

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра строительных материалов и изделий

55(07)
Т19

Т.И. Таранина

ГЕОЛОГИЯ

Конспект лекций

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2020

УДК 550(075.8)
Т19

*Одобрено
учебно-методической комиссией
архитектурно-строительного института ЮУрГУ*

Рецензенты:

*Б.А. Пужаков – главный геолог ООО НПП «ЧелГео»,
канд. геол.-минерал. наук;
Е.Н. Ряховский – директор ООО «Научно-производственное
предприятие «УРАЛБОКСИТ»*

Таранина, Т.И.

Т19 Геология: конспект лекций / Т.И. Таранина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2020. – 124 с.

Конспект лекций по дисциплине «Геология» предназначен для самостоятельной работы студентов, которые обучаются по направлению подготовки «Строительство». В конспекте лекций в кратком виде даются обобщенные систематизированные знания по основным курсам геологии: минералогии и петрографии с литологией, стратиграфии и геохронологии с палеонтологией, динамической геологии и тектонике (геологическим структурам). Конспект лекций является дополнением к опубликованным учебникам, учебным пособиям по геологии и к авторским презентациям лекций. В нем акцентируется внимание студентов на инженерно-геологические свойства минералов и горных пород как грунтов, на те знания и компетенции, которые необходимы будущим строителям для оценки инженерно-геологических условий застраиваемых территорий.

Конспект лекций представляет интерес для практиков – строителей, экологов и других.

УДК 550(075.8)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Согласно Федеральным государственным образовательным стандартам высшего образования (ФГОС ВО) при подготовке бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство», и специалистов 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», предусматривается изучение базовой дисциплины «Геология» в количестве 72 часов, из которых 40 часов выделяется на самостоятельное изучение дисциплины.

Геология рассматривается в ФГОС ВПО как инженерное обеспечение строительства и входит в блок базовых дисциплин. В процессе изучения геологии у студентов формируются такие важные компетенции, как способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; приобретение знаний нормативной базы в области инженерных изысканий; овладение методами проведения инженерных изысканий и другие.

Конспект лекций предназначен для дополнительных и самостоятельных занятий студентов по дисциплине «Геология» во втором семестре. Он является определенным дополнением к презентациям лекционного курса, которые представлены на сайте электронного ЮУрГУ. Для закрепления всех теоретических тем, изучаемых на лекциях, рекомендуется также самостоятельно прочитать и разобраться в представленных конспектах, в которых наиболее подробно и системно изложены все вопросы рассматриваемых тем. Конспект лекций окажет существенную помощь студентам, которые по каким-либо причинам не присутствовали на лекциях, либо обучаются на заочном отделении и другое.

В конспектах лекций более подробно и обстоятельно, с точки зрения современных достижений геологии рассматриваются важнейшие общетеоретические темы дисциплины, в чем и заключается определенная их актуальность. Особенности данного издания заключаются в том, что многие вопросы и темы раскрываются в прикладных аспектах с учетом тех компетенций, которые необходимо освоить будущим строителям.

В каждом конспекте лекций даются и рассматриваются основы отдельных важнейших наук геологического цикла: геохимии и минералогии, петрографии и литологии, геохронологии и стратиграфии, структурной геологии и геокартирования, геотектоники и геоморфологии, и других. Для освоения перечисленных тем и курсов Геологии студенты должны владеть знаниями по физике и химии, математике и другим естественным наукам.

Представленный конспект лекций будет полезен не только студентам, обучающимся по строительным направлениям и специальностям, но и экологам, химикам, физикам, юристам и другим для общего естественнонаучного образования и просвещения.

Лекция 1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ГЕОЛОГИЯ». СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

1.1. Предмет и объекты геологии. Науки геологического цикла

Дисциплина «Геология» для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство», является комплексной и достаточно сложной, включает в себя многие дисциплины и науки геологического цикла. В целом, геология - комплекс наук о составе, строении, происхождении и истории развития Земли, основанных на исследованиях минералов, горных пород и ее внутренних оболочек с привлечением данных астрономии, физики, химии, биологии и других наук. Для понимания объектов исследования геологии рассмотрим схему на рис. 1.1 [2].

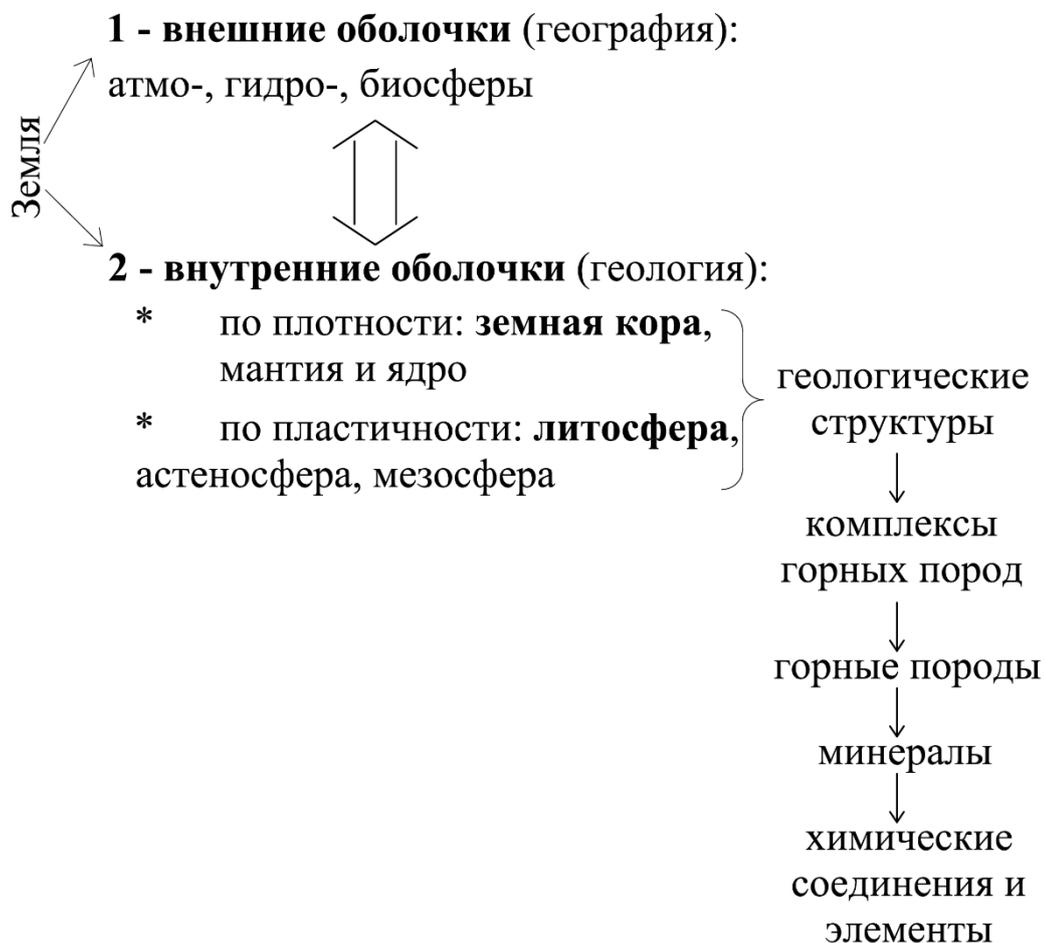


Рис. 1.1. Схема «Иерархическая цепочка уровней системной организации вещества Земли» [2]

Иерархическая цепочка показывает разные уровни организации вещества от простого к сложному: от химических элементов до Земли в целом. Каждый уровень вещества Земли представляет собой систему - нечто целое, состоящее из составных частей, которые тесно взаимосвязаны и взаимозависимы. Приведенная схема необходима для понимания того, что все

объекты геологии тесно взаимосвязаны между собой, а также с объектами географии, биологии и др. Анализ схемы показывает главные объекты изучения геологии. Перечислим их от наиболее простых и элементарных к более сложным, рассмотрим общепризнанные понятия объектов и науки (дисциплины), которые их изучают.

1 – **химические элементы (ХЭ)** изучает наука **геохимия**, которая выясняет закономерности распределения химических элементов в земной коре (см. лекцию 2).

2 – **минералы (М)** – природные твердые индивиды (в виде зерен, кристаллов), имеющие определенный выдержанный химический состав и кристаллическое (упорядоченное) строение, образовавшиеся в результате геологических процессов в недрах Земли или на земной поверхности. В современной минералогии – науке о минералах, выделяют около 5000 минеральных видов, а также **минералоиды** – твердые химические соединения аморфного (неупорядоченного) строения (в последние десятилетия открыли до 500 минералоидов).

3 – **горные породы (ГП)** – минеральные агрегаты (сростки), определенного состава (химического и минерального) и строения (текстуры и структуры). Они также образуются в результате тех или иных геологических процессов и залегают в земной коре в виде самостоятельных тел определенной формы. Например, современные коралловые рифы Австралии, которые со временем превратятся в коралловый известняк, имеют общую протяженность около 2300 км и ширину местами до 150 км (для сравнения Уральские горы – около 2000 км и – также до 150 км). Горные породы разного генезиса изучают различные науки: **петрография, петрология и литология**.

4 – **окаменелости** (или фоссилии) – ископаемые остатки растений и животных прошлых геологических эпох или следы их жизнедеятельности, сохранившиеся в осадочных горных породах. По руководящим окаменелостям определяют относительный возраст тех горных пород, в которых они обнаружены. Из других окаменелостей состоят почти полностью такие породы, как мел, органогенные известняки, диатомиты, трепела, радиоляриты и многие другие (породообразующие фоссилии). Древние ископаемые организмы изучают **палеонтология, стратиграфия, палинология** и другие.

5 – **полезные ископаемые (ПИ) и руды** представляют собой скопления минералов или горных пород в земной коре, которые люди научились использовать для удовлетворения своих потребностей. Добывают в настоящее время только руды – такие крупные уникальные скопления, которые технологически возможно и экономически выгодно добывать. Их изучают такие науки как **минерография, учение о полезных ископаемых** и другие.

Перечисленные объекты представляют собой так называемые **статические явления (или объекты)**, которые нам кажутся вечными. Однако они тоже «живут» по-своему, изменяются с течением времени (сотни, тысячи и десятки тысяч лет) и превращаются в другие. Например, с уроков природоведения в школе вы помните, что горная порода **гранит**, на которой, в частности, построена западная часть Челябинска, при разрушении (выветривании) **превращается в кварцевый песок и глину**.

Очень важно понимать, что все статические объекты: **минералы, горные породы и др., «рождаются» благодаря определенным геологическим процессам (ГПр)**.

б – геологические процессы (или динамические явления) представляют собой комплексные физико-химические, биологические и другие процессы, протекающие в недрах Земли (З) и земной коре (ЗК). Как уже написано выше, в результате ГПр возникают статические объекты, которые слагают также более крупные **геологические структуры земной коры** – платформы, горно-складчатые области и т.д. Геологические процессы изучает **динамическая геология**. Она подразделяется в зависимости от источников энергии, которые вызывают отдельные ГПр, на науки и дисциплины, исследующие внутренние (или эндогенные – магматизм и вулканизм, тектонические движения земной коры и литосферы, метаморфизм) и внешние (экзогенные – учение о выветривании, о геологической деятельности рек, подземных вод, озер, морей и другие) процессы. Истории развития З и ЗК реконструируется такими науками как **геохронология, палеонтология, историческая геология, тектоника** и многие другие.

Развитие геологии связано с тем, что еще с каменного века люди стали использовать в своей жизнедеятельности М и ГП, которые называют уже ПИ и их изучают многие прикладные науки. К ним относятся также появившиеся во второй половине 20-го века такие науки, как **инженерная геология, грунтоведение, мерзлотоведение, горная геология** и ряд других наук. Таким образом, геология изучает с разных точек зрения важнейшие объекты геологии – минералы, горные породы, окаменелости, полезные ископаемые и руды, с помощью различных наук и дисциплин геологического цикла.

Учитывая иерархичность вещества З (см. рис. 1.1), следует четко понимать, что геология тесно связана со всеми естественными науками – физикой, химией, планетологией, биологией, географией, почвоведением и другими, а также использует методы исследования перечисленных наук.

Предметом исследования Г. являются внутренние оболочки Земли и в особенности **земная кора (ЗК) и литосфера (Л)**, в пределах которых осуществляется деятельность человека и строителей. Особенности состава и строения ЗК и Л зависят от влияния на них глубинных оболочек З – мантии и ядра, где «рождаются» эндогенные процессы, за счет которых возникли крупные формы рельефа – моря, океаны и континенты, а на них

равнины, горы, хребты и другие морфоструктуры. За счет внешних оболочек З: атмо- гидро- и биосферы протекают экзогенные процессы и возникают мелкие формы рельефа: речные и ледниковые долины, озерные котловины и болота, эоловые и флювиогляциальные формы и многие мелкие формы рельефа – морфоскульптуры.

1.2. Значение дисциплины в образовании инженеров-строителей

По существу, люди живут, строят все здания и сооружения, выполняют другие работы на З в пределах ее наружных оболочек – ЗК и Л. Поэтому изучение и понимание состава и строения ЗК и Л, их развитие актуальны для многих специалистов, а особенно для студентов, обучающихся по направлениям 08.03.01 «Строительство», 05.03.06 «Экология и природопользование» и др. В соответствии с ФГОС в результате изучения дисциплины «Геология» студенты должны:

- знать основные требования нормативной документации в строительстве в области проектирования и градостроительства; способы и методы инженерно-геологических изысканий; законы геологии, гидрогеологии; генезис и классификацию горных пород и грунтов;

- демонстрировать навыки диагностики породообразующих минералов и горных пород, оценивания их как грунтов, построения геологической графики;

- знать важнейшие геологические процессы и явления, влияющие на инженерно-геологические условия строительства; а также законы взаимодействия между гидро-, атмо-, лито- и техносферами;

- уметь анализировать воздействие окружающей среды на материал в конструкции; применять нормативную документацию для разработки технических заданий на проектирование и инженерные изыскания; решать простейшие задачи инженерной геологии; читать геологическую графику.

В целом, только на геологии студенты приобретут навыки оценивания инженерно-геологических условий застраиваемых и осваиваемых территорий [1, 8] и смогут освоить ниже перечисленные компетенции:

- владение профессионально профилированными знаниями и практическими навыками в общей геологии, теоретической и практической географии, общего почвоведения и использовать их в области экологии и природопользования, в том числе и строительстве;

- способность прогнозировать техногенные катастрофы и их последствия, планировать мероприятия по профилактике и ликвидации последствий экологических катастроф, принимать профилактические меры для снижения уровня опасностей различного вида и их последствий;

- способность решать глобальные и региональные геологические проблемы;

– способность составлять отчеты по выполненным инженерно-геологическим работам, участвовать во внедрении результатов исследований и практических разработок.

1.3. Форма и размеры Земли

Форма Земли близка к трехосному эллипсоиду вращения с полярным сжатием. Иногда форму Земли именуют **сфероидом**. Земная поверхность осложнена глубокими океаническими впадинами (до 12 км) и высокими горными системами на материках (до 9 км), поэтому истинную, присущую только Земле форму, называют **геоидом** [1, 2, 8].

Форму Z можно охарактеризовать следующими цифрами (км): полярный радиус – 6 357, экваториальный радиус – 6 378, средний – 6 371, окружность по экватору – 40 008. Площадь земной поверхности составляет 510 млн км², объем Z – 1 083 млрд км³, масса - $5,98 \cdot 10^{27}$ т, средняя плотность – 5,52 г/см³. От поверхности вглубь Z ее плотность увеличивается: плотность поверхностных слоев Земли составляет – 2,66 г/см³; на глубине 500 км – 3,33 г/см³; на глубине 1300 км – 5,00 г/см³; на глубине 2500 км – 7,40 г/см³; на глубине 5 000 км – 10,70 г/см³; на глубине 6 371 км – до 13,00 г/см³.

Самые глубокие шахты имеют глубину около 4 км, а самая глубокая Кольская скважина, пробуренная возле Мурманска – 12 км. Земля состоит из **оболочек (геосфер)** – внутренних (рис. 1.2) и внешних.



Рис. 1.2. Схема внутреннего строения Земли

Внутренние оболочки изучает геология, внешние – география, а их взаимодействие исследуются этими науками в разных аспектах.

1.4. Внутренние оболочки Земли

В настоящее время геологам относительно достоверно известно внутреннее строение З. на основе косвенных (сейсмических) данных, которые позволяют «заглянуть» в недоступные глубины планеты. **Сейсмические волны** (греч. «сейсма» – сотрясение) возникают в Земле при землетрясениях, ядерных и крупных промышленных взрывах, пронизывают всю Землю, преломляясь, отражаясь на разных границах смены состояния и плотности вещества. **Скорость сейсмических волн зависит от состояния (твердое, жидкое или газообразное) и от плотности вещества (горных пород).**

Во второй половине XX века ученые пришли к выводу, что необходимо выделять внутренние оболочки (сверху – от земной поверхности, вглубь) по следующим свойствам:

1 – по скорости сейсмических волн, которая зависит от состояния и плотности вещества – оболочки I порядка: **земная кора, мантия и ядро** (см. рис.1.2);

2 – по пластичности (реологическим свойствам): **лито-, астено- и мезосферы.**

Основные характеристики внутренних оболочек приведены в табл.1.1.

Таблица 1.1

Характеристика внутренних оболочек Земли [2, 4, 16]

Геосфера	Интервал глубин, км	Плотность, г/см ³	Доля от объема, %	Масса, 10 ²⁵ т	Доля от массы Земли, %
Земная кора (слой А)	0–33	2,7–3,0	1,55	5	0,8
Раздел Мохоровичича					
Мантия:					
Внешняя (слой В)	33–410	3,32–3,65	16,67	62	10,4
Переходная (слой С)	410–1000	3,65–4,68	21,31	98	16,4
Нижняя (слой D)	1000–2900	4,68–5,69	44,28	245	41,0
Раздел Вихерта–Гутенберга					
Ядро:					
Внешнее (слой Е)	2900–4980	9,4–11,5	15,16	188	31,4
Переходное (слой F)	4980–5120	11,5–12,0	0,28		
Внутреннее (слой G)	5120–6370	12,0–12,3	0,76		

Земная кора (слой *A*) – верхний слой Земли имеет нижнюю границу или подошву по слою (поверхности) Мохоровичича, где отмечено скачкообразное увеличение скорости распространения упругих (сейсмических) продольных волн с 6,7 до 8,2 км/с и плотности горных пород с 2,9 до 3,5 г/см³ (см. рис. 1.2). Синоним границы Мохоровичича – **подошва земной коры**. Мощность земной коры неодинакова: в высокогорных районах составляет до 70...75 км, на равнинах – 30...35 км, а под дном океана – 5...6 км (в пределах срединно-океанических хребтов – СОХ). В земной коре выделяются оболочки II-го порядка:

– **стратисфера** (лат. «стратум» – слой, покрывало) – **осадочный слой**, состоящий преимущественно из осадочных ГП мощностью от 0 (в пределах щитов и антиклинориев) до 20...25 км (в Прикаспийской низменности);

– **«гранитный»** («гранито-гнейсовый») слой, сложенный ГП типа гранита. Он прерывист и распространен под материками, а в глубоководных участках океана отсутствует. Мощность изменяется от 10 км на равнинах до 30...40 км под горными районами;

– **«базальтовый»** («гранулит-базитовый») слой, залегающий под гранитным слоем сплошной оболочкой. Мощность слоя до 30 км под материками и до 15 км под дном океанов.

Из приведенного описания следует, что ЗК под океанами и континентами (материками) имеет разное строение и различную мощность, поэтому **выделяют два основных типа земной коры – континентальный и океанический**, которые еще называют **глобальными структурами земной коры I-го порядка**. Площадь континентов в геологическом смысле (континентального типа ЗК) превышает площадь материков (суши) и достигает 41 %, то есть континентальный тип ЗК простирается под океанами в пределах шельфа до глубин примерно 100...150 метров. Океанический тип ЗК – 56 % земной поверхности, 3 % – промежуточные субокеанический и субконтинентальные типы ЗК. Другой важной отличительной характеристикой является молодой возраст океанического типа ЗК – около 180 млн лет по сравнению с древнейшим возрастом ГП на континентах – около 4,2 млрд лет.

Мантия располагается на глубине 33...2900 км и состоит из двух основных частей – верхней (слой *B*) до глубины 400 км и нижней (слой *D*) с подошвой ~ 2900 км. В мантии распространены ультраосновные породы, поэтому оболочку нередко называют перидотитовой или каменной. Верхняя мантия состоит преимущественно из Si, Mg и Fe, из минералов преобладают форстерит и фаялит. В верхней мантии, находится **астеносфера** (от греч. «астьянос» – слабый) – слой менее плотных и как бы «размягченных» пластичных ГП, в пределах которого уменьшается скорость сейсмических волн на 0,1...0,5 км/с (рис. 1.3).

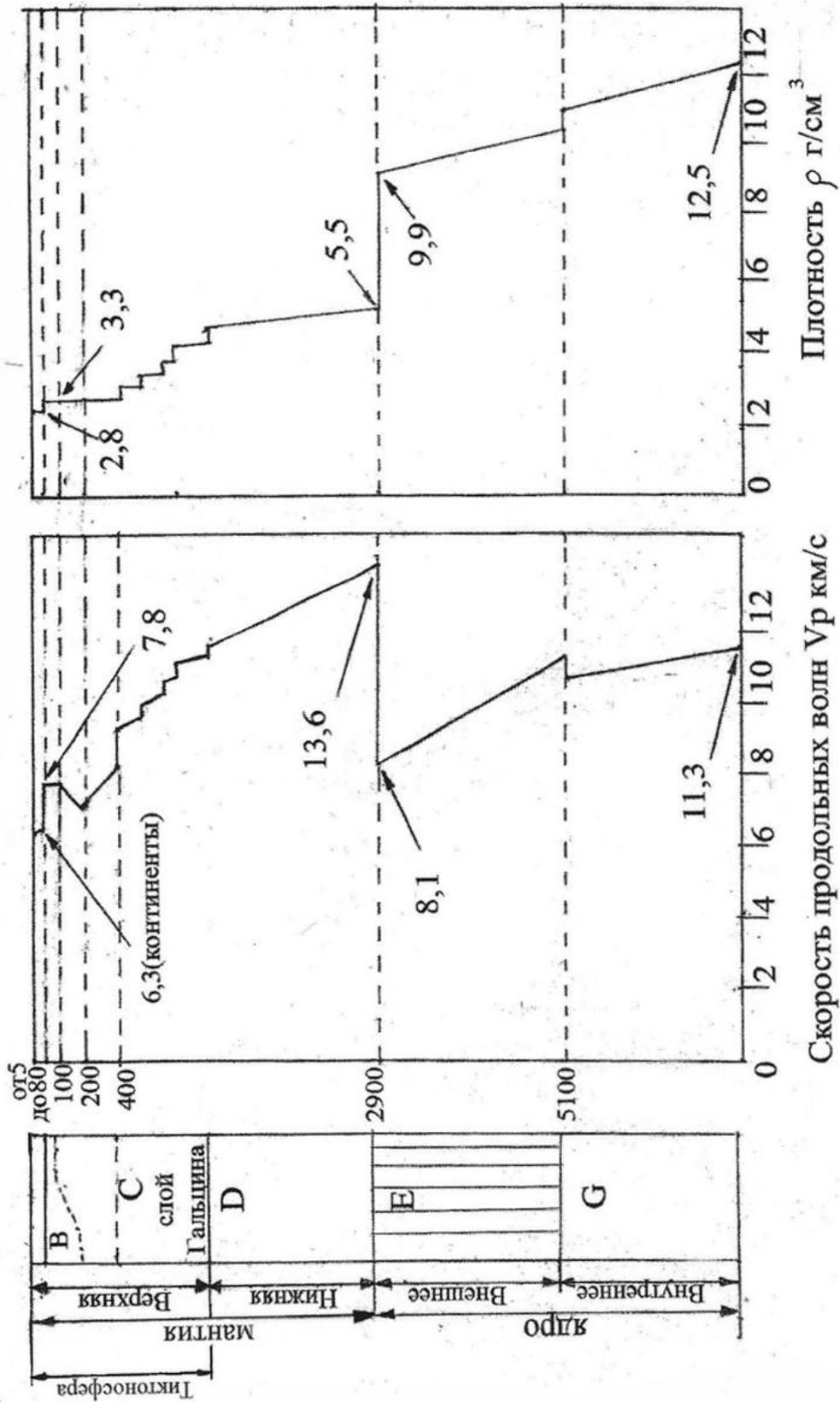


Рис. 1.3. Скоростной и плотностной разрезы Земли

Считается, что в астеносфере 1...10 % вещества находится в расплавленном состоянии. Ее состояние вязкое и более пластичное по сравнению с породами литосферы и подстилающей ее мантии. Верхняя граница астеносферы расположена на глубине около 100...150 км под материками и около 50...60 км под дном океанов. Астеносфера играет большую роль в зарождении **эндогенных процессов**: здесь формируются сейсмические и магматические очаги (очаги энергии), которые способствуют протеканию землетрясений, магматизма, вулканизма, метаморфизма и других процессов в литосфере и земной коре. Нижняя граница астеносферы – переходной слой мантии (слой Голицына – слой С), проходит на глубине 400...1000 км.

Наружная каменная и самая хрупкая оболочка Земли, расположенная выше астеносферы, получила название **литосфера** (см. рис. 1.3.). Она объединяет земную кору, подкорковую часть верхней мантии и подстилается астеносферой. Хрупкая литосфера разбита на **литосферные плиты**, которые ограничены современными сейсмическими зонами (землетрясений и вулканизма); каждая плита, за исключением Тихоокеанской, включает в себя участки с океаническим и континентальным типом земной коры.

Поскольку в астеносфере зарождаются, а в литосфере наиболее активно проявляются эндогенные процессы, то эти две верхние отличающиеся пластичностью оболочки З. объединяют под названием **тектоносфера**.

Нижняя мантия состоит из Mg, Fe, Ni. Под действием очень высоких давлений происходит распад минералов на простые оксиды с плотнейшей упаковкой кристаллической решетки.

Ядро Земли начинается с глубины ~2900 км. Внешнее ядро находится в жидком (через нее не проходят поперечные сейсмические волны), внутреннее ядро - в твердом состоянии. Масса ядра составляет ~ 32 % массы Земли, а объем ~ 16 %. Ядро почти на 90 % состоит из Fe, Ni, O₂, S, C и H₂. Радиус внутреннего ядра (слой G), состоящий из железо-никелевого сплава составляет 1200...1250 км, переходный слой (слой F) имеет мощность 300...400 км, радиус внешнего ядра (слой E) составляет 3450...3500 км.

Таким образом, **оболочки Земли находятся в твердом состоянии** за исключением внешнего ядра, состоящего из расплавленного жидкого вещества преимущественно железа и никеля. Твердой и при этом пластичной является астеносфера, так как около 10% ее вещества находится в расплавленном состоянии.

Вся жизнедеятельность человека происходит в пределах верхних каменных оболочек – **земной коры и литосферы**. С практической точки зрения для строителей понятия «земная кора» и «литосфера» – это почти синонимы, так как можно говорить и писать, что строим на земной коре или литосфере – все правильно. Однако с теоретической точки зрения «земная кора» и «литосфера» - это разные понятия, которые выделены в разное время (в конце 30-х годов XX века была выделена земная кора, а в

начале 50-х годов после открытия срединно-океанических хребтов) и по разным свойствам. В середине XX века было сделано очень важное открытие о том, что первичные очаги эндогенных процессов: землетрясений и тектонических движений, магматизма и вулканизма, зарождаются под литосферой в пластичной астеносфере. Проявляются и протекают все геологические процессы именно в этих верхних оболочках – литосфере и земной коре. Эндогенные процессы: тектонические движения, включая землетрясения, магматизм и метаморфизм, меняют постоянно внутреннее строение литосферы и земной коры, а экзогенные процессы: выветривание, денудация и аккумуляция – приповерхностную часть земли и рельеф. Как написано выше, земная кора и литосфера состоят из минералов и горных пород – главные объекты исследования геологии. Горные породы, на которых строят строители, называются **грунтами** и оцениваются по другим особым физико-механическим, - химическим, водным и другим свойствам.

Контрольные вопросы по лекции 1

1. Чему равен средний радиус Земли?
2. Назовите и расположите оболочки Земли, выделенные по реологическим свойствам сверху вниз.
3. Назовите и расположите оболочки Земли, выделенные по сейсмическим свойствам (по плотности вещества) сверху вниз.
4. В каком состоянии (твердое, жидкое, газообразное) находятся оболочки Земли?
5. В пределах каких оболочек Земли осуществляют свою деятельность строители?
6. Какие статические объекты исследования геологии надо знать будущим строителям?
7. Как возникают статические объекты исследования геологии?
8. На каком типе земной коры располагается большая площадь земной поверхности? Какое строение имеет данный тип земной коры?
9. На каком типе земной коры живут преимущественно люди? Какое строение имеет данный тип земной коры?

Лекция 2. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ. ОСНОВЫ МИНЕРАЛОГИИ

В строении земной коры преобладают горные породы различного состава, происхождения, возраста и форм (условий) залегания. Горные породы состоят из определенных ассоциаций минералов, последние – из атомов и молекул химических элементов. Химические элементы, минералы и горные породы относятся к статистическим объектам исследования геологии, поскольку они сохраняются в земной коре относительно длительное время и кажутся нам «вечными». Рассмотрим вещественный состав Земли от низшего уровня – химических элементов, затем минералы и горные породы.

2.1. Химический состав земной коры

Химический состав земной коры изучен достаточно полно и достоверно. Первые сведения о химическом составе земной коры были подсчитаны и опубликованы в 1889 г. американским ученым Ф. Кларком, который обобщил представительные результаты более 6 000 химических анализов различных горных пород [2, 4, 7]. В начале XX века А.Е. Ферсман предложил называть процентное содержание элемента в земной коре **кларком** этого элемента, например, кларк алюминия – 8,05. В течение XX века химический состав земной коры изучали и уточняли академики В.И. Вернадский, А.Е. Ферсман, А.П. Виноградов и многие другие. Средний химический состав земной коры (табл. 2.1 и 2.2), существенно отличается от среднего химического состава Земли, в которой преобладают более тяжелые ХЭ – Fe, Mg и др .

В целом, в земной коре установлено около 88 химических элементов (ХЭ) таблицы Менделеева. Они распределены крайне неравномерно: на долю 8 ХЭ приходится около 99 % ее массы, из которых на долю 2 – более 75%; все другие ХЭ встречаются в малом количестве – менее тысячных – миллионных долей %. Этими закономерностями распространения ХЭ в ЗК объясняется то, что месторождения металлов кроме алюминия и железа очень трудно найти в ЗК и содержание металлов в рудах не превышает первых или десятых доли % [2, 5, 7, 18]..

ХЭ в ЗК в свободном виде не встречаются, а образуют твердые химические соединения – минералы.

Таблица 2.1

Кларки – главные химические элементы земной коры, % по массе
(по Перельману)

O	Si	Al	Fe	Ca	Na	K	Mg	Ti
47,00	29,05	8,05	4,65	2,96	2,05	2,50	1,87	0,45

Таблица 2.2

Распространенность химических элементов в земной коре,
разделенная на порядки [18]

Порядок	Колебания, %	Элементы		Общее содержание, %
		Кол-во	Некоторые представители	
I	100...10	2	O, Si	75,13
II	10...1	7	Al, Fe, Ca, Na, Mg, K, H	23,00
III	1...0,1	6	Ti, C, Cl, P, S, Mn	1,48
IV	0,1...0,01	10	F, Ba, N, Sr, Cr, Zr, V, Ni, Zn, Cu	0,33
V	0,01...0,001	14	Sn, Rb, W, Li, B, Y, Co, Pb, Cs, Mo, Br, Th	0,05
VI	0,001...0,0001	21	Yb, Sn, La, Se, Cd, As, U, Be, Hf, Ar, Ga	0,009
VII	0,0001...0,00001	10	Se, Sb, Nb, Ta, Pt, Eu, Ln, Bi, Ti, Ag	0,0003
VIII	0,00001...0,000001	9	Hg, Pd, Os, Rh, Te, He	0,00002
IX	0,000001...0,0000001	3	Au, Ne, Ru	0,000001
X	0,0000001...0,0000000001	4	Kr, Xe, Ra, Pa	< 0,000001

2.2. Основы минералогии

Минералогия – наука о минералах, их составе и строении (структуре), свойствах, особенностях и закономерностях образования, нахождения и изменения в природе. Принятое среди современных минералогов определение понятия **минерал (М)** опубликовано в учебнике А.А. Годовикова [6] – химически и физически индивидуализированный неорганический продукт природной физико-химической реакции, находящийся в кристаллическом состоянии. М в виде индивидов - зерен или кристаллов, входят в состав горных пород, имеют определенный химический состав, который записывается в виде **химической формулы**. Минеральные индивиды схожего состава и строения относятся к одному **минеральному виду** и имеют одно название.

Минералы, имеющие одинаковый химический состав, но разную внутреннюю структуру, относятся к разным видам и называются **полиморфными модификациями**, а сама способность одних и тех же химических соединений образовывать кристаллы с различной внутренней структурой – **полиморфизмом**. Так, например, алмаз и графит являются полиморфными модификациями углерода (рис.2.1). В структуре графита атомы углерода образуют

плоскостные сетки с прочными ковалентными связями, которые соединяются между собой слабыми Ван дер Ваальсовыми связями и поэтому графит – очень мягкий минерал; отличается анизотропностью свойств – имеет чешуйчатую форму индивидов и весьма совершенную спайность (легко расщепляется в одном направлении на тонкие пластинки).

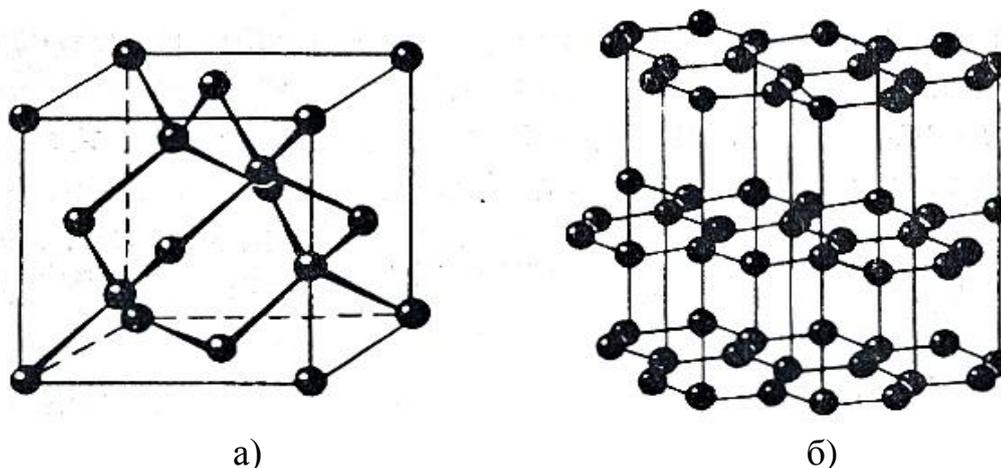


Рис. 2.1. Минералы – полиморфные модификации углерода:
а – алмаз; б – графит

В структуре алмаза атомы углерода связаны прочными ковалентными связями и образуют трехмерный каркас, поэтому он является **изотропным** (все его свойства сохраняются в трех направлениях по всему объему индивидов) и самым твердым М в природе.

Различают два вида полиморфизма. Первый вид (энантиотропия) характеризуется обратимостью (переходом) полиморфных модификаций из одной в другую при определенной температуре и давлении. Например, графит переходит в алмаз при давлении, характерном для глубин 50...60 км; а кальцит (CaCO_3) переходит в арагонит. Второй вид (монотропия), когда полиморфная модификация (нестабильная) может переходить в другую модификацию (стабильную), но обратный переход невозможен, например, переход марказита в пирит FeS_2 .

2.2.1. Химический состав минералов

Химический состав М весьма разнообразен, определяется химическим составом земной коры (см. табл. 2.1, 2.2) и выражается идеализированной формулой. Формула минерала показывает количественные соотношения элементов и характер их взаимной связи в пространственной решетке. Например, в кальците каждый катион Ca^{+2} имеет ионную связь с шестью анионами $[\text{CO}_3]^{-2}$ -радикалов, внутри которых углерод соединен с кислородом с помощью ковалентной связи. Поскольку кислород и кремний составляют более 70 % массы земной коры, то они являются наиболее важными составляющими элементами важнейших минералов земной коры –

силикатов. В силикатах кремний, как правило, связан ковалентными связями с 4-мя атомами кислорода, образуя кремнекислородные тетраэдры – $[\text{SiO}_4]^{-4}$.

В составе многих экзогенных минералов содержится вода. Химически связанная вода входит в пространственную решетку (гипс – $\text{CaSO}_4\text{H}_2\text{O}$), и ее удаление приводит к разрушению минерала. Молекулярная вода не участвует в строении пространственной решетки и ее удаление лишь обезживает М.

Химический состав минералов может изменяться в определенных пределах. Способность атомов (ионов) одних ХЭ замещать атомы (или ионы) других ХЭ в структуре называется **изоморфизмом**. Изоморфными являются ХЭ, обладающие близкими атомными или ионными радиусами и часто зарядом. Изоморфизм проявляется тогда, когда минералы растут в среде, содержащей изоморфные элементы. Часто изоморфные примеси показываются непосредственно в формуле минерала и пишутся в ней через запятую. Примером совершенного изоморфизма является оливин (Mg, Fe) $_2\text{SiO}_4$, состав которого может меняться от Mg_2SiO_4 (форстерит) до Fe_2SiO_4 (фаялит). Наиболее широко это свойство проявляется в силикатах и, особенно, в группе полевых шпатов: $[\text{K, Na, Ca}](\text{AlSi}_3\text{O}_8)$, в которых К, Na могут замещаться Rb, Cs, Li и Ti^+ ; Ca – Ba и Sr, а Al – Fe^{+3} . Представления об изоморфизме способствуют обнаружению редких и рассеянных элементов в М и рудах, а также созданию новых материалов с заданными свойствами.

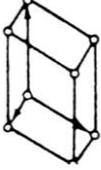
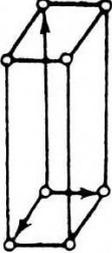
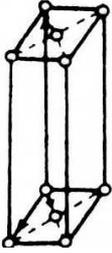
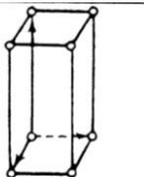
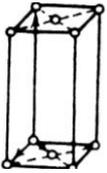
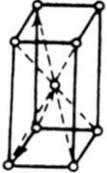
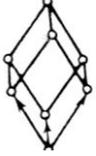
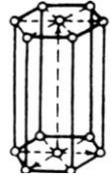
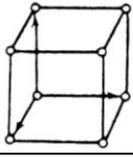
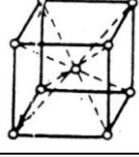
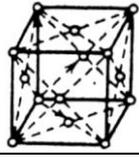
2.2.2. Структура минералов

Современная минералогия относит к минералам только те природные образования, которые имеют кристаллическое строение – слагающие их составные части располагаются в определенном закономерном порядке. Химические соединения аморфного (беспорядочного) строения называют в современной минералогии **минералоидами**. Минералы обладают однородностью строения, состава и свойств, так как в каждой своей части, вплоть до размеров элементарной ячейки, они обладают одинаковым кристаллическим строением и химическим составом.

В относительно благоприятных природных условиях – при достаточном питании, пространстве, относительном постоянстве физико-химических условий, сохраняющихся длительное время в недрах земной коры, вырастают минералы в виде **кристаллов** – геометрически правильных многогранников [1, 6, 14]. Внешняя форма (морфология) кристаллов определяется типом пространственной решетки. Еще в 1848 г. французский кристаллограф О. Бравэ установил, что возможно лишь 14 типов элементарных пространственных решеток в М, получивших соответствующие названия (табл. 2.3).

Таблица 2.3

14 кристаллических решеток О. Бравэ

Сингония	Примитивная	Базоцентрированная	Объемноцентрированная	Гранецентрированная	Формы элементарной ячейки
Триклинная					Параллелепипед
Моноклиная					Призма с параллелограммом в основании
Ромбическая					Призма с прямоугольником в основании
Тригональная					Ромбоэдр
Тетрагональная					Призма с квадратом в основании
Гексагональная					Призма с ромбом (шестиугольником) в основании
Кубическая					Гексаэдр

В целом, кристаллы растут параллельно плоским сеткам кристаллической решетки, которые имеют разную ретикулярную плотность за исключением кристаллов кубической сингонии. Поэтому грани с малой плотностью (меньшим количеством атомов, приходящихся на единицу площади плоской сетки), растут быстрее и со временем «исчезают», а грани с высокой ретикулярной плотностью преобладают в кристаллах.

Таким образом, морфология кристалла зависит, во-первых, от типа кристаллической решетки, а во-вторых, от условий его образования. Изучением кристаллов занимается **кристаллография**. Кристаллы имеют «элементы ограничения» – грани, ребра, углы и их сочетания, которые, как и многое в природе, характеризуются симметрией. Симметрия выражается в закономерной повторяемости элементов ограничения кристалла в пространстве по отношению к элементам симметрии (ось, плоскость и центр). **Осью симметрии** кристалла называется воображаемая линия, проходящая через кристалл, при вращении вокруг которой повторяются одинаковые элементы ограничения и проявляются одинаковые свойства кристалла. Если при повороте кристалла на 360° одинаковые элементы ограничения повторяются дважды, имеют дело с осью симметрии 2-го порядка, если трижды – с осью симметрии 3-го порядка. В кристаллах могут быть только оси второго (L_2), третьего (L_3), четвертого (L_4) и шестого (L_6) порядков.

Плоскость симметрии (P) – это плоскость, по обе стороны которой зеркально отражаются одинаковые элементы ограничения и проявляются одинаковые свойства кристаллов.

Центр симметрии (C) – точка, расположенная внутри кристалла, в диаметрально противоположных направлениях и на равных расстояниях от которой располагаются одинаковые элементы ограничения и проявляются одинаковые свойства кристалла. Центр может быть только один. Любая линия, проходящая через центр симметрии, делится пополам.

Кристаллы разных размеров и форм одних и тех же или даже других минералов, но имеющие одинаковые совокупности элементов симметрии, относятся к одному классу симметрии. Все многообразие кристаллов в природе «укладывается» в 32 класса симметрии. В зависимости от симметрии элементарных ячеек кристаллических решеток все классы кристаллов подразделяются на системы (сингонии). В справочниках и определителях обычно пишут сингонию и морфологию минералов, так как повторим еще раз морфология минералов определяется, прежде всего, кристаллической структурой и в частности сингонией. У каждой сингонии имеются соответствующие параметры элементарных ячеек: α , β , γ – углы кристаллов, a , b , c – осевые единицы кристаллов (табл. 2.4). Таких систем - сингоний 7: кубическая, тетрагональная (квадратная), гексагональная, тригональная, ромбическая, моноклинная и триклинная. Кроме того, они подразделяются еще и на 3 категории по наличию осей симметрии высшего (более 2-го, то есть 3, 4 и 6-го) порядка.

Характеристика кристаллографических сингоний и категорий

Категория	Сингония	Форма кристаллов	Минералы
Низшая Нет осей симметрии порядка выше 2. Единичных направлений – 3 и более	Триклинная $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ $a \neq b \neq c$	Пары граней (пинакоиды), моноэдры	Альбит, анортит, микроклин, дистен (кианит)
	Моноклинная $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta \neq 90^\circ$ $a \neq b \neq c$	Призмы и простые наклонные грани (пинакоиды или моноэдры)	Ортоклаз, тальк, эпидот, роговая обманка, гипс, арсенопирит, мусковит, авгит
	Ромбическая $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a \neq b \neq c$	Ромбические призмы и пирамиды, пинакоиды, моноэдры	Оливин, топаз, барит, антимонит, марказит, сера, топаз
Средняя Единичное направление одно, совпадает с единственной осью порядка выше 2. $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$	Тригональная	Трехгранные призмы и пирамиды, пинакоиды и др.	Кальцит, доломит, магнезит, гематит, киноварь, кварц, турмалин
	Тетрагональная	Квадратные призмы и пирамиды, пинакоиды	Халькопирит, касситерит, рутил, циркон
	Гексагональная (тригональная)	Шестигранные (гексагональные) призмы и пирамиды, пинакоиды и др.	Нефелин, графит, берилл, апатит
Высшая Единичных направлений нет. Присутствует несколько осей симметрии порядка выше 2	Кубическая $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a = b = c$	Куб, октаэдр, тетраэдр, ромбододекаэдр и др.	Гранаты, галит, сильвин, алмаз, флюорит, пирит, хромит, галенит

2.2.3. Физико-диагностические свойства минералов

От особенностей состава и строения минералов зависят их физико-химические свойства. Современная минералогия для изучения минералов применяет весь арсенал различных физико-химических методов их исследования. Свойства, по которым один минерал можно отличить от другого макроскопически (на глаз), называются физико-диагностическими свойствами минералов.

Внешняя форма (морфология) минералов и их агрегатов весьма разнообразна. В них отражаются кристаллическая структура минералов и условия образования (генезис). Прежде всего, все минералы отличаются своей морфологией (размером и формой). В ЗК минералы редко встречаются в виде **одиночных кристаллов** или **их сростков**, чаще в виде закономерных сростков и скоплений, **называемых минеральными агрегатами**.

В ЗК, природе преобладают различные минеральные агрегаты – отдельные части горных пород. Преобладают **кристаллически-зернистые агрегаты** (самые распространенные формы), которые образуются при одновременной кристаллизации из растворов или расплавов большого количества минеральных зерен. Различают крупно- (> 5 мм), средне- (1...5 мм) и мелкокристаллические (< 1 мм) агрегаты. По форме они могут быть относительно идиоморфными (правильной геометрической формы - листоватыми, чешуйчатыми, игольчатыми, волокнистыми) и ксеноморфными (неправильными). Термин «кристаллические агрегаты» используется чаще для агрегатов, состоящих из хорошо выраженных, относительно правильных минеральных индивидов; а термин «зернистые агрегаты» – для агрегатов, состоящих из мелких и тонких зерен, не различаемых на глаз, осадочного генезиса.

Среди кристаллически-зернистых агрегатов встречаются округлых агрегатов, называемые определенными терминами: друзы, сферолиты, секреции, конкреции, оолиты, натечные формы, дендриты и др.

Друзы (щетки) – незакономерные сростки отдельных хорошо оформленных кристаллов, прикрепленных одним концом к общему основанию. Свободные ограненные концы М образуют подобие щетки. Формируются в трещинах и пустотах горных пород обычно из постмагматических высокотемпературных (150 – 500°C) растворов. Встречаются крупные и очень красивые друзы кварца и кальцита, в ассоциации с топазом, пиритом, сфалеритом, галенитом и другими аксессуарными минералами.

Сферолиты – агрегаты тонких игольчатых кристаллов в виде шариков радиально-лучистого строения, возникающие при кристаллизации вулканических стекол или при осаждении минералов в илистом осадке. Секреции – минеральные образования, заполняющие пустоты в горных породах и отличающиеся от них по составу. Образовались путем последовательного (от стенок к центру) полного или частичного заполнения пус-

тот минеральными веществами, привнесенными истинными или коллоидными растворами при гипергенных и гидротермальных процессах. Различают следующие разновидности секреций: жеоды и миндалины.

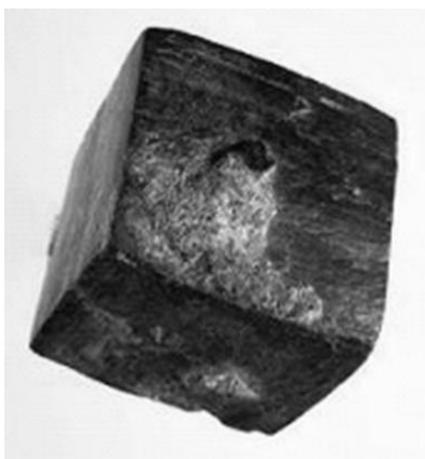
Жеода (секреции с размером в диаметре более 2 см) – замкнутая полость в горных породах, не полностью заполненная скрыто- или явно кристаллическим минеральным веществом. **Миндалины** (мелкие секреции) – минеральные агрегаты из цеолита, халцедона и кальцита заполняющие небольшие пустоты в эффузивных горных породах. **Конкреции** (стяжения) – минеральные образования округлой формы возникают при диагенезе горных пород и резко отличаются от вмещающей породы составом и формой: содержатся обычно в осадочных породах (песчаник, глина, фосфорит). В центре конкреций иногда находятся органические остатки, вокруг которых концентрировалось вещество. Предполагают, что образование конкреций связано с притоком вещества от периферии к центру, при этом рост кристаллов направлен противоположно – от центра к периферии. **Оолитами** называют шаровидные образования, возникающие вокруг каких-либо зернышек или тел бактерий. По внешнему виду они напоминают мелкие конкреции размером менее 5 мм (железная и марганцовистые руды) и агрегаты в виде скорлупок. В зависимости от их величины различают гороховые, икряные и другие виды оолитов. **Натечные формы (сталактиты и сталагмиты)** – неправильные цилиндрические образования, возникающие чаще всего в подземных пещерах, в результате медленного стекания и испарения растворов, которые возникают при растворении пород, по которым подземные воды циркулируют. **Дендриты (тонкие пленки)** – минеральные агрегаты (иногда кристаллы) древовидной формы образуются на стенках различных горных пород в форме веток (медь, серебро, золото, марганцовистые минералы).

Часто минералы выделяются в виде налетов, выцветов, корочек, обычных для поверхностных условий. Встречаются минералы, которые имеют не свойственную им форму. Подобные образования называются псевдоморфозами (чужая форма). Такие формы могут образовывать лимонит по пириту, окаменевшие деревья (рис. 2.2) и другие.

Таким образом, морфология минералов и их агрегатов является важнейшим диагностическим признаком. По морфологии минералов диагностируется минеральный вид – название минерала, а по морфологии агрегатов – генезис – условия их образования и последующих изменений.

Оптические свойства диагностируются на глаз и воспринимаются индивидуально.

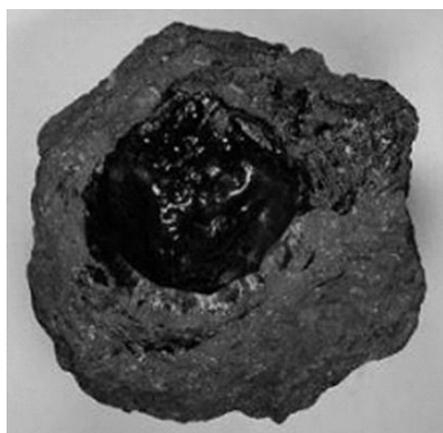
Цвет (или окраска) для многих минералов непостоянны. Собственная (идиохроматическая) окраска обусловлена внутренними особенностями минералов: наличием химических элементов-хромофоров (железа разной валентности, хрома, меди, марганца) и наличием дефектов структуры (пирит, авгит, малахит, азурит).



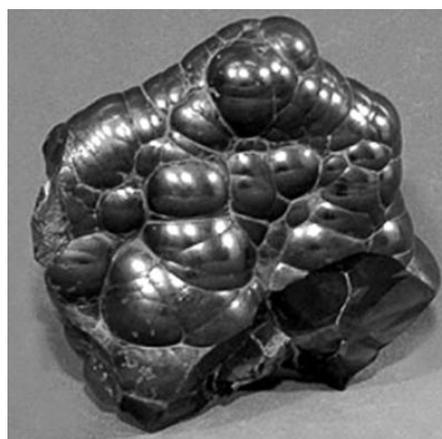
1)



2)



3)



4)

Рис. 2.2. Псевдоморфозы: 1 – лимонита по пириту (кубик); 2 – углесто-кремнистого минерального агрегата по стволу дерева (окаменевшее дерево). Натечные агрегаты: 3 – лимонита с образованием жемчужины; 4 – гетита (или лимонита) с образованием так называемой бурой стеклянной головы

Чужеродная (аллохроматическая) окраска связана с механическими включениями ярко окрашенных посторонних минералов или химических примесей.

Некоторые минералы имеют ложную (псевдохроматическую) окраску, вызванную рассеянием или интерференцией света, например, иризация (игра цветов) лабрадора, опала, лунного камня (олигоклаза). Побежалость (или радужная окраска) халькопирита, борнита возникает за счет образования на поверхности минерала тонкой пленки окисления.

Некоторые названия минералов характеризуют их цвет, например: альбит – белый, гематит – кровавый, рубин – красный, родонит – розовый; сера – желтая, малахит – зеленый. Отдельные минералы меняют свою окраску при физических воздействиях. Радиоактивное облучение вызывает появление синего цвета у галита; зеленого, бурого или голубого – у алмаза; черного – у кварца.

При изучении горных пород обращают внимание и учитывают наличие и соотношение **светлоокрашенных (кварц, гипс, кальцит, полевые шпаты и др.) и темноокрашенных (роговая обманка, авгит, слюды и другие) породообразующих минералов.**

Прозрачность – способность минерала пропускать свет через тонкие пластинки. Различают прозрачные (горный хрусталь, мусковит, исландский шпат), полупрозрачные (сфалерит, киноварь, гипс, халцедон) и непрозрачные (магнетит, пирит, графит) минералы. Более точная диагностика прозрачных и полупрозрачных минералов выполняется при их изучении в прозрачных шлифах в проходящем свете, а непрозрачных – в аншлифах в отраженном свете.

Блеск – способность поверхности минерала отражать свет в различной степени. Интенсивность блеска зависит от показателя преломления (N). Различают следующие разновидности блеска:

- стеклянный (N = 1,3...1,9) напоминает блеск стекла, характерен для прозрачных и полупрозрачных минералов (лед, флюорит, кварц, ангидрит, галит, карбонаты, силикаты, роговая обманка);

- алмазный (N = 1,9...2,6) достаточно сильный искрящийся блеск, характерен для прозрачных и полупрозрачных минералов (алмаз, циркон, сфалерит);

- полуметаллический (N = 2,6...3,0) сходный с блеском потускневшей поверхности металла, характерен для полупрозрачных и непрозрачных минералов (куприт, гематит);

- металлический (N > 3,0) напоминает блеск гладкой поверхности металла. Он характерен для полупрозрачных и непрозрачных минералов (халькопирит, галенит, пирит, золото).

Кроме того, у минералов со стеклянным блеском различают шелковистый (асбест, гипс-селенит), жирный (тальк), матовый (каолин, лимонит), восковой (кремний, тальк) и перламутровый блеск (тальк, мусковит, пластинчатый гипс).

Цвет черты (цвет тонкого порошка). Этот признак минерала легко наблюдать, проводя испытуемым минералом черту на шероховатой, непокрытой глазурью поверхности фарфора. К данному свойству прибегают, когда исследуемые минералы весьма трудно различить по внешнему виду. Например, в сплошных кусках очень трудно отличить друг от друга красный, бурый и магнитный железняк. По цвету черты они легко различаются: красный железняк (гематит) дает вишнево-красную черту, бурый железняк (лимонит) – бурую и желтую, магнитный железняк (магнетит) – черную черту.

Механические свойства минералов определяются при механическом воздействии на них – царапание, вдавливание твердых предметов, раскалывание с помощью молотка и др. [1,5, 9, 10].

Твердость – сопротивление, которое оказывает поверхность минерала при попытке поцарапать ее другим камнем или иным предметом. Первоначально определяется относительная твердость минералов, сопоставляя ее

с твердостью минералов шкалы Мооса (табл. 2.5) или ее заменителей. Шкала Мооса состоит из 10 стандартных минералов, расположенных по возрастающей твердости. Каждый минерал этой таблицы царапает предыдущий и царапается последующим минералом. Путем царапания определяют твердость диагностируемого минерала. Для более точной диагностики изучают абсолютную твердость, используя точные приборы.

Таблица 2.5

Шкала твердости минералов (шкала Ф. Мооса)

Класс твердости	Эталонный минерал, химическая формула	Группа твердости	Визуальные признаки*	Микро-твердость, МПа	Твердость шлифования
1	Тальк, $3\text{MgO}_4 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Мягкие	Легко чертится (режется) ногтем	24	0,03
2	Гипс, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		Чертится ногтем	36	1,25
3	Кальцит, CaCO_3	Средней твердости	Легко чертится стальным ножом. Царапается медной монетой	109	4,50
4	Флюорит, CaF_2		Чертится стальным ножом под нажимом	189	5,00
5	Апатит, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 \cdot (\text{F}, \text{OH}, \text{Cl})_2$		С трудом царапается стальным ножом	536	6,50
6	Ортоклаз, $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	Твердые	Царапает стекло при сильном нажиме. Царапается напильником	800	37
7	Кварц, SiO_2		Чертит (царапает) стекло	1 120	120
8	Топаз, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Очень твердые	Режет стекло	1 427	175
9	Корунд, Al_2O_3		Чертит топаз	2 600	1 000
10	Алмаз, C		Чертит корунд. Не царапается	10 600	14 000

*На практике часто используются следующие эталоны твердости: мягкий карандаш – 1; ноготь – 2,5; медная монета – 3,5; стекло – 5

Спайность – способность минералов раскалываться или расщепляться по определенным кристаллографическим направлениям с образованием ровных как будто полированных зеркальных поверхностей скола индивидов – плоскостей спайности. Спайность может появляться в одном, двух, трех и четырех направлениях. Это свойство обусловлено внутренним строением кристаллов и не зависит от их внешней формы. Для определения спайности следует найти путем вращения образцов свежие недавно сколотые поверхности минеральных индивидов – как будто полированные зеркальные поверхности скола. Различают несколько видов спайности:

– весьма совершенная спайность – минерал легко расщепляется на тончайшие пластинки и чешуйки как слюда, тальк, графит, с ровными сколами; – совершенная спайность – на поверхностях скола индивидов наблюдаются ровные и зеркальные плоскости в одном (гипс), двух (полевые шпаты, пироксены), трех (галит и кальцит) или четырех (флюорит) направлениях;

– весьма несовершенная спайность (или нет, или отсутствует) – поверхности раскола кристаллов неровные и волнистые, раковистые как у кварца, нефелина. Часто определяют и среднюю спайность, когда при расколе образуются как ровные поверхности скола (1 или 2), так и неровные (2 или 1).

Излом характеризует поверхность разрыва и раскалывания минералов. Различают излом неровный – сера, апатит; ступенчатый – галит и галенит; занозистый – амфиболы, асбест; раковистый – нефелин, халцедон, опал; землистый – каолинит.

Иногда для минералов характерны другие отличительные свойства.

Плотность минералов колеблется в широких пределах (г/см^3): галит – 2,2; гипс – 2,3; киноварь – 8,0; медь – 8,9; серебро – 11; платина – 21; иридий (самый тяжелый минерал) – 22,7. Она зависит от химического состава и внутреннего строения М. Большинство М имеет плотность 2,5...3,5 г/см^3 .

Минералы обладают и рядом других физических свойств: хрупкостью, плавкостью, магнитностью, вкусом, запахом, люминесценцией, радиоактивностью. Радиоактивные минералы наиболее часто присутствуют в гранитах и глинах, которые могут иметь довольно высокую «фоновую» радиоактивность, в то время как известняки и кварцевый песок имеют обычно низкую радиоактивность.

Для отдельных минералов особые свойства могут быть отличительными признаками. Например, галит имеет соленый вкус, сера – желтую окраску и пахнет при горении; кальцит и арагонит бурно реагируют с соляной 5-% кислотой и т. п.

Диагностика каждого минерала (минерального вида) производится на основе **определения всего комплекса свойств у отдельных минеральных индивидов (зерен, кристаллов)**, поскольку агрегат обладает уже другими свойствами.

Кроме диагностических свойств определяются генетико-информационные свойства минералов с помощью современных методов исследований (люминесценция, ЭПР и ЯМР, электронная микроскопия и др.). Эти свойства позволяют минералогам сделать выводы о происхождении минералов и об их практическом значении [6, 13].

2.2.4. Классификация минералов и их краткая характеристика

Минералы находятся в ЗК, главным образом, в виде моно- и полиминеральных агрегатов, образуя определенные **парагенетические ассоциации** – закономерные совместные нахождения минералов в природе, обусловленные близостью их генезиса (происхождения).

Среди М. различают минеральные виды и их разновидности. Первые имеют особые характерные только для них химический состав и кристаллическую структуру, вторые являются вариациями одного минерального вида по химическому составу, особенностям структуры, цвету, форме и другим свойствам, изменяющимся в определенных пределах.

В настоящее время известно около 5 000 минералов. Однако лишь около 50 минералов являются наиболее широко распространенными в земной коре, слагают горные породы и называются **породообразующими минералами**. Другие минералы встречаются в подчиненном количестве (менее 1...5 %) – **второстепенные минералы**. **Акцессорные минералы** характерны только для определенных видов горных пород, например, хромит образуется в ультраосновных горных породах – дунитах; циркон – в щелочных породах. Однако практическое значение имеют около 100–200 минералов (менее 5% от всех известных науке), в т. ч. и некоторые породообразующие, второстепенные или акцессорные. Минералы, имеющие практическое значение, называются еще **рудными минералами**.

В основе современной классификации минералов лежат их химический состав и кристаллическая структура, в соответствии с которой М делятся на **кристаллохимические классы**. Наиболее важные классы минералов приведены в табл. 2.6.

Силикаты. Это наиболее многочисленный класс, включающий до 800 М. Силикаты являются важнейшими составными частями большинства горных пород, в особенности магматических и метаморфических. Основу кристаллической структуры силикатов составляют кремнекислородные тетраэдры – $[\text{SiO}_4]^{-4}$. Они могут занимать изолированное положение, соединяясь с помощью ионных связей с катионами и образуя островные силикаты. Гораздо чаще одни кремнекислородные тетраэдры связаны с другими тетраэдрами (рис. 2.3), образуя цепочки, ленточки, слои и каркасы, состоящие из тетраэдров. Такие сложные радикалы соединяются друг с другом через катионы. В соответствии со структурой различают следующие структурные типы силикатов: островные, цепочечные, ленточные, листовые и каркасные силикаты.

Таблица 2.6

Основные типы и классы минералов [2, 4, 5, 10, 14]

Типы	Классы	Примеры минералов	Кол-во видов, %	Содержание по массе, %
Простые	Самородные элементы	Медь, золото, серебро	3,3	0,10
		Сера, графит, алмаз		
Сернистые	Сульфиды и их аналоги	Галенит, сфалерит, халькопирит	13,0	1,15
		Пирит, арсенопирит, молибденит		
		Киноварь, антимонит		
Кислородные	Оксиды и гидроксиды	Кварц, касситерит, корунд	12,5	17,00
		Браунит, псиломелан, пиролюзит		
		Магнетит, ильменит, гематит, гетит		
		Периклаз, брусит, рутил, бемит		
	Силикаты и алюмосиликаты	Оливин, гранат, берилл	25,0	75,00
		Пироксены, амфиболы		
		Слюды, хлориты, тальк, серпентин		
		Полевые шпаты, нефелин, кварц		
	Карбонаты	Кальцит, доломит, магнезит, малахит	4,5	1,70
	Сульфаты	Ангидрит, барит, гипс	9,0	0,50
Фосфаты	Апатит	17,0	0,70	
Вольфраматы	Вольфрамит, шеелит	1,0	0,15	
Галоиды	Хлориды Фториды	Галит, сильвин, карналлит	5,7	1,50
		Флюорит		

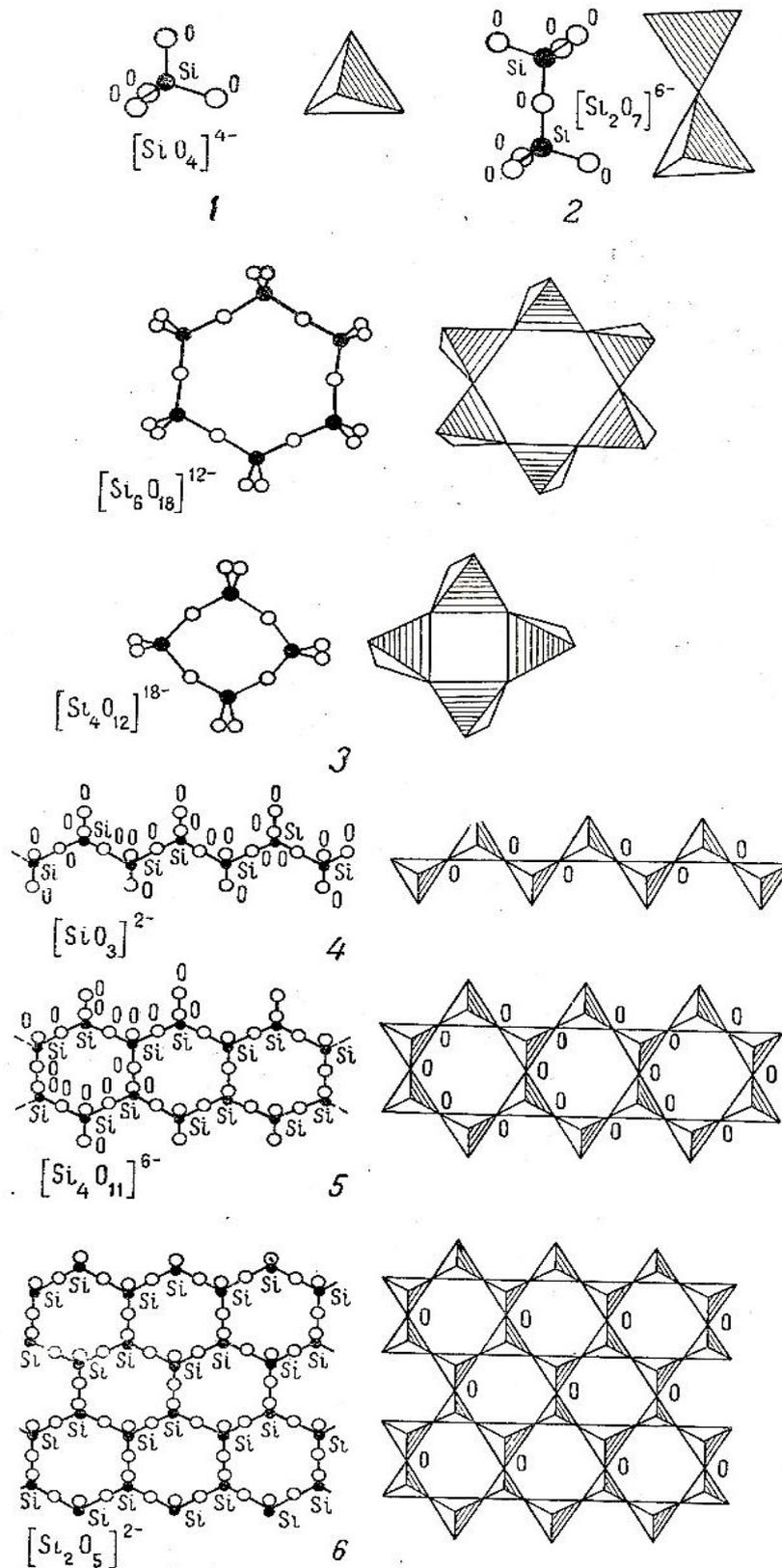


Рис. 2.3. Типы соединений кремнекислородных тетраэдров в М:
 1 – изолированный; 2 – группа из двух тетраэдров (сдвоенный);
 3 – группа из шести и четырех тетраэдров, связанных в кольцо;
 4 – цепочка тетраэдров; 5 – лента тетраэдров; 6 – слой (лист)
 тетраэдров [1, 5, 10]

Островные силикаты имеют в основе изолированные $[\text{SiO}_4]^{-4}$ – радикалы, соединяющиеся друг с другом через катионы Mg, Fe, Ca и др. К ним относятся оливин, гранаты, топаз, дистен и многие др. Оливин (Mg, Fe) $_2\text{SiO}_4$ зеленый за счет присутствия в составе Fe^{+2} , относительно малостойкий (под действием горячей (300...400 °С) воды, кислорода и углекислоты он переходит в серпентин с увеличением объема). Оливин образуется только при кристаллизации ультраосновной магмы и слагает соответствующие горные породы, возникающие на глубинах в мантии.

Цепочечные силикаты построены из цепочек кремнекислородных тетраэдров, образующих радикалы $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{-4}$ или $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{-6}$, которые соединяются через катионы. Наиболее распространенными являются минералы **группы пироксенов** – авгит, диопсид, отличающиеся таблитчатой формой, темно-зеленым цветом и спайностью в двух направлениях.

Ленточные силикаты состоят из кремнекислородных тетраэдров, соединенных между собой в обособленные полосы, которые соединяются через катионы Mg, Fe, Ca, Na, Al и др. Особо выделяется **группа амфиболов**: роговая обманка, актинолит, тремолит, отличающиеся вытянутой столбчатой или игольчатой формой кристаллов. Амфиболы также имеют темно-зеленый цвет до черного, совершенную спайность в двух направлениях.

Слоевые силикаты содержат целые слои кремнекислородных тетраэдров, соединяющиеся между собой через катионы, из-за чего они имеют пластинчатую и листовую форму, отличаются весьма совершенной спайностью, пониженной прочностью и стойкостью. Среди них особо выделяются слюды – водные алюмосиликаты сложного и разнообразного состава. Наиболее распространенными слюдами являются прозрачный светлый мусковит $(\text{Na, K})\cdot\text{Al}_2(\text{OH, F})_2\cdot[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$, и черный полупрозрачный биотит $\text{K}\cdot(\text{Mg, Fe}^{2+}, \text{Mn})_3(\text{OH, F})_2\cdot[(\text{Al, Fe}^{3+})\cdot\text{Si}_3\text{O}_{10}]$. Они имеют также эндогенное происхождение, а вблизи поверхности за счет гидратации превращаются в гидрослюды – гидромусковит и гидробиотит (вермикулит). Вышеперечисленные силикаты за счет содержания в своем составе железа имеют темную окраску, а благодаря структуре – прочность до 400 МПа, высокую атмосферостойкость, большую ударную вязкость.

Каркасные силикаты представляет собой алюмосиликаты калия, натрия и кальция, в структуре которых кроме кремнекислородных тетраэдров имеются тетраэдры с алюминием в центре. 50 % массы земной коры состоит из **полевых шпатов (ПШ)** – группы минералов, имеющих одинаковую совершенную спайность в двух направления, твердость 6 и достаточную прочность (100...170 МПа). У них наиболее широко проявляется изоморфизм, как среди катионов, так и анионов. Поэтому полевые шпаты подразделяются в зависимости от своего химического состава на подсемейства (подгруппы): Са–Na–ПШ – **плаггиоклазы** (косораскалывающиеся) (табл. 2.7) и К–Na–ПШ – **щелочные полевые шпаты**. К последним отно-

сятся ортоклаз (прямораскалывающийся), микроклин, санидин и др. Полевые шпаты отличаются слабой атмосферостойкостью, т.к. в субтропическом климате их структура разрушается из-за гидролиза, и образуются **глинистые минералы: каолинит, монтмориллонит, глауконит.**

Таблица 2.7

Виды плагиоклазов (Pl)

Содержание Na, %	Содержание Ca, %	Название минерала	
90–100	0–10	Альбит	Кислые Pl
70–90	10–30	Олигоклаз	
50–70	30–50	Андезит	Средние Pl
30–50	50–70	Лабрадор	Оснóвные Pl
10–30	90–70	Битовнит	
0–10	100–90	Анортит	

Оксиды и гидроксиды включают около 200 минералов. На их долю приходится до 17 % всей массы земной коры. Наиболее часто встречающимися являются **кварц** и его разновидности, лимонит (бурый железняк) $n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$, гематит (красный железняк) $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, диоксид марганца (пирролюзит) MnO_2 . Для оксидов характерны изоморфизм, высокая твердость, тугоплавкость, химическая стойкость, магнитность, неметаллический блеск, несовершенная спайность. Для гидроксидов – низкая твердость, неметаллический блеск, совершенная спайность, высокая дисперсность.

Кварц (диоксид кремния SiO_2) – важнейший породообразующий, один из самых распространенных (12 % по массе), прочных (до 2000 МПа) и стойких минералов. Плотность – 2,5...2,8 г/см³, кислотостойкий, кроме плавиковой кислоты, твердый (7), спайность отсутствует. Его можно рассматривать как простой. Кварц при нагревании претерпевает полиморфные (модификационные) превращения при 575, 870, 1050 и 1400 °С. Плавится при 1710 °С, при быстром охлаждении расплава образуется **аморфный кремнезем** с плотностью 2,3 г/см³, который отличается высокой химической активностью. При выветривании кварцевых пород образуется песок из зерен кварца. Скрытокристаллический кварц известен под названием **халцедон**. Водный кремнезем (**опал**) содержит 2...14 % воды; халцедон и опал с примесью глины и песка называется **кремнем**. В известняках или песчаниках встречаются скопления овальной формы различных размеров из кремния – **желваки**. Кварц может иметь различное происхождение: магматическое, метаморфическое и связанный с этими процессами генезис, а также осадочное.

Карбонаты (углекислые соли) включают более 80 минералов. Они отличаются светлой окраской, стеклянным блеском, средней твердостью 3...4, совершенной спайностью в трех направлениях по ромбоэдру, нево-

достоинством. Третье место по распространенности после полевых шпатов и кварца занимает **кальцит (известковый шпат)** - CaCO_3 , который слагает почти целиком мел, известняки и мрамор, и легко диагностируется в скрытозернистых горных породах по реакции (растворению с шипением) под действием холодной соляной кислоты. Часто вместе с кальцитом встречается **доломит** $\text{MgCa}[\text{CO}_3]_2$, который реагирует с HCl только в порошке. Карбонаты слагают осадочные и некоторые метаморфические и магматические горные породы.

Сульфаты (сернокислые соли) составляют до 260 минералов. Наиболее распространенными являются **гипс** $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, возникающий при гидратации **ангидрита** CaSO_4 . Возможен и обратный процесс дегидратации гипса и возникновение ангидрита при повышении литостатического давления. Сульфаты отличаются невысокой твердостью, неметаллическим блеском, светлой окраской, совершенной спайностью и хорошей растворимостью. Они являются важнейшими породообразующими минералами одноименных осадочных горных пород.

Сульфиды составляют более 200 минералов. Наиболее часто встречающимся в горных породах различного генезиса является **пирит**, или серный (железный) колчедан FeS_2 , который используется лишь для получения серной кислоты. На месторождениях полиметаллических руд пирит является спутником **халькопирита** (медного колчедана) CuFeS_2 , **галенита** (свинцового блеска) PbS , **сфалерита** (цинковой обманки) ZnS . Сульфиды отличаются металлическим блеском, непрозрачностью, электропроводностью и высокой плотностью. Они входят в состав металлических руд, из них выплавляют металлы, однако их присутствие снижает качество строительных материалов.

Галоиды составляют около 100 минералов. Они являются составной частью осадочных горных пород и легко растворяются в воде. Наиболее распространенным является **галит** (каменная соль) NaCl , **карналлит** $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, **флюорит** (плавиковый шпат) CaF_2 , **сильвин** KCl , **крезолит** $\text{AlF}_3 \cdot 3\text{NaF}$. У галоидов небольшая твердость, стеклянный блеск, совершенная спайность, хорошая растворимость в воде.

Самородные элементы: золото, серебро, медь, ртуть, сера, алмаз, графит, встречаются довольно редко – всего около 40 видов. Многие самородные минералы имеют весьма важное значение, в особенности золото, серебро, платина, графит, алмаз и сера.

Кроме естественных минералов для будущих строителей актуальны и искусственные минералы, полученные в результате производственной деятельности человека. Насчитывается более 150 таких минералов и с каждым годом открывают все новые. Промышленность получает два вида искусственных минералов: аналоги и технические. **Аналоги** являются структурно-химическими аналогами (повторением) природных минералов: алмаза, корунда, горного хрусталя и др. **Технические** – это вновь созданные минера-

лы с заранее заданными свойствами или продукты деятельности человека, например, различные металлургические шлаки. Такие минералы входят в состав различных строительных материалов: в портландцементе находятся алит $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ и белит $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, в огнеупорах – силлиманит $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$, муллит $3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ и периклаз MgO , в абразивах – карборунд SiC . Современная наука изучает технические минералы с целью более полного использования всех продуктов металлургического производства.

Контрольные вопросы по лекции 2

1. Назовите важнейшие химические элементы – строители земной коры в порядке их уменьшения. Каковы кларки кислорода и кремния?
2. В виде чего (каких объектов) встречаются химические элементы и соединения в земной коре и литосфере?
3. Какое строение имеют минералы, согласно современным представлениям?
4. Как называется самый распространенный (слагает почти 12% массы), физически и химически устойчивый минерал земной коры?
5. Какой кристаллохимический класс минералов является самым распространенным в земной коре? Почему именно этот класс? Какая структурная группировка лежит в их основе?
6. Какие минералы объединяются в одну группу полевых шпатов? Какими общими свойствами они обладают? Чем они отличаются друг от друга и как определяются?
7. Какие свойства минералов зависят от их кристаллической структуры? Охарактеризуйте эти свойства.
8. Какие свойства минералов зависят от их химического состава? Охарактеризуйте эти свойства.
9. Какие минералы способны растворяться в воде и слабо концентрированных растворах? Расположите их в порядке уменьшения их растворимости.
10. Какие минералы отличаются высокой дисперсностью своих зерен и высокой пластичностью (реологическими свойствами)? Где они распространены?
11. Какой минерал обладает спайностью в 3 направлениях, реагирует с 5% соляной кислотой и входит в состав распространенных в земной коре горных пород: мела, известняка и мрамора?
12. Назовите важнейшие светлые породообразующие минералы. Какое они имеют происхождение?
13. Назовите важнейшие темные породообразующие минералы. Какое они имеют происхождение?

Лекция 3. ОСНОВЫ ПЕТРОГРАФИИ. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Петрография – наука о горных породах эндогенного генезиса: магматического и метаморфического, их минеральном и химическом составе, строении, условиях образования и залегания в ЗК. На основе макро- и микроскопического изучения определяются названия и происхождение горных пород. Современная наука – **петрология**, осуществляет точную диагностику ГП на основе изучения и подробного анализа их химического состава.

3.1. Общие представления о горных породах

Горные породы (ГП) представляют собой природные минеральные агрегаты (или естественные сростки минералов) определенного минерального состава, строения, образовавшиеся в результате геологических процессов в недрах или на поверхности Земли и залегающие в земной коре в виде самостоятельные геологических тел [8, 10].

Каждая ГП состоит из определенного «набора» - качественного и количественного соотношения, **породообразующих минералов**, состав и строение которых отражают условия образования самой породы. Большую часть земной коры (~ 90 %), слагают полиминеральные ГП: гранит, диорит, гнейс, состоящие из двух – трех породообразующих минералов; меньшую часть – мономинеральные ГП: пироксенит, гипс, известняк, мел, мрамор, кварцит, обычно осадочного, реже магматического и метаморфического генезиса. Минеральный состав ГП обычно зависит от химического состава среды, в которой он образовался. Например, ультраосновные магматические ГП кристаллизовались из магмы ультраосновного состава, содержат менее 30...45 % SiO_2 , и состоят на 100 % из таких типоморфных минералов как оливин, пироксен. На практике при микроскопическом определении ГП диагностируют сначала породообразующие минералы, а затем в зависимости от минерального состава делается вывод о химическом составе.

Вторая важная характеристика – строение ГП: **структура и текстура**. Особенности (черты) строения, выраженные в размерах, форме и взаиморасположении (ориентировке) минеральных зерен называются **структурой**. Если ГП целиком состоит из минеральных индивидов, видимых на глаз, то такое строение называется **полнокристаллической структурой** (рис. 3.1).



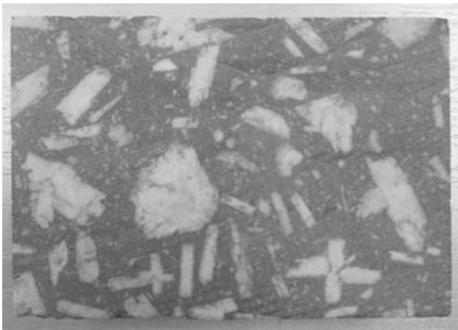
1)



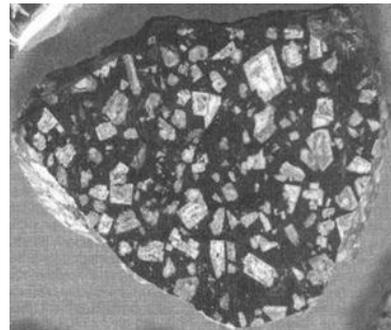
2)



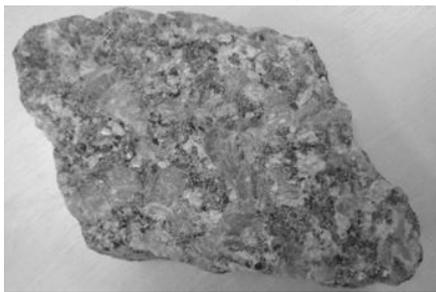
3)



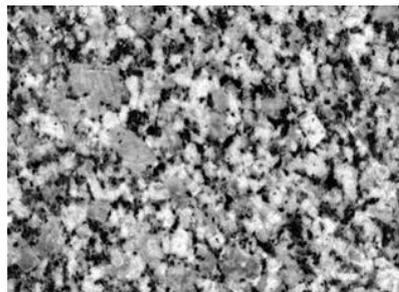
4)



4)



5a)



5б)



6)

Рис. 3.1. Магматические ГП: 1 – габбро, пироксеновое, порфировидной структуры, пересеченное кварцевой жилкой; 2 – базальт пuzырчатой текстуры и афанитовой (скрытокристаллической) структуры; 3 – покровы современных базальтов, Исландия; 4 – андезит порфировой структуры; 5 – гранит: а – порфировидной, б – крупнокристаллической структуры; 6 – пегматит, письменный, гигантокристаллической структуры

Для осадочных ГП часто используют термин **зернистая структура**. По размеру и форме минеральных индивидов различают крупно (> 5 мм), средне ($5 \dots 2$ мм), мелко ($2,0 \dots 0,1$ мм) и скрыто ($< 0,1$ мм) кристаллические (зернистые) структуры. Если в основной «нераскристаллизованной» массе ГП кристаллы (минеральные индивиды) не видны на глаз, то структура называется **афировая** или стекловатая. Некоторые магматические и другие породы состоят из кристаллов минералов различных размеров, из-за чего различаются **порфиновые структуры** – на фоне скрытокристаллической (афировой) массы ГП хорошо видны более крупные вкрапленники минералов (порфиры), и **порфировидные структуры** – на фоне явнокристаллической структуры ГП – более крупные вкрапленники отдельных минералов. Если порода состоит из сцементированных обломков, то строение называется **обломочной структурой**. Кроме вышеперечисленных наиболее характерных структур, в ГП разного генезиса различают множество других специфических структур, например, в осадочных породах – **пелитовые структуры** (размер зерен менее $0,005 \dots 0,001$ мм); в метаморфических – **лепидо** (преобладание минералов чешуйчатой формы, как правило, слюд)- и **грано** (преобладание минералов изометричной формы)- **бластовые** (возникшие при перекристаллизации в твердом состоянии) **структуры** и др.

Общее сложение и общий вид называется **текстурой** ГП – черты ее строения, выраженные в форме, размерах, минеральном составе, структуре, способах сочетания **минеральных агрегатов**, слагающих всю ГП. Выделяются плотные, пористые, однородные, массивные, органогенные (состоящие из видимых на глаз окаменелостей), ориентированные (полосчатые, сланцеватые, слоистые и др.), а также пятнистые, брекчированные, прожилковые, друзовые и другие текстуры. Следует обратить внимание на то, что принятые в петрографии понятия «текстура» и «структура» близки понятию «морфология минерального агрегата» в минералогии.

Структуры и текстуры горных пород, как и минеральный состав, позволяют диагностировать вид – дать название горной породе, и зависят от условий их образования (генезиса). Поэтому в основу классификации горных пород положен **генетический принцип** – **принцип происхождения (генезиса)** самой породы. По генезису все горные породы разделяются на три больших типа:

- магматические ГП, образующиеся в результате внедрения расплавленных магм из недр Земли в земную кору, их охлаждения и затвердевания (кристаллизации), т.е. связанные с магматической деятельностью;

- осадочные ГП, образующиеся на и вблизи земной поверхности в результате действия различных экзогенных процессов;

- метаморфические ГП, образующиеся в результате преобразования любых горных пород в условиях высоких давлений и температур, а также под воздействием горячих растворов в недрах Земли.

ГП в ЗК распространены крайне неравномерно. Земная кора на 95 % сложена магматическими и метаморфическими ГП, при этом 75 % земной поверхности покрывают осадочные ГП.

Осадочные ГП исследует **литология**. Литологи, в отличие от петрографов, могут проследить все стадии образования ОГП, начиная от стадий выветривания, денудации и аккумуляции и заканчивая стадиями диа- и катагенеза. Кроме того, существует особая отрасль петрографии – техническая петрография, изучающая технические камни – продукты различных производств. Для точной диагностики и определения положения ГП в их иерархии **петрохимия** изучает подробный химический состав.

ГП имеют огромное **практическое**, а также **теоретическое значение**. Люди ходят, строят любые сооружения на ГП, в них лежат залежи различных руд и некоторые ГП используются как строительные материалы и т.п. Изучая ГП, формы их залегания в ЗК и возраст, объединяя их в фации и формации, геологи реконструируют основные этапы и стадии развития земной коры и Земли. **Фации** объединяют ГП определенного возраста, образовавшиеся в схожих обстановках осадконакопления (континентальные, озерные, речные, морские, лагунные, аридного или тропического климата и др.) или же при аналогичных физико-химических условиях (близких температурах, давлении, окислительно-восстановительном потенциале и т.п.) процессов магматизма и метаморфизма. **Формации** объединяют сообщества горных пород (фаций), сформированных в определенных геотектонических обстановках, с которыми тесно связано протекание всех других геологических процессов. Например, только в обстановках срединно-океанических хребтов за счет конвекции, поднятия и расхождения тепловых потоков из астеносферы происходит **раздвигание (спрединг)** литосферных плит, сопровождаемое землетрясениями и магматизмом, в том числе вулканизмом основного состава (см. рис. 3.1). В результате возникают вулканические острова, вокруг которых накапливают морские отложения: пески, известняки, перекрывающие базальты, под которыми кристаллизуются габбро и ультраосновные породы. Все перечисленные породы объединяются в **формацию срединно-океанических хребтов**, по которой восстанавливаются вышеперечисленные процессы и обстановка в целом.

3.2. Магматические горные породы, классы и группы

Магматические горные породы образуются в результате процессов **магматизма** – сложных геологических процессов, включающих в себя зарождение **магмы** в недрах Земли, перемещение ее в верхние горизонты земной коры и кристаллизацию магматических горных пород. Находясь в глубине Земли ГП, не переходят в жидкое состояние из-за высоких давлений (тысячи МПа). Нарушение этого равновесия в сейсмически активных зонах с повышенным тепловым потоком: понижение давления в результате

возникновения разломов – зон проницаемости, или повышение температуры, вызывает локальный переход вещества в жидкую фазу и приводит к образованию **первичных магм**. Обычно они возникают в верхней мантии, чаще всего в астеносфере или в нижних горизонтах земной коры. Обогащенные легколетучими элементами и газами магматические расплавы перемещаются в более высокие горизонты земной коры – области более низкого давления, где за счет переплавления окружающих пород могут образовываться **вторичные магматические очаги** уже другого химического состава. При поднятии магмы к земной поверхности и соответственно понижении температуры начинается кристаллизация – выделение твердой фазы **минералов**, из магмы. Кристаллизация начинается с наиболее тугоплавких железо-магнезиальных силикатов (1300...1450 °С) и заканчивается относительно легкоплавкими (900...750 °С) светлыми полевыми шпатами и кварцем или нефелином (рис. 3.2).

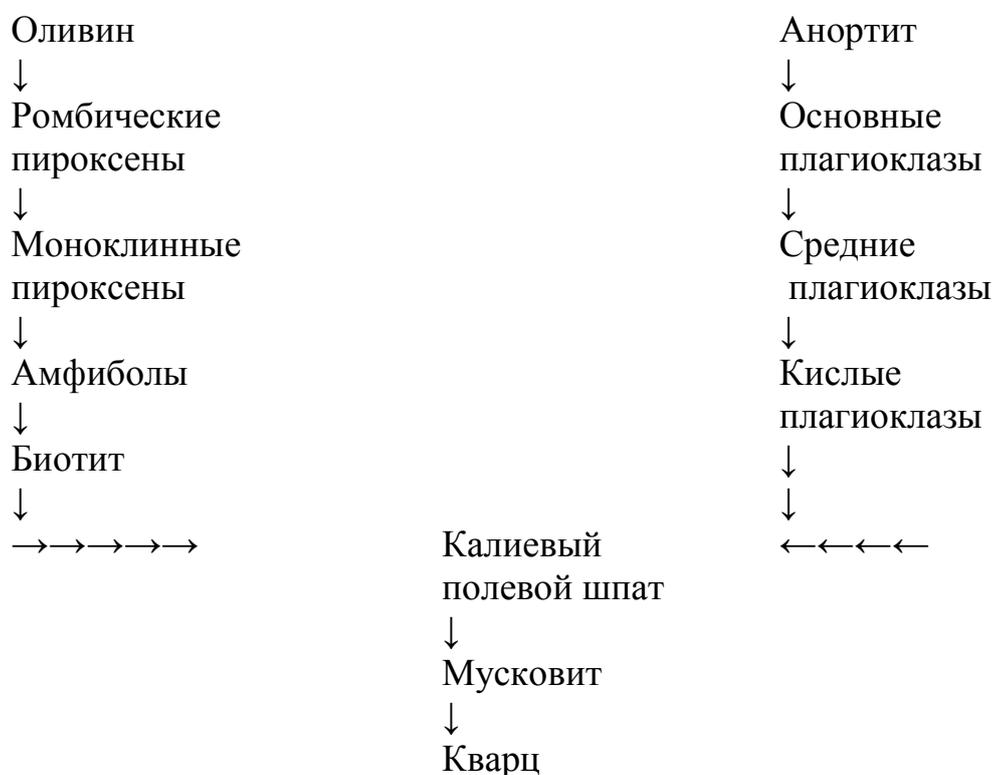


Рис. 3.2. Схема последовательности выделения минералов при кристаллизации магмы (ряды Н. Боуэна)

Установленная американским петрографом Н. Боуэном последовательность кристаллизации минералов соблюдается, если выделившиеся минералы изолируются от магмы. Если же минералы остаются в магме, то каждый вышестоящий минерал в ряду Боуэна при реакциях с расплавом (магмой) образует минерал, стоящий по схеме ниже.

Петрографы установили, что примерно 90 % магмы застывает и кристаллизуется на глубине и лишь 10 % ее достигает земной поверхности и

изливается или выбрасывается в виде **лавы** – обедненной газами магмы. Поэтому тип магматических ГП подразделяется, прежде всего, по условиям образования на **два класса (фации)**.

1. **Класс интрузивных** (плутонических, глубинных) – ГП, образованных при относительно длительной кристаллизации магмы в недрах на глубинах более 1,5 км, чаще 5...7 км и отличающихся **полнокристаллическими структурами и массивными текстурами** (см. рис. 3.1).

2. **Класс вулканических (эффузивных)** – ГП, возникающих при затвердевании лавы на земной поверхности при относительно быстрой ее кристаллизации (застывании), в результате чего возникают **афировые и порфиоровые структуры**, а также **пузырчатые и флюидальные** (со следами течения лавы) **текстуры** (см. рис. 3.1).

Таким образом, условия кристаллизации как бы «консервируются» в текстурно-структурных особенностях ГП и их форме залегания – морфологии образовавшихся геологических тел (рис. 3.3).

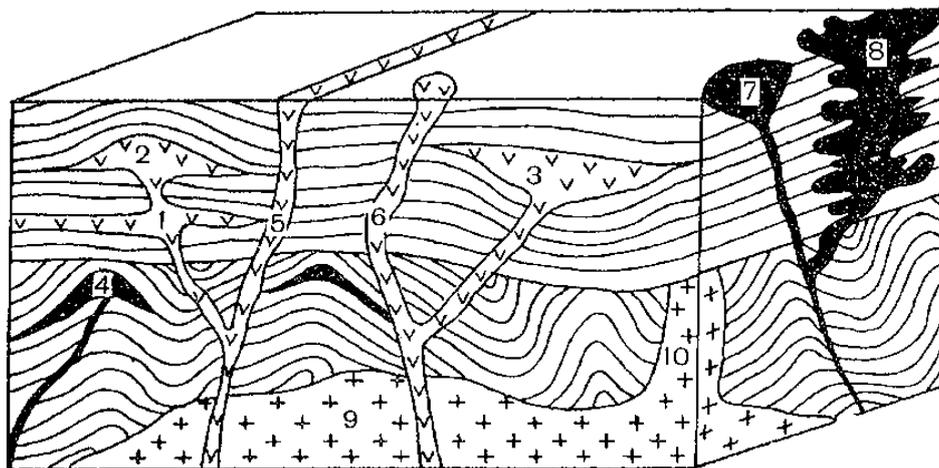


Рис. 3.3. Формы залегания магматических горных пород:
1 – силл; 2 – лакколлит; 3 – лополит; 4 – факолит; 5 – дайка;
6 – некк; 7 – коническая интрузия; 8 – хонолит; 9 – батолит;
10 – шток

Кроме двух главных классов выделяются **гипабиссальные** породы, сформировавшиеся на небольшой глубине и занимающие промежуточное положение между интрузивными и вулканическими ГП. Они имеют часто порфировидную структуру и залегают в виде даек, штоков и других тел.

Эффузивные ГП подразделяются на **кайнотипные и палеотипные**. Первые – это относительно молодые (с возрастом до 70 млн лет) ГП пузырчатой текстуры и скрытокристаллических или порфировых структур, а вторые – более древние, когда-то перекрывавшиеся молодыми эффузивными и осадочными ГП, отличающиеся более плотной, иногда рассланцо-

ванной, миндалекаменной текстурами и тонкокристаллическими структурами.

Магматические ГП разделяются также по содержанию кремнезема (SiO_2) на **четыре группы**: ультраосновные, основные, средние и кислые. Считается, что ГП определенного состава кристаллизовались из магм соответствующего состава. От состава магмы зависит минеральный состав ГП – качественное и количественное содержание минералов. При этом у каждой интрузивной породы имеется свой эффузивный аналог, т.е. ГП с аналогичным минеральным составом и соответственно цветом. Упрощенная классификация магматических горных пород приводится в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Классификация магматических горных пород

Состав горных пород		Классы и виды горных пород		
Группы по содержанию SiO_2 , %	Породообразующие и акцессорные минералы, %	Глубинные (интрузивные), массивные явнокристаллические	Излившиеся (эффузивные)	
			Измененные (древние), плотные, мелкокристаллические	Свежие (канотипные), пузырчатые, афировые
Кислые (78–65)	Кварц (25–40), полевые шпаты (45–70), слюда + роговая обманка (3–10)	Граниты Аляскиты	Кварцевый порфир*	Риолит (липарит*)
Средние (64–54)	Полевые шпаты (70–90), роговая обманка + биотит (10–20), кварца (5–10)	Сиениты	Порфи ^{D*}	Трахит
	Плагиоклазы (60–70), авгит+роговая обманка+ биотит (5–40), кварца (5–10)	Диориты	Порфирит*	Андезит
Основные (53–46)	Плагиоклазы (40–50), авгит (50–60), оливин	Габбро	Диабаз* (порфирит базальтовый)	Базальт
Ультраосновные (34–45)	Авгит	Пироксениты	–	–
	Авгит, оливин	Перидотиты	–	–
	Оливин, хромит	Дуниты	–	–

*устаревшие названия горных пород, которые не признаны современным Петрографическим кодексом [8]

Ультраосновные и основные породы кристаллизуются из магм с низким содержанием SiO_2 ($< 50\%$), и обогащенных Fe, Mg, Ca, Cr, Pt, Cu и другими тугоплавкими элементами, поэтому они сложены преимущественно железосодержащими темными силикатами, имеют темную окраску и более высокую плотность – $2,95 \dots 3,20 \text{ г/см}^3$. Только в интрузивных породах этого состава могут образовываться и залегать залежи хромита, платины, титановых и медно-никелевых руд. С эффузивными породами ультраосновного состава – кимберлитами, связано образование алмазов; с базальтами – стратиформных залежей медно-колчедановых, цинковых и свинцово-цинковых руд.

Согласно современной теории тектоники литосферных плит, основные и ультраосновные породы формируются в обстановках спрединга и объединяются в формацию срединно-океанических хребтов. Древние породы данной формации, как правило, испытали на себе регрессивный метаморфизм и превратились в офиолитовые формации, в составе которых большая часть ультраосновных пород превращена в серпентиниты (змеевики), основные породы подверглись хлоритизации, серицитизации, эпидотизации и другим процессам изменения темных минералов, превратившись в зеленые сланцы.

Породы офиолитовой формации, рассматриваемые как реликты древней океанической коры, встречаются достаточно ограниченно на земной поверхности лишь в областях древних складчатостей, например на Урале. Из-за темной окраски они интенсивно выветриваются, превращаются в дресву, железосодержащие минералы образуют гидрооксиды – бурый железняк.

Кислые и средние породы, обогащенные SiO_2 ($> 54\%$), содержат больше легких оксидов – Na_2O , K_2O , Al_2O_3 и легкоплавких элементов – Li, Be, Sn, Au и состоят преимущественно из светлых силикатов – полевых шпатов, нефелина и кварца. Они имеют светлую окраску, меньшую плотность ($2,6 \dots 2,8 \text{ г/см}^3$), кристаллизуются при более низких температурах ($< 1000^\circ - 800^\circ\text{C}$) и меньшем давлении, что способствует образованию вокруг интрузивных тел пегматитов и метасоматитов, в т.ч. и скарнов. Вокруг любых интрузивных пород происходят **метасоматические процессы** – изменения химического и минерального состава вмещающих и самих интрузивных ГП под воздействием химически активных легкоплавких элементов с образованием новых ассоциаций минералов: гранатов, эпидота, актинолита-тремолита и других. Особенно активно метасоматические процессы протекают на контакте с карбонатными породами (известняками и доломитами), образуют тела, называемые скарнами, в которых наряду с породообразующими минералами (силикатами), возникают рудные минералы: молибденит, магнетит (Fe), вольфрамит, сфалерит (Zn), галенит (Pb) и другие, а также их месторождения.

Кислые и средние породы формируются в других геотектонических обстановках – в зонах столкновения литосферных плит (субдукция или обдукция). Здесь кристаллизуются огромные батолиты гранитоидов – гранитов, диоритов, сиенитов и других кислых и средних пород, из-за чего земная кора становится легче и как бы «всплывает» – поднимается, что ведет к образованию горно-складчатых областей. Вулканы в зонах субдукций (Тихоокеанское огненное кольцо и Средиземноморско-Гималайский пояс) отличаются от вулканов срединно-океанических хребтов взрывным характером: извержение начинается с выброса газов и твердых продуктов вулканизма – пепла, бомб и т.п., а лава выжимается медленно в течение многих лет. Таким образом, формирование гранитоидных тел сопровождается образованием горно-складчатых областей, в пределах которых они пользуются широким распространением и слагают антиклинальные складки разных уровней до антиклинориев.

3.3. Формы залегания магматических горных пород

Формы залегания интрузивных горных пород зависят от многих факторов (вязкости магмы, структуры вмещающих пород и от тектонической обстановки), и отличаются большим разнообразием (см. рис. 3.3). На основании их взаимоотношений с вмещающими породами различают согласные и несогласные формы тел [1, 4, 7, 10].

Согласные тела (формы) образуются в результате внедрения магмы по плоскостям напластования горизонтально залегающих или слабо наклонных осадочных ГП – это лакколит, силлы, лополит, факолит.

Лакколит (яма) – грибообразная караваеобразная форма с плоским основанием и куполообразной кровлей. В плане форма округлая площадью до 10 км². Лакколиты могут быть сложены ГП основного и кислого составов и лежат в основе отдельных гор, например, в окрестностях Пятигорска и в Крыму.

Силл (пластовая интрузия) – пластообразное тело, сложенное обычно основными ГП – разными габбро длиной до десятков км, например, на Сибирской платформе в районе Норильска.

Лополит (чаша) – чашеобразное тело очень крупных размеров, образующееся в результате накопления большого количества жидкой основной или ультраосновной магмы, под тяжестью которой прогибаются нижележащие слои осадочных пород. Наиболее крупный Бушвельдский лополит в Африке имеет площадь 100 000 км².

Факолит (линза) – линзовидное тело, залегающее в ядре антиклинальной или синклинальной складки и образующееся одновременно со складчатостью. Сложен гранитоидами или основными ГП.

Несогласные тела (формы) занимают секущее положение по отношению к слоистости вмещающих ГП и являются наиболее характерными для складчатых областей (батолиты, штоки, дайки, жилы и другие).

Батолиты (глубина) – огромные бездонные массивы обычно гранитодных ГП, залегающих обычно в ядрах антиклинориев – приподнятых участков ЗК. В плане имеют удлинненно-овальную форму, площадью более 100 км². Батолиты образуются на значительной глубине и выходят на земную поверхность в результате интенсивной эрозии.

Штоки (палка, ствол) – ответвления от батолитов или самостоятельные формы близкие к цилиндрическим формам с крутопадающими контактами. Площадь сечения не превышает 100 км².

Дайка (стена) – плитообразное вертикальное или крутопадающее тело, имеющее относительно небольшую мощность (от нескольких см до нескольких десятков метров) при большой протяженности по простиранию (на несколько км) и падению. Различают дайки, образовавшиеся при заполнении трещин магмой разного состава и сложенные гранитом, пегматитом, диабазом. Они обычно располагаются группами.

Жила, отличающаяся от дайки наклонным или горизонтальным залеганием, меньшими размерами, слагается определенными минеральными ассоциациями (кварцевые, кальцитовые, кварц-полевошпатовые и другие жилы).

В целом интрузивные ГП залегают в ЗК огромными телами, размеры которых превышают десятки и сотни км².

Формы залегания эффузивных горных пород зависят также от состава лавы: основные породы часто залегают в виде потоков и покровов; кислые и средние – в виде куполов, игл, некков и диатрем.

Лавовый покров, образовавшийся в результате растекания магмы на поверхности земли, может иметь общую мощность (нескольких повторных излияний) до 1000...2000 м и площадь до 270 000 км² (базальтовые покровы на Сибирской платформе) и более (рис. 3.4).

Потоки – вытянутые формы, возникшие в результате течения лавы из вулканов по наклонной поверхности рельефа. Длина потока намного больше ширины и мощности.

Купол – сводообразные конусовидные формы, образующиеся в результате выжимания из жерла вязкой средне-кислой лавы.

Конус образовался вокруг кратера вулкана в результате неоднократного излияния вязкой лавы, переслаивающейся с рыхлыми продуктами вулканической деятельности – пирокластами (пеплом, кусками лавы, и лавовой породы).

Игла – тело, вытянутое по вертикали, с небольшой площадью сечения и крутопадающими боковыми поверхностями. Игла возникает при извержении вязких лав, выжатых из подводящего канала в виде густой массы и в таком виде застывших на поверхности.

Некки (жерловина, шея) – трубообразные тела, представляющие собой жерла (жерловины) древних вулканических аппаратов центрального типа (стратовулканов), по которым двигалась лава от магматического очага к кратеру. Нередко содержат обломочный материал. В плане они имеют округлую или овальную форму диаметром от нескольких метров до 1,5 км.

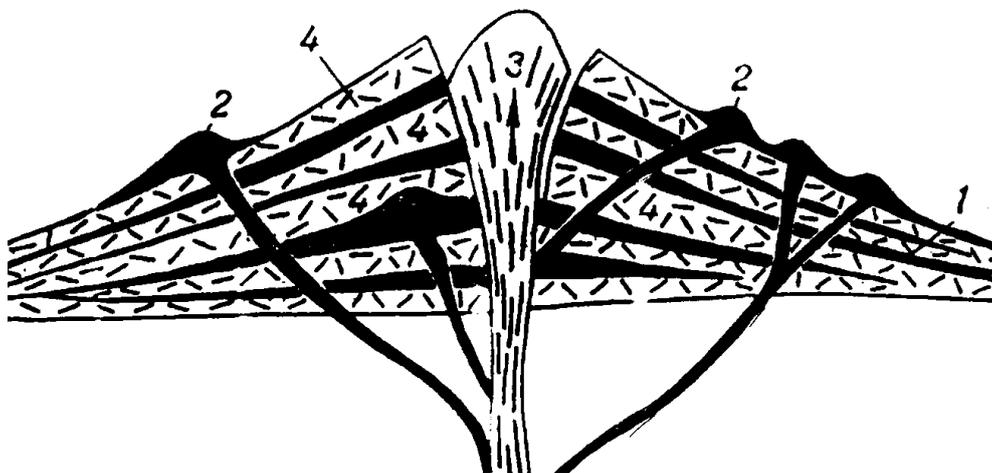


Рис. 3.4. Разрез стратовулкана: 1 – поток (черное); 2 – паразитические центры извержения в виде куполов; 3 – жерло; 4 – слои пирокластического материала

Диатрема – морфологически аналогичны неккам, но сложены не лавовыми потоками, а пирокластическим материалом с включением обломков окружающих пород. Возникают в результате взрывов вулканических газов при большом давлении и высокой температуре.

Магматические горные породы слагают «гранитную», «базальтовую» («пироксенит-габбровую») и более глубинные оболочки Земли в виде крупных вышеописанных тел разной формы [1, 8,14, 15]. В стратисфере (осадочной оболочке Земли) вулканические породы переслаиваются с осадочными и метаморфическими горными породами.

В целом, магматические горные породы, особенно, интрузивные, обладающие массивными плотными текстурами, явно-, часто равномерно-кристаллическими структурами и состоящие из минералов класса силикатов, которые имеют ионно-ковалентные виды жестких химических связей, характеризуются высокой **механической прочностью**, и являются надежным основанием для различных зданий и сооружений и качественным строительным материалом. Однако полиминеральный состав, пестрая и разноцветная окраска этих пород способствуют их разрушению (выветриванию) на земной поверхности и вблизи нее. Образующиеся и пересекающие их системы трещин – отдельности, с одной стороны, снижают качество строительных материалов, а с другой, облегчают их разработку и способствует фильтрации подземных вод.

3.4. Метаморфические горные породы

Магматические и осадочные горные породы из-за движения земной коры могут подвергаться воздействию высокой температуры, высокого давления и различных химически активных веществ и флюидов [2, 3, 4]. К флюидам относятся отделяющиеся от магмы жидкие или газообразные компоненты, или циркулирующие в глубинах Земли насыщенные газами растворы. Совокупность процессов изменения и образования новых горных пород на глубине носит название **метаморфизм**, в результате которого возникают **метаморфические горные породы**. Формируясь за счет любых горных пород в различных условиях при преобладании того или иного фактора (высокой температуры, давления, химически активных элементов), метаморфические породы отличаются большим разнообразием. Среди них различают:

- **метаморфиты**, образовавшиеся без привноса вещества, при активном участии высокой температуры и давления;
- **метасоматиты**, образовавшиеся при активном участии привнесенных извне химических элементов;
- **мигматиты и ультраметаморфиты**, испытавшие на себе активное воздействие магмы и переходящие в состояние магматического расплава;
- **диафториты**, претерпевшие диафторез, т.е. регрессивный метаморфизм – изменения горных пород в условиях понижения температуры и давления;
- **тектониты**, образовавшиеся под воздействием, прежде всего, высокого стрессового давления – в зонах разломов при землетрясениях.

Метаморфические горные породы (метаморфиты), образованные даже за счет одной какой-то породы, могут иметь различный минеральный состав при неизменном химическом составе, поскольку температура и давление их формирования могут меняться в большом диапазоне. Так, глина на низких ступенях метаморфизма (150...350 °С) превращается в сланец и филлит, на средних ступенях (350...550 °С) – в гранат-сланец, на высоких ступенях (550...800 °С) – в гнейс, при еще более высоких температурах может произойти расплавление породы, которое при понижении температуры сменится кристаллизацией и образованием **мигматита**.

По минеральному составу четко различаются мономинеральные и полиминеральные породы. Среди первых наиболее распространенными являются **мрамор и кварцит**, которые состоят соответственно из кальцита и кварца, образовались из известняка и песчаника или яшм. Они имеют светлую белую или сероватую окраску; при незначительном количестве механических примесей – минералов: оксидов железа, слюд, углистого вещества, приобретают желтоватую, красноватую, розовую, темно-серую и другую окраску. Мрамор можно спутать с кварцитом, поскольку они имеют часто одинаковое строение. Лишь в отдельных участках мрамор может обладать гигантокристаллической структурой. Через Южный Урал субмеридиональ-

но на протяжении более 400 км тянется **яшмовый пояс**, представленный отдельными телами **яшм**, которые имеют первичное осадочно-вулканогенное происхождение и окончательно сформировавшиеся при низких ступенях метаморфизма в процессе надвигания литосферных плит, закрытия Палеоуральского океана и возникновения горно-складчатой области в конце палеозоя.

В **полиминеральных породах** присутствуют стабильные минералы как кварц и полевые шпаты, так и типоморфные минералы, образовавшиеся в определенных интервалах значений температур и давления и типичных для конкретных пород (фаций). Так, в сланцах и филлите присутствуют тонкочешуйчатые гидрослюды серицит и хлорит, в гранат-слюдяном сланце – биотит (мусковит) и гранаты, в гнейсе – слюды, ставролит, силлимонит и др.

Метаморфические горные породы, образованные в схожих условиях – при химическом равновесии в определенных интервалах значений давлений и температур, содержат специфические (типоморфные) индексы минералов и выделяются в **фации метаморфизма** (рис. 3.5).

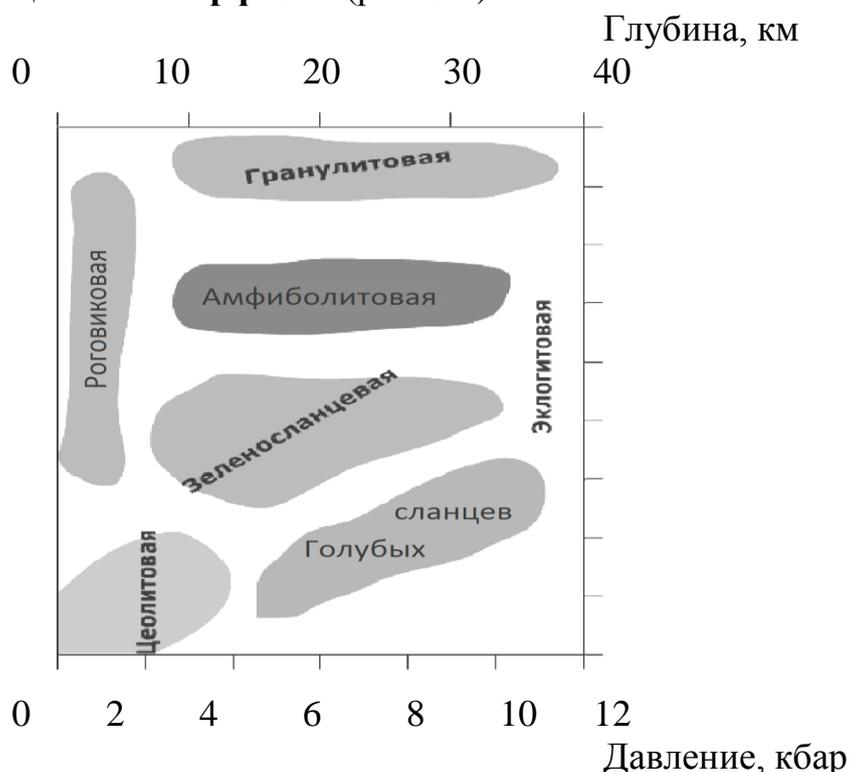


Рис. 3.5. Наиболее распространенные фации метаморфизма горных пород

При метаморфизме меняется не только минеральный состав горных пород, но и их строение и формы залегания.

Структуры метаморфических пород, в основном, явнокристаллические, возникшие при перекристаллизации пород в твердом состоянии и называются **бластическими**. Если в породе преобладают минералы чешуйчатой морфологии, структура называется **лепидобластовая**, более или ме-

нее изометричной – **гранобластовая** и т.п. (рис. 3.6). Широко распространены лепидо-гранобластовые, порфиробластовые структуры в кристаллических сланцах.

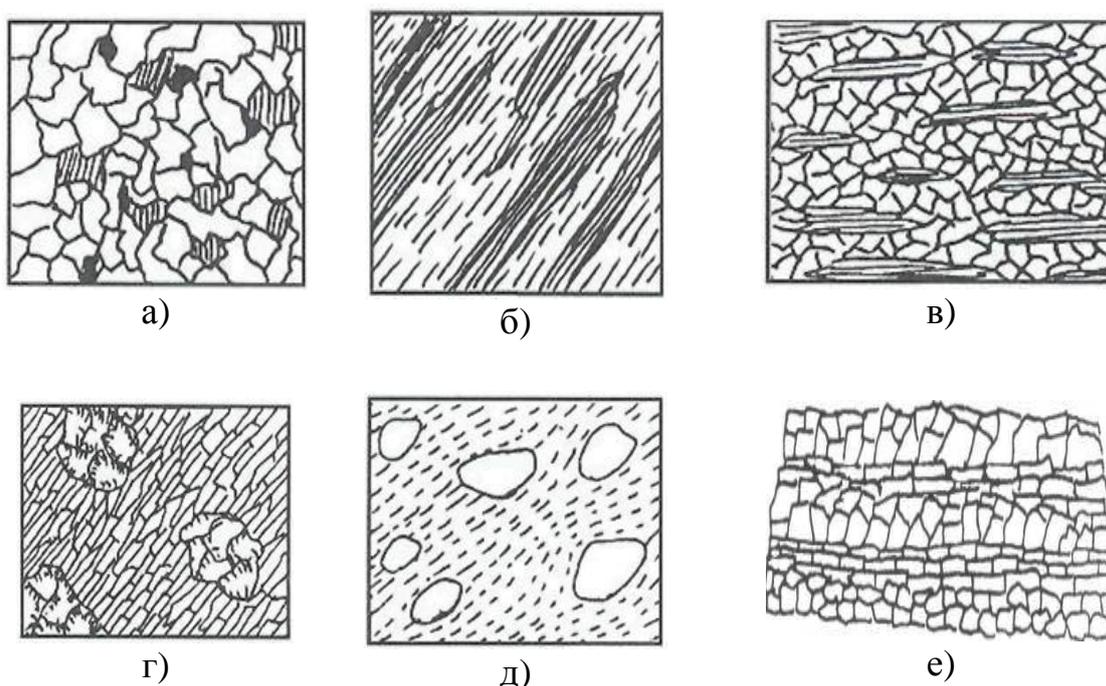


Рис. 3.6. Строение метаморфических пород: а – гранобластовая, б – лепидобластовая, в – лепидогранобластовая, г – порфиробластовая, д – реликтовая бластосаммитовая структуры; е – гнейсовидная (полосчатая) текстура

Текстуры пород также зависят от условий их образования и, в особенности, от минерального состава. Мономинеральные породы имеют в штуфах **массивную** текстуру; полиминеральные породы при преобладании в них чешуйчатых минералов – сланцеватую текстуру и легко раскалываются и выветриваются на тонкие пластинки. При наличии в равных пропорциях минералов чешуйчатой и изометричной морфологии породы приобретают полосчатую (гнейсовидную), плейчатую (в виде микроскладок), очковую текстуры, характерные для гнейсов и других пород средних и высоких ступеней метаморфизма.

Гнейсы – общее название метаморфических пород полосчатой текстуры, состоящие преимущественно из кварца и полевых шпатов с примесью слюды, пироксенов и амфиболов. Различают ортогнейсы, образовавшиеся в результате метаморфизма магматических пород, и парагнейсы – из осадочных пород.

Метасоматиты возникают, как правило, на контакте с интрузивными породами при активном воздействии химических растворов и элементов, отделившихся от магматического очага (рис. 3.7). При этом возникают разнообразные породы, среди которых большим распространением поль-

Таким образом, метаморфические горные породы отличаются большим разнообразием, специфическими минеральными ассоциациями, строением и различными формами залегания. Самой прочной, физически и химически устойчивой ГП является кварцит, растворимой – мрамор; легко разрушаемыми и выветриваемыми ГП являются сланцы, особенно при наклонном расположении сланцеватости к земной поверхности. Метаморфические породы широко распространены на территории Урала [12, 13].

Контрольные вопросы по лекции 3

1. Как называются науки о горных породах, их минеральном и химическом составе, строении (текстуре и структуре) и эндогенном и экзогенном происхождении?

2. Какие минералы называются породообразующими? Назовите минералы магматических и метаморфических горных пород.

3. Что понимают под структурой горных пород? Приведите примеры наиболее важных структур магматических горных пород.

4. Что понимают под текстурой горных пород? Приведите примеры наиболее важных текстур магматических горных пород.

5. По каким свойствам различаются интрузивные и эффузивные горные породы? Приведите примеры.

6. Что общего у магматических горных пород одного класса и одной группы? Приведите примеры

7. Какова распространенность (сколько процентов они слагают) магматических горных пород в земной коре? Какие оболочки земной коры они слагают?

8. Какие вулканы и магматизм характерны для современных срединно-океанических хребтов? Приведите примеры.

9. Какие вулканы и магматизм характерны для окраин Тихого океана (зон глубоководных желобов и вулканических гряд)? Приведите примеры.

10. Какие текстуры являются характерными для мономинеральных метаморфических горных пород? Приведите примеры.

11. Что такое сланцеватые текстуры? Дайте определение и объяснение причины их формирования.

12. Какие текстуры имеют гнейсы? Чем они отличаются от сланцеватых текстур и почему образуются?

13. Если магматические и метаморфические ГП – преимущественно глубинные ГП, то зачем их надо знать строителям? В каких областях и на каких территориях встречаются и залегают магматические и метаморфические ГП?

Лекция 4. ОСНОВЫ ЛИТОЛОГИИ. ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Осадочные горные породы (ОГП) слагают самые верхние слои ЗК и как бы покрывают своеобразным чехлом магматические и метаморфические горные породы на 75 % площади земной поверхности, несмотря на то, что они составляют всего лишь 5 % ее массы. Как правило, земная поверхность на суше (континентах) покрыта именно ОГП, и строительство производится, главным образом, на этих ГП и грунтах, которым в инженерной геологии уделяют особое внимание.

4.1. Образование и классификация осадочных горных пород

Образование осадочных горных пород связано с экзогенными процессами, протекающими на земной поверхности и вблизи нее под влиянием внешних сил: колебания температуры воздуха, циркуляции воздуха и воды разного состава. Инженерно-геологические свойства осадочных горных пород как **грунтов** находятся в непосредственной зависимости от особенностей их состава, строения и состояния. Эти свойства складываются в результате **литогенеза** – совокупности геологических процессов образования горных пород.

Литогенез подразделяется на ряд стадий:

– **гипергенез (выветривание)** – разрушение горных пород на месте их залегания, образование обломков горных пород и минералов, новых минералов, коллоидных и истинных растворов;

– **денудация** – совокупность процессов переноса продуктов выветривания и вновь образующихся на данном этапе обломков экзогенными факторами (ветром, водами, льдами);

– **седиментогенез** (стадия образования осадка или **осадконакопления, или аккумуляции**) – собственно отложение (осаждение) переносимых обломков и веществ в условиях уменьшения или изменения силы факторов денудации, и начало формирования осадочной горной породы;

– **диагенез** – превращение рыхлого осадка в плотную осадочную горную породу под воздействием давления слоев вышележащих осадков и изменения физико-химических условий. Наряду с диагенезом выделяются стадии более существенных преобразований осадочных пород – **эпигенеза**. Эпигенез можно подразделить на **катагенез**, в результате которого возникают новые более устойчивые минералы и более плотные текстуры, и **метагенез** – глубокие изменения осадочной породы в условиях температур более 100 °С и более высокого давления, приближенных к начальным стадиям метаморфизма.

Как правило, осадконакопление, диагенез и последующие преобразования осадков и ОГП происходят в понижениях и, особенно, в водоемах, мо-

рях и океанах. В них кроме обломочного (**терригенного** – сносимого с континентов – суши) материала образуются и накапливаются химические соединения (минералы) и органические остатки. Разложившиеся органические остатки и пустоты в них заполняются или замещаются минералами: кальцитом, арагонитом, опалом и халцедоном и другими.

Условия образования осадочных породах также «консервируются» в отличительных их особенностях: в химическом и минеральном составе, структуре, текстуре, в содержании органических остатков и формах (условиях) залегания отдельных слоев. По способу накопления (генезису) осадочные породы подразделяются на основные **классы: обломочные, глинистые, хемогенные, органогенные и смешанные.**

Породы обломочные. Обломочные горные породы состоят из обломков разрушенных коренных пород или минералов, иногда с остатками разбитых раковин организмов. Их классификация основана на величине, степени окатанности и сцементированности обломков (табл. 4.1, рис. 4.2), которые зависят от прочности и устойчивости коренных пород к процессам выветривания, а также стадии развития породы.

Таблица 4.1

Классификация обломочных пород [2, 9]

Размер обломков, мм	Степень сцементированности и окатанности обломков и вид (название) ГП			
	Рыхлые		Сцементированные	
	Угловатые	Окатанные	Угловатые	Окатанные
> 200	Глыбы	Валуны	Брекчии	Конгломераты
200–40	Щебень	Галька		
40–2	Дресва	Гравий		
2,00–0,05	Песчаные		–	Песчаники
0,050–0,005	Пылеватые		–	Алевролиты
< 0,005	Глинистые		–	Аргиллиты

Так породы из угловатых рыхлых обломков «пережили» только стадию физического выветривания; из окатанных – первые три стадии. Сцементированные обломочные породы прошли в своем развитии стадию диагенеза, в течение которой между обломками образовались карбонатные или кремнистые минералы, или отложились тонкообломочные минералы – глины. Рыхлые породы имеют обычно молодой, четвертичный возраст и лежат вблизи поверхности, а сцементированные – более древний возраст. Примерный разрез обнажения рыхлых молодых горных пород приведен на рис. 4.1.

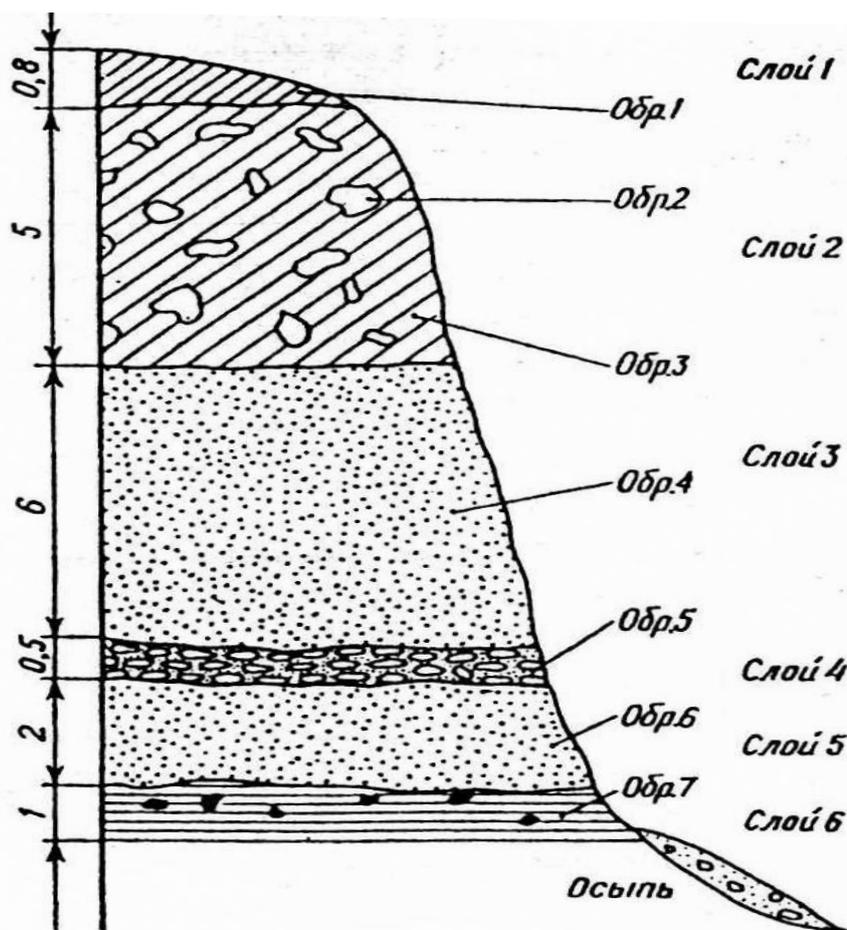


Рис. 4.1. Зарисовка обнажения (выхода ГП на земную поверхность) горных пород: слой 1 – суглинки светло-коричневого цвета, плотные, с призматической отдельностью; слой 2 – суглинки красно-бурого цвета с включением беспорядочно расположенных валунов и галек из магматических и метаморфических пород; слой 3 – пески кварцевые светло-коричневого цвета, мелко- и среднезернистые, местам ожелезненные с четко выраженной косою и диагональной слоистостью; слой 4 – галечник из магматических пород (гранита, сиенита, гнейса, кварцита) и кварца; слой 5 – пески кварцевые, грубозернистые, желто-бурого цвета, влажные, с горизонтальной слоистостью; слой 6 – глины черные, сильно слюдистые, влажные, пластичные, с редкими включениями фосфоритов

Глинистые породы образуются за счет более глубокого изменения коренных минералов – химического разложения (гидролиза) силикатов, особенно полевых шпатов. В результате возникают глинистые минералы (каолинит, монтмориллонит, гидрослюды), отличающиеся малыми размерами (< 0,001 мм) и называемые также пелитами. Глинистые породы содержат различное количество таких примесей, как кварцевые песчинки, гипс, лимонит и гематит, за счет последних у них появляется буро-красный цвет. В зависимости от содержания в них собственно глинистых минералов выделяют глины, суглинки и супеси. В глинах содержание глинистых частиц

достигает $> 30 \dots 60 \%$; в суглинках – $10 \dots 30 \%$; в супесях – $3 \dots 10 \%$; в песках – $< 3 \%$. Качественные «чистые» глины возникают, как правило, за счет переотложения глинистых минералов первичных залежей в понижения или водоемы. Благодаря этому процессу происходит дифференциация минеральных частиц по плотности, и возникают вторичные залежи более «чистых» и жирных глин.

Глинистые породы относятся к дисперсным связным грунтам, которые отличаются высокой дисперсностью ($< 0,001$ мм), пластинчатой и чешуйчатой формой зерен; большой удельной поверхностью; гигроскопичностью. С последним свойством тесно связаны и другие важные свойства глинистых грунтов – влагоемкость, водонепроницаемость, пластичность, набухание, усадка. Обломочные породы, состоящие из гальки, гравия и песка, отличаются значительной водопроницаемостью и слабой сжимаемостью.

Хемогенные породы. Подавляющее количество хемогенных пород образуются на дне водных бассейнов, в воде которых содержатся в условиях сухого климата повышенные концентрации солей. При пересыщении вод определенными катионами или анионами происходит кристаллизация минералов классов галоидов (галит, сильвин); сульфатов (гипс, ангидрит); карбонатов (кальцит, арагонит, доломит). Соответственно в зависимости от минерального состава выделяются горные породы различного состава: галоидные (каменная соль и сильвинит); сульфатные (гипс, ангидрит) и карбонатные (известняки, известковый туф, доломит и другие).

Самыми распространенными хемогенными породами являются известняки, состоящие преимущественно из кальцита. Известковые туфы образуются в местах выхода (дренирования) родников. Вода, выходя на поверхность, теряет часть CO_2 , что сопровождается уменьшением растворимости CaCO_3 и его выпадением в виде пористой ноздреватой породы, не обладающей слоистостью.

Толщи ГП, сложенные галитом, сильвинитом, гипсом, ангидритом, некоторых нитратов и других солей, называют общим термином **эвапориты** (от лат. *Еварого* – «испаряю»). Для образования крупных месторождений солей необходима система из двух бассейнов – питающего и испаряющегося, например, соответственно Каспийское море и залив Кара-Богаз-Гол.

Галоидные породы отличаются наибольшей растворимостью, сульфатные (гипс и ангидрит) – средней, а известняки и доломиты – слабой растворимостью в воде. В трещиноватых растворимых породах в условиях особенно расчлененного рельефа, при котором подземные воды дренируются долинами рек, ручьев и понижений, образуются пустоты и пещеры. Эти образования называются карстовыми и могут достигать больших размеров (длиной на многие километры), что осложняет хозяйственное использование данных территорий. Хемогенные породы имеют практическое значение, прежде всего, как стройматериалы.

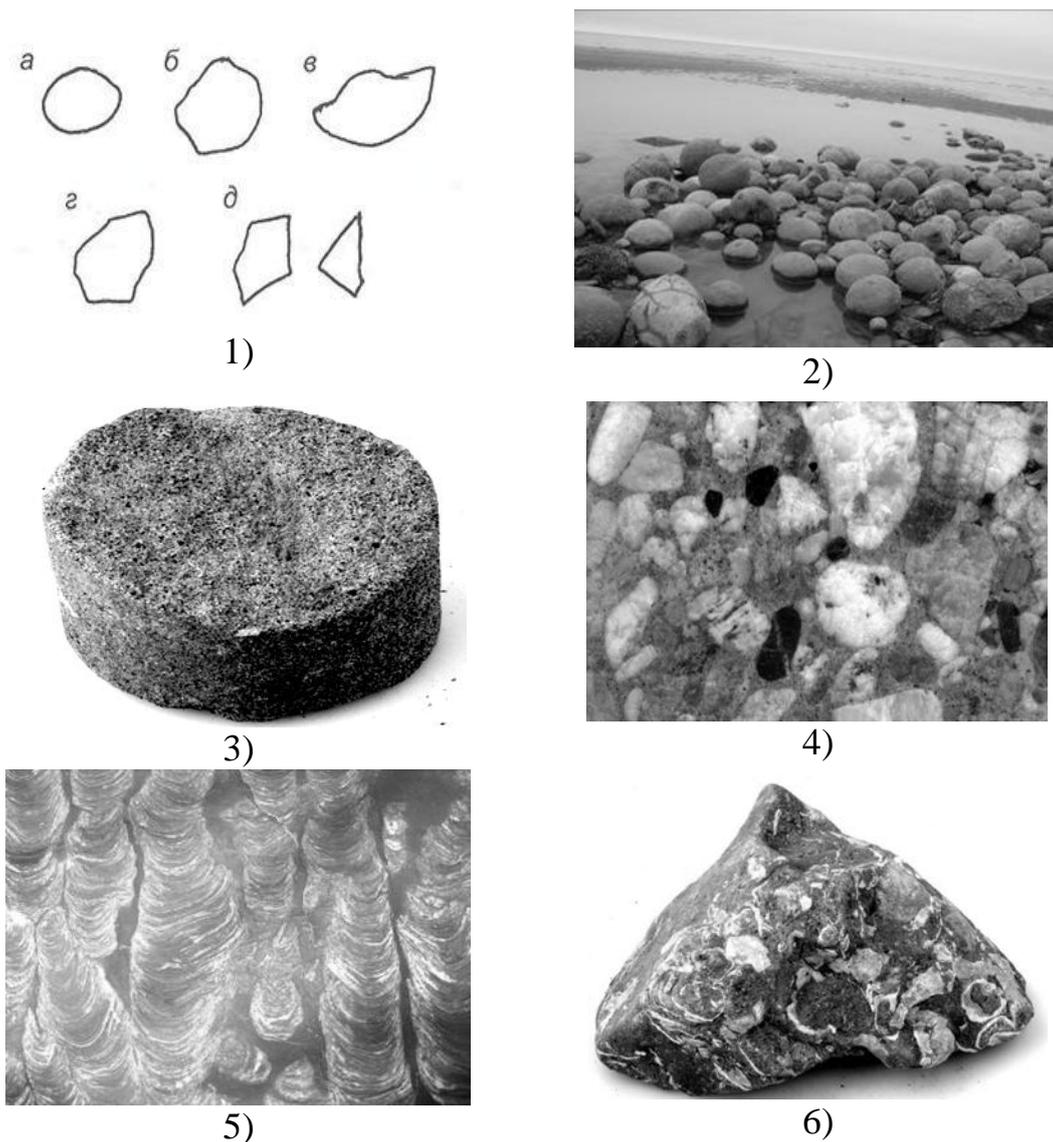


Рис. 4.2. Осадочные горные породы. 1 – степень окатанности обломков: а – хорошо окатанные, б – окатанные, в – полуокатанные, г – неокатанные, д – угловатые; 2 – глыбы и гальки; 3 – песчаник грубозернистый; 4 – конгломерат; 5 – известняк строматолитовый; 6 – известняк брахиоподовый

Органогенные породы образовались в результате отмирания и накопления остатков животных организмов и растений, которые для построения своего скелета или раковины извлекали кальцит или опал с кварцем из воды. В процессе диагенеза органогенных осадков происходит замещение мягкого тела, а также их цементация минералами, характерными для водной среды. Таким образом, органогенные породы являются смешанными по генезису – **хемо-органогенные**. В теплых морях и до глубин 4 200 м накапливаются преимущественно карбонатные породы: известняки-ракушечники, мел, способные растворяться в воде. Известняки могут состоять из раковин

организмов разных размеров (от мм до 10 ...40 см), а мел образован из невидимых простым глазом частиц (скелетных пластинок золотистых водорослей – кокколитофоридов). В холодных морях или на глубинах более 4 200 м осаждаются кремнистые породы (диатомиты, опоки и др.).

В неглубоких водоемах при субтропическом климате накапливается торф, который при диагенезе превращается в бурый, затем каменный уголь и антрацит, а при температурах более 115 °С – в нефть и газ. Последние поднимаются по трещиноватым и пористым породам к земной поверхности и накапливаются в них под слоями непроницаемых обычно глинистых пород, которые называются в нефтяной геологии покрывками.

Молодые мезо-кайнозойские биогенные породы обладают пористой и тонкопористой текстурой, в результате чего грунты отличаются водопоглощательной способностью, и при наличии капиллярных пор – размокаемостью. Более древние и плотные породы могут служить надежным основанием для сооружений.

В целом, возникающие на земной поверхности и вблизи нее осадочные горные породы характеризуются следующими особенностями.

Состав и свойства пород определяются климатическими условиями их образования. Например, в пустынях преобладают обломочные породы, а в замкнутых бассейнах накапливаются отложения солей и эвапоритов. В тропиках породы обладают красноватой окраской из-за интенсивного окисления содержащегося в минералах железа, а в условиях холодного климата породы имеют серые оттенки.

По минеральному и химическому составу преобладают **мономинеральные** осадочные горные породы, состоящие преимущественно либо из алюмосиликатов (полевых шпатов, слюд и глинистых минералов), либо из карбонатов (кальцита и доломита), либо из оксидов (кварца и халцедона), либо из сульфатов (гипса и ангидрита). Другие минералы встречаются в качестве примесей в незначительных количествах, но могут существенно влиять на свойства пород, например, незначительная примесь лимонита в глинах или других породах придает им желто-буроватую окраску.

Структуры осадочных горных пород разнообразны и определяются не только условиями образования, но и кристаллизационной способностью минералов: хемогенные сульфатные и галоидные породы имеют мелко-, гиганто- кристаллически-зернистую структуру; глинистые – пелитовую и скрыто-зернистую; карбонатные – от скрыто- до явно-зернистой; обломочные – разнотекстурную и обломочную структуру.

Среди **текстур** выделяются рыхлые (сыпучие, несцементированные) и плотные (сцементированные), однородные и слоистые (от тонко- до толсто-слоистых), обломочные неокатанные и окатанные, оолитовая (порода состоит как бы из сцементированных «горошен») и конкреционная (присутствие сферических минеральных образований определенного состава среди какой-то породы). В большинстве осадочных пород наблюдаются

органические остатки. Если порода состоит из окаменелых остатков, не видимых макроскопически, то такое строение называется **биосоматической**; если же порода состоит из окаменелых остатков, видимых невооруженным глазом – биоморфной, или более общим термином **органогенной** текстурой. Более молодые мезо-кайнозойские осадочные горные породы имеют большую пористость, видимую или невидимую на глаз. **Слоистость** выражается в изменении размеров обломков или минерального состава (цвета) породы, в одинаковой ориентировке терригенного материала, в наличии ископаемых остатков или конкреций и др. Среди вторичных текстур различают брекчиевидную и прожилковую, которые указывают на разрушение, дробление пород на глубине под воздействием тектонических разрывных движений земной коры.

4.2. Залегание осадочных горных пород

Осадочные горные пород залегают в виде **слоев** (рис. 4.3) – геологических тел, сложенных однородной осадочной породой, для которых приняты условные обозначения (рис. 4.4).

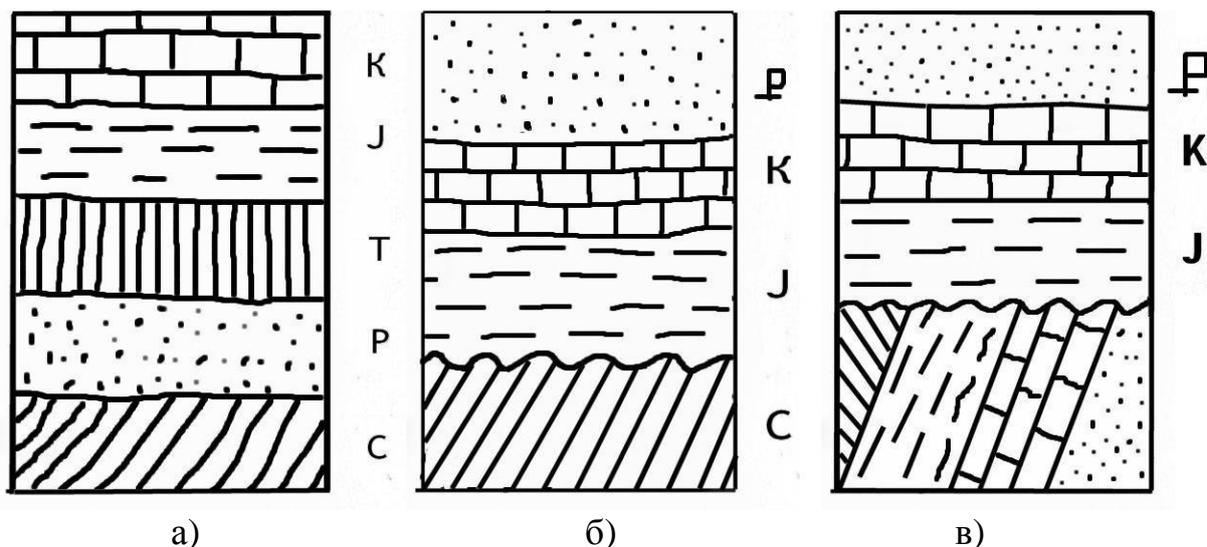


Рис. 4.3. Залегание слоев: а – согласное залегание слоев; б – стратиграфическое несогласие; в – угловое несогласие

Слои пород, имеющие хозяйственное значение, т.е. представленные каким-либо полезным ископаемым, называются **пластами** (пласт угля или гипса). Слои и пласты обычно ограничены с двух сторон четко выраженными поверхностями, которые называют плоскостями (поверхностями) напластования или **геологическими границами**. Верхнюю плоскость называют кровлей, нижнюю – подошвой, а расстояние между ними по перпендикуляру – истинной мощностью слоя (пласта).



Рис. 4.4. Примерные условные обозначения литологического состава осадочных горных пород на картах и в разрезах

Наибольшей мощностью пластов (до сотен и тысяч метров) и протяженностью (сотни...тысячи метров и даже километров) обладают горные породы морского происхождения или морских фаций. Континентальные фации четвертичной системы, залегающие непосредственно под слоем почвы, имеют, как правило, относительно небольшую мощность: 0,1...50,0 м.

Для ОГП характерны также линзы – слои, занимающие малые площади с вклиниванием мощности к краям слоя. Особенно часто встречаются линзы среди песчано-глинистых отложений, когда пласты песка сменяются быстро и неожиданно линзами глин или же наоборот. Такое залегание пород, типичное для земной поверхности, в значительной степени осложняют строительство сооружений, особенно в условиях расчлененного рельефа.

Комплекс слоев, объединенных сходством состава или возраста, или один слой, но значительной мощности нередко называют **толщей**.

При первичном и нормальном залегании слоев их кровли располагаются почти горизонтально и параллельно подошве. В результате дислокационных разрывных и складчатых движений земной коры возникают **вторичные формы залегания** горных пород – **разломы и складки**.

Важное практическое значение для инженерной геологии имеет выяснение залегания (сочетания) слоев. При согласном залегании слои молодых пород лежат на более древних породах без стратиграфического перерыва и параллельно друг другу (см. рис. 4.3 а). Такое залегание, чаще всего, характерно для платформенных участков земной коры, которые выражены в рельефе в виде равнин. На других участках ЗК за счет вертикальных тектонических движений возникает несогласное залегание слоев, когда на древних лежат молодые при отсутствии ОГП определенных систем (см. рис. 4.3 б). Если одна толща слоев залегает не параллельно, а под углом относительно другой толще, то такое залегание называется угловое несогласие (см. рис. 4.3 в). В горно-складчатых областях, особенно в условиях горного расчлененного рельефа, смятые в складки и нарушенные разломами горные породы выходят на земную поверхность. При таком залегании в растворимых породах (известняках, гипсах) формируются карстовые пустоты и пещеры; на глинистых породах – оползни и другие инженерно-геологические процессы, осложняющие инженерно-геологические условия участков строительства.

4.3. Технические каменные материалы

Технические каменные материалы – собирательное название минеральной продукции, которую получают из природного минерального сырья промышленным способом и в больших объемах, т.е. они создаются благодаря техногенной деятельности человека, в частности, на строительных производствах (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Некоторые технические каменные материалы

Материалы		Основной состав	Строение
Вяжущие вещества	ПЦ	C_3S , C_2S , $Ca(OH)_2$	Кристаллическая, зернистая
	Глиноземистый цемент	CA , C_5A_3	Пегматитовая
Шлаки	Доменные	Геленит, аморфное стекло	Мелкозернистая
	Зольные	Аморфное стекло, муллит, магнетит, анортит	Пористая рыхлая
Керамика	Фарфор	Аморфное стекло. Примесь муллита	Стекловатая микропористая
Абразивы	Электрокорунд	Корунд, муллит, анортит, шпинель	Зернистая
Огнеупоры	Динас	Аморфное стекло, тридемит, примеси кварца	Брекчиевидная
	Шамот	Аморфный кремнезем, муллит	Зернистая
	Магнезиальные	Периклаз	Брекчиевидная
	Доломитовые	Периклаз, алит, белит	Зернистая, слабопористая
	Корундовые	Аморфное стекло, корунд, муллит	Брекчиевидная

К техническим каменным материалам относятся керамические изделия, бетон, абразивы, цементы, которые получают путем подбора термодинамических параметров: температуры, давления и концентрации. В результате этого возникают сочетания минералов и соединений, которые невозможны в природе. При этом в отличие от природных геологических процессов, протекающих в течение сотен тысяч...миллионов лет, синтез технического камня происходит в несоизмеримо короткое время [5, 11]. Эти материалы изучает техническая петрография, которая является областью классической геологической петрографии.

Контрольные вопросы по лекции 4

1. В какой последовательности протекают стадии экзогенных процессов и литогенеза? Расположите их от первой к последней – диагенезу.
2. Какой природный цемент является наиболее прочным в осадочных и обломочных горных породах?
3. Какие осадочные горные породы имеют исключительно хемогенное происхождение? Назовите их отличительные свойства.
4. Какие осадочные горные породы имеют исключительно биогенное происхождение? Назовите их отличительные свойства.
5. Какие осадочные горные породы имеют смешанное хемо-биогенное происхождение? Назовите их отличительные свойства.
6. Какие осадочные горные породы отличаются пластичностью и высокой водоупорностью (водонепроницаемостью)? Где и как они залегают?
7. Какие осадочные горные породы отличаются высокой пористостью и водопроницаемостью? Где и как они залегают?
8. Какое первичное и вторичное залегание имеют осадочные горные породы?
9. Какова доля осадочных горных пород в составе и строении Земли? Где они преобладают?

Лекция 5. ОСНОВЫ ГЕОХРОНОЛОГИИ. ВОЗРАСТ ГОРНЫХ ПОРОД

Каждая горная порода имеет не только свое название, происхождение и форму залегания (тела), но **возраст** – очень важная характеристика любой горной породы. Как было показано выше, от возраста зависят многие свойства горных пород, в том числе инженерно-геологические. Кроме того, на основе изучения, прежде всего, возраста горных пород **историческая геология** воссоздает закономерности развития и образования земной коры. Важным разделом исторической геологии является **геохронология** – наука о последовательности геологических событий во времени, их продолжительности и соподчиненности, которые она устанавливает благодаря определению возраста горных пород на основе использования различных методов и геологических дисциплин. Выделяется **относительный и абсолютный** возраст горных пород [2, 4, 6, 9].

5.1. Относительный возраст и методы его определения

При оценке **относительного возраста** различают более древние и молодые горные породы, выделяя время какого-либо события в истории Земли по отношению ко времени другого геологического события. Относительный возраст проще определять для осадочных пород при ненарушенном (близком к горизонтальному залеганию) их залегании, а также для переслаивающихся с ними вулканических и реже метаморфических пород.

Стратиграфический (стратум – слой) метод основан на изучении последовательности залегания и взаимоотношения слоев осадочных отложений, исходя из принципа суперпозиции: каждый вышележащий пласт моложе нижнего. Он применяется для толщ с ненарушенным горизонтальным залеганием слоев (см. рис. 4.3). Этот метод осторожно следует применить при складчатом и особенно перевернутом залегании слоев, предварительно нужно определить их кровли и подошвы.

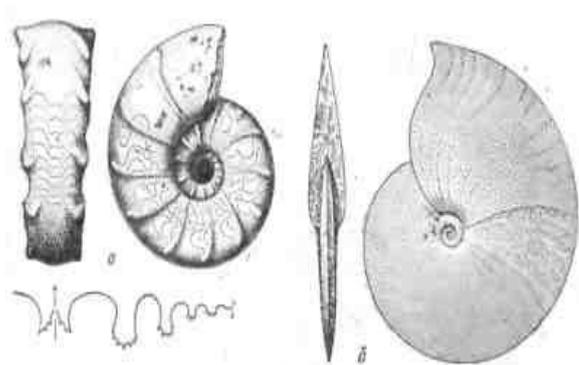
Литолого-петрографический метод основан на изучении состава и строения пород в соседних разрезах скважин и выявлении разновозрастных пород – **корреляции разрезов**. Осадочные, вулканические и метаморфические породы одинаковых фаций и возраста, например, глины или известняки, базальты или мрамор, будут обладать схожими текстурно-структурными особенностями и составом. Более древние породы, как правило, бывают более измененными и уплотненными, а молодые – слабо измененными и пористыми. Труднее использовать данный метод для маломощных континентальных отложений, литологический состав которых быстро меняется по простиранию.

Важнейшим методом определения относительного возраста является **палеонтологический (биостратиграфический) метод**, основанный на выделении слоев, содержащих различные комплексы ископаемых остатков вымерших организмов. В основе метода лежит принцип **эволюции**: жизнь на Земле развивается от простого к сложному и не повторяется в своем развитии. Наука, устанавливающая закономерность развития жизни на Земле путем изучения остатков ископаемых животных и растительных организмов – окаменелостей (фоссилий), содержащихся в толщах осадочных пород, называется палеонтология. Время образования той или иной породы соответствует времени гибели организмов, останки которых оказались захороненными под слоями выше накопившихся осадков. Палеонтологический метод позволяет определять возраст осадочных пород по отношению друг к другу независимо от характера залегания слоев и сопоставлять возраст пород, залегающих на отдаленных друг от друга участках земной коры. Каждому отрезку геологического времени соответствует определенный состав жизненных форм или руководящих организмов (рис. 5.1–5.4). Руководящие ископаемые организмы (формы) жили в течение непродолжительного отрезка геологического времени на обширных площадях, как правило, в водоемах, морях и океанах. Начиная со второй половины XX в. активно стали применять микропалеонтологический метод, в том числе и спорово-пыльцевой, для изучения организмов невидимых на глаз. На основе палеонтологического метода составлены схемы эволюционного развития органического мира.

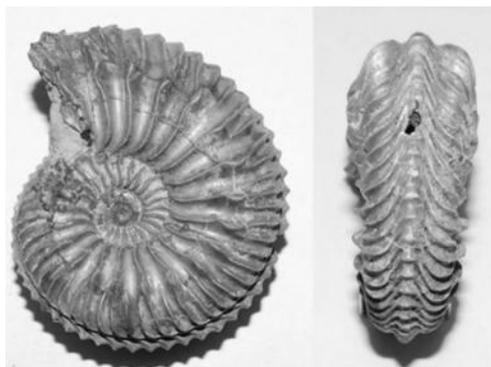
Таким образом, на основе перечисленных методов определения относительного возраста горных пород к концу XIX в. была составлена геохронологическая таблица, которая включает в себя две шкалы: стратиграфическую и соответствующую ей геохронологическую (собственно временную).

5.2. Геохронологическая таблица и ее подразделения (шкалы)

Стратиграфическое подразделение (единица) – совокупность горных пород, составляющих определенное единство по комплексу признаков (особенностям вещественного состава, органических остатков и др.), который позволяет выделить ее в разрезе и проследить по площади. Каждое стратиграфическое подразделение отражает своеобразие естественного геологического этапа развития Земли (или отдельного участка), выражает определенный геологический возраст и сопоставим с геохронологическим подразделением.



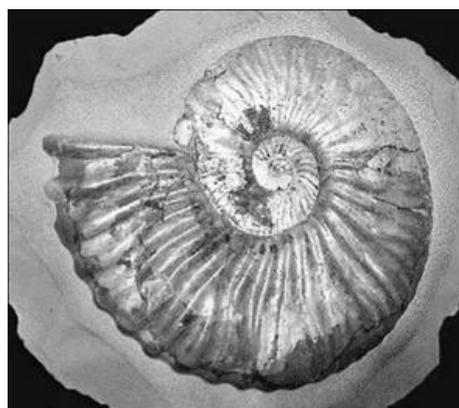
1)



2)



3)



4)



5)



6)

Рис. 5.1. Руководящие ископаемые мезозоя: 1 – аммониты триаса, 2 – аммониты юры, 3 и 4 – аммониты мела, 5 – белемниты юры, 6 – морской еж мелового периода [7, 11]

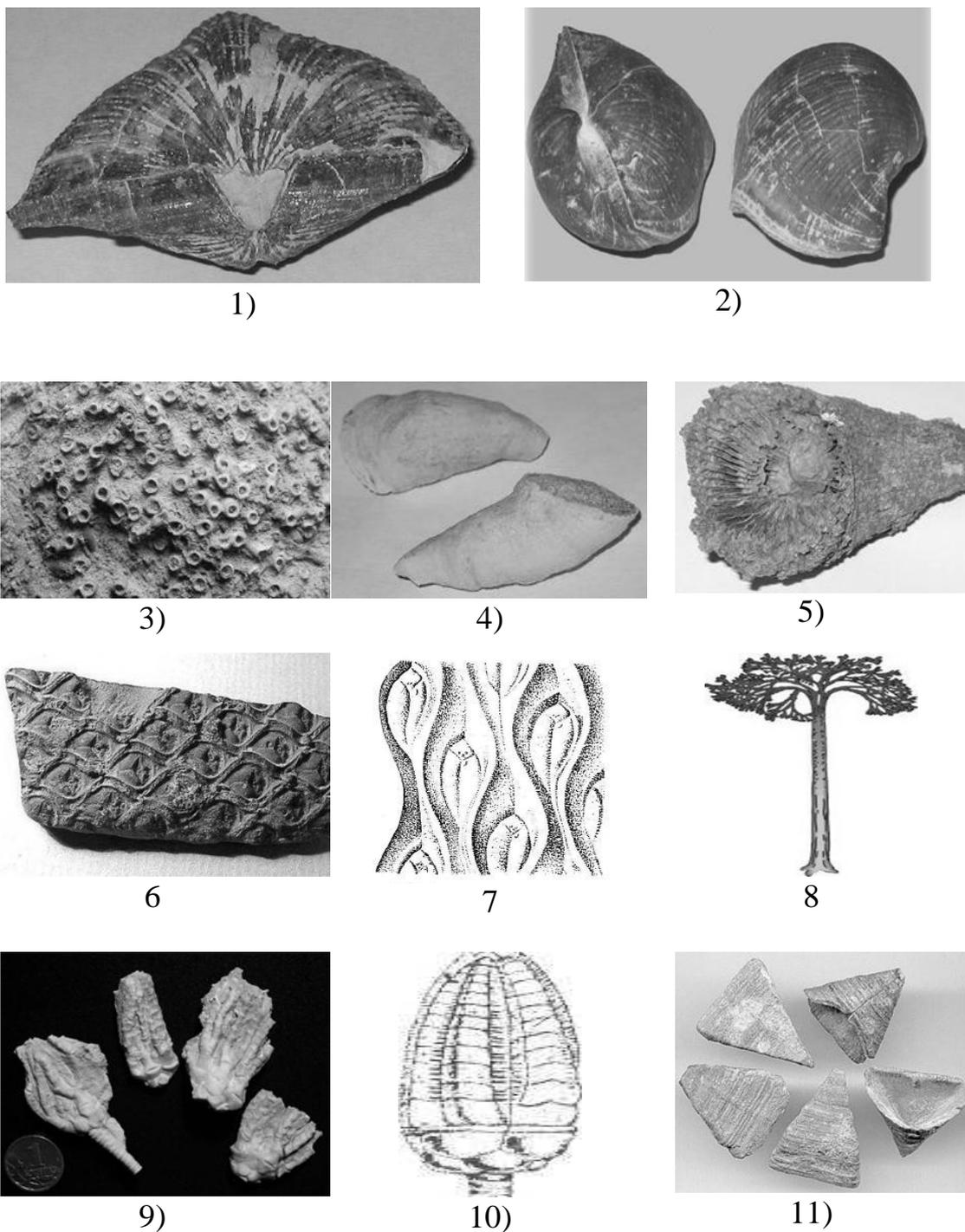


Рис. 5.2. Руководящие ископаемые верхнего палеозоя. Среди каменноугольных отложений: 1 и 2 – брахиоподы, 3 – коралловый известняк, 4, 5 – одиночные кораллы (ругозы), 6–8 – ископаемые остатки растений (*Lepidodendron*); среди девонских отложений: 9 – морские лилии; 10 – морская лилия (криноидеи), 11 – кораллы

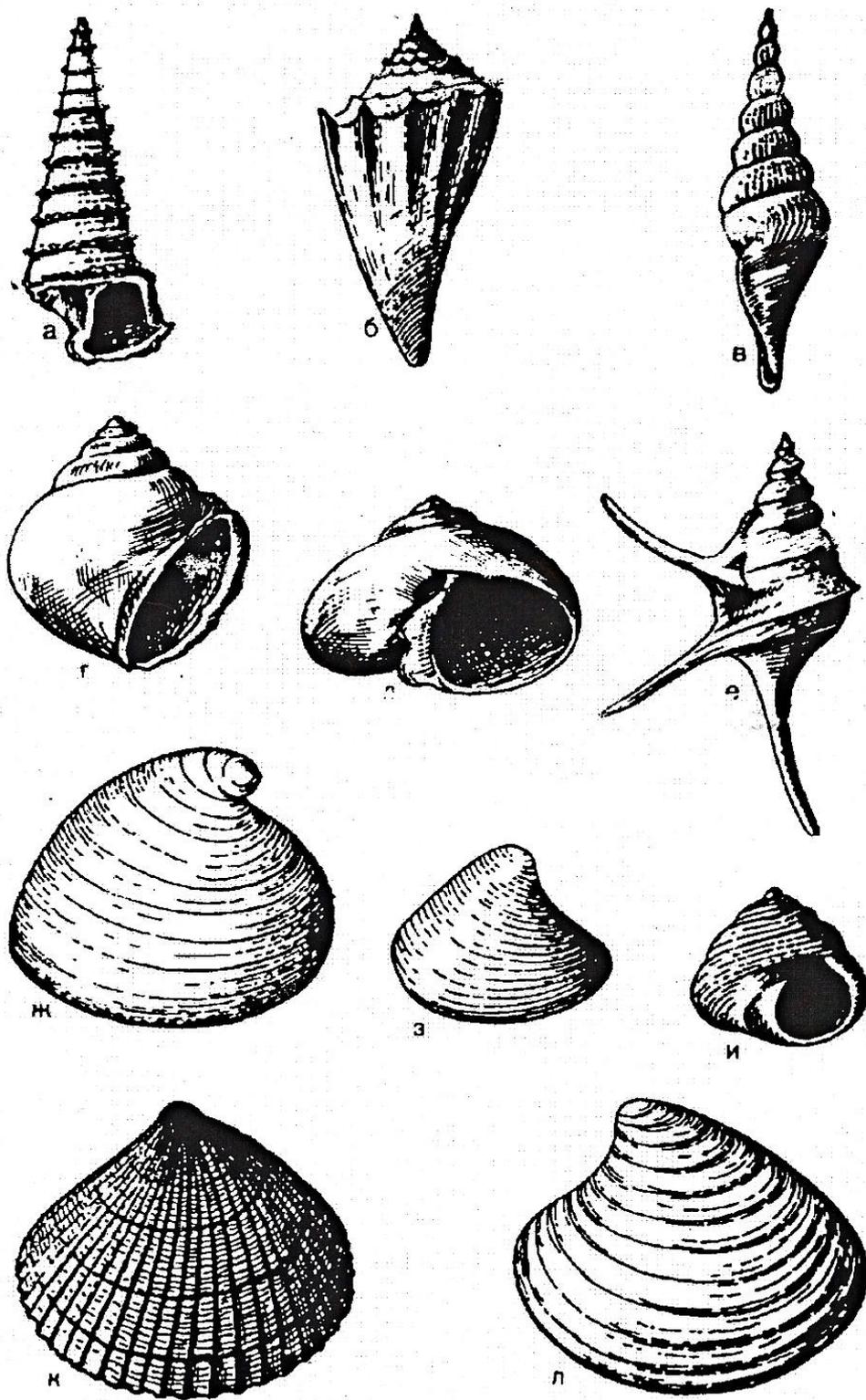


Рис. 5.3. Окаменелости палеогеновой и неогеновой систем:
 а, б, в, г, д, е, и – брюхоногие моллюски;
 ж, з, к, л – двустворчатые моллюски

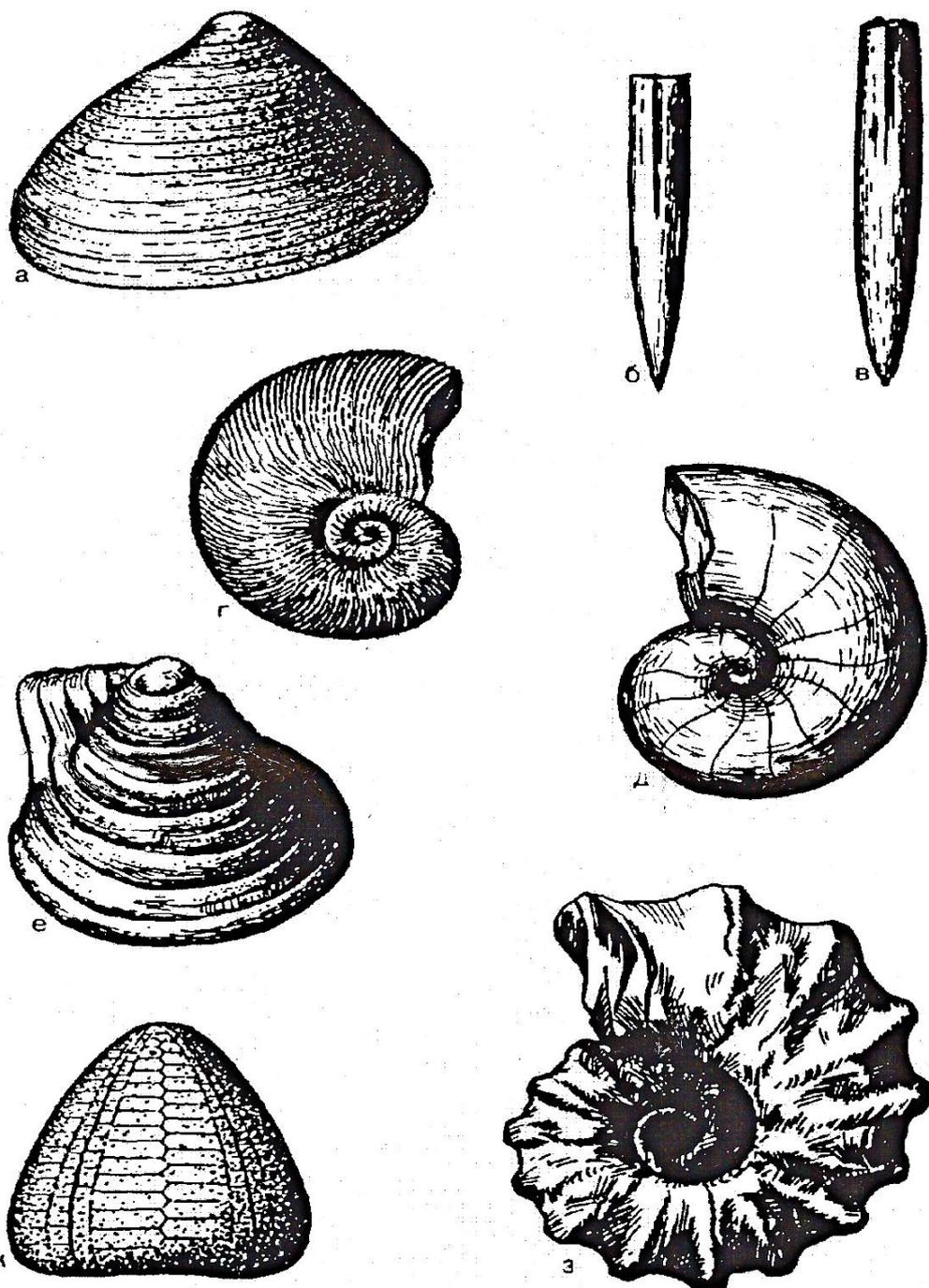


Рис. 5.4. Окаменелости, характерные для горных пород меловой системы: а, е – двустворчатые моллюски; б, в – белемниты; г, д, з – аммониты; ж – ежи

Геохронологическая (геоисторическая) шкала – иерархическая система геохронологических (временных) подразделений, эквивалентных единицам общей стратиграфической шкалы. Их соотношение и подразделение показано в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Соотношение и подразделение шкал

Геохронологическая («временная») шкала (геохронологические подразделения)	Стратиграфические единицы общей шкалы (шкала слоев пород*)
Эон	Эонотема
Эра	Эратема (группа)
Период	Система
Эпоха	Отдел
Век	Ярус
Фаза (время)	Зона (хронозона)
Пора	Звено (для четвертичной системы)

* различают и дополнительные единицы: подотдел – часть отдела; надярус – несколько ярусов; подъярус – часть яруса; подзона – часть зоны

Самое мелкое подразделение – **зона** ГП, накопившаяся в течение **фазы**, объединяется с другими зонами в **яруса** – в течение **века**. Яруса объединяются в **отделы**, сформировавшиеся за эпохи. Отделы объединяются в определенную **систему** пород, которая образовалась за время **периода** и т.д. Наиболее крупные промежутки времени – **эоны**, а толщи пород, образовавшиеся за это время – **эонотемы**. Многие системы и яруса получили свое название по месту первого определения и изучения данного стратиграфического подразделения, например, кембрийская система была выделена в Великобритании, пермская – в России и т.п. (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Обобщенно-упрощенная геохронологическая шкала

Эоны (эонотемы)	Эра (группа)	Период (система)	Типичные организмы	Абсолютный возраст, млн лет	
Неохрон фанерозой	Кайнозойская Kz («эра новой жизни»)	Четвертичный (антропогенный) Q	Человек	1,5–2,0	
		Третичный Tr	Неоген N	Млекопитающие, цветковые растения	25–27
			Палеоген P		60–66
	Мезозойская Mz («эра средней жизни»)	Меловой K	Головоногие, моллюски и пресмыкающиеся	132–142	
		Юрский J		190–200	
		Триасовый T		230–250	
	Палеозойская Pz («эра древней жизни»)	Пермский P	Амфибии и споровые	275–295	
		Каменноугольный C		340–360	
		Девонский D	Рыбы, плеченогие	400–420	
		Силурийский S	Первые беспозвоночные	425–455	
		Ордовикский O		480–520	
	Кембрийский E	Более 570			

Эоны (зоонотемы)	Эра (группа)	Период (система)	Типичные организмы	Абсолютный возраст, млн лет
Палеохрон (криптозой)	Протерозойская PR	–	Редкие остатки примитивных форм	2500–2700
	Архейская AR (археозойская)			До 4500
Планетарная стадия Земли				Свыше 4500

Наряду с международными подразделениями геохронологической таблицы выделяются региональные и местные стратиграфические подразделения – совокупности слоев горных пород, сохраняющие свое палеонтологическое и литологическое единство, ясно ограниченные от смежных подразделений и обычно опознаваемых и картируемых в поле (в природе, в местах выходов или при бурении скважин).

Региональные и местные стратиграфические подразделения: горизонты, свиты, серии и др., должны рассматриваться как предварительные (временные), подлежащие при дальнейших исследованиях замене подразделениями общей шкалы.

5.3. Абсолютный возраст и методы его определения

Абсолютный возраст горных пород – продолжительность существования (жизни) породы, выраженная в годах – в промежутках времени, равных современному астрономическому году (в астрономических единицах). Он основан на измерении содержания в минералах радиоактивных изотопов: ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{87}Rb , ^{14}C и др., продуктов их распада и знании экспериментально выявленной скорости распада. Последняя характеризуется периодом полураспада – временем, в течение которого распадается половина атомов данного нестабильного изотопа. Период полураспада сильно варьирует у различных изотопов (табл. 5.3) и определяет возможности его применения.

Таблица 5.3

Изотопы, используемые для определения абсолютного возраста

Материнский изотоп	Конечный продукт	Период полураспада, млрд лет
^{238}U	$^{206}\text{Pb} + ^8\text{He}$	4,46
^{235}U	$^{207}\text{Pb} + ^4\text{He}$	0,70
^{232}Th	$^{208}\text{Pb} + ^6\text{He}$	14,00
^{87}Rb	$^{87}\text{Sr} + \beta$	48,80
^{40}K	$^{40}\text{Ar} + ^{40}\text{Ca}$	1,25
^{14}C	^{14}N	5730 лет

Методы определения абсолютного возраста получили свое название от продуктов радиоактивного распада, а именно: свинцовый (урано-свинцовый), аргоновый (калий-аргоновый), стронциевый (рубидиево-стронциевый) и др. Наиболее часто используется калий-аргоновый метод, поскольку изотоп ^{40}K содержащийся во многих минералах (слюда, амфиболы, полевые шпаты, глинистые минералах), распадается с образованием ^{40}Ar и имеет период полураспада 1,25 млрд лет.

Выполненные при помощи данного метода расчеты зачастую проверяются стронциевым методом. В перечисленных минералах калий изоморфно замещается ^{87}Rb , который при распаде превращается в изотоп ^{87}Sr . С помощью ^{14}C устанавливают возраст самых молодых четвертичных пород. Зная, какое количество свинца образуется из 1 г урана в год, определяя их совместное содержание в данном минерале, можно найти абсолютный возраст минерала и той горной породы, в которой он находится.

Использование перечисленных методов усложняется тем, что горные породы за свою «жизнь» испытывают различные события: и магматизм, и метаморфизм, и выветривание, во время которых минералы «раскрываются», меняются и теряют частично содержащиеся в них изотопы и продукты распада. Поэтому используемый термин «абсолютный» возраст удобен для употребления, но не является абсолютно точным для возраста горных пород. Более корректно использовать термин «изотопный» возраст. Среди специалистов производится систематическая корреляция между подразделениями относительной геохронологической таблицы и абсолютным возрастом горных пород, который до сих пор уточняется и приводится в актуализированных таблицах.

Геологи, строители и другие специалисты могут получить сведения о возрасте горных пород благодаря изучению и чтению геологических карт или соответствующих геологических отчетов. На картах возраст горных пород показывается буквой и цветом, которые приняты для соответствующего подразделения геохронологической таблицы. Сопоставляя показанный буквой и цветом относительный возраст конкретных пород и абсолютный возраст унифицированной геохронологической таблицы, можно предположить абсолютный возраст изучаемых пород. Инженеры-строители должны иметь представления о возрасте горных пород и его обозначении, а также использовать их при чтении геологической документации (карт и разрезов), составляемой при проектировании зданий и сооружений.

Особый интерес вызывает четвертичный период (табл. 5.4). Отложения **четвертичной системы** покрывают сплошным чехлом всю земную поверхность, их толщи содержат останки древнего человека и предметы его обихода. В этих толщах чередуются и сменяют друг друга по площади различные континентальные отложения (**фации**): **элювиальные, аллювиальные, моренные и флювио-гляциальные, озерно-болотные** и др.

К аллювию приурочены месторождения россыпного золота и других ценных металлов. Многие породы четвертичной системы являются сырьем для производства строительных материалов: пески и глины, гальки и гравий.

Таблица 5.4

Схема расчленения четвертичного периода (системы)

Эпоха	Отдел	Индекс	Абсолютный возраст, тыс. лет	
Современная (голоцен)	Современный	Q _{IV}	10	
Плейстоцен	Позднечетвертичная	Верхнечетвертичный	Q _{III}	110
	Среднечетвертичная	Среднечетвертичный	Q _{II}	380
	Древнечетвертичная	Нижнечетвертичный	Q _I	800
Эоплейстоценовая	Эоплейстоцен		1800	

Большое место занимают отложения **культурного слоя**, появляющегося в результате деятельности человека. Они отличаются значительной рыхлостью и большой неоднородностью. Его наличие может осложнить строительство зданий и сооружений.

Контрольные вопросы по лекции 5

1. Какими методами определяется относительный возраст горных пород? Перечислите их.
2. Какими методами определяется абсолютный возраст горных пород и в каких по происхождению?
3. Чем принципиально отличается возраст горных пород и процессов их образования от возраста в обычном человеческом понимании?
4. Породы какого возраста покрывают всю земную поверхность? Назовите наиболее распространенные породы данного возраста.
5. Как называются эра, период и эпоха, в которые мы живем? Что является характерным для периода и эпохи?
6. Горные породы какого возраста преобладают на Урале и в Челябинской области, кроме четвертичных?
7. Как называется залегание более молодых пород на древних породах с отсутствием пород, определенных систем или других стратиграфических подразделений между ними? Почему такое залегание возникает?
8. Как строители могут узнать возраст горных пород? Приведите примеры?

Лекция 6. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ИХ ИНФОРМАТИВНОСТЬ

Геологические карты являются важнейшими итоговыми документами, которые составляются в результате проведения любых геологических работ, связанных в том числе с решением задач строительства. Специалисты инженер-геологи составляют для строителей геологические карты для больших площадей, где планируется строительство крупных объектов, и строят разрезы по результатам горно-буровых работ во всех без исключения случаях.

6.1. Общие представления о геологических картах

Геологическая карта – изображение в плане геологического строения района: состава (литологического или петрографического), возраста, условий (форм) залегания или дислокаций горных пород и др.

Все карты строятся на топографической основе соответствующего масштаба. Масштабы карт зависят от их назначения и детальности: мелкомасштабные (1:500 000 и мельче) – обзорные, среднемасштабные (от 1:200 000 до 1:100 000), крупномасштабные или детальные (от 1:100 000 и крупнее).

В зависимости от нанесенной информации геологические карты подразделяются на разные типы (или виды). Для строителей достаточно актуальными являются, прежде всего, карты четвертичных отложений и карты коренных пород. На **картах четвертичных отложений** показывается возраст, генезис и состав четвертичных отложений, которые покрывают большую часть земной поверхности в виде чехла. Подобные карты особенно важны для строителей, если мощность четвертичных отложений составляет более 3–5 метров, поскольку именно в этих горных породах – грунтах, будут проводиться инженерно-строительные работы.

Карты коренных горных пород строятся при необходимости анализа геологического строения более древних пород (коренных пород), расположенных под четвертичными отложениями. Последние условно снимаются (удаляются) с собственно геологических карт. Когда геологи говорят о геологических картах, то имеют в виду, прежде всего, именно карты коренных пород, поскольку в них залегают важнейшие залежи различных полезных ископаемых.

Для изображения региональных или общих закономерностей геологического строения создаются **тектонические карты** (или просто тектоника какого-либо региона), на которых изображаются важнейшие геологические структуры земной коры: платформы, горно-складчатые области или более мелкие, или крупные; а также **карты полезных ископаемых** – характерные и разведанные месторождения полезных ископаемых.

Крупномасштабные карты коренных пород подразделяются на виды:

– **стратиграфические**, отображающие преимущественно возраст пород и условия их залегания без деления пород по литологическому составу;

– **литолого-петрографические**, отображающие вещественный состав пород и условия их залегания;

– **литолого-стратиграфические**, отображающие литоло-петрографический состав, возраст и условия залегания горных пород. Такой вид карт чаще применяется в практике геологических исследований и в том числе для строительства.

Для решения вопросов строительства строятся **специальные карты**, на которые наряду с геологической информацией наносятся признаки и характеристики, важные для определенных отраслей строительства и водоснабжения. К специальным картам относятся инженерно-геологические, гидрогеологические, геоморфологические и другие карты. На **инженерно-геологические карты** наносятся данные о физико-механических свойствах горных пород – грунтов, о гидрогеологических особенностях участка, о наличии на территории проявлений различных эндогенных или экзогенных процессов и явлений. Существует три основные разновидности **инженерно-геологических карт**:

– **карты инженерно-геологических условий** содержат информацию о классах и группах грунтов, подразделенных по инженерно-геологическим элементам (части массива пород одного литологического состава (названия) и возраста с одинаковыми показателями физико-механических свойств); о видах и залегании подземных вод; о характерных для данного участка инженерно-геологических процессах; являются очень важными для любых видов наземного строительства;

– **карты инженерно-геологического районирования** - показывают территория (участки региона) со схожими инженерно-геологическими условиями;

– **карты специального назначения** строятся для конкретного типа строительства или сооружения, показывают прогноз инженерно-геологических процессов и явлений наряду с инженерно-геологическими условиями территории.

6.2. Условные обозначения

Геологическая информация изображается на картах при помощи условных знаков – цвета, буквенно-цифровых (индексов), штриховых и прочих (элементы залегания, тектонические и геологические границы и т. д.) знаков. На собственно геологических картах показывается **полная характеристика горных пород**, полученная в результате геологических исследований:

1) возраст ГП, относительный, показывается цветом и буквой, как это принято в геохронологической таблице;

2) литолого-петрографический состав ГП (в условных обозначениях – это соответствует названию и происхождению ГП),

3) условия (формы) залегания ГП, их дислокации (складки, разломы).

6.2.1. Возраст горных пород

Возраст стратиграфических подразделений: осадочных, вулканических, вулканогенно-осадочных и метаморфических горных пород, на геологических картах отображается определенными цветами и индексами. Породы одного возраста окрашиваются одним цветом в соответствии с цветами единой стратиграфической шкалы (см. геохронологическую таблицу – [1, 4]). Буквенно-цифровыми условными знаками (индексами) показывают относительный возраст общих, региональных и местных стратиграфических подразделений. Индексация общих стратиграфических подразделений проводится также в соответствии с единой стратиграфической шкалой. Например, **девонские** горные породы закрашиваются коричневым цветом и обозначаются индексом **D**, а нижнедевонские – **D₁**. При чтении индекса следует соблюдать определенный порядок — от более крупного подразделения последовательно к более мелкому. Например, индекс **D₁** будет читаться так: «дэ один» или «нижний девон», если имеют в виду подразделение горных пород, или ранний девон, если говорят о каких-то событиях, протекавших в то время.

Индексы региональных и местных стратиграфических подразделений (комплексов, серий, свит, горизонтов и провинциальных зон) образуются путем прибавления справа к возрастному индексу двух строчных латинских букв: первой и ближайшей согласной из названия этого подразделения, написанных курсивом. Например, в пределах территории Челябинска залегает **миасская свита (C_{1ms})** – это нижне-каменноугольные или нижне-карбоновые вулканогенно-осадочные породы. На западе области самые высокие хребты Таганая сложены кварцитами **таганайской свиты (R_{2tg})**, а Зюраткуля – **зигальгинской свиты (R_{2zg})** юрматинской серии (серия объединяет несколько свит).

В условных обозначениях к картам первыми (сверху) принято писать самые молодые ГП, а последними (снизу) – самые древние породы, как и в единой стратиграфической (геохронологической) шкале.

В геохронологической таблице для каждого стратиграфического подразделения указывается также приблизительный абсолютный возраст – начало и конец каждого стратиграфического подразделения. По этим цифрам геологи судят и об абсолютном возрасте каких-либо конкретных ГП.

6.2.2. Генезис и литолого-петрографический состав горных пород

На актуальных для строителей картах четвертичных отложений показывается, прежде всего, **генетический тип** ГП – отложений, путем прибавления слева к индексу возраста определенной буквы, обозначающей их происхождение:

e – элювиальные	p – пролювиальные
d – делювиальные	l – озерные
ed – элювиально-делювиальные	m – морские
c – коллювиальные	g – ледниковые
s – солифлюкционные	lg – озерно-ледниковые
a – аллювиальные	f – флювиогляциальные
	v – эоловые

Например, aQ_1 – аллювиальные отложения нижнечетвертичного звена; pdQ_{III} – пролювиально-делювиальные отложения верхнечетвертичного звена.

Четвертичные, как правило, рыхлые отложения покрывают всю земную поверхность, быстро сменяют друг друга по простираанию и по мощности и отличаются своими свойствами: размерами и окатанностью обломков, их минеральным составом, в зависимости от генезиса разрушенных коренных ГП. Например, элювиальные пески состоят из неокатанных зерен различного состава, а аллювиальные или морские – окатанных зерен преимущественно кварца.

В условных обозначениях после четвертичных отложений показываются цветом и индексом (возраст) **стратифицированные толщи – осадочные, вулканические, вулканогенно-осадочные и метаморфические горные породы**. Их **состав** в условных обозначениях дается через их **название**, например, известняки, доломиты, мрамор – карбонатные породы, опоки и трепел – кремнистые, и/или дополнительно показывается различной штриховкой и крапом (рис. 6.1).

Другой генетический тип горных пород – **магматические интрузивные породы**, которые обычно рассекают стратифицированные толщи, показывается цветом и буквой (табл. 6.1), а также штриховкой (рис. 6.1) в зависимости от их минерального и химического состава, прежде всего, содержания оксида кремния. На рис. 6.1 приведена штриховка наиболее распространенных литологических и петрографических видов горных пород.

Таблица 6.1

Условные обозначения вещественного состава интрузивных пород

Название породы	Буквенное обозначение и чтение	Цвет
Граниты	γ – гамма	Красный
Диориты	δ – дельта	Малиновый
Габбро	v – ни (ню)	Густо-зеленый
Пироксениты	υ – ипсилон	Фиолетовый
Перидотиты, дуниты	σ – сигма	То же
Сиениты	ξ – кси	Бледно-оранжевый
Фельдшпатоидные сиениты	η – эта	Темно-оранжевый

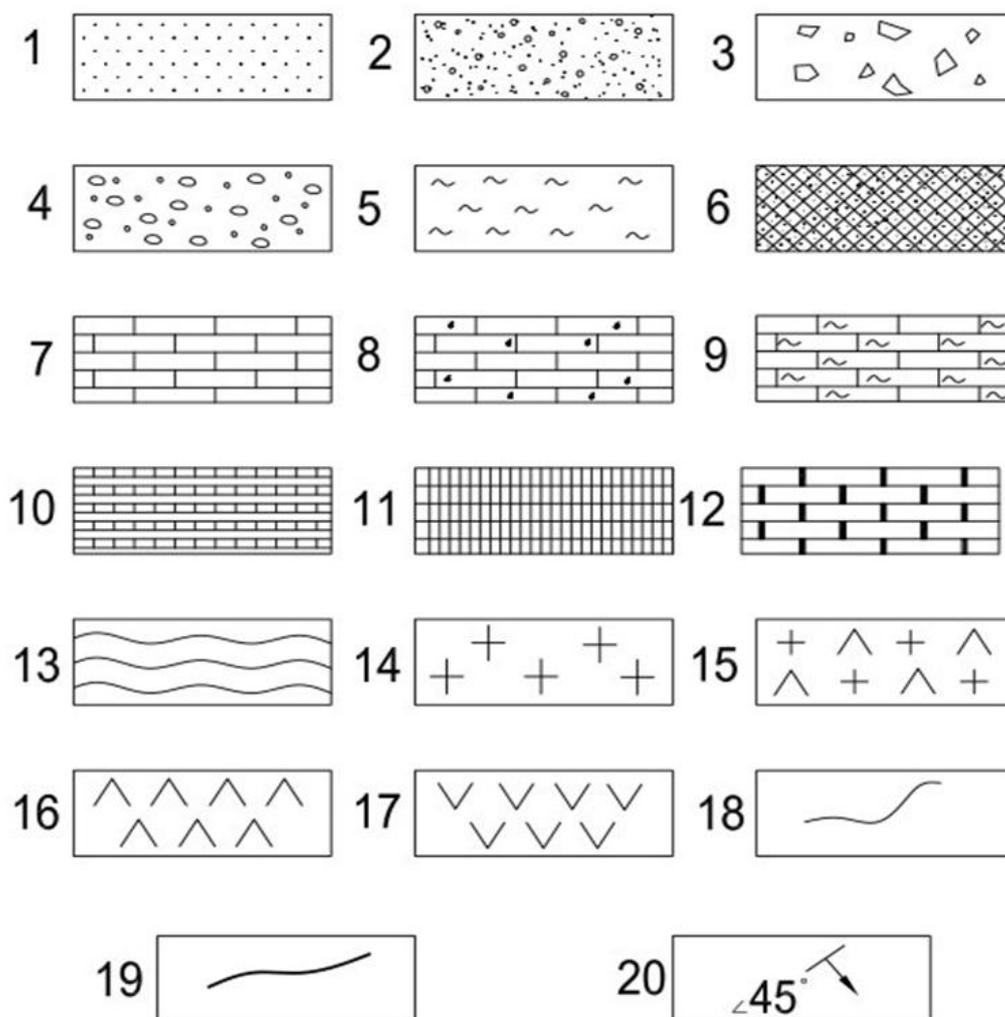


Рис. 6.1. Условные обозначения: 1 – песок, 2 – гравиино-песчаные отложения, 3 – щебень, дресва, 4 – галька, 5 – глины, 6 – песчаники, 7 – известняки, 8 – известняк брахиоподовый или органогенный, 9 – мергели, 10– трепел, 11 – опоки, 12 – мрамор, 13 – сланцы, хлоритовые, 14 – гранит, 15 – грано-диорит, 16 – диорит, 17 – габбро, 18 – контакты стратиграфические наблюдаемые (достоверные), 19 – контакты тектонические, 20 – элементы залегания слоистости с указанием угла падения

6.1.3. Прочие условные обозначения

К прочим условным обозначениям относятся, прежде всего, геологические границы – границы между горными породами разного возраста, состава – названия (или, как иногда пишут и говорят, геологическими стратиграфическими, интрузивными и метаморфическими образованиями). Они показываются тонкой черной сплошной линией (достоверные), пунктирной линией (предполагаемые) и пунктирной линией с точками (под кровом более молодых образований).

Разрывные нарушения – разломы, показываются черной жирной линией (достоверные), штриховой (предполагаемые) и пунктирной линией с точками (скрытые под более молодыми образованиями). Различные по геологической значимости (размерам) разрывные нарушения обозначаются линиями разной толщины (рис. 6.2). Типы разрывных нарушений показываются при помощи стрелок (сбросы, взбросы, сдвиги), бергштрихов (надвиги) и зубцов (покровы).

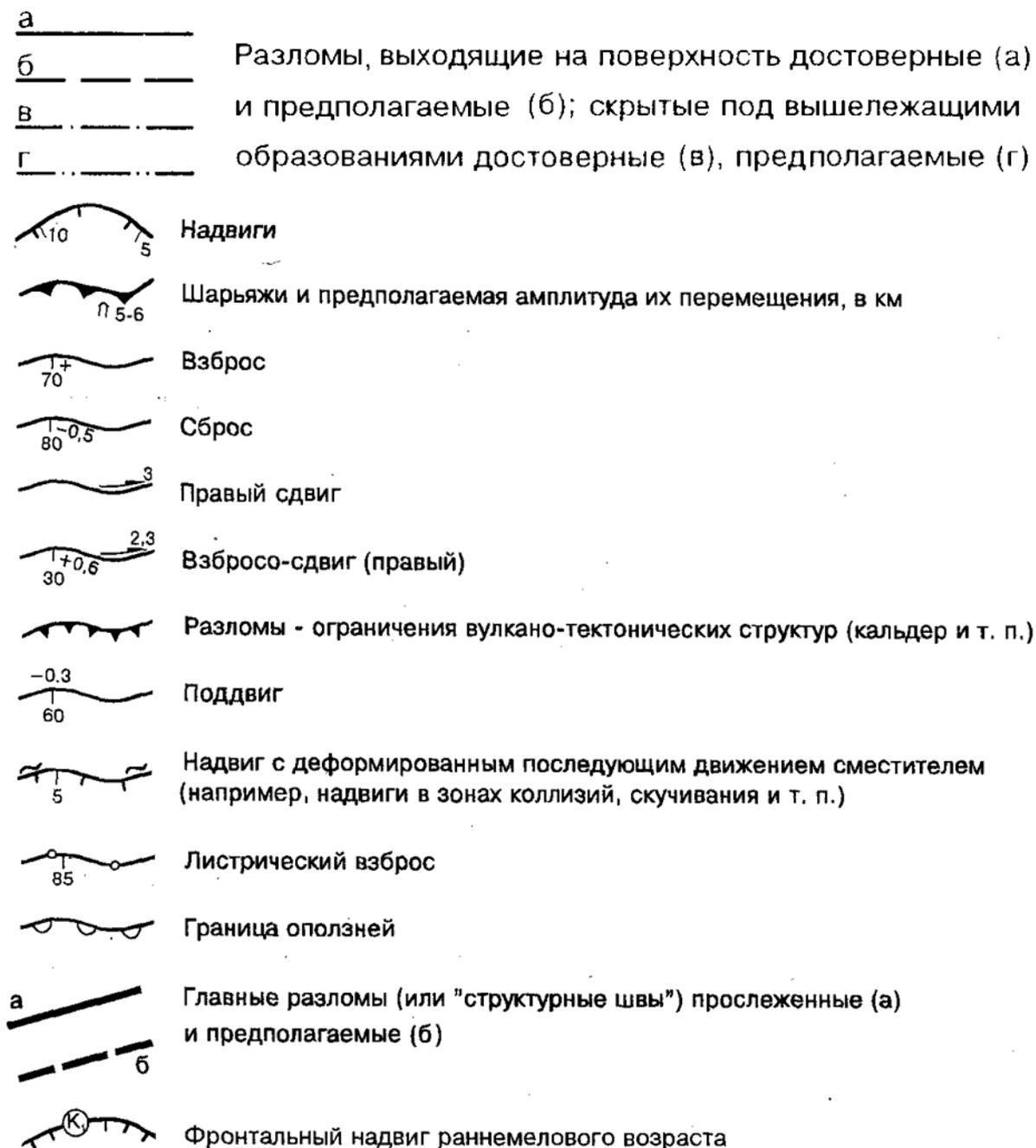


Рис. 6.2. Условные обозначения разломов на геологических картах [10, 11]

Цифрами, расположенными рядом с ними, указывается угол наклона сместителя. Знаками черного цвета показываются также элементы залегания слоев, залегание поверхностей кливажа и сланцеватости и др. (см. рис. 6.1).

На геологическую карту наносятся также места палеонтологических находок и скважин, имеющих важное значение для характеристики геологического строения. Для специальных карт существует система условных знаков, обозначающих обнажения – выходы на земную поверхность горных пород, геологические процессы, гидрогеологические особенности и т. д.

Все условные знаки, использованные на геологической карте, должны строго соответствовать условным обозначениям (легенде), которые помещаются справа от карты. Они располагаются в следующем порядке (сверху вниз, от первых к последующим):

- стратиграфические подразделения: осадочные, вулканогенные и метаморфогенные горные породы, начиная с более молодых и заканчивая самыми древними, затем обозначения интрузивных и жильных пород, также начиная с более молодых;

- знаки геологических границ и маркирующих горизонтов;

- крапы (или штриховка) вещественного состава пород (иногда показываются вместе с возрастом);

- все прочие обозначения, изображенные на карте условными знаками.

В тексте условных обозначений не допускается сокращений слов.

6.3. Залегание горных пород и его изображение на картах

На собственно геологических картах обычно изображаются стратифицированные слоистые толщи горных пород, которые залегают вблизи поверхности и входят в состав «осадочной» оболочки земной коры. Магматические интрузивные породы рассекают, как правило, первые и редко залегают на земной поверхности за исключением складчатых областей и щитов древних платформ. Стратифицированные слоистые толщи могут иметь **первичное или вторичное залегание.**

Первичное залегание характеризуется почти горизонтальным расположением слоев стратифицированных толщ пород без каких-либо заметных наклонов – не более 1–30. Слоем называется более или менее однородный, первично обособленный твердый осадок (горная порода), ограниченный поверхностями наслоения. Иногда термин «слой» употребляется как синоним термина «пласт». Под термином «пласт» зачастую понимают тело, имеющее плоскую форму и мощность, которая во много раз меньше размеров площади его распространения, а также представленное каким-либо полезным ископаемым, например, пласт угля или известняка. Поверхности, разграничивающие слои, обычно бывают неровными и носят название поверхностей наслоения. Верхняя граница слоев (пластов) назы-

ваются **кровлей** слоя, а нижняя — **подошвой** (рис. 6.3). Расстояние между кровлей и подошвой слоя по перпендикуляру характеризует его **мощность**. На земной поверхности очень редко удается измерить непосредственно в обнажении истинную мощность слоев. Чаще мы наблюдаем видимую мощность или ширину выхода слоя на поверхности, а **истинную мощность** приходится вычислять как разность отметок его кровли и подошвы. При горизонтальном залегании и выровненном рельефе земной поверхности для определения мощности пород проходятся выработки или бурятся скважины. При изучении данных буровых скважин горизонтальное положение слоев определяется по совпадению высот определенной (одной и той же) границы между слоями не менее чем в трех вертикальных скважинах.

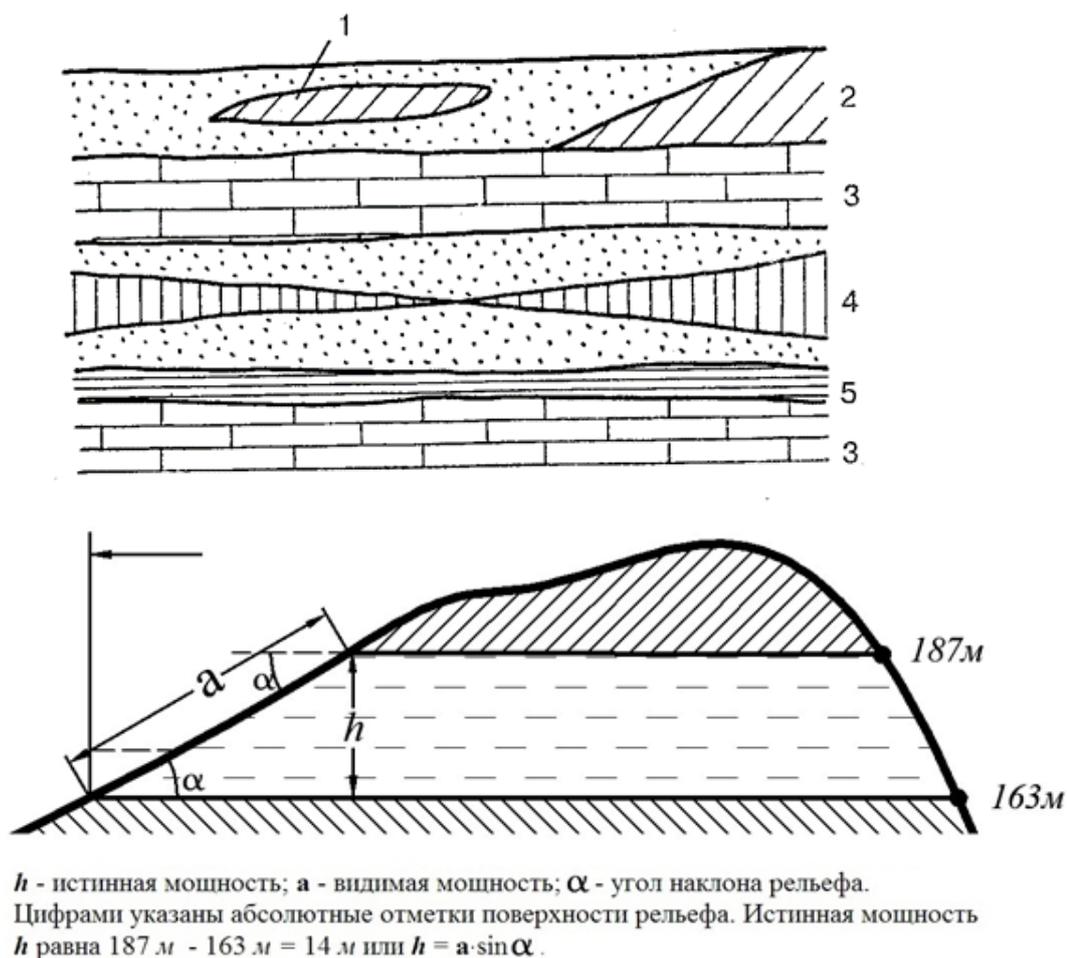


Рис. 6.3. Первичные формы залегания осадочных горных пород:
 1 – линза, 2 – фациальный переход, 3 – пласт, 4 – выклинивание,
 5 – прослой, и элементы горизонтально залегающего слоя

На геологической карте с рельефом, изображенным с помощью горизонталей, **границы** между горизонтально залегающими слоями располагаются **параллельно горизонталям** рельефа, не пересекая их: либо между ними, либо совпадают с ними. При горизонтальном залегании слоистых

толщ каждый нижележащий слой является более древним, чем перекрывающий его, поэтому в пониженных участках рельефа залегают более древние, а на возвышенностях (водоразделах) – наиболее молодые горные породы (рис. 6.4).

При чтении геологических карт, на топографической основе которых изогипсы (горизонтали) отсутствуют, горизонтальное залегание устанавливается лишь предположительно. При значительно выровненном рельефе на карте мы увидим лишь **один самый верхний молодой слой горных пород** даже при небольшой его мощности, поэтому почти вся карта будет покрашена одним цветом (соответствующего возраста пород) или одной штриховкой (соответствующего состава пород).

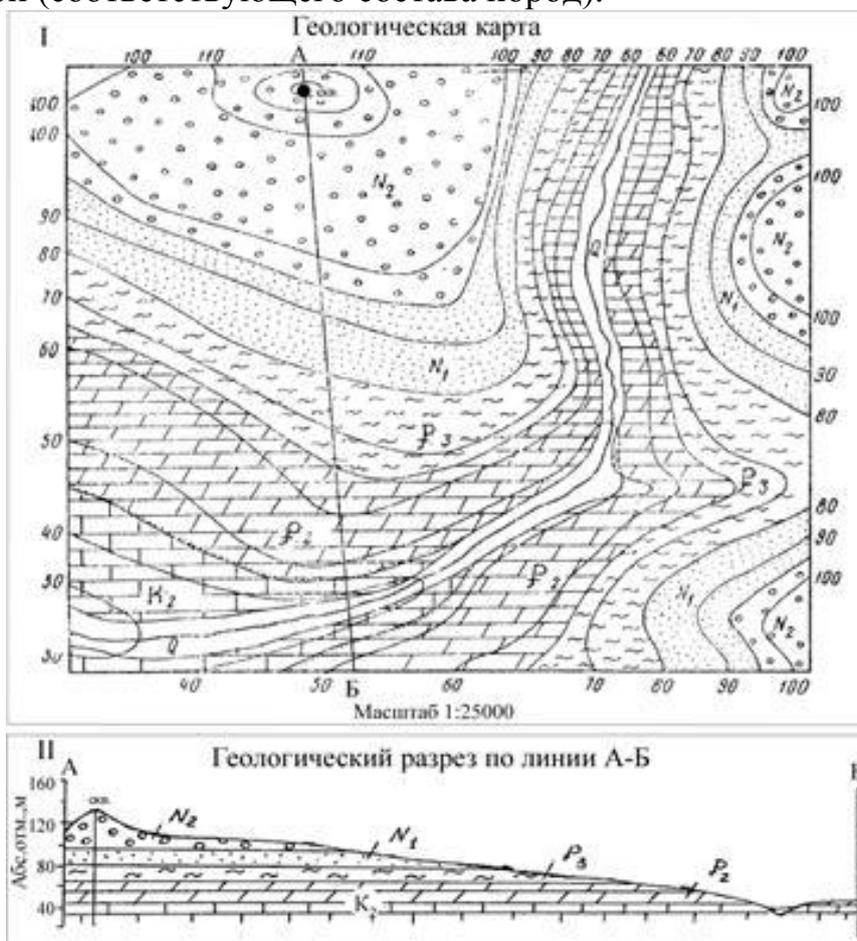


Рис. 6.4. Фрагмент геологической карты и разреза с горизонтальным залеганием горных пород [9, 10]

Вторичное залегание горных пород возникает за счет тектонических, прежде всего, горизонтальных движений земной коры и литосферных плит и наиболее ярко проявляется у слоистых осадочных горных пород, которые меняют **форму (или условия) залегания**. Вторичное залегание выражается в виде **складок** – волнообразных изгибов слоев, или **разрыве** (разломе) – нарушении сплошности горных пород. Простейшим видом тектонических нарушений является **наклонное или моноклиналиное залегание**

ние слоев, которые в пределах некоторого участка наклонены строго в одну сторону и имеют постоянный угол наклона (рис. 6.5). Если такое залегание наблюдается на значительном протяжении, то говорят о моноклинали, или моноклиальной структуре, т. е. выделяют его в самостоятельную тектоническую структуру. Моноклиальное залегание характерно для меловых и палеогеновых отложений Северного Кавказа, где слои наклонены на север-северо-восток с углами падения до 30° и более. При моноклиальном залегании для определения положения слоев в пространстве определяются и описываются элементы залегания слоя: азимут линии простирания, азимут линии падения и угол падения [2, 10, 11].

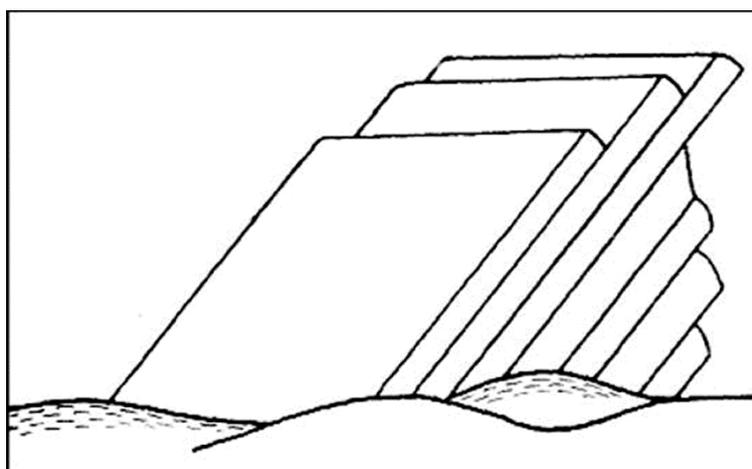


Рис. 6.5. Схема моноклиального (наклонного) залегания пласта [9, 10]

Моноклиальное залегание горных пород определяется на геологической карте по серии параллельных полос – слоев горных пород, возраст которых изменяется от молодых к древним. При нормальном неперевернутом залегании наклон слоев направлен в сторону молодых пород, которые «лежат» на более древних (рис. 6.6).



Рис. 6.6. Пример фрагмента геологической картосхемы территории с примерно горизонтальной поверхностью рельефа и моноклиальным залеганием горных пород [17]

Складки представляют собой волнообразные изгибы слоев осадочных, вулканогенных и метаморфических пород, образующиеся при пластических деформациях. Изгибы слоев выпуклостью вверх с залеганием в центральной их части более древних пород называются **антиклиналями**, а изгибы слоев выпуклостью вниз с залеганием в центральной их части более молодых пород – **синклиналями** (рис. 6.7, 6.8).

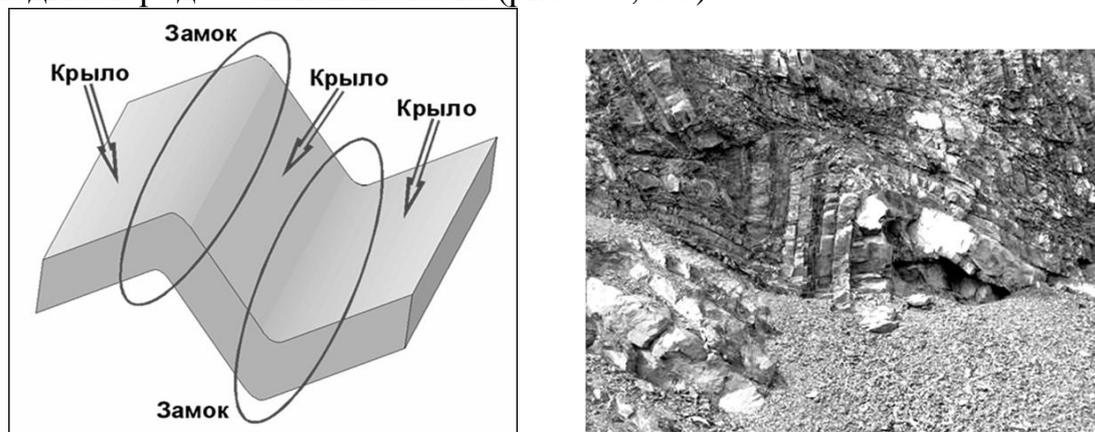
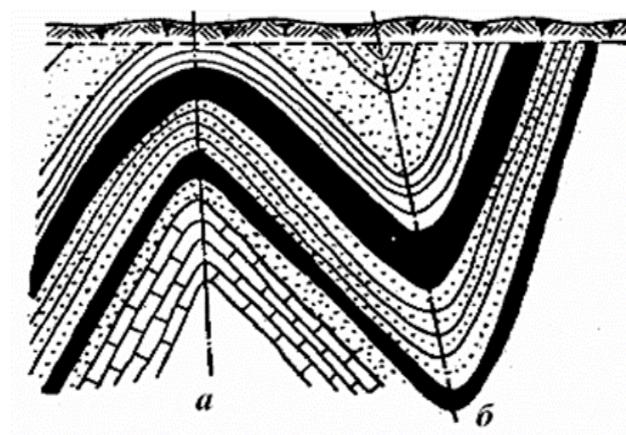


Рис. 6.7. Основные элементы антиклинальной и синклинальной складок: замок и крылья (а – на схеме, б – в обнажении нижекарбоновых (каменноугольных) горных пород на Южном Урале), <http://www.geol.msu.ru/>



Геологический разрез:
а – антиклинальная складка; б – синклинальная складка

Рис. 6.8. Складчатое залегание горных пород в разрезе на выровненном (разрушенном – денудированном) участке земной коры [9, 10]

Основным признаком складчатого залегания слоев на геологической карте является симметрично повторяющееся расположение полос (слоев) горных пород относительно центральной непарной полосы или участка,

соответствующего внутренней части складки, представляющей ядро структуры. **Антиклинальные складки** на геологической карте узнаются по симметричному расположению полос более молодых пород по отношению к центральному более древнему непарному участку, представляющему ядро складки.

Синклинальные складки в плане определяются по центральному непарному участку (ядру складки), сложенному более молодыми породами, чем симметрично и последовательно располагающиеся по отношению к нему участки более древних пород (рис. 6.9). При горизонтальном рельефе участка (местности) границы слоев прямые или плавные кривые, у небольших складок замкнутые кривые. При расчлененном рельефе границы слоев искривляются в соответствии с элементами рельефа и с падением слоев.

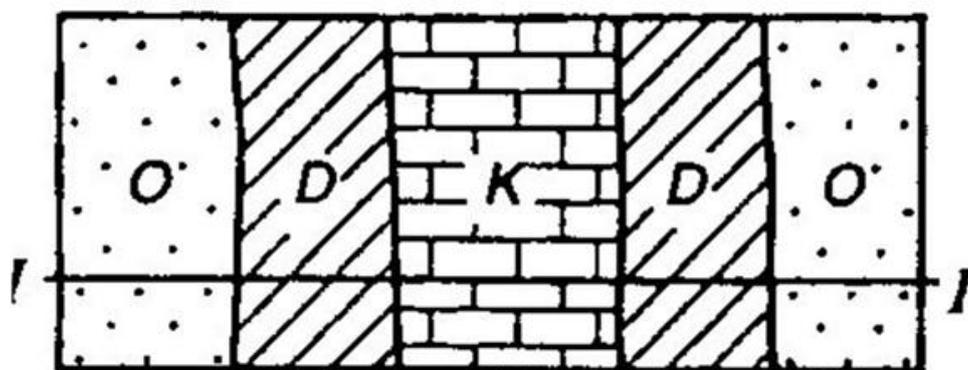


Рис. 6.9. Пример фрагмента геологической карты-схемы территории с примерно горизонтальной поверхностью рельефа и складчатым (синклинальным) залеганием горных пород [17]

Кроме геометрических элементов залегания слоев в стратиграфии обращают внимание на возрастную последовательность залегания горных пород и выделяют согласное и несогласное залегания, рассмотренное нами в 4-й лекции. **При согласном залегании** породы лежат друг на друге от древних к молодым без перерыва в соответствии с подразделениями геологической таблицы и **накапливались преимущественно в океанах и морях**. При параллельном несогласии между отдельными слоями пород отсутствуют отложения какого-то возраста, то есть породы лежат со **стратиграфическим перерывом**. Он свидетельствует о **смене палеогеографических условий**: опускании данного участка и накоплении в водоеме отложений определенного возраста, поднятии данного участка и отсутствии отложений на суше в определенное время, и т.д. (рис. 6.10). При угловом несогласии перекрывающие пачки отложений имеют угол наклона, который отличается от угла наклона подстилающей (нижней) пачки горных пород.

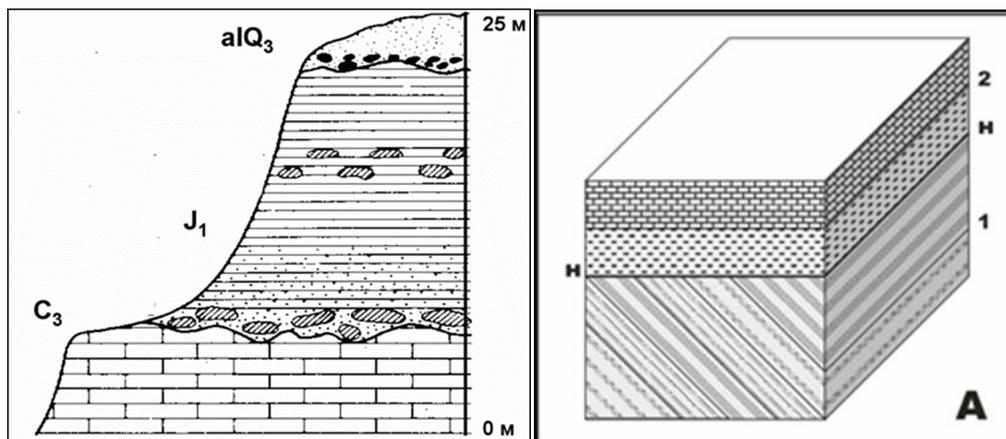


Рис. 6.10. Параллельное несогласие горных пород верхнего карбона и нижней юры в Подмоскowie (Б) и схема углового несогласия (А)

Таким образом, для определения залегания горных пород на анализируемой территории по карте необходимо четко себе представлять, как выглядят на карте слои пород при определенном залегании: горизонтальном, складчатом или разрывном. Прочитав по карте с легендой возраст, состав (название) и залегание горных пород, можно судить о **геологическом строении участка земной коры – района и истории геологического развития**. По названию слагающих участок ЗК горных пород, их генезису можно сделать однозначный вывод об условиях их возникновения: осадочный, магматический или метаморфический процессы; по возрасту ГП – когда они образовались – это в какие эру, период, эпоху, и абсолютный возраст; по залеганию: первичное, согласное или со стратиграфическим перерывом – накапливались осадочные ГП преимущественно за счет вертикальных колебательных движений, или вторичное, складчатое, разрывное или с угловым несогласием - возникли в условиях интенсивных горизонтальных движений, в том числе землетрясений, в условиях смены вертикальных поднятий и опусканий. В целом, на картах содержится вся информация и по геологическому строению, и по развитию. Только надо знать основы геологии.

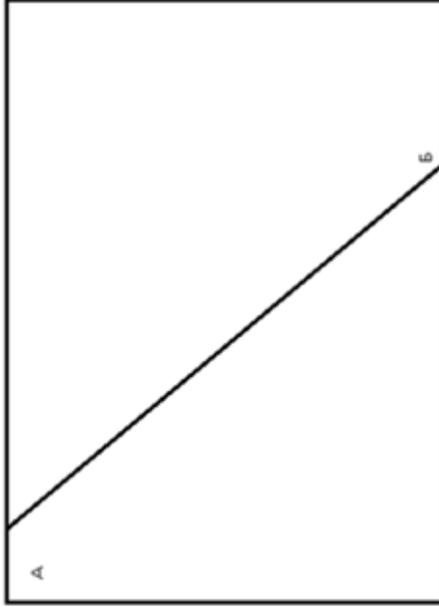
На картах четвертичных отложений распространение горных пород – отложений различного генезиса связано с определенными геоморфологическими элементами. Аллювиальные отложения слагают поймы и террасы рек, элювиальные – встречаются на водоразделах, делювиальные – у подножия и на склонах возвышенностей, пролювиальные – образуют конусы выноса у подножия склонов, гляциальные – залегают в долинах молодых ледников, лимнические – по берегам и террасам озер и т.п.

Геологические карты в соответствии с инструкциями имеют определенное, так называемое, зарамочное оформление. Оно включает в себя следующие элементы: заголовок, год составления карты, авторов, сведения о масштабе, условные обозначения, стратиграфическую колонку, геологические разрезы (рис. 6.11). Перечисленные вопросы и понятия будут изучены на практических занятиях.

Геологическая карта
западной части Челябинска

Масштаб 1:200 000

1987г



Условные обозначения



Стратиграфическая колонка

Система	Отдел	Ярус	Индекс	Мощность, м	характеристика пород

1:200 000

В 1 см - 2 км



Разрез по линии А-Б



Масштабы: горизонтальный м
вертикальный 1: 200 000

Рис. 6.11. Пример зарамочного оформления геологических карт [9, 10]

К геологическим картам составляются, как правило, пояснительные записки, в которых кроме вышеописанных данных приводится информация об истории изучения района и об исследователях-геологах, о распространении горных пород в разных частях и структурах района, о каких-либо особенностях горных пород и т.п.

Контрольные вопросы по лекции 6

1. Дайте определение понятия «геологическая карта», общее и конкретное (собственно геологическая).
2. Какие признаки (характеристики) горных пород показываются на собственно геологических картах? Каким образом?
3. Какие признаки (характеристики) показываются на собственно инженерно-геологических картах, каким образом?
4. Горные породы какого возраста (какой системы и отделов) покрывают почти всю земную поверхность? В какой части геохронологической таблицы они показываются (располагаются) и какими условными знаками?
5. Как показывается генезис четвертичных отложений на картах и разрезах? Приведите примеры.
6. Что понимают под названием «геологическая граница»? Как геологические границы показываются на картах и разрезах?
7. Какое залегание пород называется согласным? О чем оно свидетельствует?
8. Что такое стратиграфическое несогласие? О чем оно свидетельствует?
9. Как показываются разломы на картах и разрезах? Как определить вид разлома? Приведите примеры.
10. Что показывается в стратиграфической колонке? Зачем она составляется?
11. Как определить возраст образования складчатости или разрыва? Приведите примеры.
12. Как определить складки на геологических картах? Чем отличаются друг от друга моноклиналиное залегание, антиклиналь и синклинали?
13. Что такое тектонические карты и что показывается на картах континентов и отдельных участков земной коры?

Лекция 7. ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЛИТОСФЕРЫ

Рассмотренные выше формы залегания горных пород – геологических тел: первичные приобретенные в процессе их образования (например, накопление осадков в виде горизонтально залегающих слоев) и вторичные – за счет последующих деформаций – складчатых и разрывных нарушений, образовались в результате **движений земной коры и литосферы**. Механические перемещения вещества и блоков земной коры и литосферы, вызывающие изменения формы геологических тел и смещение одних тел по отношению к другим называют просто **тектоническими движениями**. Они происходят в земной коре постоянно, но на разных ее участках с разной направленностью и скоростью. Как правило, невидимые на глаз и зарождающиеся в недрах Земли тектонические движения, за исключением землетрясений, достаточно сложно изучать. Они относятся к **эндогенным процессам** и с ними тесно взаимосвязаны ранее изученные процессы магматизма и метаморфизма. Существуют различные их классификации: по **направленности** и условиям зарождения, типу проявления и результатам, по скорости и **времени** проявления. Они дополняют друг друга, акцентируя внимание на определенный ведущий классификационный критерий.

7.1. Классификация тектонических движений

7.1.1. Классификация тектонических движений по времени их проявления

По времени проявления тектонические движения делятся на современные, новейшие и древние. **Древние донеогеновые** (происходившие ~ более 25 млн лет назад) и **новейшие или неоген-четвертичные** (протекавшие в течение последних ~ 25 млн лет) движения и связанные с ними процессы «законсервированы» в горных породах, их формах залегания, фациях и формациях, геологических структурах земной коры и литосферы. Эти движения восстанавливаются на основе использования комплекса различных геологических методов и дисциплин. Кроме того, результатом новейших движений являются **современные формы рельефа** (все неровности и гипсометрические особенности земной поверхности). Геоморфологический метод является основным для изучения новейших движений. Чтобы понять, как могли сформироваться те или иные формы залегания геологических тел или ГП или формы рельефа, в геологии используют ретроспективные реконструкции и такие методы, как эксперимент, актуализма и сравнительно-исторический. Метод актуализма можно использовать только с учетом современных движений и образующихся при этом форм геологических тел, и структур, допуская, что и в прежние геологические времена действовали подобные силы и процессы. На примере **совре-**

менных ТД – движений, которые происходили на памяти человечества последние примерно 10 тыс. лет, рассмотрим их классификацию по направленности и результатам, а также наиболее важные их свойства.

7.1.2. Классификация тектонических движений по направленности

К **современным тектоническим движениям** относятся движения, проявившиеся в течение истории человечества (восстанавливаются с помощью геоархеологических методов) и фиксируемые непосредственными наблюдениями в настоящее время с помощью инструментальных методов (повторного нивелирования, сверхточных измерений со спутников). В настоящее время ученые тектонисты выделяют, прежде всего, по **направленности вертикальные и горизонтальные движения**. На протяжении XX-го века, когда еще не было современных методов, в частности глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), тектонические движения подразделялись в зависимости от их **результатов на колебательные (эпейрогенические) и дислокационные (орогенические) движения** [2, 4, 6, 16].

Вертикальные (радиальные) движения выражаются в поднятии (положительные, восходящие движения) или опускании (отрицательные, нисходящие движения) земной поверхности относительно уровня Мирового океана. Скорость их может быть иногда быстрой (катастрофической), чаще медленной (до 14 мм/год), незаметной для глаза. Из-за смены направленности (поднятие какого-либо участка земной коры сменяется опусканием или наоборот) движения имеют **колебательный и обратимый характер**, за счет чего их еще называют **колебательные**. Вертикальные движения характеризуются **важнейшими свойствами** – универсальны в пространстве и во времени, поскольку проявляются всегда и во всех частях земного шара; не нарушают первичного почти горизонтального залегания слоистых толщ, а также прочности и долговечности инженерных сооружений. На памяти человечества сохранились архитектурные и археологические памятники, которые свидетельствуют о смене направленности и скорости движения.

Особый интерес представляют современные колебательные движения для строителей, поскольку их необходимо учитывать при строительстве гидротехнических сооружений, коммуникаций и т.п. Например, опускание района Черноморского побережья приводит к интенсивному размыванию берегов волнами моря и образованию крупных оползней, поэтому берега активно закрепляются с использованием различных методов технической мелиорации.

Установлено, например, что за время с 1920 по 1940 гг. Донецкий бассейн поднимался относительно г. Ростова-на-Дону со скоростью 6...10 мм/год, а Среднерусская возвышенность – до 2 см/год. Средние скорости современ-

ных опусканий в Азово-Кубанской впадине составляют 3...5, а в Терской впадине до 7 мм/год. В России поднимаются районы г. Курска (3,6 мм/год), Новая земля, Северный Прикаспий. Ряд участков европейской территории продолжают погружаться: г. Москва (3,7 мм/год), г. Санкт-Петербург (3,6 мм/год). За счет опускания западного побережья Африки устье реки Конго оказалось на дне океана и прослеживается до глубины 2000 м на расстоянии 130 км от берега. Приведенные примеры показывают, что длительные в течение 100 000...1 000 000 лет опускания ведут к наступанию моря на сушу (этот процесс называется **трансгрессия**) и как следствие **накоплению морских фаций пород**. Наоборот, длительные поднятия – к отступанию моря от суши – накопление на суше континентальных фаций. Подобные вертикальные колебательные движения сохранялись на отдельных участках земной коры на протяжении сотен миллионов лет, в результате сформировался **осадочный чехол на платформах** [1, 8]. В начале XX в. советский выдающийся геолог А.П. Карпинский назвал такие движения **колебательными**; в западной литературе использовался термин «эпейрогенические», т.е. движения, образующие чехол горизонтально лежащих пород или «платформобразующие».

Горизонтальные (тангенциальные) движения – перемещения блоков земной коры и литосферы относительно системы географических координат. Направления и величина этих движений устанавливаются при повторных триангуляциях, с помощью лазерных дальномеров и помощью регистрации радиосигналов от квазаров (интерферометрии со сверхдлинной базой). Они **превосходят скорости** вертикальных движений; имеют направленный характер, в результате чего суммарная амплитуда за определенный интервал времени достигает значительных величин. Например, за последние 40 лет смещение Памира в сторону Тянь-Шаня происходило со скоростью 2 см/год [7, 16]. Особенно заметные горизонтальные и при этом вертикальные смещения обнаруживаются при крупных землетрясениях и измеряются метрами.

Наиболее ярко горизонтальные движения проявляются и **фиксируются на границах литосферных плит**, которые в соответствии с концепцией «тектоники плит» (или «новой глобальной тектоники») перемещаются по поверхности астеносферы в результате мантийной конвекции и других предполагаемых механизмов. Литосферные плиты имеют три типа глобальных (или крупномасштабных) границ: дивергентные, конвергентные и трансформные.

Дивергентные границы совпадают с **рифтовыми зонами срединно-океанических хребтов** и некоторых других структур, по которым происходит раздвижение плит (спрединг). Под термином «спрединг» понимается процесс горизонтального расхождения (раздвижения) крупных блоков литосферы в результате океанического рифтогенеза (рифтинга). Рифтогенезом называется процесс образования **рифтов – разломов вида грабенов**

и горстов (рис. 7.1) – в результате реализации растягивающих напряжений, возникающих под действием восходящих конвекционных потоков мантийного вещества и внедрения магматических тел.

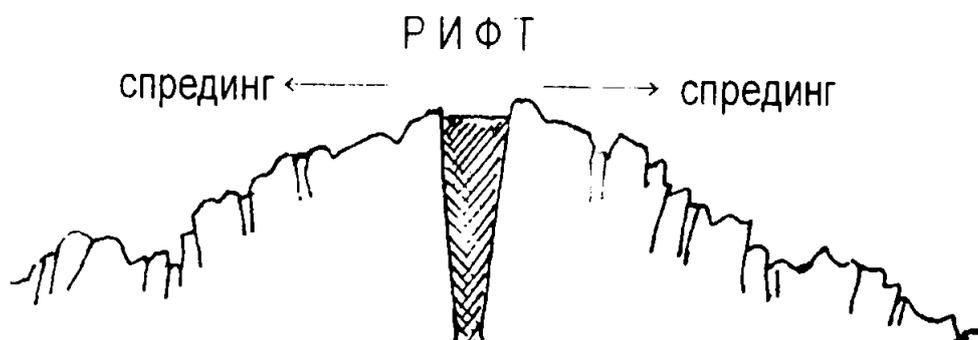


Рис. 7.1. Схема строения рифта и срединно-океанического хребта: высота – 1...3 км; глубина – 2...3 км; ширина – 1000 и более км

Скорость современного спрединга составляет от 1,5 до 15...18 см/год. В результате спрединга формируются **рифты** – крупные линейные структуры горизонтального растяжения земной коры и литосферы, выраженные в их верхних частях грабенообразными впадинами и ограниченными системой разломов сбросового (реже сдвигового) вида. Развитие рифтогенеза начинается с раскола земной коры:

- **континентальный рифт**, возникающий на континентах вследствие концентрации растяжения в узкой полосе, где начинаются деструкция континентальной коры, т.е. уменьшение мощности в ослабленной зоне вплоть до разрыва и раздвига коры (например, структуры оз. Байкал, Восточно-Африканская рифтовая структура, переходящая в Красное море и др.);

- **океанские рифты** или рифтовые зоны **срединно-океанических хребтов** – участки земной коры, где процессы расхождения литосферных плит продолжаются на протяжении более 150 млн лет и выражаются в многочисленных землетрясениях и внедрении основной магмы. В осевой части рифта осадочный слой почти отсутствует или имеет мощность меньше 0,1 ...0,2 км. Под ним залегает слой из базальтов и долеритов, глубже – габбро, серпентинизированные гипербазиты и другие подобные им породы мощностью 4 ...4,5 км. Глубже располагаются уже слои разуплотненной мантии – пластичная астеносфера.

Таким образом, **рифтовые зоны срединно-океанических хребтов** возникают за счет растягивающих сил – напряжений над восходящими конвективными потоками из мантии Земли, отличаются наименьшей (3...5 км) мощностью литосферы, повышенными значениями теплового потока – 3...5, в отдельных случаях до 10 мккал/см² х с, многочисленными мелкофокусными землетрясениями, которые свидетельствуют о непрерывно продолжающейся современной тектонической деятельности.

Конвергентные границы совпадают, в основном, с зонами глубоководных желобов и поднятиями островных дуг (гряд), а также с современными орогенными поясами: Тихоокеанским и Средиземноморским (Альпийско-Гималайским). Сторонники тектоники литосферных плит считают, что по этим границам происходит сближение литосферных плит, сопровождающееся такими процессами как субдукция, обдукция или коллизии.

Субдукция – процесс пододвигания океанической литосферной плиты под континентальную или под другую океаническую плиту, который сопровождается погружением более тяжелой плиты в мантию. Предполагается, что поверхность подвига приблизительно совпадает с зоной концентрации глубоководных землетрясений (сейсмофокальная зона). Эта зона носит также название по имени ученых, которые первыми предположили ее существование, **зона Вадати-Заварицкого-Беньофа**. Подобные зоны выражены глубинными живущими разломами типа надвигов, вдоль которых по земной поверхности тянутся зоны глубоководных желобов и поднятия островных дуг (гряд).

Коллизией называется процесс столкновения двух континентальных литосферных плит с частичным погружением одной плиты под другую, деформацией литосферы, ее утолщением и «скупиванием». Эти процессы являются наиболее характерными для современного Средиземноморского орогенного пояса. Они выражаются также в подвижках по зонам глубинных разломов или в образовании новых разломов, проявляющихся зачастую в виде землетрясений, а также в вулканических извержениях.

Таким образом, наиболее ярко и энергично горизонтальные движения проявляются на границах литосферных плит. В результате происходят глубоководные сильные землетрясения и извержения вулканов, возникают сначала **складки** и затем **разломы разных видов и типов**, которые имеют и вертикальную составляющую движений. В целом, **горизонтальные и вертикальные движения взаимосвязаны**: глобальные крупномасштабные горизонтальные движения ведут к усилению вертикальных региональных и местных движений. При этом скорость и амплитуда вертикальных движений снижаются в направлении удаления от границ литосферных плит.

7.2. Деформации горных пород: пликативные (складчатые) и дизъюнктивные (разрывные)

Как написано выше, **горизонтальные движения нарушают первичное залегание горных пород** и фиксируются в образовании глубинных разломов, смятии слоистых горных пород в складки и возникновении вулканических пород. Вспомним и рассмотрим еще раз вторичные формы залегания.

Складчатыми (пликативными) деформациями называются изменения формы геологических тел, приводящие к возникновению изгибов горных пород без нарушения их сплошности, т.е. **без разрыва сплошности** слоев.

В результате таких деформаций образуются волнообразные изгибы слоев – складки (рис. 7.2), и флексуры. Среди складок выделяют: антиклинальные (антиклиналь) и синклинали (синклинали).

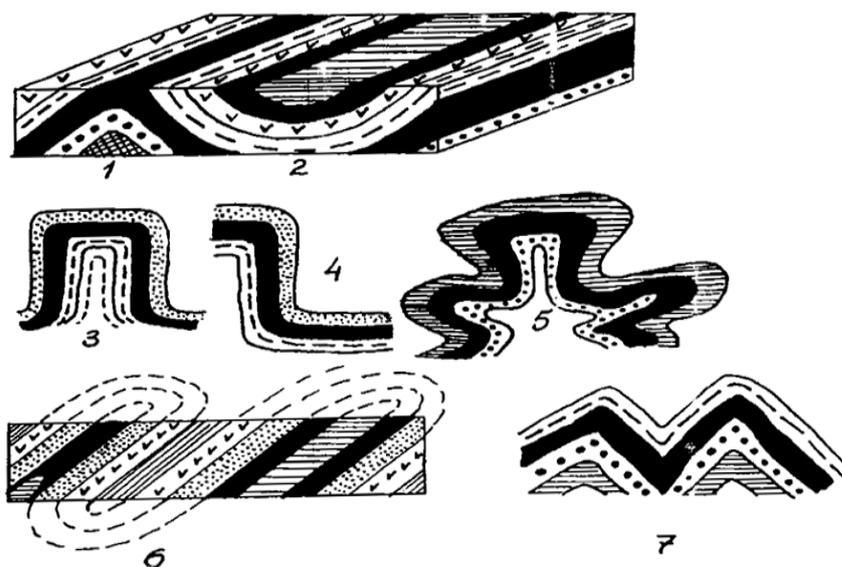


Рис. 7.2. Складчатые деформации: 1 – антиклиналь; 2 – синклинали; в вертикальном разрезе; 3 – сундучная складка; 4 – флексура; 5 – веерообразная складка; 6 – изоклинали; 7 – гребневидная складка

Антиклиналь – складка, обращенная своей вершиной вверх, внутренняя часть которой сложена более древними породами. **Синклинали** имеет вершину, обращенную вниз, ядро из более молодых пород. Синклинали и антиклиналь, сопряженные между собой, образуют полную складку. В любой складке могут быть выделены геометрические элементы, с помощью которых описывается ее морфология. Основными геометрическими элементами складок являются: крылья, ядро, замок, шарнир, угол, осевая поверхность и ось (рис. 7.3). **Крылья** – боковые части складки, в пределах которых слои наклонены в одну сторону с примерно одинаковым углом наклона. Каждая складка, не нарушенная разломами, имеет два крыла, являющихся одновременно крыльями смежных с ней складок. **Замок** – место перегиба слоев, где одно крыло переходит в другое. В антиклиналях замок называют сводом. Примыкающая к замку внутренняя часть складки называется **ядро**. **Угол складки** – угол, образованный мысленно продолженными до их пресечения крыльями складки. **Осевая поверхность (плоскость)** делит угол складки пополам. **Шарнир** – линия, соединяющая точки

максимальных перегибов любого из слоев, образующих складку или линия пересечения осевой поверхности с подошвой или кровлей слоев. Количество шарниров в складке равно количеству ее слоев. Они характеризуют форму складки в продольном (вдоль осевой поверхности) сечении. Ось складки – линия пересечения осевой поверхности с поверхностью Земли, а также проекция этой линии на плоскость карты. Длина складки измеряется вдоль ее оси от одного замыкания до другого, ограниченное контуром конкретного слоя. Расстояние между осями двух соседних складок называется ее **шириной**. Ширина измеряется по границе того же слоя, что и длина. **Высота складки** – расстояние по вертикали между замками смежных складок, замеренное по одному слою.

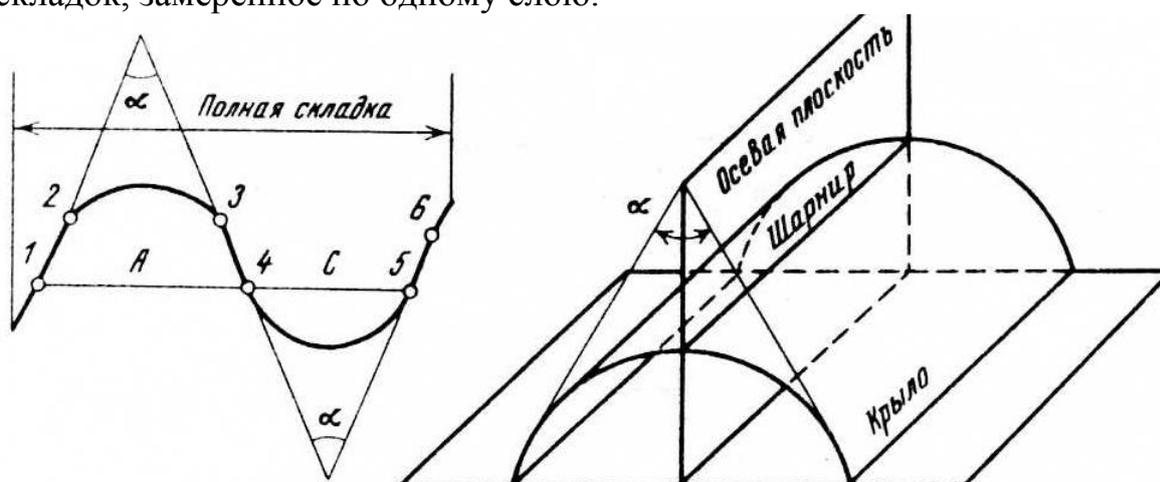


Рис. 7.3. Геометрические элементы складок: 1-2, 3-4, 5-6 – крылья складок; 2-3, 4-5 – замки соответственно антиклинали и синклинали; α – угол складки [10, 11]

Формы складок очень многообразны, их классификация основана на различных признаках (рис. 7.4). **Классификация по форме замка и соотношению между крыльями** (позиция I): соответственно нормальные, круглые и острые, сундучные (в), веерообразные и изоклиналильные (д) складки. **Классификация по положению осевой плоскости** (позиция II): прямые (а), наклонные (б), опрокинутые (в), лежащие (г) и перевернутые (д) складки. **Классификация по соотношению основных размеров** (позиция III): линейные (сильно вытянутые), брахискладки (укороченные) и купола. У брахискладок длина больше ширины в 2...5 раз. Купола – антиклинальные складки, имеющие изомерные очертания. Синклиналильные аналоги куполов называются мульдами. Своеобразным видом куполов являются диапировые складки (купола с ядром протыкания). Они образуются, когда высокопластичные породы (соли, глины, гипсы) выдавливаются вверх, формируя ядро. Брахискладки, купола, мульды больше характерны для платформ. Они обычно изолированы друг от друга, и образуют складчатость прерывистого типа.

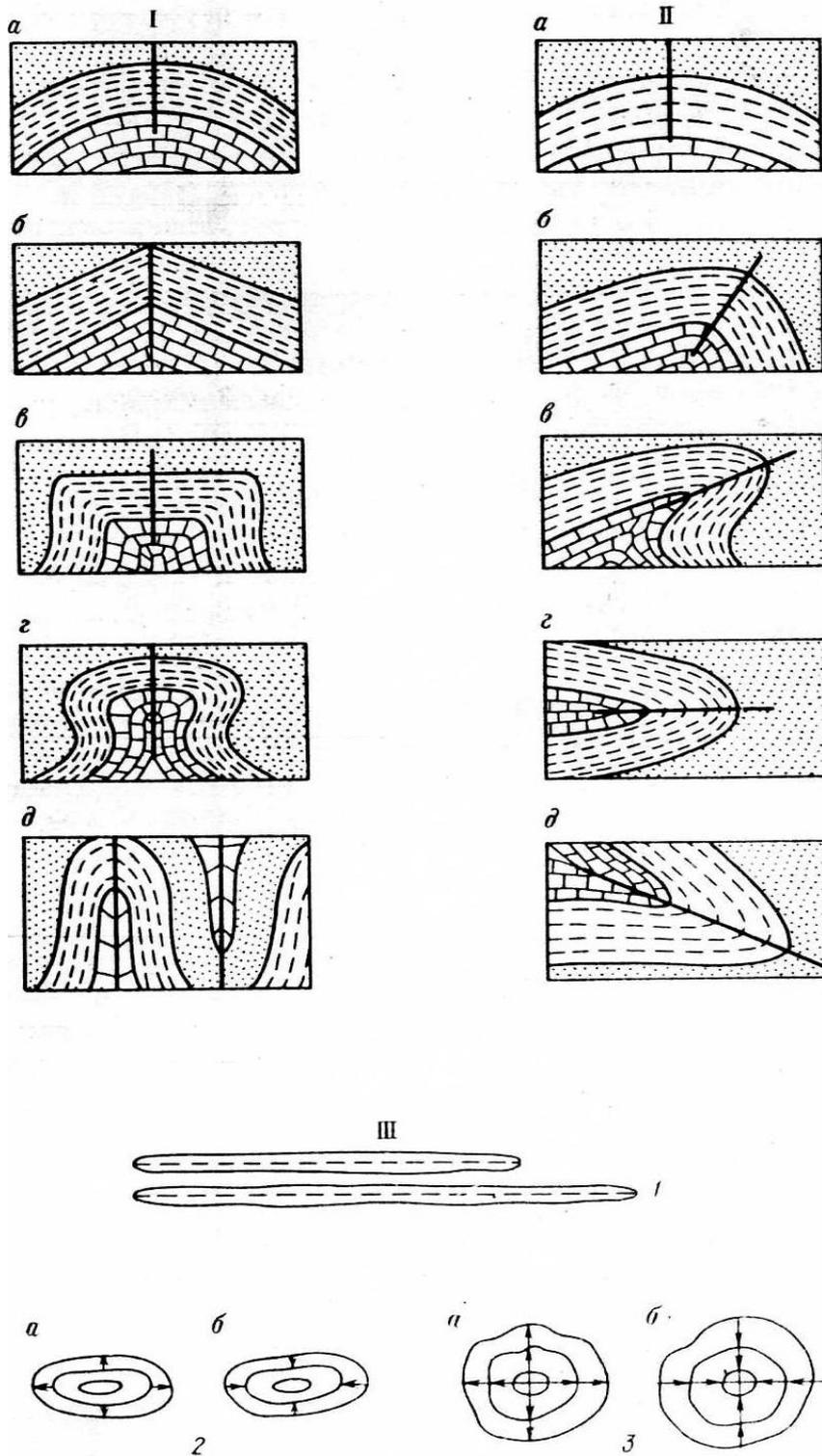


Рис. 7.4. Морфологические типы складок в разрезе: I – в зависимости от расположения крыльев; II – в зависимости от расположения осевой поверхности; в плане по соотношению длины и ширины складок; III – в зависимости от соотношения основных размеров: 1 – линейные, 2 – брахискладки, 3 – изомерные. Стрелками показано падение крыльев складки [6, 9, 10]

Совокупность складок, проявляющуюся в определенных участках земной коры сформированных преимущественно за счет горизонтальных движений, называют складчатостью. Складчатость линейного типа проявляется обычно в пределах горно-складчатых сооружений, и охватывают их целиком. Отдельные антиклинальные и синклиналильные складки группируются в более сложные структуры – антиклинории и синклинории (рис. 7.5).

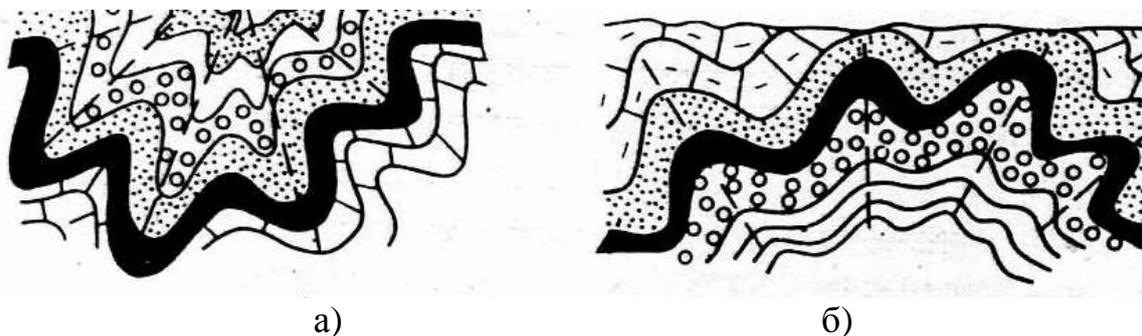


Рис. 7.5. Сложные структуры складчатости:
а – синклинории; б – антиклинории

В земной коре из-за многих геологических процессов может сохраниться или обнажиться лишь одно крыло складки, в виде моноклинали – самая простая форма нарушения залегания пород, выражается в наклоне всех слоев в одну сторону. Флексура – уступообразные и коленоподобные изгибы слоев в пологонаклоненных толщах или на крыльях крупных складок. Они широко распространены в осадочном чехле платформ, где их длина может достигать десятков километров. В складчатых областях они имеют меньшую протяженность и более крутые крылья.

Рассматривая складчатые деформации, следует помнить и понимать, что они могли формироваться только в условиях действия сил сжатия или вдавливания чего-либо (внедрения магм и т.п.).

Разрывными (дизъюнктивными) деформациями называют тектонические нарушения тел горных пород, приводящие к разрывам их сплошности. Синонимами термина «разрывные деформации» являются «разрывы», «разрывные нарушения», «дизъюнктивные дислокации». Разрывные нарушения могут быть без смещения соседних блоков или с незначительным смещением (**трещины**) и разрывы со значительным заметным смещением (**разломы**). У разрывного нарушения выделяются элементы: **сместитель (поверхность смещения)**, по которому происходит разрыв сплошности; и **блоки (крылья)** – разобщенные части геологических тел, находящиеся по разные стороны от поверхности смещения. При наклонном положении сместителя крыло, расположенное над ним, называется висячим, а расположенное под ним – лежачим. В зависимости от взаиморасположения сместителей и крыльев выделяются различные виды разломов (рис.

7.6), которые формировались в определенных геотектонических обстановках [6, 7, 9, 10].

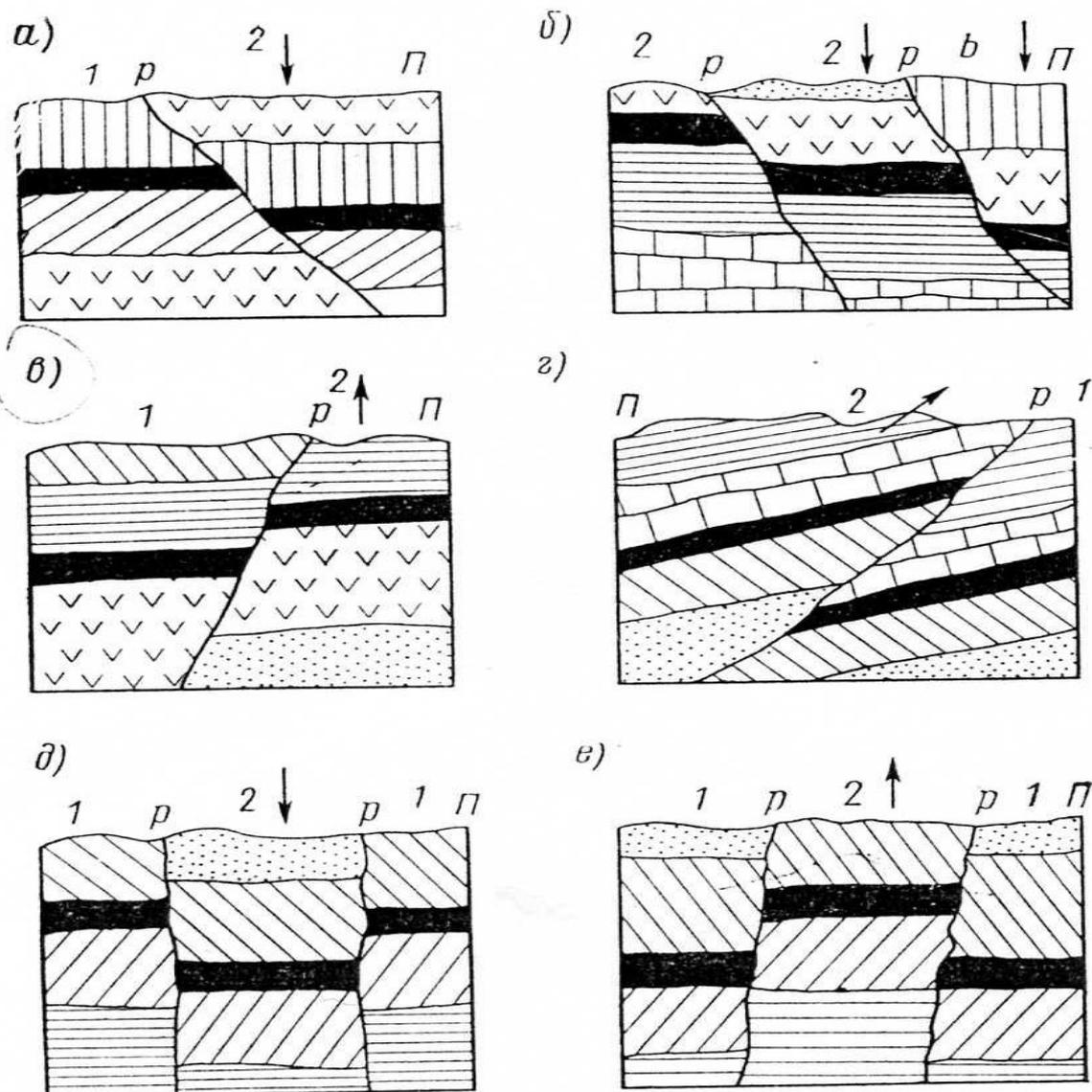


Рис. 7.6. Основные виды разрывных нарушений со смещением (разломов): *a* и *в* – сбросы; *б* – ступенчатый сброс; *г* – надвиг; *д* – грабен; *е* – горст. 1 – неподвижная часть толщи. 2 – смещенная часть толщи. П – поверхность земли. P – разрыв земной коры [9, 10]

Сбросы – разломы, у которых над сместителем располагается опущенное крыло или висячее крыло опущено. Сместитель сбросов часто имеет неровную, с меняющимися углами наклона поверхность. Трещины обычно заполнены раздробленными породами (брекчиями, милонитами и др.), на притертых участках наблюдаются **зеркала** и **бороздки скольжения**. Величина перемещения характеризуется амплитудой сброса h , изменяющаяся от нескольких см до многих сотен метров. Иногда на одном участке образуется несколько разрывов, и возникают ступенчатые сбросы. Они об-

разуются в условиях растяжения земной коры и литосферы. При этих же условиях могут формироваться **разви́ги, грабены и горсты**.

Грабен представляет собой сложную линейно вытянутую структуру, состоящую из системы параллельных сбросов или реже взбросов, центральная часть которой является ступенчато опущенной. Они бывают разных размеров: от элементарных – сотни – тысячи метров, до глобальных, выделяемых под названием **рифты, авлакогены, тафрогены**. Опущенные участки, выраженные в рельефе в виде впадин, обычно заполняются водой. Таким путем образовались озеро Байкал, Красное море. Грабен, расположенный сужением вниз носит название **рифт**, а грабен, расположенный сужением вверх носит название **рамп**. В рифтовых зонах наряду с грабенами всегда можно выделить горсты. **Горст** имеет центральную часть, ограниченную сбросом или взбросом и приподнятую по отношению к смежным крыльям – блокам земной коры. Размеры горстов чаще небольшие: протяженность не превышает десятков километров. **Раздви́ги** образуются при раздвигании крыльев трещины в направлениях, перпендикулярных к ее простираю, из-за чего между расходящимися блоками увеличивается зияние (пустота). Редко раздви́ги остаются открытыми, чаще они заполняются магматическими породами с образованием даек.

Взбросы – разломы, у которых всякое крыло поднято (сместитель наклонен в сторону поднятого крыла). Поверхность смещения часто притертая и с зеркалами и бороздками скольжения. Они образуются **в условиях сжатия земной коры**. **Надвиг** отличается от предыдущих разломов пологим наклоном сместителя (обычно менее 45 градусов), тем, что всякий блок поднят и надвинут на лежащий. Они часто образуются совместно с наклоненными или опрокинутыми складками, которые формируются в обстановках интенсивного сжатия. В результате надвига молодые отложения могут быть сверху перекрыты породами более древнего возраста.

Сдвиг – разрывные нарушения, в которых перемещение блоков относительно друг друга происходит в горизонтальном направлении. Они образуются при воздействии на их крылья противоположно направленных сил. Сдвиги бывают локальными, с небольшой амплитудой смещения, и региональные с амплитудой смещения до сотен километров. Перечисленные выше разломы не встречаются в природе в «чистом виде». Из-за разнонаправленных движений возникают «смешанные» разломы типа **сбросо-сдвигов, сдвиго-взбросы** и т.п., а также более крупные геологические структуры. К особому типу разрывных нарушений относятся **глубинные разломы**, пересекающие земную кору и литосферу, углубляющиеся в мантию (до 700 м) и являющиеся зонами подвижного сочленения крупных блоков литосферы. Они представляют собой зоны повышенного теплового потока и повышенной проницаемости, состоящие из совокупности мелких разломов. Разломы характеризуются протяженностью в сотни и тысячи км и активно влияют на особенности осадконакопления, магматизма и метал-

логении. Поэтому некоторые исследователи предлагают относить их к структурным элементам подвижных областей и называть **глубинными швами или сутурами**. Например, Таласско-Ферганский разлом протягивается через весь Тянь-Шань, Главный Уральский разлом – через Урал и др. Наибольший интерес представляют активные разломы, активность которых выражается, прежде всего, в таких явлениях как **землетрясения**.

При изучении **инженерно-геологических условий** строительных площадок необходимо устанавливать пространственное расположение геологических тел, их элементы залегания и дислокации. Определение положения геологических тел в пространстве позволяет решать вопросы глубины, мощности и характера залегания горных пород, дает возможность выбирать тела горных пород в качестве оснований сооружений, оценивать запасы подземных вод и т.д. Наиболее благоприятными инженерно-геологическими условиями обладают площадки, в пределах которых имеется горизонтальное залегание слоев, их большая мощность и однородность состава (рис. 7.7). Сооружение (здание) получает при этом устойчивость. Наличие дислокаций усложняет инженерно-геологические условия строительных площадок, нарушается однородность грунтов оснований сооружений, образуются зоны дробления, снижается прочность грунтов, по трещинам разрывов периодически происходят смещения, циркулируют подземные воды и т.п. Нежелательно располагать сооружения на линиях разломов.

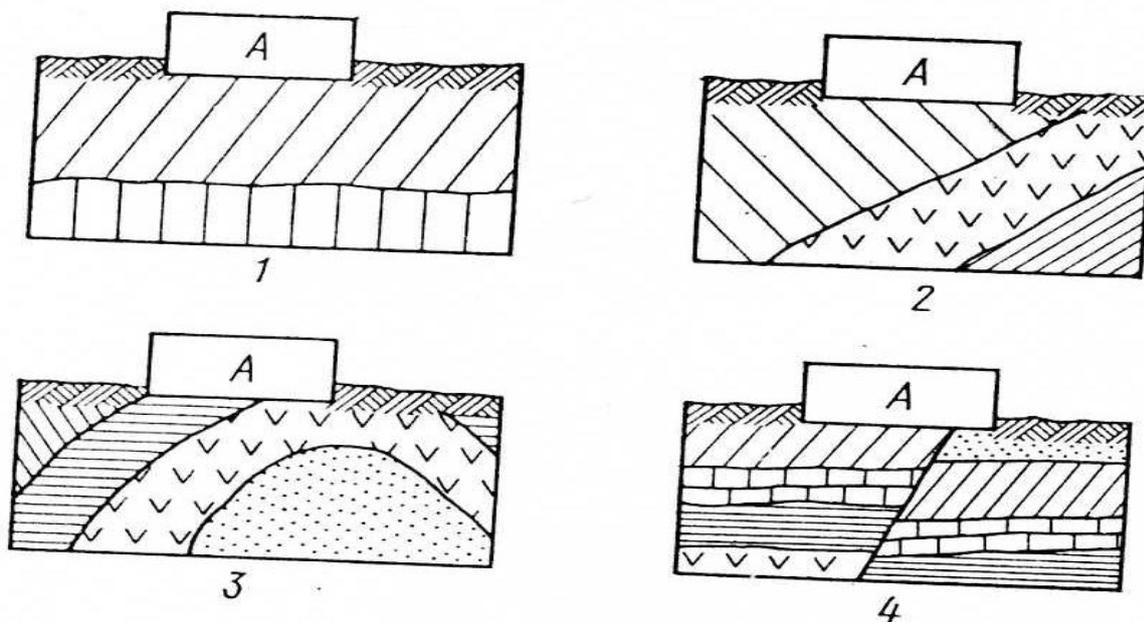


Рис. 7.7. Возможные варианты геологического строения строительных площадок: 1,2 – благоприятные площадки для строительства; 3 – малоблагоприятные площадки для строительства; 4 – неблагоприятные площадки для строительства. А – здание [1, 12]

7.3. Землетрясения – современные разрывные движения, и сейсмические пояса Земли

Как неоднократно написано, разломы и складки образуются преимущественно в результате **землетрясений**. Наука о землетрясениях и связанных с ними явлениях называется **сейсмология**. **Землетрясения** – колебания Земли (сотрясения), вызванные внезапным освобождением потенциальной энергии недр и образованием **разломов**. Они типичны для зон с повышенным тепловым потоком или тектонически активных зон – границ литосферных плит. Очаг зарождения упругого импульса (сейсмических волн или энергии) называется **гипоцентром (фокус)**. Непосредственно над гипоцентром на поверхности земли располагается **эпицентр** (рис. 7.8). От гипоцентра во все стороны расходятся продольные, поперечные и особенно поверхностные сейсмические волны. На поверхности слоев геологических тел и земли распространяются поверхностные волны, способные вызвать пагубное воздействие на здания и сооружения. В зависимости от глубины залегания различают землетрясения **поверхностные** с гипоцентром на глубине 1...10 км, **коровые** – от 30 до 50 км и **глубокие или плутонические** – до 700 км.

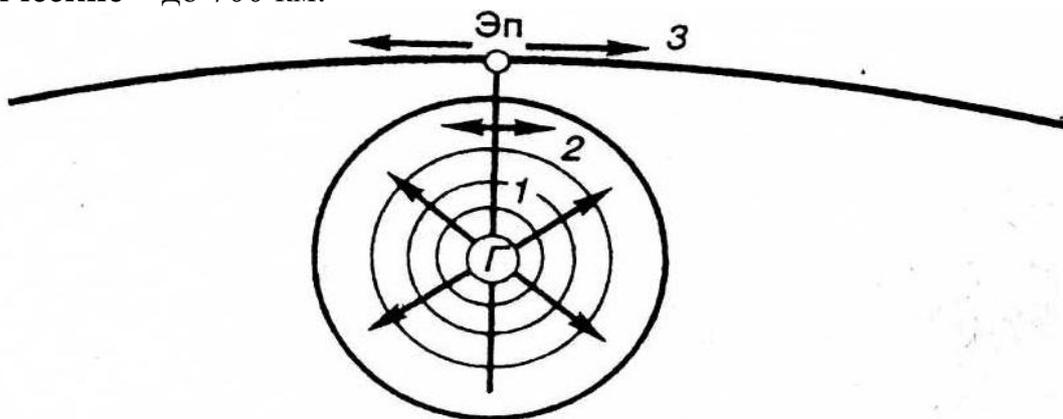


Рис. 7.8. Гипоцентр (Г) и эпицентр (Эп) землетрясений: 1 – продольные сейсмические волны; 2 – поперечные сейсмические волны; 3 – поверхностные сейсмические волны

Оценка силы землетрясения в России производится по 12-ти балльной системе (табл. 7.1).

На территориях, где сила землетрясений не превышает 7 баллов, основания зданий и сооружений проектируются без учета сейсмичности. В сейсмических районах, т.е. районах с расчетной сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов, проектирование ведется в соответствии со СНиП по проектированию зданий и сооружений в сейсмических районах. Строительство при этом следует проводить с учетом категорий горных пород по сейсмическим свойствам.

Таблица 7.1

Сейсмические баллы и последствия землетрясений

Балл	Характеристика	Последствия
1	Незаметное	Колебания земли отмечаются приборами
2	Очень слабое	В отдельных случаях ощущаются людьми, находящимися в спокойном состоянии
3	Слабое	Отмечаются некоторыми людьми
4	Умеренное	Отмечаются многими людьми
5	Довольно сильное	Качание висячих предметов, многие спящие просыпаются
6	Сильное	Легкие повреждения в зданиях, тонкие трещины в штукатурке; трещины в сырых грунтах, небольшие изменения дебита источников и уровня воды в колодцах
7	Очень сильное	Трещины в штукатурке и откалывание отдельных кусков, тонкие трещины в стенах; в единичных случаях нарушения стыков трубопроводов; большое количество трещин в сырых грунтах, в отдельных случаях мутнеет вода, изменяется дебит источников и уровень грунтовых вод
8	Разрушительное	Большие трещины в стенах, падение карнизов, дымовых труб, отдельные случаи разрушения стыков трубопроводов; трещины в сырых грунтах до нескольких см, вода в водоемах становится мутной, возникают новые водоемы, часто меняется дебит источников и уровень воды в колодцах
9	Опустошительное	В некоторых зданиях обвалы: обрушение стен, перекрытий, кровли; многочисленные разрывы и повреждения трубопроводов; трещины в сырых грунтах до 10 см; большие волнения в водоемах, часто возникают новые и пропадают существующие источники
10	Уничтожающее	Обвалы во многих зданиях. Трещины в грунтах до 1 м шириной
11	Катастрофическое	Многочисленные трещины на поверхности земли, большие обвалы в горах
12		Изменение рельефа местности в больших размерах

Категория I – скальные (граниты, гнейсы, известняки, песчаники) и полускальные (мергель, глинистые известняки, туфы, гипсы) породы; крупнообломочные особо плотные породы при глубине залегания уровня грунтовых вод более 15 м. Балльность сейсмичности снижается на 1.

Категория II – глины и суглинки, находящиеся в твердом состоянии, пески и супеси при глубине менее 8 м; крупнообломочные породы при глубинах залегания уровня грунтовых вод 8...10 м. Исходная балльность.

Категория III – глины и суглинки, находящиеся в пластичном состоянии, пески и супеси при глубинах залегания уровня грунтовых вод менее 4 м; крупнообломочные породы при глубинах залегания уровня грунтовых вод менее 3 м. Балльность сейсмичности повышается на 1.

В настоящее время учеными составлены и опубликованы карты распространения очагов землетрясений – **сейсмические карты**. В сейсмических зонах, например, в наиболее изученном штате Калифорния с лучшей в мире сетью сейсмических станций, ежегодно фиксируется до 20 000 толчков – землетрясений. Они свидетельствуют о продолжающемся вспарывании разлома Сан-Андреас, вдоль которого скользят литосферные плиты. Если образуется небольшой разлом – пластические деформации переходят в дислокационные нарушения, то фиксируется слабое землетрясение; лишь изредка – 1 раз в столетие, в каких-то местах образуются протяженные разломы, сопровождаемые сильнейшими толчками.

Таким образом, землетрясения происходят почти непрерывно. В течение года на Земле регистрируется более 100 000 землетрясений, из которых к катастрофическим землетрясениям можно отнести 1, к сильно разрушительным – 10, разрушительным – 100, к сопровождающимся повреждениями сооружений – 1 000. Наиболее разрушительными являются тектонические землетрясения, занимающие большие площади вдоль зон глубинных разломов, по которым граничат **литосферные плиты**. Землетрясения «внутри» литосферных плит, на удалении от их границ проявляются редко – местные, слабые и редкие сотрясения поверхности земли. Они, как правило, возникают, когда происходят провалы пещер и горных выработок, обвалы и лавины, падение крупных метеоритов, ядерные и другие подземные взрывы, создание крупных водохранилищ.

Геофизики Ч. Рихтер и Б. Гутенберг разработали шкалу оценки энергии землетрясений с учетом **магнитуды** – условной единицы, равной десятичному логарифму отношения амплитуды смещения частиц грунта, при данном землетрясении, к амплитуде смещения частиц при слабом эталонном землетрясении, расположенном на расстоянии около 100 км от эпицентра. Значения магнитуды (шкала Рихтера) изменяется от 0 до 8,8. Нуль шкалы Рихтера дает очаг, при котором амплитуда сейсмической волны на расстоянии 100 км от эпицентра будет равна 1 мкм или 0,001 мм. Магнитуда – расчетная величина, относительная характеристика сейсмического очага, не зависящая от места расположения записывающей станции. Она исполь-

зуется для оценки общей энергии, выделившейся в очаге (установлена функциональная зависимость между магнитудой и энергией).

В сейсмических районах, показанных на **картах строения земной коры штриховкой**, не рекомендуется прокладывать водоводы, магистральные линии и канализационные коллекторы в водонасыщенных грунтах (кроме скальных, полускальных и крупнообломочных пород), в насыпных грунтах независимо от их влажности, а также на участках, пронизанных сетью разрывных нарушений. В случаях, когда вся территория сейсмически активная, как Япония и другие, строительство проводится с учетом возможных магнитуд, особенностей грунтов данных участков и применением специальных строительных технологий, конструкций и материалов.

Контрольные вопросы по лекции 7

1. Что такое тектонические движения земной коры и литосферы? Какие движения выделяются по направленности и где они преобладают?
2. Где преобладают современные горизонтальные движения, чем они отличаются и как проявляются?
3. Где образуются современные грабены и рифты и почему? Какие еще наблюдаются здесь процессы?
4. Где образуются современные надвиги и покровы и почему? Какие еще происходят здесь процессы?
5. Какие существуют методы изучения современных движений?
6. Что представляют собой землетрясения? Что такое очаг землетрясения и почему он возникает? Каков механизм землетрясений?
7. О чем свидетельствуют горизонтально залегающие слои горных пород? При каких движениях они возникли?
8. Какие движения относятся к новейшим и какими методами они изучаются?
9. Какое значение в формировании Земли сыграли новейшие движения? Почему рельеф Южного Урала такой сложный – с запада на восток сменяется горный рельеф – возвышенная денудационная равнина (пенеплен) – низменная аккумулятивная равнина?

Лекция 8. СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЛИТОСФЕРЫ. РЕЛЬЕФ ЗЕМЛИ

Рассмотрев и изучив предыдущие темы, становится понятным, что наша Земля тоже «живет» и находится в непрерывном развитии. Наиболее глобальными геологическими процессами являются тектонические движения, с которыми связаны все другие геологические процессы: магматизм, метаморфизм, осадконакопление в морях и океанах, а также на континентах. В результате древних движений земной коры и литосферы сформировались определенные **геологические структуры или тектоника** земной коры. Современные и частично новейшие движения продолжают изменять древние структуры, создавать современные структуры, которые нередко как бы накладываются на «старые» структуры.

8.1. Основы тектоники

Термин **тектоника** с латинского языка обозначает «строительство». Под термином «**тектоника**» понимают, с одной стороны, само «строение какого-либо участка земной коры, определяющееся совокупностью тектонических нарушений и историей их развития», а с другой стороны, «учение (наука) о строении земной коры, геологических структурах и закономерностях их расположения и развития. В последнем случае синоним термина **геотектоника**» [3, 6, 15, 16]. На протяжении всего XX века, в советской научной литературе использовался термин «тектоническая структура» применительно к структурным элементам ЗК, что является не вполне корректным, но «оно настолько давно и прочно вошло в повседневную практику, что отказаться от него теперь вряд ли возможно» [6]. Однако В.П. Гаврилов [3] вместо понятия «тектоническая структура» дает более точное и корректное понятие: «**Геологические структуры – участки земной коры и литосферы**, которые отличаются от соседних участков определенными сочетаниями состава (название и генезис), возраста, условий (форм) залегания и геофизических параметров слагающих их горных пород». Исходя из этого определения, **геологической структурой** можно называть и пласт горной породы, и разлом, и более крупные структуры ЗК, состоящие из системы элементарных структур, т.е. можно выделять геологические структуры разных уровней или рангов: глобальные, региональные, локальные и местные. На практике геологи-съемщики, выполняющие геологическое картирование, выявляют местные и локальные структуры. На средне- и мелкомасштабных картах специалисты тектонисты выделяют более крупные геологические структуры.

Наиболее крупными и глобальными структурами ЗК являются **континенты** или участки с континентальным типом ЗК и **впадины океанов** (попросту **океаны**) или участки с океаническим типом ЗК, а также области их

сочленения, отличающиеся активными современными движениями, которые изменяют и усложняют древние структуры (рис. 8.1, 8.2, табл. 8.1).



Рис. 8.1. Схема, показывающая иерархию геологических структур земной коры и литосферы, которые изображены на тектонических картах мира

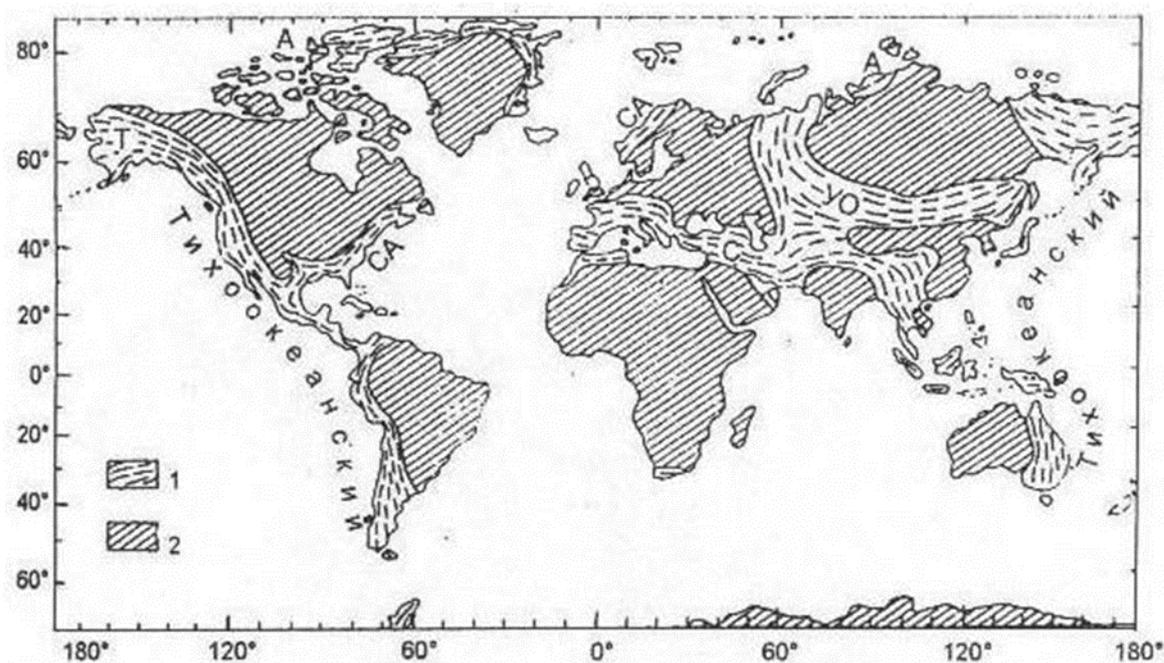


Рис. 8.2. Основные структурные элементы континентов [2, 3,15]: 1 – складчатые пояса: завершившие свое развитие в палеозое: А – Арктический; СА – Северо-Атлантический; УО – Урало-Охотский; продолжающие свое развитие в настоящее время: С – Средиземноморский (Альпийско-Гималайский); Тихоокеанский. 2 – древние платформы

Таблица 8.1

Главные геологические структуры земной коры и литосферы [2, 3, 15] с некоторыми нашими дополнениями (с позиций фиксизма и мобилизма)

Порядок структур и тип земной коры			
I-порядка	II-порядка		Тип земной коры и ее мощность
Океаны	→ Срединно-океанические хребты	Зоны спрединга →	Океаническая пониженная ----- нормальная ----- переходная субокеаническая повышенная
	Океанические платформы	Пассивные плиты	
	Современные геосинклинали	Подвижные зоны субдукции	
Континенты	Геосинклинально-складчатые пояса	Орогены	Континентальная переходная субокеаническая повышенная ----- нормальная ----- пониженная
	Континентальные платформы	Пассивные плиты	
	← Континентальные рифты	← Зоны зарождающегося спрединга ←	
Концепция тектонического развития земной коры	<u>Фиксизм</u> Теория геосинклиналей и глубинной дифференциации вещества	<u>Мобилизм</u> Тектоника литосферных плит	

Строители осваивают, прежде всего, участки континентов – суши. Поэтому рассмотрим геолструктуры континентов: платформы и горно-складчатые пояса и области, более подробно.

8.2. Платформы и их строение

В основе всех континентов лежат **древние (дорифейские) платформы**, которые окружены или пересекаются горно-складчатыми поясами и областями. С точки зрения строения платформами (или кратонами) называют крупные блоки ЗК, обладающие двухъярусным (этажным) строением: архейско-протерозойским складчатым (кристаллическим) фундаментом (его еще называют цоколем, основанием), который перекрывается горизонтально залегающими палеозойскими, мезозойскими и кайнозойскими осадочными породами значительной мощности – осадочным (платформенным) чехлом.

В течение длительного времени формирования чехла горизонтально залегающих преимущественно осадочных ГП блоки земной коры в пределах платформ испытывали преимущественно вертикальные движения – опускания и поднятия, и отличались слабой сейсмичностью, отсутствием или редким проявлением вулканизма, поэтому платформы по характеру тектонического режима относятся к относительно устойчивым, жестким и малоподвижным структурам континентальной земной коры. Из-за наличия мощного почти горизонтального чехла платформы имеют в целом выровненный рельеф и медленные современные вертикальные движения.

На протяжении более 1 млрд последних лет блоки древних платформ были устойчивыми и относительно малоподвижными с преобладанием вертикальных движений. Древние платформы: Восточно-Европейская, Сибирская, Китайско-Корейская, Южно-Китайская, Таримская, Индостанская, Австралийская, Африканская, Северо- и Южно-Американские, Восточно-Бразильская и Антарктическая, лежат в основе всех континентов (рис. 8.3).

В пределах древних платформ выделяются геолструктуры более низкого уровня – щиты и плиты (рис. 8.4). **Щиты** представляют собой положительные (относительно приподнятые), как правило, изометричные в плане, участки платформ, в которых на поверхность выходит дорифейский фундамент, а осадочный чехол практически отсутствует. В фундаменте выделяют раннеархейские (беломорские) блоки гранитогнейсовых куполов, позднеархейско-раннепротерозойские (карельские) складчатые зоны зеленокаменных поясов из метаморфизованных зеленокаменно измененных вулканитов основного состава и осадочных пород, в т.ч. железистых кварцитов.

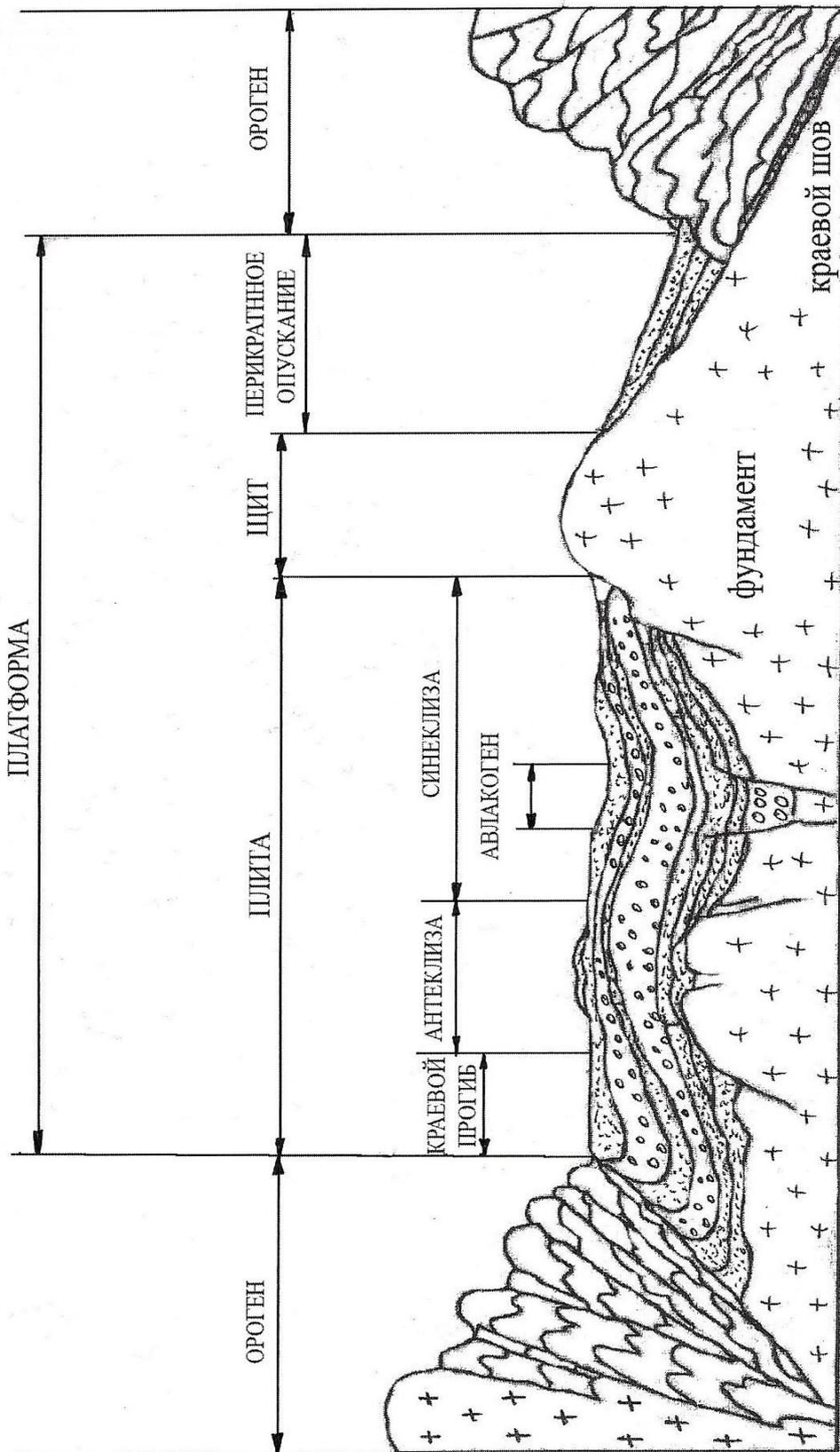


Рис. 8.3. Структурные элементы континентов: горноскладчатые области (орогены) и древние платформы (Берилко)горноскла

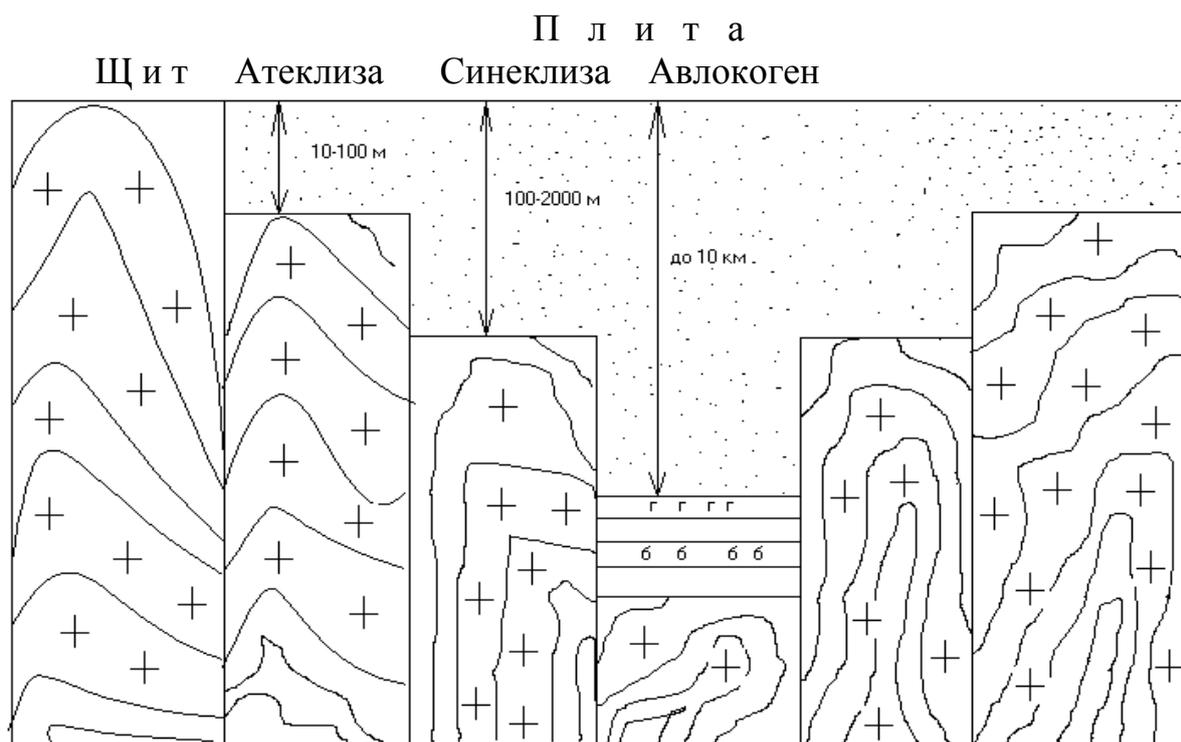


Рис. 8.4. Основные структурные элементы древних платформ [2, 3, 15]

Большая площадь фундаментов перекрыта осадочным чехлом и называется плитой. Плиты по сравнению со щитами представляют собой опущенные участки платформы. В зависимости от глубины залегания фундамента и соответственно мощности осадочного чехла выделяются антеклизы и синеклизы, перикратонные прогибы и авлакогены и другие более мелкие структурные элементы. Антеклизы – участки плит, в пределах которых глубина залегания фундамента не превышает 1...2 км, а на отдельных участках фундамент может выходить на земную поверхность. Мало-мощный осадочный чехол имеет антиклинальную форму изгиба поверхностей (Воронежская антеклиза). **Синеклизы** представляют собой крупные пологие изометричные или слегка вытянутые структуры плит с глубиной залегания фундамента и соответственно мощностью осадочных пород более 3...5 км. Крылья имеют синклинальную форму изгиба поверхностей (Московская, Тунгусская). Склоны антеклиз и синеклиз обычно сложены **валами** (пологими поднятиями) и **флексурами** (изгибами складок, отражающими глубинные разломы – Жигулевская флексура).

Наибольшая глубина залегания (до 10...12 км) фундамента наблюдается в авлакогенах. **Авлакогены** представляют собой относительно протяженные (до нескольких сотен километров) и узкие прогибы, ограниченные разломами и заполненные мощными толщами не только осадочных, но вулканических пород (базальтами), что сближает их по строению со структурами рифтового типа. Многие авлакогены переродились в синеклизы.

Среди более мелких структур на плитах выделяются прогибы и впадины, своды и валы, соляные купола.

Кроме древних платформ выделяются **молодые платформы**, которые имеют молодой архейско-протерозойско-палеозойский или даже палеозойско-мезозойский возраст пород фундамента и соответственно еще моложе возраст пород чехла – мезо-кайнозойский. Самым ярким примером молодой платформы является Западно-Сибирская плита, осадочный чехол которой богат залежами нефти и газа. В отличие от древних молодые платформы не имеют щитов, а окружены горно-складчатыми поясами и областями.

8.3. Горно-складчатые пояса и области (орогены)

Складчатые пояса находятся между древними платформами или отделяют их от впадин океанов. В их пределах горные породы разного происхождения интенсивно смяты в складки, пронизаны большим количеством разломов и интрузивных тел, что указывает на формирование их в условиях сжатия и пододвигания литосферных плит. К крупнейшим складчатым поясам относятся Урало-Монгольский (Охотский), Северо-Атлантический, Арктический, Тихоокеанский (часто подразделяется на Восточно- и Западно-Тихоокеанский) и Средиземноморский. Все они зародились в конце протерозоя. Первые три пояса завершили свое развитие к концу палеозоя, т.е. они как складчатые пояса существуют уже более 250...260 млн лет. В течение этого времени в их пределах преобладают уже не дислокационные горизонтальные, а вертикальные относительно медленные движения. Два последних пояса – Тихоокеанский и Средиземноморский, продолжают свое развитие, выражающиеся в проявлении землетрясений и вулканизма.

В складчатых поясах выделяют **складчатые области**, которые различают между собой по времени образования составляющих их структур и по возрасту горных пород, которые смяты в складки, пронизаны разломами и интрузиями. На обзорных картах строения земной коры выделяются обычно следующие области: **байкальской складчатости**, образовавшейся в позднем протерозое; **каледонской** – в раннем палеозое; **герцинской** или варисийской – на границе карбона и перми; **киммерийской** или ларамийской – в поздней юре и мела; **альпийской** – в конце палеогена, **кайнозойской** – в середине миоцена. Эти области отличаются друг от друга [15]. возрастом горных пород, которые смяты в складки, пронизаны разломами и интрузиями более молодого возраста (рис. 8. 5). Отдельные участки подвижных поясов, в которых формирование основных складчатых структур продолжается и проявляется в виде активных глубокофокусных землетрясений и вулканизме, рассматриваются многими учеными как современные **геосинклинальные области** [3, 16]. Таким образом, понятия геосинклиналь и конвергентные границы, особенно зоны Вадати-Завариц-

кого-Беньюфа, применяются для одних и тех же структур (участков) земной коры. Только понятие геосинклиналь используется, как правило, для древних складчатых областей и поясов сторонниками геосинклинальной теории (фиксизма), согласно которой в образовании складчатых областей ведущую роль играли вертикальные движения.

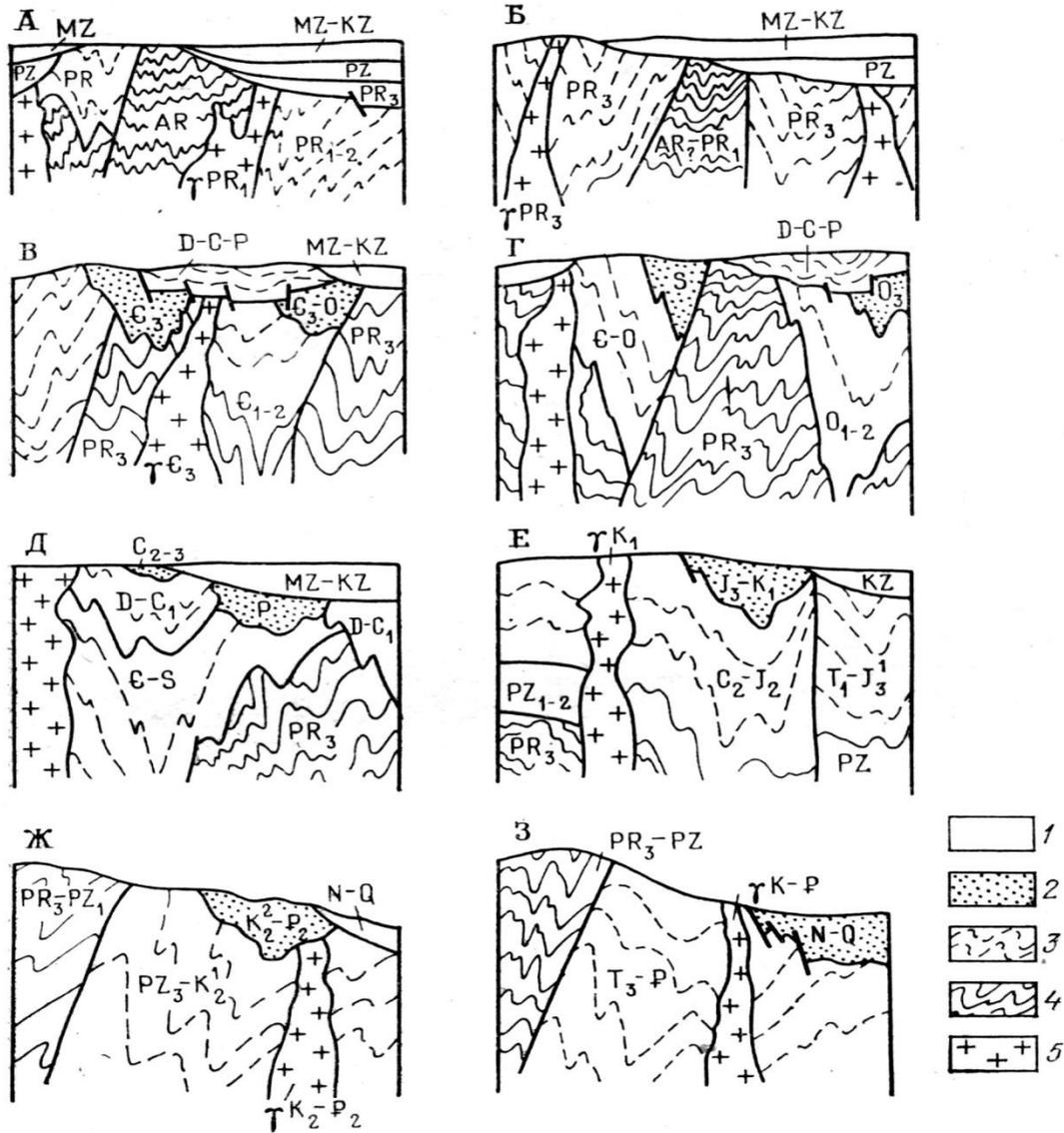


Рис. 8.5. Характер залегания и взаимоотношения стратиграфических комплексов в разновозрастных складчатых областях [6, 15]: А – древняя платформа, Б – байкалиды, В – салаириды, Г – каледониды, Д – герциниды, Е – мезозойды (киммериды), Ж – поздние мезозойды (ларамиды), З – альпиды; 1 – платформенный чехол, 2 – эпигеосинклинальный орогенный комплекс, 3 – геосинклинальный комплекс, 4 – комплекс основания, 5 – орогенные гранитоиды

Современными геосинклиналями [3, 16] называются наиболее активные подвижные участки земной коры. Они располагаются между платформами и представляют собой как бы их подвижные сочленения. Для геосинклиналей

характерны разнообразные по величине тектонические движения, землетрясения, вулканизм, складкообразование. В зоне геосинклиналей происходило или происходит интенсивное накопление мощных толщ осадочных пород. К ним приурочено около 72 % всей массы осадочных пород, а на платформах только 28 %. Развитие геосинклиналей завершается образованием складчатостей, т.е. областей с интенсивным смятием горных пород в складки, активными разрывными дислокациями и, как следствие, восходящими вертикальными тектоническими движениями. Этот процесс называется **орогенезом** (горообразованием) и ведет к расчленению рельефа. Так возникают горные хребты и межгорные впадины – горные страны.

В пределах горно-складчатых областей выделяются антиклинории, синклинории, краевые прогибы и другие более мелкие структуры. Отличительной особенностью строения **антиклинориев** является то, что в их ядрах (осевых частях) залегают наиболее древние или интрузивные (глубинные) магматические горные породы, которые к периферии структур сменяются более «молодыми» породами. Осевые части **синклинориев** сложены более «молодыми» горными породами данной складчатости. Например, в ядрах антиклинориев Уральской горно-складчатой герцинской (палеозойской) области вскрываются архейско-протерозойские метаморфические породы или интрузивные породы. В частности, ядра Восточно-Уральского антиклинория сложены гранитоидами, поэтому его называют иногда антиклинорием гранитных интрузий. В синклинориях данной области залегают, как правило, девонско-каменноугольные осадочно-вулканогенные породы в разной степени метаморфизованные. В **краевом прогибе** преобладают мощные толщи самых «молодых» палеозойских – пермских, горных пород. В конце палеозоя (примерно 250...260 млн лет тому назад), когда формировалась Уральская горно-складчатая область, на месте антиклинориев существовали высокие хребты, а на месте синклинориев и краевого прогиба – впадины-прогибы.

В горах, где горные породы обнажаются на земной поверхности, активизируются экзогенные процессы: выветривание, денудация и эрозия. Речные потоки разрезают и распиливают поднимающуюся область на горные хребты и долины. Начинается разрушение коренных горных пород и седиментация новых более молодых осадочных пород в понижениях, то есть начинается новый геологический этап – платформенный.

Таким образом, структурные элементы ЗК – геологические структуры, разных уровней (рангов) имеют определенное развитие и особенности строения, выраженные в сочетании различных горных пород, условиях (формах) их залегания, возрасте, а также влияют на формы земной поверхности – рельеф. В связи с этим, инженеры-строители при подготовке различных проектных материалов и при строительстве, эксплуатации сооружений, особенно дорог, трубопроводов и других магистралей должны учитывать особенности движения и строение ЗК и литосферы.

8.4. Рельеф Земли

Земная поверхность – верхняя граница земной коры и литосферы, имеет сложный **рельеф** в виде различных неровностей: возвышений, равнин и понижений. Наука, занимающаяся изучением рельефа, его происхождением и развитием, – **геоморфология**. В геоморфологии рассматривают элементы и формы рельефа, процессы их образования и закономерности размещения. Современный рельеф Земли является внешним выражением внутреннего строения того или иного участка земной коры, осложненного новейшими и современными тектоническими движениями (эндогенными процессами), а также экзогенными процессами. Таким образом, **рельеф является «функцией» трех составляющих**: геологических структур, новейших и современных движений, а также экзогенных процессов. Рельеф Земли постоянно меняется и имеет большое значение для понимания географических закономерностей, формирования и изменения ландшафтов Земли, а также прикладное значение для строительства.

Типы и формы рельефа являются, как указывалось выше, результатом геологических процессов, слагаются определенными горными породами и подразделяются по происхождению в зависимости от преобладающего фактора – силы, вызвавшей их образование. Рельеф, возникший преимущественно из-за деятельности **эндогенных сил**, в особенности в результате движений земной коры и литосферы (вертикальным или колебательным, горизонтальным или горообразующим), подразделяется на самые крупные формы рельефа: **макро-, мегарельеф и планетарный рельеф**. Они сформировались и лежат на геологических структурах глобального и крупнейшего размеров. Самыми крупными формами рельефа являются океаны и континенты (материки), располагающиеся на разных типах земной коры – геологических структурах I порядка: океаническом и континентальном. Строители возводят различные сооружения, главным образом, на суше (континентах), в пределах которых выделяются крупные геологические структуры – **платформы и горно-складчатые области** с более мелкими структурами. Поэтому мы рассмотрим ниже характерные для континентов типы рельефа. Они, как и геологические структуры, кажутся постоянными на небольшом отрезке геологического времени (сотни даже тысяч лет), но это ни так, формы рельефа со временем меняются и это необходимо понимать и учитывать в процессе хозяйственной деятельности.

В зависимости от протяженности (размера) и преобладания тех или иных форм рельефа выделяются **типы рельефа**: равнинный, холмистый и горный.

Равнинный тип рельеф представляет собой обширные участки суши с ровной или слабоволнистой поверхностью. **По происхождению** равнины подразделяются на структурные, аккумулятивные и скульптурные. **Структурные** (первичные) **равнины** образовались на месте платформенных уча-

стков земной коры. Они имеют чехол из горизонтально залегающих слоев осадочных или согласных тел магматических пород, как например, Западно-Сибирская низменность, Восточно-Европейская и Средне-Сибирская равнины и др. На **аккумулятивных равнинах** кроме платформенного чехла из горизонтально залегающих морских осадочных пород, имеются достаточно мощные (до сотни метров) континентальные – аллювиальные, ледниковые (моренные), эоловые и другие отложения, возникших за счет экзогенных процессов. Например, на Восточно-Европейской равнине очень широко распространены четвертичные ледниковые отложения: **моренные, флювиогляциальные и лимнические**, имеющие мощность до сотен метров. Среди этих отложений преобладают чередующиеся слои песков и глин, которые слагают различные холмы и гряды, называемые камами, друмлинами и озами. В пределах подобных форм рельефа и отложений осуществляют свою деятельность строители, которые должны учитывать возможность протекания на таких участках земной поверхности современных экзогенных процессов, прежде всего, оползней и водной эрозии. Восточно-Европейская равнина относится к первичной (на платформенном чехле) и аккумулятивной. В предгорьях и межгорных прогибах (на складчатом фундаменте) за счет накопления аллювиальных, делювиально-пролювиальных, иногда селевых отложений возникают наклонные вторичные аккумулятивные равнины.

Скульптурные равнины возникают, как правило, на месте разрушения древних гор, выравнивания первичной поверхности процессами денудации и абразии. **Абразионные равнины** формируются в результате разрушения побережий морскими волнами. **Денудационная равнина** (или **пенеплен**) представляет собой участок суши с близко залегающим к земной поверхности складчатым фундаментом, т.е. выходом на поверхность интрузивных, метаморфических и осадочных пород, смятых в складки и пронизанных различными разломами. Самым ярким примером является **Зауральская равнина** (пенеплен), расположенная к востоку от Ильменских и Вишневых гор и отрогов хребта Уралтау, и занимающая большую часть территории Челябинской области. Она формировалась в течение мезо-кайнозоя за счет разрушения палеозойских Уральских гор, денудации обломочных отложений в Западно-Сибирское море, в котором накапливались терригенные и хемо-органогенные осадки. К денудационным равнинам также относится Казахский мелкосопочник.

Равнины подразделяются также на **группы** в зависимости от:

– **положения над уровнем моря** на **отрицательные** – впадины, депрессии, как Прикаспийская низменность; **низменные** (до 200 м) – Западно-Сибирская низменность; **возвышенные** (200...500 м) – Русская равнина и **плоскогорья** (более 500 м) – Среднесибирское плоскогорье;

– **глубины и степени расчленения рельефа** (оценка производится по колебаниям высот на протяжении 2 км): слабо расчлененные (колебание

высот до 10 м), мелко расчлененные (колебание высот до 25 м), грубо расчлененные (колебание высот до 200 м). Абсолютные отметки и расчлененность рельефа являются следствием (результатом), прежде всего, новейших (неоген-четвертичных) вертикальных движений, связанных с горизонтальными движениями.

Холмистый рельеф характеризуется чередованием возвышенностей с относительными высотами не более 200 м и пониженных участков в форме ложбин.

Горный рельеф представляет собой чередование крупных возвышенностей в форме гор и хребтов высотой более 200 м и понижений в форме долин, впадин и котловины. В зависимости от абсолютных отметок и относительного превышения на 2 км протяженности горные рельефы делятся на высокие, средневысотные и низкие. **Высокие горы** имеют абсолютные отметки более 2000 м с относительным превышением в 1000 м по линиям, перпендикулярным к направлению речных долин. **Средневысотные** горы имеют абсолютные отметки 700...2000 м и глубину относительного вреза 500...700 м. **Низкие горы** имеют абсолютные отметки 700...800 м и глубину расчленения 150...450 м. Склоны обычно пологие.

Горы подразделяют также по происхождению на тектонические, вулканические и эрозионные. **Тектонические горы** образовались в результате сложных тектонических – горизонтальных и связанных с ними вертикальных, движений на таких геологических структурах как **горно-складчатые области**. Они занимают большую часть территорий кайнозойских горно-складчатых областей (горы Камчатки, Сахалина, Кавказ), а также отдельные территории древних горно-складчатых областей. В основании Южного Урала лежит Уральская палеозойская горно-складчатая область, горы возродились в западных районах, где отдельные блоки земной коры в новейшее и современное время имели наибольшие скорости (до 8 мм/год) вертикальных и амплитуды (до 1000 м) поднятий. Горы, возродившиеся за счет поднятия в неоген-четвертичное время, относятся к **глыбовым горам**.

Вулканические горы возникали в результате вулканической деятельности и сохранились в областях альпийской (кайнозойской) складчатости, как на Камчатке, в Альпах, или же в зонах современных срединно-океанических хребтов и рифтовых зон, как г. Килиманджаро и другие.

Эрозионные горы образуются в результате эрозионного расчленения древних структурных и аккумулятивных равнин из-за неоген-четвертичных поднятий данных блоков над базисом эрозии. Примером таких гор может служить плато Путорана (отметки до 1700 м) на Среднесибирском плоскогорье.

Формы рельефа, созданные эндогенными процессами, изменяются под воздействием **экзогенных сил**, которые протекают на земной поверхности под влиянием внешних источников энергии: солнечной радиации, колебания температур, движения и состава воды и ветра, живых организмов, в т.

ч. и человека. Перечисленные источники энергии действуют и меняют постоянно формы рельефа. Среди экзогенных форм рельефа наиболее ярко выделяются формы, возникшие за счет разрушительной и созидательной деятельности экзогенных процессов. **Эрозионные формы:** ущелья, речные долины, овраги, промоины, воронки и др., возникли в результате разрушительного действия текучих вод – атмосферных, речных и подземных (рис. 8.6, 8.7, 8.8.). Они очень динамичны в своих очертаниях и могут заметно меняться на глазах одного поколения людей. В их пределах могут развиваться другие экзогенные процессы: оползни, обвалы и др. **Аккумулятивные формы** рельефа возникают при уменьшении силы экзогенного фактора и соответственно накоплении продуктов разрушения горных пород – эрозии и денудации водой и ветром.

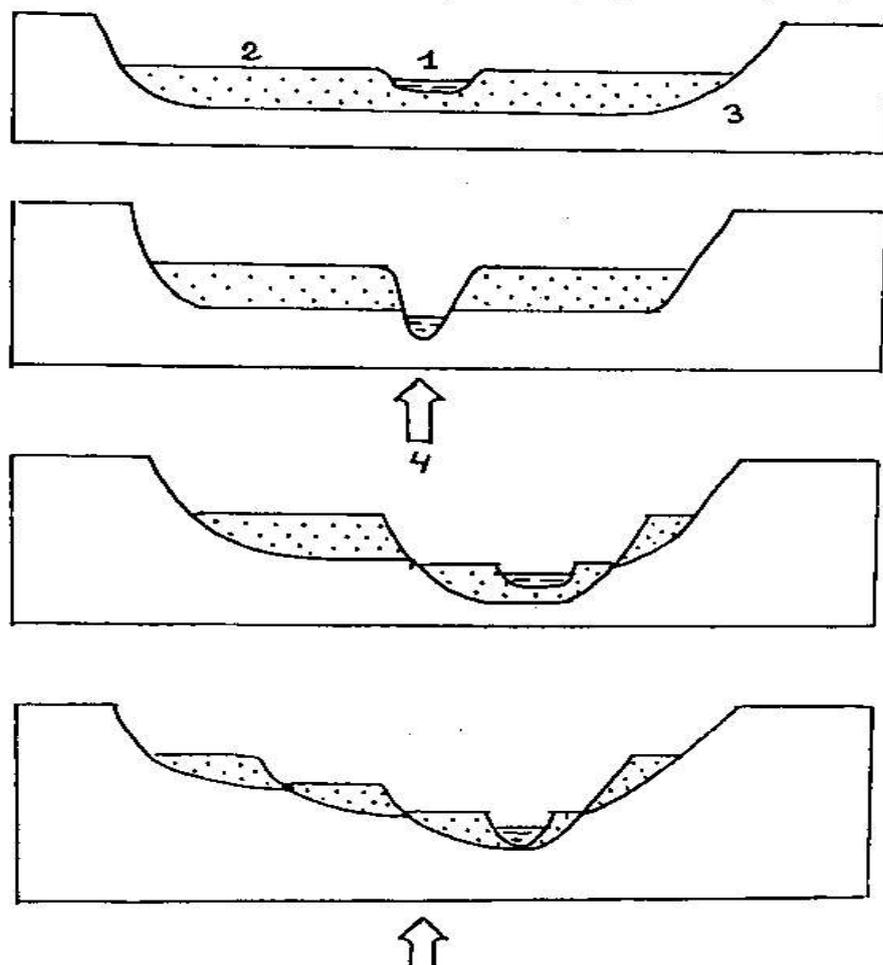


Рис. 8.6. Схема формирования речных террас. Во время поднятия территории или понижения базиса эрозии река врежется в коренные породы (светлое) и начинает снова разрабатывать долину. При новом поднятии процесс повторяется: 1 – русло, 2 – аллювий, 3 – коренные породы; 4 – поднятие

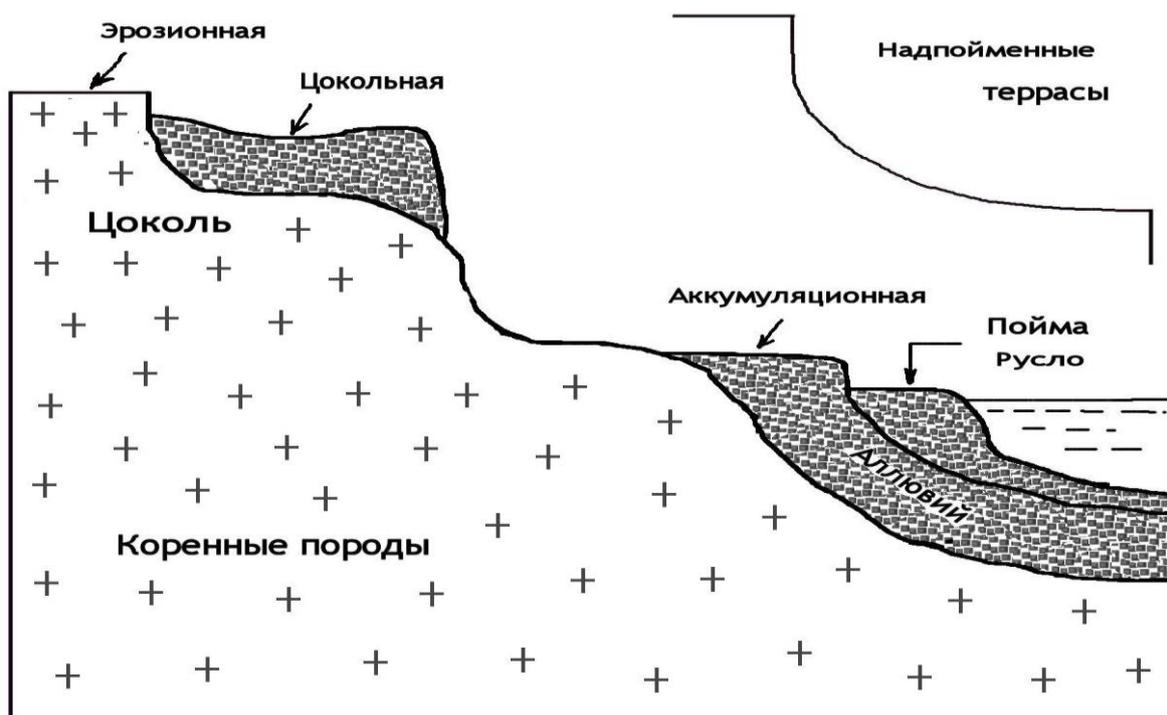


Рис. 8.7. Типы речных террас



Рис. 8.8. Долина р. Увельки (Челябинская обл.) с эрозионными террасами, на уступах которых выходят базальты палеозоя

Образуются аккумулятивные речные террасы и поймы, дюны и барханы, сложенные соответствующими типами континентальных отложений (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Генетические типы континентальных отложений, слагающие соответствующие формы рельефа и их условные обозначения на картах и разрезах

Наименование	Индекс	Наименование	Индекс
Элювиальные	eQ	Коллювиальные	cQ
Делювиальные	dQ	Болотные	hQ
Аллювиальные	aQ	Эоловые	vQ
Проллювиальные	pQ	Лёссовые	LQ
Ледниковые (гляциальные)	gQ	Элювиально-делювиальные	edQ
Озерные (лимнические)	lQ	Оползневые	dpQ
Флювиогляциальные	fgQ	Делювиально-аллювиальные	daQ
Солифлюкционные	sQ	Озерно-аллювиальные	laQ
Морские	mQ	Вулканические образования	βQ
		Техногенные (антропогенные)	tQ

В зависимости от расположения форм рельефа по отношению к плоскости горизонта различают положительные (выпуклые по отношению к плоскости горизонта) и отрицательные (вогнутые) формы рельефа.

В зависимости от глубины и площади распространения (т.е. размера территории, которую они занимают) формы рельефа делятся на мельчайшие, очень мелкие, мелкие, средние, крупные, крупнейшие и величайшие.

Мельчайшие формы рельефа: борозды, рябь, и др., характеризуются соответствующими размерами – несколькими см по высоте или в глубину, не наносятся на карты и не имеет существенного влияния на строительство.

Очень мелкие формы рельефа имеют высоту от нескольких дециметров до 2 м (кочки, рытвины, мелкие промоины), наносятся на крупномасштабные карты и учитываются при планировке территории.

Мелкие формы рельефа (микрорельеф) занимают площади до сотен м² и имеют высоту несколько метров, наносятся на карту с масштабами 1:10 000, 1:5000 и крупнее. Микрорельеф должен учитываться при оценке инженерно-геологических условий строительной площадки.

Средние формы рельеф (мезорельеф) прослеживаются по протяжению на тысячи километров при глубине расчленения до 200 м. Такие рельефы изображаются на картах масштаба 1:50 000 и позволяют оценить инженерно-геологические условия поселков и микрорайонов. К положительным макрорельефам относятся холмы, бугры, гребни, гряды невысоких возвышенностей, уступы террас на реках, озерах и морях; к отрицательным макрорельефам – неглубокие овраги, балки, ложбины, карстовые воронки и др.

Мелкие и средние формы рельефа нередко имеют «местные названия», например, уступы эрозионных террас на Южном Урале называются **притесами** на р. Ай (рис. 8.9) и **гребнями** на р. Юрюзань и др., формируются преимущественно за счет экзогенных процессов.



Рис. 8.9. Притесы – эрозионная терраса
правого берега р. Ай, Челябинская область

Крупные формы рельефа (макрорельеф) занимают площади в сотни и тысячи км², отличаются расчленением рельефа по глубине 200...2000 м, отображаются на картах с масштабом 1:100 000 и 1:1 000 000. К положительным макрорельефам относятся горные хребты, горы и горные массивы, например, Зюраткульский и Таганайский (рис. 8.10) хребты. К отрицательным макрорельефам – большие долины, впадины крупных водоемов, в частности озера Тургояк и Зюраткуль. Макрорельефы учитываются при размещении крупных территорий строительства.



а)



б)

Рис. 8.10. Макрорельеф: а – положительный (хребет Таганай сложен кварцитами рифея); б – отрицательный (озеро Тургойак приурочено к грабену, заложенному в базальтах палеозоя). Челябинская область

Крупнейшие формы рельефа (мегарельеф) занимают гигантские площади в сотни тысяч км² с разницей отметок между положительными и отрицательными формами в 500...4000 м, изображаются на картах с масштабом 1:10 000 000. К ним относятся горы, например Уральские горы, Приволжская возвышенность, Прикаспийская низменность (котловина) и их части.

Величайшие (планетарные) формы рельефа измеряются миллионами км², разница в отметках достигает 2500...6500 м. К положительным макро-рельефам относятся материки, к отрицательным – океанические впадины, которые, как неоднократно указывалось, имеют под собой различное строение земной коры.

Для правильного решения задач строительства необходимо проводить геоморфологические исследования, придавая при этом особое значение динамике современных движений и экзогенных сил. Недостаточно изучать только геологическое строение местности и решать вопросы механики грунтов. Необходимо также оценивать рельефообразующие процессы и формы рельефа в динамике их развития, особенно, что касается территорий, прилегающих к современным сейсмическим областям.

Рельеф по своей природе динамичен, но в определенный отрезок времени он может быть стабильным и находиться в состоянии динамического равновесия. Такое равновесие является временным, оно может быстро изменяться под влиянием природных факторов или в результате инженерно-строительной деятельности человека. Поэтому основной задачей инженерной геоморфологии является изучение состояния динамического равновесия рельефа, выявление степени его устойчивости и прогнозирование изменений его форм в результате строительства.

Большое значение в формировании морфоскульптур (мелких форм рельефа) имеет атмосферные осадки, реки, горные потоки, выходы на поверхность горных источников, которые ведут к расчленению рельефа.

В период проектирования зданий, сооружений, трубопроводов и т.п. инженерам-строителям нужно четко решать следующие задачи:

- установить форму и тип рельефа;
- определить происхождение рельефа с целью выяснения его устойчивости во времени;
- составить прогноз изменения рельефа на период эксплуатации объекта с учетом возможных скоростей изменения форм рельефа на строительной территории: скорость размыва берега и дна реки, рост оврагов, скорости современных поднятий и землетрясений и т.п.;
- устанавливать, как динамика рельефа может повлиять на устойчивость объекта и возможности его бесперебойного функционирования;
- определять пригодность современного рельефа для строительства с учетом его изменений в динамике.

Контрольные вопросы по 8 лекции

1. Какие движения называются древними? Когда они происходили и какое значение имеют для развития и строения Земли?

2. Дайте определение понятию «геологические структуры», согласно В.П. Гаврилову. Чем отличаются одни структуры от других?

3. Какие важнейшие геологические структуры выделяются в строении земной коры? Чем они отличаются?
4. Какие важнейшие геологические структуры лежат в основе всех континентов? Чем они принципиально отличаются?
5. Какие структуры относятся к платформам? Чем представлен их верхний структурный этаж, и как он влияет на проведение строительных работ?
6. Какое строение имеют горно-складчатые области? В чем заключаются трудности при проведении строительных работ?
7. Как подразделяются горно-складчатые области по возрасту?
8. В каких областях необходимо проводить строительные работы с учетом сейсмичности?
9. За счет каких процессов и когда возникли крупные формы рельефа (морфоскульптуры или макрорельеф)?
10. На каких геологических структурах образуется, как правило, аккумулятивные равнины? Как это влияет на проведение строительных работ?
11. На каких геологических структурах образуется, как правило, горный рельеф? Как это влияет на проведение строительных работ?
12. Какие морфоскульптуры (мелкие формы рельефа) являются наиболее опасными для проведения строительных работ? Требуется тщательных исследований. Приведите примеры и объясните.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ананьев, В.П. Инженерная геология: учебник / В.П. Ананьев, А.Д. Потапов. – М.: Высшая школа, 2006. – 575 с.
2. Берилко, В.И. Геология для информатиков: учебник-словарь / В.И. Берилко, Т.А. Янушкович. – Новосибирск: ЮжСибРИКЦ, 2001. – 235 с.
3. Гаврилов, В.П. Общая и региональная геотектоника / В.П. Гаврилов. – М.: Недра, 1986. – 183 с.
4. Геологический словарь: в 2 т. / под. ред. К.Н. Паффенгольца. – М.: Недра, 1978. – Т. 1, Т. 2, – 486 с., 456 с.
5. Годовиков, А.А. Минералогия / А.А. Годовиков. – М.: Недра, 1983. – 647 с.
6. Караулов, В.Б. Геология. Основные понятия и термины: Справочное пособие / В.Б. Караулов, М.И. Никитина. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007. – 152 с.
7. Короновский, Н.В. Геология: учебник для экологических специальностей вузов / Н.В. Короновский, Н.А. Ясаманов – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 446 с.
8. Петрографический кодекс. Магматические и метаморфические образования: справочное издание / отв. ред. Н.П. Михайлов. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1995. – 127 с.
9. Пособие к лабораторным занятиям по курсу общей геологии / В.Н. Павлинов, Д.С. Кизельватер, К.М. Мельникова и др. – М.: Недра, 1970. – 192 с.
10. Практическое руководство по общей геологии: учебное пособие для студ. вузов / А.И. Гуцин, М.А. Романовская, А.Н. Стафеев, В.Г. Талицкий; под ред. Н.В. Короновского. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 157 с.
11. Семеняк, Г.С. Инженерная геология: учебное пособие / Г.С. Семеняк, Т.И. Таранина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 176 с.
12. Таранина, Т.И. Недра Челябинской области: учебное пособие для учителей географии и краеведения / Т.И. Таранина, А.А. Зейферт. – Челябинск: АБРИС, 2009. – 112 с.
13. Таранина, Т.И. Геология: учебное пособие для практических занятий / Т.И. Таранина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 89 с.
14. Шуман, В. Мир камня в 2-х томах / В. Шуман. – Горные породы и минералы; пер. с нем. – Т.1. – М.: Мир, 1986. – 215 с.
15. Цейслер, В.М. Тектонические структуры на геологической карте России и ближнего зарубежья (Северной Евразии): учебное пособие / В.М. Цейслер, А.В. Туров. – М.: КДУ, 2007. – 192 с.

16. Хаин, В.Е. Общая геотектоника / В.Е. Хаин, А.Е. Михайлов. – М.: Недра, 1985. – 326 с.
17. Чернышев С.Н. Задачи и упражнения по инженерной геологии: учебное пособие / С.Н. Чернышев, А.Н. Чумаченко, И.Л. Ревелис. – М.: Высш. шк., 2001. – 254 с.
18. Rosler H. J. Lehrbuch der Mineralogie. – Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1979. – 832 pp.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Лекция 1. Содержание дисциплины «Геология». Строение Земли	
1.1. Предмет и объекты геологии. Науки геологического цикла.....	4
1.2. Значение дисциплины в образовании инженеров-строителей.....	7
1.3. Форма и размеры Земли	8
1.4. Внутренние оболочки Земли.....	9
Контрольные вопросы к лекции 1	13
Лекция 2. Вещественный состав Земли. Основы минералогии	14
2.1. Химический состав земной коры.....	14
2.2. Основы минералогии.....	15
2.2.1. Химический состав минералов	16
2.2.2. Структура минералов.....	17
2.2.3. Физико-диагностические свойства минералов	21
2.2.4. Классификация минералов и их краткая характеристика.....	27
Контрольные вопросы к лекции 2	33
Лекция 3. Основы петрографии. Горные породы	34
3.1. Общие представления о горных породах	34
3.2. Магматические горные породы, классы и группы.....	37
3.3. Формы залегания магматических горных пород.....	42
3.4. Метаморфические горные породы.....	45
Контрольные вопросы к лекции 3	49
Лекция 4. Основы литологии. Осадочные горные породы.....	50
4.1. Образование и классификация осадочных горных пород	50
4.2. Залегание осадочных горных пород	56
4.3. Технические каменные материалы	58
Контрольные вопросы к лекции 4	60
Лекция 5. Основы геохронологии. Возраст горных пород	61
5.1. Относительный возраст и методы его определения.....	61
5.2. Геохронологическая таблица и ее подразделения (шкалы)	62
5.3. Абсолютный возраст и методы его определения	68
Контрольные вопросы к лекции 5	70
Лекция 6. Геологические карты и их информативность.....	71
6.1. Общие представления о геологических картах	71
6.2. Условные обозначения.....	72
6.2.1. Возраст горных пород	73
6.2.2. Генезис и литолого-петрографический состав горных пород.....	73
6.2.3. Прочие условные обозначения	75
6.3. Залегание горных пород и его изображение на картах	77
Контрольные вопросы к лекции 6	85

Лекция 7. Тектонические движения земной коры и литосферы	86
7.1. Классификация тектонических движений	
7.1.1. Классификация тектонических движений по времени проявления	86
7.1.2. Классификация современных движений по направленности	87
7.2. Деформации горных пород: пликативные (складчатые) и дизъюнктивные (разрывные)	90
7.3. Землетрясения – современные разрывные движения, и сейсмические зоны Земли	98
Контрольные вопросы к лекции 7	101
Лекция 8. Строение земной коры и литосферы. Рельеф Земли	102
8.1. Основы тектоники	102
8.2. Платформы и их строение	105
8.3. Горно-складчатые пояса и области (орогены)	108
8.4. Рельеф Земли	111
Контрольные вопросы к лекции 8	120
Библиографический список.....	121