, лессом и глинами. Этот материал образовался за счет выноса его из моренных покровов подледниковыми потоками. Отложения зандровых равнин, оз и камов называют флювиогляциальными.

Кроме отложений ледников последних эпох оледенения известны и более древние морены, которые уплотнены и изменены последующими процессами. Такие образования называются тиллитами.

Деятельность вод в морях, озерах, болотах

Процессы в морях и океанах. Роль морей и океанов в формировании земной коры и образовании различных полезных ископаемых чрезвычайно велика. Не менее 70-80% всех осадочных пород на Земле имеют морское или прибрежное происхождение. И это не удивительно, потому что большая часть продуктов разрушения континентов попадает в окружающие их моря. В наши дни в них ежегодно поступает около 27 млрд. т осадков, которые состоят из обломочного материала и растворимых соединений. Ведущая роль в его доставке принадлежит речному стоку (19,4 млрд. т). В меньшем количестве материал приносится ветром (2 млрд. т) и ледниками (1,2 млрд. т). Существенным дополнением являются продукты вулканических извержений (1,7 млрд. т) и деятельности моря по разрушению своих берегов (2,7 млрд. т).

Весь поступающий материал сортируется прибоем, течениями и постепенно откладывается на дне в виде различных по составу осадков, которые принято делить на терригенные (лат. *terra* – земля) – обломочные, химические, органические.

Особенности денудационной и аккумулятивной деятельности морей определяются рельефом дна, подвижностью земной коры в прибрежной зоне, химическим составом, температурой, характером движения морских вод, видом поступающего в них осадочного материала.

Разрушительная работа моря сосредоточена в береговой полосе и осуществляется морским прибоем. В нижней части крутого берега волны вначале образуют волноприбойную нишу. Это приводит к последующему обрушению нависающих береговых уступов и обтачиванию образующихся обломков до состояния гальки и песка (рис. 5.14). Гораздо меньшее значение имеет химическое разрушающее действие морской воды на горные породы, слагающие берег.

Интенсивность разрушения берега зависит от высоты волн и глубины моря у берегов, направления удара волн, частоты штормов и главное – от крепости пород, образующих береговой уступ. В результате берег постепенно отступает со скоростью, достигающей нескольких метров в год. В Одессе, например, за последние 50 лет эта величина составила 45 м, а в Сочи за 20 лет от 15 до 40 м.

Отступающая береговая полоса уступает место слабонаклоненной в сторону моря ровной поверхности, называемой абразионной террасой. При тектоническом погружении прибрежной области ширина террас может достигать многих километров. Процесс нивелирования поверхности суши под действием морского прибоя называется абразией (лат. *абрадо – брею, сбрываю*), а берега, подвергающиеся абразии – абразионными. При наступлении моря на сушу – трансгрессии происходит формирование мелководной полосы – континентального шельфа.

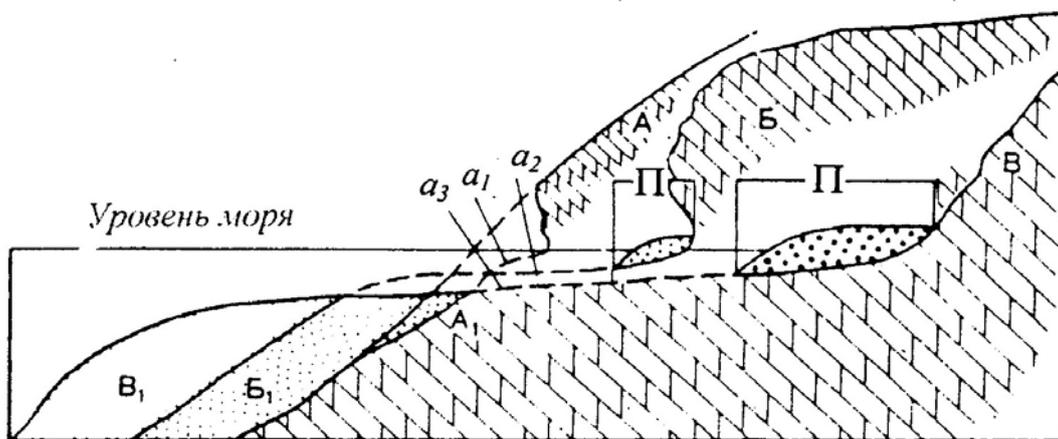


Рис. 5.14. Схема последовательных стадий развития абразии крутого берега моря (по В.П.Зенковичу):

a_1 - a_3 – различные положения абразионных террас; А, Б, В, – различные положения отступающего берегового склона; пунктиром показаны абразионные террасы, соответствующие различным стадиям развития берега; A_1 , B_1 , V_1 – различные стадии развития подводной аккумулятивной террасы; П – пляж

При быстром погружении низменных прибрежных территорий море затопливает их без абразии и далеко проникает вглубь континентов по долинам рек. Такие устья рек называются на севере губами (Обская губа), а на юге – лиманами (Днепровско-Бугский).

При тектоническом поднятии прибрежной части континента море отступает (регрессия моря), оставляя за собой абразированные, слегка

наклонные низменности (например, Западно-Сибирская).

При отсутствии в прибрежных областях нисходящих и восходящих колебательных движений процесс абразии быстро затухает, так как возникающая полоса мелководья сама является непреодолимым препятствием для больших волн. Они здесь разрушаются (забуруниваются) и теряют силу. Берег становится аккумулятивным. Здесь происходит накопление осадков, особенно активное вблизи впадающих в море рек.

На аккумулятивных берегах обломочный материал выбрасывается прибоем на берег, образуя надводную аккумулятивную террасу (пляж). У отмелей (пологих) берегов из песка и гравия формируются параллельные берегу подводные валы и бары (например, Арабатская стрелка в Азовском море), а в местах изгиба берега – примыкающие к нему косы и пересыпи.

Косы и пересыпи иногда отгораживают от моря отдельные его заливы, превращая их в лагуны, где обычно отлагаются пески и глины. Во влажном климате здесь может накапливаться торф, сапропель – исходный материал для углей, горючих сланцев, нефти и газа. В засушливом климате наряду с глинистыми осадками в лагунах отлагаются соли – различные галоиды, сульфаты (например, залив Кара-Богаз-Гол в Каспийском море, Сиваш – в Азовском).

Образование осадков происходит на всей площади морского дна. Этот процесс регулируется глубиной и удаленностью от побережья. В целом выделяют следующие зоны моря по условиям осадконакопления:

- береговая (литоральная);
- шельфовая (до глубины 200-400 м);
- батиальная (до глубины 2000-3000 м);
- абиссальная (более 3000 м).

В береговой зоне накапливается наиболее грубообломочный, окатанный прибоем материал – галька, гравий, песок, а также мелкозернистый илистый материал на мелководье.

В шельфовой зоне откладываются хорошо отсортированные песчаные, алевритовые и глинистые осадки, а также карбонатные органические. Средняя скорость накопления их в этой зоне около 6 мм в год.

В батиальной зоне осаждаются синие, красные, зеленые (в зависимости от климатических условий) тонкозернистые минеральные илы, а также органические их разности.

Абиссальные (глубоководные) отложения состоят из органических илов – известковых (до глубин 4500 м) и кремнистых, а также красных глубоководных глин – смеси минеральных частиц, приносимых ветром, и космической пыли. Скорость накопления осадков в абиссальной зоне очень мала – несколько миллиметров за тысячу лет.

Современные прибрежные морские осадки – гравий, песок, галечник, глины – используются как строительные материалы. С этими осадками связаны россыпные месторождения алмазов, золота, циркона, ильменита, касситерита, драгоценных камней. Такие же месторождения обнаружены и среди древних пород прибрежно-морского происхождения. К породам, накопившимся в морях и лагунах, приурочены крупнейшие месторождения угля, газа, нефти, различных солей, фосфоритов, железных, марганцевых, медных руд и многих других полезных ископаемых. Сами морские осадочные породы (известняки, мергели, песчаный мел) используются не только как строительные материалы, но и в качестве сырья для металлургической (флюсы) и цементной промышленности.

Процессы в озерах и болотах. Озерные впадины на Земле по своему происхождению делятся на эндогенные, экзогенные и реликтовые.

Эндогенные озера образуются при заполнении водой впадин тектонического происхождения (например, Байкал, Телецкое), кратеров потухших вулканов. Экзогенные подразделяются на ледниковые, речные, провальные (карстовые) и плотинные. Все современные водохранилища также относятся к плотинному типу озер. Реликтовые являются остатками бывших морей (Каспийское, Аральское).

По гидрологическому режиму озера делятся на проточные и бессточные, в которых весь приток воды расходуется на испарение.

По степени минерализации воды выделяют пресные и соленые озера.

Болота – это участки поверхности с избыточным увлажнением и специфической растительностью. Они возникают в тех местах, где уровень грунтовых вод приближается к поверхности или располагается выше ее. Часто болота образуются на месте озер в результате их зарастания, в поймах и дельтах крупных рек, на медленно опускающихся морских побережьях, на обширных пространствах развития вечной мерзлоты. По происхождению болота делятся на внутриконтинентальные (низинные, верховые) и приморские. Особый тип – плавни и ключевые болота, образующиеся на поймах и в дельтах рек.

Денудационные процессы в озерах сводятся к разрушению прибоем береговых уступов и прибрежных частей дна. Интенсивность, масштабы такой озерной абразии находятся в прямой зависимости от размеров водоема, его глубины и силы ветров.

В озерах, как и в морях, происходит образование терригенных, химических и органических осадков. Особенности этого процесса определяются климатической зональностью, размерами и глубиной озера, его гидрологическим режимом, количеством и видом поступающего в озеро осадочного материала, динамикой водной среды.

Соленые озера, в которых происходит естественное выпадение солей в виде осадка на дне, называются самосадочными, а вода в них, насыщенная солями – рапой. Состав солей, выпадающих при интенсивном испарении, определяется составом поступающих в озеро химических соединений, климатическими условиями и подвержен сезонным колебаниям. Соответственно различают карбонатные (содовые), сульфатные, хлоридные озера.

Аккумулятивные процессы в озерах выражаются в накоплении терригенного осадочного материала в виде галечника, песка, алеврита, образующегося при разрушении прибоем крутых скалистых берегов. Такой же материал приносится в озера реками и отлагается в дельтовых выносах. Более мелкий материал разносится волнениями и течениями на обширных пространствах озер и оседает на дне. На удалении от берега накапливаются озерные минеральные илы силикатного и карбонатного составов, обычно с тонкой горизонтальной слоистостью.

В умеренном климате в центральных частях озер широко распространены сапропелевые илы. Как отмечалось ранее, эта коллоидная жирная масса, содержащая 50-70 % органических веществ, образовалась за счет остатков простейших организмов, червей, личинок, насекомых, трупов различных организмов, которые под водой в восстановительной среде подверглись разложению с участием особых бактерий. Сапропель используется как удобрение на полях. В ископаемом состоянии он служит исходным материалом для образования сапропелевых углей, горючих сланцев, нефти, газа, битумов.

В болотах происходит накопление растительных остатков, из которых образуется торф. Эти остатки представлены чаще всего мхами, водорослями, осокой, тростником, камышом, хвощами и древесными видами. Клетчатка [$n(C_6H_{10}O_5)$] растений разлагается под водой без доступа кислорода путем анаэробного брожения. Бактерии, вызывающие это брожение, отнимают у клетчатки воду и метан (CH_4). В растительных остатках повышается содержание углерода и они со временем превращаются в черное углеродистое вещество – гумус или торф. Такой процесс называется обугливанием или обуглероживанием растительной массы. Дальнейшее обуглероживание (углефикация) торфа в процессе тектонического погружения превращает его в бурый уголь, затем в каменные угли различных марок и антрацит.

Все крупнейшие угольные бассейны формировались в разное время, начиная с девонского периода, когда появились специфические виды растений, произрастающие на мелководье и по берегам водоемов. Торфонакопление происходило в пределах мелководных морских заливов, возникающих на месте формирующихся впадин в земной коре. В таких впадинах образовались Донецкий, Львовско-Волынский, Кузнец-

кий, Карагандинский и многие другие угольные бассейны, в которых периодическое накопление торфяников было обусловлено прерывистым характером погружения осадочной толщи.

Гравитационные явления

Силы тяготения приводят в действие все геологические агенты экзогенных процессов и служат общим фоном в их деятельности. Но существует ряд явлений, в которых эти силы играют самостоятельную роль. К таким явлениям относятся обвалы, оползни, осыпи и различные виды сдвижений горных массивов, вызванные горными работами.

Физическая сущность всех этих явлений заключается в следующем. Когда сила тяжести, действующая на геологическое тело, по каким-либо причинам становится больше сил удерживающих его в исходном положении, тогда это тело перемещается вниз. Это происходит до тех пор, пока силы торможения не остановят его. Силы, удерживающие тело в исходном положении, обусловлены прочностью материала, из которого оно состоит, трением между ним и удерживающими его телами, а также внешними опорами. В роли таких неустойчивых геологических тел может быть часть скалы или крутого берега, водонасыщенные утяжеленные грунты или обломки пород на склоне, нависающие горные породы в кровле горных выработок или бортах карьеров. В таких случаях на тело действует сила тяжести, соответствующая его массе.

Факторами или причинами, которые обуславливают возникновение гравитационных явлений, может быть состав и текстурные особенности горных пород, содержание в них влаги, особенности рельефа, климатические условия, наличие растительности, тектонические нарушения, землетрясения и др.

Обвальные явления происходят вдоль крутых склонов, подработанных снизу водной или ледниковой эрозией, абразией. Важнейшее условие образования обвалов – интенсивная трещиноватость пород, наличие в них разрывных нарушений и высокая пористость. Спровоцировать, вызвать обвалы могут землетрясения, обильные осадки, удары молнии.

Осыпи формируются на крутых склонах из остроугольных обломков, образовавшихся при физическом выветривании горных пород. Такой материал начинает движение вниз в том случае, если угол падения склона приближается к углу естественного откоса обломочного материала, который зависит от величины обломков, их формы, состава пород, наличия в них влаги и более мелких частиц. Он изменяется обычно в пределах от 26 до 40°. Мощность осыпного слоя может достигать нескольких метров, а скорость движения изменяться от сантиметров в год до 1-2 и более см в сутки.

Отложения, которые образуются при обвалах и осыпях, называются коллювиальными (лат. коллювио – скопление). Они имеют широкое развитие у подножий горных склонов.

Оползание грунтов (оползень) представляет собой процесс смещения горных пород вниз по склону по возникающим в них поверхностям отрыва (скольжения). Смоченные подземными водами эти поверхности превращаются в поверхности облегченного скольжения, а сами породы, насыщенные влагой, становятся более тяжелыми и поэтому неустойчивыми на склонах.

Поверхностями, по которым происходит соскальзывание грунтов, могут быть различные формы разграничений в породах, если наклон этих разграничений совпадает с направлением склона. Такими поверхностями могут быть трещины, разрывные нарушения, контакты с интрузивами, слоистость. Благоприятным фактором при развитии оползней является наличие глин, которые при смачивании их водой выполняют роль смазки в оползневом механизме. Образующиеся при этом оползневые тела и некоторые другие элементы показаны на рис. 5.15.



Рис. 5.15. Схема сложного оползня (по Е.В. Шанцеру)

Масштаб и скорость движения оползней различны. Иногда целая оползневая зона, состоящая из отдельных оползневых тел, протягивается на десятки километров. В отдельные моменты скорость сползания изменяется от нескольких сантиметров в сутки до десятков километров в час. Такие катастрофические оползни могут возникать в горах на очень крутых склонах при участии в них огромных массивов горных пород.

Особенно разнообразны гравитационные явления, возникающие в связи с проведением горных работ. В выработках могут происходить

внезапные обрушения кровли и вывалы трещиноватых пород, обусловленные тем, что не произведено должное их закрепление. В лавах случаются внезапные просадки кровли по всей площади или на отдельных ее участках, обычно обособленных тектоническими разрывами. Так называемые горные удары – результат резкого проседания отдельных блоков горного массива внутри шахтного поля. Эти явления обычно возникают в том случае, когда такие блоки ограничены разрывными нарушениями, а снизу подработаны выработками.

Особый вид гравитационных явлений техногенного происхождения – медленное сдвигание горного массива расположенного над пустотой выемочного пространства, занятого ранее угольными пластами или рудными телами. Распространение этих движений на всю вышележащую толщу приводит к проседанию дневной поверхности на площади подработанного пространства, подтоплению территорий вследствие поднятия уровня грунтовых вод, разрушению зданий и сооружений.

Методические замечания и рекомендации

Для лучшего усвоения объемной информации об экзогенных процессах целесообразно ее структурировать – вначале осмыслить общую их направленность и геологические результаты, затем понять особенности каждой из стадий (выветривания, денудации, аккумуляции) и завершить изучением механизмов действия отдельных геологических агентов – ветра, текучих вод и т.д.

Характеристика отдельных экзогенных агентов должна строиться по единой схеме. Вначале указываются виды деятельности агента (например для поверхностных текучих вод – площадной и русловой стоки), а затем денудационная и аккумулятивная работа каждого вида и ее геологические результаты.

Следует также помнить о следующих двух особенностях денудационных процессов:

- агенты денудации – текучие воды, льды, силы гравитации могут осуществлять свою разрушительную и транспортирующую работу только благодаря наличию склонов рельефа;
- в результате денудационной и аккумулятивной деятельности различных экзогенных агентов возникают соответственные формы и типы рельефа на Земле;
- денудация континентов может осуществляться только на площадях, расположенных выше абсолютного базиса эрозии (уровня моря), а на отдельных участках суши – на площадях, расположенных выше местных базисов эрозии.

Задания для самоконтроля

1. Охарактеризуйте общую схему геологической деятельности всех агентов экзогенных процессов.
2. Назовите виды эрозионной деятельности ветра и объясните в чем они заключаются.
3. Что представляют собой лессы и каково их происхождение?
4. Объясните в чем заключается денудационная и аккумулятивная работа руслового стока?
5. Какие изменения произойдут в долине реки, если блоки земной коры, расположенные в ее верхнем течении будут погружаться?
6. Дайте определение понятиям “профиль равновесия реки” и “базис эрозии”.
7. Назовите отложения, которые накапливаются у основания склонов, а также связанные с деятельностью рек, ледников и временных водотоков.
8. Каково происхождение подземных вод?
9. В каких состояниях с позиций физики и химии могут находиться подземные воды в породах?
10. Назовите виды подземных вод по условиям их залегания, питания и движения.
11. В чем заключается денудационная и аккумулятивная работа подземных вод?
12. В чем заключается денудационная и аккумулятивная работа морских вод?
13. Каков механизм возникновения всех гравитационных явлений?
14. Объясните – почему растительная масса в болотах накапливается, а в лесах нет?

5.3. ПРОЦЕССЫ ДИАГЕНЕЗА И ОСАДОЧНОЕ ПОРОДООБРАЗОВАНИЕ (ЛИТОГЕНЕЗ)

Диагенез (греч. – *перерождение*) – последняя стадия экзогенных процессов, в результате которой рыхлые осадки постепенно преобразуются в разнообразные осадочные горные породы.

Осадочное породообразование или литогенез – это результат совместного действия всех стадий экзогенных процессов, начиная с выветривания и заканчивая диагенезом.

Содержание и назначение раздела

Понятие о диагенезе осадков как процессе превращения их в породы; факторы диагенеза; физические и химические преобразования в осадке при диагенезе; диагенез как состав-

ная часть литогенеза – сложного процесса осадочного породообразования; краткая характеристика других элементов литогенеза – седиментогенеза и катагенеза (эпигенеза); полезные ископаемые, образующиеся в процессе литогенеза.

В разделе показана роль литогенеза и его составной части – диагенеза при образовании осадочных пород, формировании их физико-механических свойств и образовании полезных ископаемых. Эта информация также может быть использована при разработке природоохранных мероприятий в связи с негативным влиянием производственной деятельности на осадкообразование. Студенты должны знать физическую и химическую сущность рассматриваемых процессов и понимать их значимость.

Диагенез осадков

Диагенез – это очень длительное, сложное преобразование осадков. Особенности его определяются их составом, глубиной погружения в земной коре, продолжительностью процесса. Последнее обстоятельство имеет решающее значение, так как восходящие колебательные тектонические движения могут вывести осадки выше уровня их накопления и они подвергнутся повторному разрушению экзогенными процессами. С другой стороны, нисходящие движения постепенно могут перевести образовавшиеся из осадков породы на другой уровень преобразований, вплоть до метаморфизма.

Началом диагенетических преобразований в осадке следует считать то время, когда он перекрывается новыми отложениями. С этого момента начинают действовать физические и химические факторы диагенеза.

Физическим фактором является давление, под которым пребывает осадок. Это давление находится в прямой зависимости от веса вышележащих осадков. Оно постепенно нарастает в случае увеличения мощности таких осадков.

Химический фактор – это та химическая среда (например, окислительная или восстановительная), которая сформировалась в осадке. Она определяется минеральным составом самого осадка, составом водных растворов, насыщающих его, наличием органических остатков. Химическая среда со временем изменяется и особенно быстро в том случае, когда циркулирующие через осадок подземные воды привносят растворенные вещества иного состава.

Физические преобразования в осадке сводятся к их обезвоживанию и уплотнению.

Обезвоживание – это удаление из осадка поровой и гравитацион-

ной воды под давлением вышележащих отложений. Одновременно с этим происходит дегидратация некоторых минералов, их перекристаллизация и удаление легко растворимых компонентов.

Уплотнение или уменьшение объема первичных осадков происходит за счет сокращения их порового пространства под давлением вышележащих образований, а также за счет перекристаллизации вещества.

Химические преобразования при диагенезе начинаются с растворения галоидов и карбонатов. В случае притока более опресненных вод одни минералы замещаются другими, более устойчивыми в новой среде. Значительную роль в формировании химизма среды в осадках играют бактерии. Некоторые из них разлагают органическое вещество с выделением углекислоты (CO_2) и сероводорода (H_2S). Другие бактерии участвуют в окислительно-восстановительных реакциях. Аэробные бактерии переводят закисные соединения железа в окисные, а анаэробные в восстановительной среде способствуют переходу окисных соединений железа в сульфиды.

Следствием химических преобразований является также процесс цементации осадка и образование в нем конкреций.

Цементация заключается в заполнении пор веществами, которые связывают между собой отдельные зерна осадка, выполняя роль цемента. Важную роль в этом процессе играют текучие подземные воды, благодаря которым в осадок поступают растворенные соли и другие соединения. Обычно цементирующим веществом могут быть глины, карбонаты, кремнистые, железистые соединения.

Конкреции образуются под влиянием определенных изменений химической среды в осадке, которые приводят к перераспределению в нем вещества. Чаще всего конкреции состоят из опала и халцедона (SiO_2), фосфатов, гипса, соединений железа и марганца.

Физические и химические факторы диагенеза выделены условно. В действительности они представляют единый сложный процесс физико-химических преобразований осадка.

В итоге процессы диагенеза превращают рыхлый, обводненный осадок в твердую горную породу. Пески преобразуются в песчаники, минеральные илы – в алевролиты, глины в аргиллиты, гумус – в торф и бурый уголь, обломки раковин – в известняки-ракушечники, карбонатные илы – в известняки и т.п.

Значение процессов диагенеза исключительно велико в образовании горных пород слагающих верхнюю слоистую оболочку земной коры. Благодаря перераспределению осадочного вещества при диагенезе некоторые полезные компоненты концентрируются в виде месторождений железных и марганцевых руд, бокситов, серы, фосфоритов и многих других видов минерального сырья.

Литогенез

Диагенезу предшествовали другие стадии экзогенных процессов, которые обусловили образование, транспортировку, сортировку веществ, представляющих осадки и возникновение тех или иных осадочных пород. Такими стадиями являются выветривание, денудация и аккумуляция. В связи с этим весь процесс осадочного породообразования получил название литогенеза, что в переводе означает “рождение камня”.

Литогенез – это комплексный процесс, состоящий из нескольких последующих стадий:

- образование осадочного материала за счет разрушения коренных пород;
- перенос и сопутствующая сортировка продуктов разрушения;
- накопление рыхлого осадка (седиментогенез);
- преобразование осадка в осадочную горную породу (диагенез);
- последующее изменение породы в результате ее уплотнения, перекристаллизации и т.д. (катагенез или эпигенез).

Большинство из этих пяти стадий рассмотрено ранее в разделе об экзогенных процессах. Характеристика необходима лишь для третьей из них – седиментогенеза и последней – катагенеза.

Седиментогенез. Это процессы образования осадков. Они происходят на всех этапах экзогенных процессов, но имеют свои особенности на каждом из них.

Основная масса осадков накапливается в конечных водоемах стока – озерах и, главным образом, морях. Такие осадки называют субаквальными (греч. *аква* – вода). В отличие от них осадки, накапливающиеся на суше – у оснований склонов, в долинах водотоков – называются субаэральными.

В конечных водоемах стока формируются осадки трех типов: терригенные, органогенные и хемогенные. Характерно, что породы биогенного происхождения встречаются только в толщах субаквальных отложений. И это объяснимо – биомасса расположенная выше водной поверхности подвергается окислению и не может сохраниться в осадке.

Субаэральные отложения обычно представлены только терригенными (обломочными) и хемогенными образованиями, к тому же значительно отличными по своим свойствам от тех же разностей, сформировавшихся в субаквальных условиях. Объясняется это тем, что тот же осадок в водной, подвижной среде многократно перемывается, сортируется по размеру зерен, в результате чего отдельные его разности становятся однородными по составу. Субаэральные отложения в целом занимают неустойчивое положение, так как располагаются они выше абсолютного и местных базисов эрозии. Поэтому в результате повторяющихся циклов экзогенных преобразований они разрушаются и переот-

кладываются, пока большая часть из них не окажется в конечных водоемах стока. Этими обстоятельствами объясняется и общее преобладание пород морского происхождения среди осадочных образований в земной коре.

На стадии седиментогенеза закладываются такие важнейшие свойства осадка как минеральный состав, размер и форма слагающих его частиц, слоистость и т.п., которые затем наследуются породой.

Катагенез. Это совокупность процессов, изменяющих осадочную породу в период ее существования до начала ее метаморфизма или выветривания. В отличие от диагенетических преобразований, вызванных внутренней неуравновешенностью осадка, причиной катагенеза является отсутствие равновесия между породой и средой, в которую она попадает в результате прогибания или подъема земной коры.

Основными факторами катагенеза являются температура, давление и воздействие подземных вод.

Катагенез проявляется повсеместно и постоянно. Направленность и интенсивность его определяются геологической обстановкой. В целом процессы катагенеза протекают менее интенсивно чем диагенеза, но его существенные результаты являются следствием участия в этом еще одного важного фактора – фактора времени. В зависимости от истории геологического развития региона катагенез пород может продолжаться целые геологические периоды и эры.

В условиях нисходящих тектонических движений земной коры проявляются все факторы катагенеза, что приводит к дальнейшему уплотнению и обезвоживанию пород, растворению одних минералов и образованию других, перекристаллизации минералов и увеличению размеров их зерен. Все это приводит к снижению пористости пород и их газо- и водопроницаемости. Они постепенно становятся все более монолитными и крепкими.

В условиях восходящих тектонических движений основным фактором катагенеза является воздействие подземных вод. В связи с этим усиливается привнос и вынос из пород различных химических соединений, что может привести к изменениям состава их цемента.

С учетом приведенных особенностей различают прогрессивный катагенез и регрессивный. Прогрессивный имеет место при погружении осадочных толщ и сменяется метаморфизмом, а регрессивный происходит при воздымании осадочных толщ и сменяется выветриванием. Так осуществляется круговорот осадочных пород в природе – разрушение коренных пород, преобразование обломков и растворимых соединений в новую породу, новое разрушение и т.д. В результате таких преобразований происходит разделение продуктов разрушения пород на отдельные составляющие – пески, глины, соли, илы карбонатные, железистые, кремнистые и т.п. и формирование соответствующих месторождений.

Благодаря процессам диагенеза и прогрессивного катагенеза образовались месторождения углей, нефти и газа. Органическое вещество, содержащееся в осадках и горных породах, по мере погружения оказывается в условиях все более высоких давлений и температур, что приводит к его сложным преобразованиям.

Растительные остатки в виде торфа при диагенезе преобразуются в бурый уголь, а затем при прогрессивном катагенезе в каменные угли различного марочного состава с выделением большого количества метана. Породы вмещающие угольные пласты также в процессе погружения угленосной толщи становятся все более плотными, крепкими и менее проницаемыми для газов и воды.

Остатки животного происхождения, где главными составляющими являются жиры, белки и углеводы, в процессе погружения осадочной толщи постепенно преобразуются в различные нефтепродукты и газ – метан. Эти горючие компоненты, подчиняясь законам газодинамики, мигрируют в осадочной толще вверх пока не остановятся перед газонепроницаемыми слоями, в основном состоящими из глин. В таких местах (ловушках) они скапливаются, образуя месторождения. Наиболее благоприятными для этого местами являются центральные участки (ядра) антиклинальных складок и различные разрывные структуры в земной коре.

Методические замечания и рекомендации

Необходимо добиться полного понимания термина “литогенез” и сущности последовательных его стадий. Это поможет глубже осмыслить физическую сущность каждой из них. В первую очередь диагенеза и катагенеза, ответственных за формирование осадочных пород.

Специалистам горного дела важно понять практическую значимость степени катагенеза пород. Имеется в виду прямая зависимость показателей их физико-механических свойств от глубины, на которой происходило формирование той или иной породы. Так, например, породы Западного Донбасса (аргиллиты, алевролиты, песчаники), вмещающие угли марок “Г-Ж”, значительно менее крепкие и более проницаемые по сравнению с такими же по названию породами Большого Донбасса, где они вмещают угли марок “Т”, “ПА”. Это становится понятным, если принять во внимание глубину формирования тех и других марок углей – соответственно 1,5-2,5 и 5-7 км.

Следует также принять к сведению, что природные процессы седиментогенеза и диагенеза в современных условиях претерпевают те или иные изменения, вызванные производственной деятельностью. Промышленные стоки, выбросы в атмосферу и другие отходы в конечном итоге попадают в речные, озерные, морские осадки, изменяя их состав и химиз среды. Циркулирующие через такие осадки подземные воды расширяют ареалы распространения токсичных и других вредных компонентов. Другой пример – водохранилища на реках. В таких водоемах, отгороженных плотинами, накапливаются осадки, содержащие многие вредные вещества, в том числе соединения тяжелых металлов.

Задания для самоконтроля

1. *Приведите краткое содержание главы.*
2. *Дайте определение понятию “диагенез осадков”.*
3. *Какие физико-химические превращения происходят при диагенезе?*
4. *Как происходит процесс цементации осадка при диагенезе?*
5. *Назовите основные стадии литогенеза.*
6. *Объясните содержание термина “катагенез”.*
7. *В чем заключается роль катагенеза при формировании месторождений угля и нефти?*

5.4. ТЕХНОГЕНЕЗ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Производственная и научно-техническая деятельность человека изменяет окружающую среду, вмешиваясь в естественные процессы, протекающие на Земле, ускоряя или замедляя их, а иногда и придавая им иное направление. Современная техника сделала человека настолько могущественным, что природа становится неспособной противостоять ему. Поэтому деятельность людей в масштабах планеты следует рассматривать как мощный экзогенный геологический фактор. Окружающая природная среда, в которой осуществляется эта деятельность, является геологической. Это реальное физическое пространство, включающее верхнюю часть земной коры и частично взаимодействующие с ней внешние оболочки Земли.

Сам процесс изменения природных комплексов и биоценозов под воздействием производственной деятельности человека называется техногенезом.

Биоценоз – совокупность всех видов живых организмов, населяющих определенную географическую территорию.

Вся область техногенного влияния называется техносферой или ноосферой (греч. *ноос* – разум), т.е. областью воздействия человека и его техники на геологическую среду. Однако такое воздействие в ряде случаев нельзя отнести к разряду разумных, потому что оно приводит к постепенной безвозвратной утрате природных комплексов и общей деградации биосферы, ставя под угрозу само существование людей на Земле.

В силу этих обстоятельств в последние десятилетия сформировалось новое научное направление, занимающееся вопросами изучения взаимосвязи организмов между собой и окружающей средой в биосфере. Это направление называется экологией. В своем составе оно имеет ряд научных дисциплин, в том числе геологическую экологию. Теоретической основой экологии является учение о всеобщей взаимосвязи и взаимообусловленности в природе. Целенаправленная деятельность людей невозможна без учета взаимосвязей в природных системах, поэтому экология предопределяет поведение человека и общества в природе.

Содержание и назначение раздела

Виды техногенного воздействия на геологическую среду; особенности техногенных изменений внешних геосфер (атмосферы, гидросферы, биосферы), земной коры и экзогенных процессов; охрана и рациональное использование геологической среды.

Особое значение рассматриваемых в главе вопросов очевидно, так как разработка и принятие многих технологических и природоохранных решений без знаний в области техногенеза просто невозможно. Студенты должны знать весь объем информации и осознавать ее значение для специалистов горной отрасли.

Виды и последствия техногенного воздействия

Это воздействие обусловлено инженерно-строительной, сельскохозяйственной, гидротехнической, горнотехнической и другими видами деятельности человека. Из всех типов техногенеза горнотехнические работы имеют наибольшее значение, поскольку они затрагивают не только поверхность, но и глубокие недра земной коры.

Подземная разработка месторождений приводит к нарушению поверхности, истощению запасов подземных вод, загрязнению атмосферы выбрасываемыми из шахты различными газами и вредной пылью, загрязнению водоемов шахтными водами и др. При добыче полезных ископаемых открытым способом под горные отвалы отчуждаются значительные площади земель сельскохозяйственного назначения. В резуль-

тате ведения открытых горных работ не только нарушается земная поверхность, но и изменяются гидрогеологические и микроклиматические условия местности. Большой вред природе наносят также отходы дробильных, обогатительных и агломерационных фабрик.

Конечный результат техногенного воздействия зависит от двух основных факторов – характера самого воздействия и геологических особенностей того природного объекта, на который оно направлено.

Из геологических особенностей наиболее существенными являются: тектоническое и геологическое строение района, геоморфологические и физико-географические особенности, гидрогеологические и инженерно-геологические условия.

Результаты техногенеза определяются приуроченностью территорий к платформенным или геосинклинальным областям, так как эти регионы отличаются по строению верхней части литосферы – развитию складчатых и разрывных дислокаций, составу и характеру сочетания породных комплексов, тектонической активности и другим особенностям. Именно степень расчлененности рельефа, крутизна склонов, физико-географическая зональность определяют направление и интенсивность развития отдельных процессов техногенеза и характер изменения геологической среды. Свойства горных пород, характеристика водоносных горизонтов, состав и режим движения подземных вод – этим факторам принадлежит важная роль в техногенезе.

Характер техногенного воздействия на геологическую среду определяется видом технической деятельности, которая вызывает те или иные геологические последствия. Сами же последствия делят на минерагенические, геохимические, геофизические, геотермические, геодинамические, геоморфологические, гидрогеологические, инженерно-геологические.

Минерагенические и геохимические последствия обуславливаются перераспределением вещества земной коры в процессе горных и строительных работ. Минерагенические последствия проявляются в истощении минеральных ресурсов и вызывают изменения в технологиях освоения месторождений. Геохимические последствия выражаются в нарушении химического баланса веществ и природного экологического равновесия.

Геофизические выражаются в появлении искусственных физических полей (блуждающих токов, сейсмических и звуковых волн), которые воздействуют на горные породы, усиливают коррозию металлов, повышают агрессивность вод и т.д.

Геотермические выражаются в изменении теплового режима поверхности литосферы, водных потоков и водоемов. Они особенно ощутимы в районах развития мерзлых грунтов.

Геодинамические состоят в нарушении природного геостатического равновесия в верхней части земной коры, вызванного отработкой полезных ископаемых, откачкой воды, нефти, газа. Все это приводит к раз-

личным формам сдвижения породных массивов.

Геоморфологические выражаются в возникновении специфического техногенного рельефа за счет обрушений и проседаний земной поверхности, образования породных отвалов, плотин, карьеров, коммуникаций.

Гидрогеологические возникают в результате воздействия на водоносные горизонты, что проявляется в изменении ресурсов, уровней, режимов и качества подземных вод.

Инженерно-геологические последствия выражаются в активизации оползневых, осыпных, суффозионных явлений и возникновении новых, не свойственных данной местности экзогенных процессов.

Техногенное воздействие изменяет состав внешних геосфер, структуру верхних горизонтов земной коры, а также характер и направленность современных геологических процессов – выветривание, денудацию, аккумуляцию и диагенез.

Техногенные изменения внешних геосфер. Такие изменения атмосферы, гидросферы и биосферы достигли в ряде районов Земли кризисного уровня.

Техногенные изменения атмосферы привели к нарушению ее газового равновесия. Примерно за 100 прошедших лет концентрация углекислого газа повысилась с 0,027 до 0,033, а в XXI веке может возрасти до 0,038 %, если выбросы его сохранятся на прежнем уровне. Увеличение содержания CO₂ в атмосфере ведет к потеплению климата.

Общее запыление атмосферы вызывает парниковый эффект, так как сдерживает отток тепла, излучаемого Землей в космическое пространство.

Неуклонно возрастает тепловое загрязнение атмосферы за счет развития городов и теплоизлучающих технологий. Все это уже в настоящее время повышает температуру в городах на 1-2°C. Общее потепление на планете может привести к более интенсивному таянию ледников, которое вызовет повышение уровня воды в Мировом океане, затопление огромных территорий суши, изменение климата.

Техногенные изменения гидросферы выражаются в загрязнении поверхностных и подземных вод и в изменении их режима. Выделяют следующие виды загрязнения вод: бытовое, агрохимическое, промышленное.

Бытовое обусловлено различными моющими средствами, органическими и другими веществами, которые трудно удаляются при очистке и этим истощают водные ресурсы.

Агрохимическое происходит за счет длительного применения в сельскохозяйственном производстве удобрений и ядохимикатов. Эти вещества делают ближайшие к поверхности горизонты подземных вод непригодными для питьевого водоснабжения, а попадая в озера и водохранилища, превращают их в мертвые зоны, лишённые водной растительности и фауны.

Промышленное обусловлено стоками предприятий и в настоящее

время приобретает планетарный масштаб. В отходах производства, сбрасываемых в водотоки и водоемы, содержится большое количество вредных и токсичных веществ, которые, как правило, труднорастворимы и не разлагаются. Особое место среди загрязнителей занимают нефтепродукты и радиоактивные отходы. Одна капля нефти образует на воде пленку площадью 0,3 м², которая препятствует кислородному обмену, испарению воды, нарушая этим экологическое равновесие. В океан ежегодно поступает около 6 млн. т нефтепродуктов в процессе их добычи и транспортировки.

Захоронение промстоков и их инфильтрация вызывают загрязнение подземной гидросферы, что препятствует организации водоснабжения. Дренаж подземных вод горными выработками часто приводит к полному истощению водоносных горизонтов на протяжении десятков и сотен километров, а утечки из водонесущих объектов и коммуникаций – водохранилищ, каналов, канализаций – к подтоплению территорий вследствие повышения уровней грунтовых вод.

Техногенные изменения земной коры. Техногенное воздействие на земную кору изменяет ее состав, строение и рельеф.

Состав земной коры претерпел изменения вследствие массового извлечения из ее недр полезных ископаемых, их рассеяния и перераспределения в пространстве. В этом отношении деятельность человека приобрела прямо противоположную направленность по сравнению с природными геологическими процессами.

Строение земной коры также изменилось под влиянием горнотехнической деятельности. Горные работы нарушают структуру массивов горных пород, создают в них пустоты, которые по масштабам превосходят природные пещеры. Длительная откачка нефти и воды приводит к нарушениям геостатического равновесия и перераспределению масс в земной коре. Образуются региональные опускания территорий на величину до 5-10 м. Например, откачка подземных вод в Мехико привела к оседанию городской поверхности почти на 9 м, а в Токио – за 50 лет на 3,5 м.

Рельеф земной поверхности меняется при строительстве городов, дорог, гидротехнических и других сооружений. Наиболее контрастные формы рельефа – положительные (отвалы) и отрицательные (карьерные выемки) – создаются в процессе горнодобывающей деятельности. Глубина карьеров достигает 300-800 м и проектируются еще более глубокие выемки. В противоположность горнодобывающей, инженерно-строительная деятельность преследует цель снивелировать, сравнять поверхность. Для этого пониженные участки засыпают, а возвышенные – срезают.

Техногенные изменения геологических процессов. Под влиянием техногенеза изменяются и природные геологические процессы, в особенности экзогенные, связанные с деятельностью атмосферы, поверхностных и подземных вод.

Техногенез прямо или косвенно усиливает процессы выветривания,

которые при ведении горных работ могут осуществляться на больших глубинах. Выветриванию подвергаются и извлеченные на поверхность породы и полезные ископаемые. Следствием этого является образование так называемой техногенной коры выветривания. В настоящее время более половины площади суши подвержено техногенному выветриванию.

Техногенез значительно активизировал процессы водной эрозии. Усиление плоскостной эрозии связано с распахиванием земель на склонах, а линейной (русловой) обусловлено развитием городов, горнопромышленных и других предприятий, строительством дорог и ирригационных систем.

Происходит усиление ветровой эрозии. Этому способствует уничтожение растительности, распашка земель, осушение грунтов, устройство насыпей и т.д.

Различные виды техногенеза повсеместно усиливают морскую абразию, карстообразование и гравитационные процессы – осыпи, обвалы, оползни. Считается, что около 80% современных оползней имеют техногенную природу вследствие подрезки склонов, неправильной организации стоков, строительства на склонах, увлажнения грунтов под строительными объектами и др. В частности, около 15% территории Днепропетровска располагается на оползнеопасных площадях преимущественно техногенного происхождения.

Техногенез оказывает влияние и на протекание процессов, происходящих внутри земной коры, которые по характеру своего проявления условно можно отнести к эндогенным. Так, упомянутые выше опускания поверхности вследствие откачек нефти и воды могут сопровождаться образованием зияющих трещин и разломов длиной в сотни метров. Такие же деформации и небольшой силы землетрясения возникают при мощных взрывах.

Использование природных ресурсов и их охрана

Особый урон окружающей среде приносило и приносит потребительское отношение к природе и уверенность в практической неисчерпаемости естественных ресурсов. Хищническая эксплуатация минеральных и биологических ресурсов обусловили в отдельных районах и регионах Земли резкое загрязнение атмосферы и воды, деградацию почв, уменьшение численности или полное исчезновение отдельных видов животных и растений. В связи с этим возникла острая необходимость в разработке и применении на практике принципов рационального природопользования.

Природопользование – это совокупность воздействий человечества на геологическую среду, рассматриваемую в комплексе. Это понятие объединяет все стороны такого воздействия на природу, включая ее охрану, освоение и преобразование. По существу понятие природопользование совпадает во многом с понятием охрана природы, особенно с такой ее стороной, как рациональное использование природных ресурсов.

Рациональное природопользование направлено на обеспечение условий существования человечества, максимальное использование каждого природного территориального комплекса. При рациональном природопользовании принимаются меры по предотвращению или снижению возможных вредных последствий тех или иных производственных процессов и других видов человеческой деятельности.

В современных условиях охрана природы рассматривается как одно из условий общественного прогресса и поэтому требует правовой государственной регламентации.

Под правовой охраной природы (геологической среды) понимается совокупность установленных государством правовых норм и возникающих в результате их реализации правоотношений, направленных на выполнение мероприятий по сохранению природной среды, рациональному ее использованию и компенсацию ущерба, наносимого природным объектам.

Содержание правовой охраны природы включает четыре основных элемента:

- определенный законом перечень охраняемых объектов природы;
- совокупность предупредительных, закрепительных, восстановительных, карательных и поощрительных правовых норм;
- ответственность за нарушение природоохранительного законодательства и правовые меры возмещения вреда, причиненного природной среде;
- контроль за состоянием естественной среды и соблюдением требований охраны природы.

Правовая охрана природы, имея межотраслевой характер, устанавливает природоохранительные нормы, которые регулируют природоохранительные отношения, и подразделяются на законодательные нормы, содержащиеся в законах, и на нормативные акты министерств, ведомств и местных органов власти.

Юридической базой природоохранительного законодательства является Конституция Украины, в соответствующих статьях которой сформулированы цели, задачи и главные направления государственной и общественной деятельности в области охраны природной среды, а также обязанности граждан в отношении природопользования.

Природоохранительное законодательство включает следующие правовые акты:

- комплексные;
- природно-ресурсные;
- средозащитные.

Комплексные акты определяют охрану природной среды в целом – без подразделения на отдельные объекты охраны: природно-ресурсные – охрану и использование отдельных объектов природы; средозащитные – охрану окружающей среды от вредного воздействия на нее деятельности человека.

Методические замечания и рекомендации

Вопросы техногенеза и рационального природопользования очень разнообразны и глубоки по своему содержанию. В настоящей главе по существу приводится лишь перечень этих вопросов и показывается их актуальность. Поэтому будущим специалистам горного дела предстоит дальнейшее их изучение в соответствующих специальных дисциплинах. При этом необходимо понять, что уже на данном этапе должно восприятие информации по техногенезу возможно лишь на основе знаний всего материала по курсу общей геологии. Это обстоятельство является еще одним аргументом для обоснования необходимости геологического образования.

Нельзя не сделать еще один важный вывод. В нашей стране, как и во многих других странах, существует обширное законодательство, регламентирующее работу предприятий, строительство, горнодобывающую и сельскохозяйственную деятельность в связи с необходимостью охраны и рационального использования недр, земель, водных ресурсов и воздушной среды. Однако выполнение этого законодательства и контроль за ним не всегда производится на должном уровне. На таком же уровне находится экологическая грамотность многих руководителей производства и большей части населения. Их повышение – острая необходимость, так как в настоящий период именно от этого в первую очередь зависит здоровье и будущее людей.

Задания для самоконтроля

- 1. Назовите виды производственной деятельности, оказывающие наибольшее воздействие на геологическую среду.*
- 2. Приведите перечень физико-химических последствий техногенного воздействия на геологическую среду.*
- 3. Почему техногенное воздействие и его результаты рассматриваются как мощный экзогенный геологический фактор?*
- 4. В чем заключаются техногенные изменения, происходящие в атмосфере и гидросфере?*
- 5. Какие техногенные изменения происходят в земной коре?*
- 6. Как и какие геологические процессы меняют свой характер и направленность в результате техногенного воздействия на них?*
- 7. Дайте краткое определение научному направлению “экология”.*
- 8. В чем заключается понятие “рациональное природопользование” и его значение?*
- 9. Что понимается под правовой охраной природы?*

Классификация эндогенных геологических процессов

Виды процессов	Разновидности и особенности процессов	Геологические результаты процессов
Тектонические движения	Корообразующие (колебательные) – медленные восходящие, нисходящие или горизонтальные движения отдельных регионов земной коры	Формируются общие поднятия земной коры, горные сооружения, морские впадины, геосинклинальные прогибы, рифтовые зоны
	Дислокационные – происходят там, где в результате колебательных движений создаются механические напряжения между подвижными блоками земной коры	Горные породы деформируются, в них возникают дислокации (тектонические нарушения) – трещины, складки, разрывы и как следствие хрупких деформаций – тектонические землетрясения
Магматизм	Интрузивный (глубинный) – комплекс явлений связанных с образованием магмы и ее превращениями внутри земной коры	Образуются интрузивные магматические породы – граниты, диориты, габбро и др. в форме интрузивных тел (интрузий) – батолитов, штоков, лакколитов, силлов, даек, жил
	Эффузивный (вулканизм) – извержения, излияния магмы (лавы) на дневную поверхность	Образуются эффузивные магматические породы – липариты, андезиты, базальты в форме покровов, потоков, куполов
Метаморфизм – преобразование любых пород в метаморфические под влиянием теплового, химического и механического воздействия на них в земной коре	Контактовый – происходит в зоне теплового и химического взаимодействия между магмой и вмещающими ее горными породами	Глины преобразуются в роговики, известняки в мрамора, кварцевые песчаники в кварциты. Химический обмен (метасоматоз) приводит к новому минерало- и породообразованию
	Динамический (дислокационный) – приурочен к разломам, где взаимное перемещение блоков коры разрушает породы, из которых они состоят	Образуются обломочные породы тектониты – грубообломочные (катаклазиты) и тонкоперетертые (милониты)
	Региональный – осуществляется в глубоких прогибах земной коры под действием высокой температуры, давления, различных газов и растворов	Песчано-глинистые породы преобразуются в различные сланцы и гнейсы, известняки в мрамора, песчаники в кварциты; магматические породы в амфиболиты, тальковые и другие сланцы
	Ультраметаморфизм – высшая степень регионального метаморфизма, переходящего в магматизм	Сланцы, гнейсы, амфиболиты и др. частично или полностью расплавляются и преобразуются в различные граниты, мигматиты, граниты, пегматиты

Классификация экзогенных геологических процессов

Виды процессов	Разновидности и особенности процессов	Геологические результаты процессов	
Выветривание – разрушение и химическое разложение пород на поверхности	<p>Физическое – разрушение пород вследствие суточных и сезонных колебаний температуры</p> <p>Химическое – разложение и преобразование минералов пород с участием кислорода, воды и органических соединений</p>	Образуются обломки пород в виде глыб, щебня, дресвы	Из остаточных продуктов выветривания пород (элювия) в равнинных условиях формируются коры выветривания и почвы
Денудация – перемещение продуктов выветривания подземными водами, ветром и другими факторами, а также их эрозионная деятельность	<p>Ветер выдувает продукты выветривания (дефляция), обтачивает породы песчинками (коррозия)</p> <p>Поверхностные текучие воды стекают со склонов (площадной сток) и вдоль линейных понижений (русловый сток)</p> <p>Подземные воды растворяют, выщелачивают породы, вымывают из них мелкие частицы (карстообразование и суффозия)</p> <p>Воды в морях и озерах разрушают породы береговых уступов волнами прилива (абразия)</p> <p>Силы гравитации проявляются на склонах</p>	<p>Происходит эрозия почв, в породах возникают эоловые эрозионные формы рельефа – углубления, ниши, соты, выступы, карнизы</p> <p>На склонах продукты выветривания смываются вниз (плоскостной смыв), а русловый сток в результате донной и боковой эрозии образует овраги, долины рек и временных потоков</p> <p>В растворимых породах – известняках, мергелях, солях – образуются карстовые пустоты в виде карров, понор, пещер и др.; в рыхлых породах – суффозионные воронки</p> <p>Происходит наступление вод на сушу, скорость которого зависит от высоты берега, прочности пород и иных факторов</p> <p>Возникают обвалы, осыпи, оползни, оплывины</p>	
Аккумуляция – накопление осадков на дне водоемов и в понижениях рельефа в результате аккумулятивной деятельности природных факторов	<p>Ветер. Аккумулятивная деятельность его может осуществляться в разных формах</p> <p>Поверхностные текучие воды оставляют осадки у основания склонов, в долинах и устьях водотоков</p> <p>Подземные воды откладывают минеральные образования в порах, трещинах и пустотах пород</p> <p>В морях, озерах, болотах процессы осадконакопления зависят от типа водоема и его параметров</p> <p>Гравитационные явления образуют отложения на склонах и у их оснований</p>	<p>Образуются эоловые отложения – в виде барханов, дюн, и алеврито-глинистые – обширные лессовые покровы</p> <p>Образуются осадки: делювиальные (у основания склонов), аллювиальные (речные), пролювиальные (временных потоков)</p> <p>Рыхлые осадки цементируются глинистым материалом, карбонатными, железистыми, кремнистыми и другими соединениями</p> <p>Образуются разнообразные отложения из обломочных, химических и органических осадков, в том числе торф и сапропель</p> <p>Возникают коллювиальные отложения, осыпей, обвалов, оползней состоящие из обломков и оползневых масс</p>	
Диогенез – преобразование осадков в осадочные породы	Процессы диогенеза осуществляются в результате уплотнения, обезвоживания, цементации осадков и химических преобразований в них	В земной коре формируются толщи осадочных пород различного происхождения (генезиса), в том числе полезные ископаемые – уголь, нефть, известняки, мергели и другие	

Предметный указатель

- Абразия 162, 167, 159
– морская 167, 185
– речная 152
Абсолютная отметка 29
Азимут линии 124
Аккумуляция 139
Актуализма принцип 13
Алеврит 81, 82
Алевролит 81, 82
Аллювиальные отложения 155
Алюмосиликаты 68, 74
Аморфное вещество 61
Амфиболит 87
Анатексис 134
Андезит 74
Анизотропия минералов 61
Аномалия гравитационная 51
Антиклиналь 114, 115
Антрацит 84, 85
Аргиллит 82
Архей 95
Астеносфера 41
Астероиды 23
Астрономическая единица 24
Атмосфера 32
Аэрокосмические методы 14
- Базальт 79
Базис эрозии 153
Балка 151, 157
Бар 168
Барханы 148
Бассейн реки 152
Батолит 80
Берег моря абразионный 167
– аккумулятивный 168
Биосфера 35
Биотит 74
Блоки земной коры 99, 100
Боксит 83
Болота 169
Борозда 151
Брахиантиклиналь 116
Брахисинклиналь 116
Брекчия 82
Бурый железняк 83
- Вариации магнитного поля 55
Вектор напряженности 54
Величина теплового потока 52
- Венера 24
Вечные снега 163
Взброс 119
Внезапные обрушения 172
Вода в горных породах 158
Водно-физические свойства 158
Водотоки 152
– временные 152
– постоянные 152
Водораздел 152
Водоупор 158
Воды текучие 149
Воды подземные 157
– артезианские 159
– безнапорные 160
– верховодка 159
– грунтовые 159
– инфильтрационные 158
– конденсационные 158
– межпластовые 159
– минеральные 161
– надмерзлотные 164
– напорные 159
– остаточные 159
– пресные 161
– техногенные 158
– шахтные 161
– ювенильные 158
Возраст горных пород 90
– абсолютный 90
– относительный 90
Волноприбойная ниша 167
Вселенная 21
Вулканология 12
Выветривание 138, 139, 184
– морозное 140
– температурное 140
– физическое 140
– химико-биологическое 141
Высокогорье 30
- Габбро 79
Галактика 21
Галенит 72
Галит 72
Галоиды 68, 72
Галька 82
Гелеотермическая зона 52
Гематит 73
Геонид 28

- Геология 8
- горнопромышленная 13
 - инженерная 13
 - историческая 12
 - структурная 12
 - экологическая 13, 181
- Геологическая съемка 13
- Геологические карты 125, 126
- Геологические процессы 10, 97
- экзогенные 11, 138
 - – деятельность ветра 147
 - – вод морей, озер, болот 166
 - – льда 162
 - – поверхностных текучих вод 149
 - – подземных вод 157
 - – сил гравитации 171
 - эндогенные 97
 - – магматические 129
 - – метаморфические 133
 - – тектонические 104
- Геомагнитный полюс 53
- Геоморфология 12
- Геосинклиналь 46, 101, 102
- Геосферы 32
- Геотектоника 12, 97
- Геотектонические циклы 103
- Геотермическая зона 52
- Геотермическая ступень 52
- Геотермический градиент 52
- Геофизические методы 15
- Геохимия 12, 59
- Геохронологическая таблица 95
- Геохронологическая шкала 93
- Геохронология 93
- Гидратация 142
- Гидрогеология 13
- Гидролиз 142
- Гидрология 12
- Гидросфера 34, 184
- Гипотезы геотектонические 98
- Гипоцентр землетрясения 108
- Гипс 73
- Гипсографическая кривая 30
- Глина 81
- Глинистый сланец 87
- Глинозем 83
- Глубинные разломы 99
- Глубоководная впадина 31
- Глыба 82
- Гнейс 87
- Горный компас 124
- Горный удар 173
- Горст 119
- Горючий сланец 84, 85
- Грабен 119
- Гравелит 82
- Гравий 82
- Гравиметрия 51
- Гравитационные явления 171, 185
- Гранат 73
- Гранит 79
- Гранитизация 129
- Граница Вихерта-Гутенберга 40
- Граница Мохоровичича 40
- Графит 72
- Гумус 84, 170
- Давление 134
- всестороннее(петростатическое) 134
 - однонаправленное (стресс) 134
- Дайка 81
- Дельта реки 156
- Делювиальные отложения 150
- Дендриты 65
- Денудация 138
- Дефляция 148
- Деформации 111, 112
- Деятельный слой 164
- Диagenез 139, 174, 175
- Диagenетические преобразования 175
- Диорит 79
- Дислокации 105
- Дифференциация магмы 130
- мантии 59
- Дренирование 159
- Дресва 82
- Дресвяник 82
- Друмлины 166
- Дунит 79
- Дюны 148
- Жила 81
- Загрязнение вод 183
- Закон постоянства углов 61
- Залегание горных пород 123
- Зандры 166
- Запыление атмосферы 183
- Землетрясение 107
- Земля 13
- Земная кора 9, 184
- континентальная 46
 - океаническая 46
 - субконтинентальная 46

– субокеаническая 46
Зоны метаморфизма 134
Зоны моря 168

Известковый туф 83
Известняк 83
Изодинами 55
Изоклины 55
Изоморфизм 63
Изотропные минералы 61
Интрузии 80
– несогласные 80
– согласные 80
Ионосфера 32
Иризация 66

Кайнозой 95
Кальцит 73
Каменная соль 83
Камы 166
Каолинит 74
Карбонаты 68, 73
Карст 160, 185
– поверхностный 160, 161
– подземный 160, 161
Катагенез 177, 178
Катаклазиты 135
Каустобиолиты 84
Кварц 73
Кварцит 87
Киноварь 72
Кларки химических элементов 58
Классификация минералов 68
Кливаж 121
Коллювиальные отложения 171
Кометы 25
Конгломерат 82
Конус выноса 156, 157
Кора выветривания 142
Корразия 148, 155
Космос 21
Косы 168
Кристалл 60
Кристаллическая решетка 60
Кристаллический сланец 87
Кристаллография 12
Кровля слоя 84
Купол 116

Лабрадор 74
Лабрадорит 79
Лава 131

Лавовые покровы 78
Лагуны 168
Лакколит 80
Ледники 163, 164
Ледяные бугры 164
Лесс 82, 148
Лиман 167
Лимонит 73
Липарит 79
Литогенез 174, 177
Литосфера 41
Ложе мирового океана 31
Лополит 80
Луна 23

Магма 129
– базальтовая 129
– гранитная 129
Магматизм 129
– интрузивный 130
– эффузивный 131
Магматический очаг 101
Магнетит 73
Магнитное наклонение 54
Магнитное склонение 54
Магнитный полюс 53
Магнитометрия 55
Магнитуда землетрясения 108
Мантия 41
– верхняя 41
– нижняя 43
Марс 24
Математические методы 15
Материковый склон 31
Меандры 153
Мезозой 95
Мезосфера 33
Мергель 83
Меркурий 24
Метаморфизм 101, 133
– динамический 135
– контактовый 135
– региональный 134
Метан 85
Метеориты 25
Методы летоисчисления 91
– изотопные (радиологические) 93
– палеонтологические 91
– стратиграфические 91
Мигматит 134
Милониты 135
Минералогия 12

- Минералы 9, 60
 - акцессорные 75
 - второстепенные 75
 - главные 75
 - породообразующие 59
 - рудные 75
 - светлоцветные 76
 - темноцветные 76
 - экзогенные 64
 - эндогенные 63
- Минеральные агрегаты 63, 64
 - дендриты 65
 - друзы 65
 - землистые 65
 - зернистые 65
 - конкреции 65, 176
 - кристаллические 63
 - натечные 65
 - оолитовые 65
 - секреты 65
- Мировой океан 31
 Многолетнемерзлый слой 164
 Мобилизм 98
 Модель строения Земли 40
 Моноклираль 116
 Морена 166
 Морозное расклинивание 164
 Мощность слоя 84
 Мрамор 87
 Мусковит 74
- Надвиг 119
 Наледь 162, 164
 Напряженность магнитного поля 54
 Некк 81
 Нептун 24
 Нефть 84, 178
 Низменность 30
 Ноосфера 180
 Нулевая поверхность 28
 Нутация 28
- Обвальные явления 171
 Овраг 151, 156
 Оврагообразование 156
 Озера 169
 Озерные впадины 169
 - реликтовые 169
 - экзогенные 169
 - эндогенные 169
- Озоновый слой 33
 Озы 166
- Океанология 12
 Океаносфера 34
 Окисление 141
 Окислы и гидроокислы 68, 73
 Окраинные моря 31
 Омоложение рек 154
 Оползни 171, 172
 Ортоклаз 74
 Осадки органические 166, 169, 177
 - терригенные 166, 169, 177
 - химические 166, 169, 177
- Осадочное породообразование 174
 Островные дуги 31
 Осыпи 171
 Отдельность пород 121
- Палеозой 95
 Палеонтология 12
 Палингенез 134
 Пегматит 132
 Перидотит 79
 Песок 82
 Песчаник 82
 Петрография 12
 Пикрит 79
 Пирит 72
 Пироксен 73
 Пироксенит 79
 Пирролюзит 73
 Писчий мел 84, 85
 Планеты 23
 Пласт 84
 Платформа 46, 101
 Плоскогорье 30
 Плоскостной смыв 149
 Плутон 24
 Побежалость 66
 Поле силы тяжести 50
 Полиморфизм 63
 Полная складка 115
 Породы горные 10, 75
 - магматические 10, 76
 - интрузивные 79, 80
 - эффузивные 78, 79
 - метаморфические 10, 85
 - осадочные 10, 81
 - обломочные 81
 - органические 83
 - химические 83
- Почва слоя (пласта) 84
 Почвоведение 13
 Пояс постоянных температур 52

- Природопользование 180
 Проллювиальные отложения 156
 Промерзание грунтов 163
 Просадка кровли 173
 Протерозой 95
 Профиль равновесия реки 153
 Пучение грунтов 163
- Равнина 30
 Раздвиг 120
 Разрывные нарушения 117
 Растворение 142
 Регрессия моря 167
 Рельеф 184
 Роговая обманка 74
 Руководящие формы 91
 Рывина 151
- Самородные элементы 68, 72
 Сапропель 84, 170
 Сатурн 24
 Сброс 119
 Сдвиг 120
 Сдвижение массива 173
 Седиментогенез 177
 Сейсмические волны 39
 Сейсмограф 39
 Селевый поток 156
 Сера 72
 Серпентин 74
 Серпентинит 87
 Сила притяжения 50
 - тяжести 50
 - центробежная 50
 Силикаты 68, 74
 Силл 80
 Симметрия кристаллов 61
 Синклиналь 114, 115
 Скарн 135
 Складки 113, 114
 - антиклинальные 114, 115
 - синклинальные 114, 115
 Слой 84
 Слои земной коры 44
 - базальтовый 44
 - гранитный 44
 - осадочный 44
 Солифлюкция 164
 Солнечная система 22
 Солнечный ветер 54
 Солнце 22
 Срединный океанический хребет 31
- Стадии экзогенных процессов 138
 Сталактит 160
 Старица 153
 Сток поверхностных вод 149
 - линейный (русловый) 149
 - площадной 149
 Стратиграфическая колонка 127
 Стратиграфическая шкала 93
 Стратиграфия 12
 Стратосфера 32
 Стратопауза 32
 Структура горной породы 76
 Сульфаты 68, 73
 Сульфиды 68, 72
 Суффозионные процессы 160
 Сфалерит 72
 Сфероид 28
- Тальк 74
 Текстура горной породы 76
 Тектониты 135
 Тектонические движения 104
 - дислокационные 105, 107
 - древние 105, 106
 - колебательные 105
 - новейшие 105, 106
 - радиальные 104
 - современные 106
 - тангенциальные 105
 Тектонические нарушения 105, 107, 109
 - разрывные 117
 - складчатые 113
 Тепловой поток 52
 Термокарст 164
 Термометрия 52
 Термосфера 33
 Терраса абразионная 167
 - аккумулятивная 168
 - надпойменная 155
 - пойменная 155
 - речная 167
 Техногенез 180
 Техногенная кора выветривания 184
 Техносфера 180
 Тиллиты 166
 Торф 84, 170
 Трансгрессия моря 167
 Трещиноватость пород 121
 Трещины в породах 118, 121
 - нетектонические 121
 - тектонические 121
 - экзогенные 121

- Троговая долина 165
Тропопауза 32
Тропосфера 32
- Углефикация 84, 170
Уголь 84, 85, 178
 - бурый 84, 85
 - каменный 84, 85
 - сапропелевый 84
Уклон русла 151
Ультраметаморфизм 134
Уран 24
Уровень грунтовых вод 159
Уровень океана 28
- Факолит 80
Факторы метаморфизма 133
Фанерозой 95
Физические поля Земли 49
 - гравитационное 50
 - магнитное 53
 - тепловое 51
Физические свойства минералов 65
 - блеск 65
 - излом 68
 - особые свойства 68
 - спайность 66
 - твердость 66
 - удельный вес 68
 - цвет 66
 - цвет черты 66
Физические свойства пород 110
Фиксизм 98
Филлит 87
Фирн 163
Флексура 113
Флювиогляциальные отложения 166
Форма залегания пород 78
Фотосинтез 36
- Халькопирит 72
- Чаша 116
- Шельф 167
Шкала Мооса 67
- Шток 81
- Щебень 82
- Экзарация 165
Экзосфера 33
Экология 181
Элементы залегания слоя 124
Элементы разрывного нарушения 118
 - амплитуды 118
 - висячий блок 118
 - лежащий блок 118
 - сместитель 118
 - угол падения пород 118
 - угол наклона сместителя 118
Элементы складки 114, 115
 - замок 114, 115
 - крылья 114, 115
 - осевая поверхность 114, 115
 - угол складки 114, 115
 - шарнир 114, 115
 - ядро 114, 115
Эллипсоид вращения 28
Элювий 142
Эоловые отложения 148
Эон 94, 95
Эпицентр землетрясения 108
Эпоха 94, 95
Эпохи оледенения 165
Эпохи складкообразования 103
Эра 94, 95
Эрозия 152
 - боковая 152
 - водная 148, 152, 185
 - воздушная 148, 185
 - глубинная 152
 - ледниковая 165
Этапы развития Земли 94
 - геологический 94
 - догеологический 94
Юпитер 24
- Ядро Земли 41
 - внешнее 41
 - внутреннее 41

Рекомендуемая литература

1. Гаврилов В.П. Общая и историческая геология СССР. – М.: Недра, 1989. – 495 с.
2. Ершов В.В., Новиков А.А., Попова Г.Б. Основы геологии. – М.: Недра, 1986. – 310 с.
3. Жуков М.М., Славин В.И., Дунаева А.А. Основы геологии. – М.: Недра, 1971. – 544 с.
4. Мильничук В.С., Арабаджи М.С. Общая геология. – М.: Недра, 1979. – 408 с.
5. Павлинов В.Н., Кизевальтер Д.С., Лин Н.Г. Основы геологии. – М.: Недра, 1991. – 544 с.
6. Умнов А.Е. Охрана природы и недр в горной промышленности. – М.: Недра, 1987. – 126 с.
7. Кратенко Л.Я. Основы геологии (текст лекций). – Дн-ск.: НГАУ, 1999. – 95 с.

Дополнительная литература

1. Аллисон А., Палмер Д. Геология. – М.: Мир, 1984. – 565 с.
2. Ажгирей Г.Д., Горшков Г.П., Шанцер Е.В. Общая геология. – М.: Просвещение, 1974. – 479 с.
3. Геологический словарь / Под ред. К.Н.Парфенгольца. – М.: Недра, 1973. – Т. 1. – 486 с. Т. 2. – 436 с.
4. Горшков Г.П., Якушова А.Ф. Общая геология. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 592 с.
5. Иванова М.Ф. Общая геология с основами исторической геологии. – М.: Высш. шк., 1980. – 440 с.
6. Кальман Г.А., Болтыров В.Б. Основы геологии. – М.: Недра, 1985. – 264 с.
7. Курс общей геологии / В.И.Серпухов, Т.В.Билибина, А.И.Шалимов и др. – Л.: Недра, 1976. – 535 с.
8. Миловский А.В. Минералогия и петрография. – М.: Недра, 1985. – 432 с.
9. Михайлов А.Е. Структурная геология и геологическое картирование. – М.: Недра, 1984. – 464 с.
10. Пособие к лабораторным занятиям по общей геологии / В.Н.Павлинов, А.Е.Михайлов, Д.С.Кизевальтер и др. – М.: Недра, 1983. – 160 с.