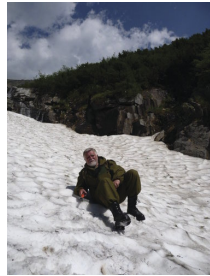




Азы геологии. Mente et malleo

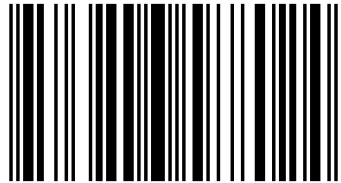
Изложены основные сведения по геологии, изучаемые в первом семестре студентами различных специальностей направления "Горное дело". Освещены вопросы образования и строения Земли, геохронологии, вещественного состава недр; даются представления о геологических процессах; элементах геологической среды, условиях их образования, залегания и деформации; геологического картирования. Эти сведения необходимы и достаточны для усвоения во втором семестре материала по геостатическим предпосылкам и геодинамическим закономерностям образования месторождений полезных ископаемых; геологоразведочных работах; основам инженерной геологии и гидрогеологии. Специальные вопросы геологического обеспечения горных работ при разработке месторождений твердых полезных ископаемых выделены в самостоятельный курс. Книга предназначена как студентам, так и всем тем, кто проявляет интерес к вопросам геологии.



Алексей Львович Панфилов

Кандидат геолого-минералогических наук,
доцент кафедры геологии и разведки МПИ
Санкт-Петербургского государственного
горного университета

Алексей Львович Панфилов



978-3-8465-8802-4

Алексей Львович Панфилов

Азы геологии

Общие вопросы

 **LAMBERT**
Academic Publishing

ОГЛАВЛЕНИЕ

	От автора	2
	Введение	3
1	Планета Земля во Вселенной	5
2	Строение и возраст Земли	17
3	Вещественный состав недр. Минералы и горные породы	33
4	Геологические процессы	63
5	Основные формы залегания геологических тел	103
6	Нарушенное залегание горных пород	112
7	Геологические карты	125
	Предметный указатель	131
	Рекомендуемая литература	134
Приложение 1	Происхождение названий некоторых химических элементов	135
Приложение 2	Краткая характеристика важнейших минералов	136

*«Я разрешил себе благоразумно обойти молчанием все то,
чего я сам не видел и не читал или не узнал от людей,
заслуживающих доверия. Мною указано лишь то, что я видел сам
и что, прочитав и услышав, сам осмыслил»
Г. Агрикола*

ОТ АВТОРА

В основу книги положен текст лекций, которые были прочитаны студентам различных специальностей направления «Горное дело» в Санкт-Петербургском государственном горном институте (ныне горном университете, СПГГУ) в 1996-1998 и 2006-2011 гг. Автор стремился предельно лаконично и доступно изложить основы геологических знаний применительно к требованиям соответствующей учебной программы, не углубляясь в особо сложные и спорные вопросы геологии.

Автор - Панфилов А.Л., кандидат геолого-минералогических наук. В период 1967-2012 гг. рабочий, буровой мастер, геолог, начальник партии в изыскательских и геологических организациях, научный сотрудник, заведующий лабораторией горнопромышленной геологии института горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ), доцент кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых (ГРМПИ) СПГГУ. Закончил Горный институт в Ленинграде в 1975 г. Участвовал в: изысканиях, геологической съемке, изучении структур рудных полей, поисках и эксплуатационной разведке МПИ на территории: Архангельской, Вологодской, Кемеровской, Ленинградской, Мурманской, Ростовской, Свердловской областей, Башкирии, Карелии, Пермского края, Республики Коми, Ямало-Ненецкого национального округа, Таймыра, Бурятии, Приморья, Узбекистана, Киргизии и Таджикистана; преподавал в СПГГУ; в качестве научного редактора-консультанта участвовал в составлении Российских угольной и геологической энциклопедий. Награжден медалями и ведомственными знаками министерства геологии СССР, министерства топлива и энергетики России.

Автор благодарен своим Учителям (как формальным, так и не формальным, очным и заочным), коллегам и студентам без которых рукопись этой книги не была бы составлена. В работе над рисунками большую помощь оказали Ю.А. Унда и Л.М. Панова. Подготовку рукописи к изданию и само издание безвозмездно было осуществлено немецким издательским домом LAP LAMBERT Academic Publishing. Автор будет признателен за конструктивную критику и просит направлять, замечания по адресу: 199106, Санкт-Петербург, В.О., 21-я линия, д. 2, СПГГУ, кафедра ГРМПИ, А.Л. Панфилову.

ВВЕДЕНИЕ

Геология – наука о составе, строении и развитии недр Земли, занимающая промежуточное положение между науками, изучающими Вселенную и атомы, между науками о живой и неживой природе. Геология – базовая дисциплина в подготовке специалистов в сфере использования ресурсов недр. Недра - пространство ниже почвенного слоя, включающее горные породы, циркулирующие в них подвижные компоненты (водные растворы и газы) и соответствующие физические поля. Кроме вещества, пространства, энергии к ресурсам недр относится и содержащаяся в них информация.

Геология одна из самых сложных наук естественнонаучного цикла, т.к. объекты ее изучения - геологические тела в недрах могут быть недоступны для непосредственного наблюдения, а процессы, в ходе которых эти тела возникают и изменяются, имеют длительность от секунд до многих миллионов лет. Представления о строении и составе недр на глубинах недоступных для непосредственного изучения могут быть получены лишь косвенными методами.

Геологию как область знаний, составляют более 120 отдельных дисциплин, изучающих, в том числе:

- Землю как геологическую систему в целом (общая геология);
- вещество недр (минералогия, кристаллография, петрография, литология, геохимия);
- строение недр (тектоника и структурная геология);
- геологическую историю Земли (палеонтология, палеогеография, стратиграфия, историческая геология);
- геологические процессы (динамическая геология, вулканология, сейсмология);
- состав, свойства, происхождение, условия нахождения, динамику и взаимосвязь с окружающей средой подземных вод (гидрогеология);
- геологические процессы и физико-механические свойства горных пород, определяющие условия строительства (инженерная геология);
- последствия преобразования геологической среды в ходе техногенеза (экогеология);
- физические свойства и процессы Земли в целом и ее составных частей (геофизика);

- условия образования, методы выявления и оценки минеральных ресурсов (геология и разведка месторождений полезных ископаемых).

Особое место занимает горнопромышленная геология - научно-прикладной раздел горного недроведения, решающий научные, методические и практические вопросы геологического обеспечения горных работ.

Информация о составе, строении, свойствах, состоянии (СССС), взаимосвязях и эволюции отдельных геологических тел, образующих систему недр, необходима горным инженерам для выбора эффективных и рациональных рабочих механизмов; безопасных схем ведения горных работ; оценки, прогноза и управления геомеханическим состоянием массива горных пород; прогноза и предотвращения опасных динамических явлений при открытых и подземных горных работах; нормирования людских, материальных и финансовых затрат при освоении недр.

Геология, как система специализированных знаний имеет более чем 300-летнюю историю, но пока не имеет всеобъемлющей теоретической базы и многие представления о сути геологических явлений носят дискуссионный характер. Развитие геологии идет через познание и творческое переосмысление ранее достигнутого, привлечение новой фактуры, установление новых закономерностей. Эволюционный путь развития обеспечивает прогресс базового уровня геологии - фона, на котором действительные прорывы - открытия совершают нестандартно мыслящие одиночки. При изучении геологии и использовании полученных знаний надо руководствоваться принципами, изложенными в конце XVIII века в работе Дж. Геттона «Теория Земли», суть которых можно свести к следующему: геологическими процессами управляют законы физики, химии и биологии, действие которых отражается в вещественно-структурной организации Земли и естественны для нее. Эффективность усвоения азов геологии в значительной степени определяется уровнем подготовки в объеме школьного курса по астрономии, биологии, географии, математике, физике и химии.

1. ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ ВО ВСЕЛЕННОЙ

*«То, что мы знаем, так ничтожно мало
по сравнению с тем, что мы не знаем»*

П.С. Лаплас

Образование и развитие Земли неразрывно связано с преобразованием материи и энергии во Вселенной. Представления о составе, строении, происхождении и эволюции Вселенной, как и Земли, носят гипотетический и дискуссионный характер. Самая глубокая скважина в мире пробурена на Кольском полуострове до глубины 12262 м в 1984 г., что составляет менее 1/1000 диаметра Земли. Ученые судят о глубинном составе, строении, свойствах и состоянии недр в основном интерпретируя данные астрофизики и геофизики.

Считается, что первая «официальная» система взглядов на Вселенную в Европе была сформулирована Аристотелем (IV век до н. э.). По Аристотелю все земное состоит из четырех видов материи: земли (почва и камни), воды (гидросфера), воздуха (атмосфера и газовые выделения из недр) и огня (вулканическая деятельность и атмосферные явления). Материя на Земле несовершенна, создается, изменяется, разрушается и стремится к покою. Пятый вид материи – эфир, находящаяся вне Земли, совершенная движущаяся субстанция, существует вечно. Эти идеи развивали Гиппарх (II век до н. э.) и Птолемей (II век н. э.), который для целей навигации предложил геоцентрическую модель Вселенной, исходя из трех постулатов: Земля - центр мироздания, вокруг нее обращаются небесные сферы с неизменными звездами, планетами и Солнцем; Вселенная ограничена небесными сферами и конечна. Все необычное на небосводе (например, метеорные¹ потоки) суть атмосферные явления.

Современник Аристотеля Аристарх Самосский предположил, что центром Мира является Солнце. Эта идея была возрождена Н. Коперником в 1543 г., который считал, что Земля - рядовая планета, вращающаяся, как и другие планеты вокруг Солнца - центра конечной Вселенной. Гелиоцентрическую гипотезу развивали И. Кеплер и Г. Галилей. До 1828 г. католическая церковь считала гипотезу Н. Коперника ложной с философской и греховной с религиозной точки зрения.

¹ Метеориты – минеральные массы, падающие на Землю из космоса, наблюдались еще людьми каменного века. Однако часто факты, противоречащие быденным представлениям, отвергают. Во времена энциклопедистов (Вольтера, Руссо, Дидро, Бюффона и др.) в 1772 г. Парижская Академия наук постановила: «... камней в небе нет и быть не может. А потому всякое известие о том, что они оттуда падают, заведомо ложно».

В 1591 г. философ и поэт Дж. Бруно высказал предположение о множественности Миров во Вселенной, имеющих общую природу и вращающихся вокруг общего центра расположенного вне Солнечной системы. Дж. Бруно был обвинен в ереси и после восьмилетнего пребывания в тюрьме 17.02.1600 г. сожжен на костре.

Наблюдения космоса с помощью телескопов доказали, что Солнце - одна из 10^{20} звезд в видимой части Вселенной - Метагалактике. Метагалактика является бесконечно малым структурным элементом Вселенной, представление о которой можно получить лишь «выйдя» за пределы Метагалактики. Звезды распределены в Метагалактике неравномерно и наряду с отдельно расположенными звездами имеются гравитационно взаимодействующие звезды - галактики. Мелкомасштабная структура Метагалактики, включающая около 10^9 электромагнитно взаимодействующих галактик, напоминает пену: галактики сосредоточены в узких полосах, разделенных обширными «пустотами» и зрительно пересекаются друг с другом. Группы галактик образуют сверхсистемы, которые являются крупнейшими элементами структуры Метагалактики.

Галактики различны по форме, размерам и количеству звезд. Эллиптические галактики имеют форму эллипсоида. В спиральных галактиках (рис. 1) большинство звезд сосредоточено в плоских спиральных рукавах и центральном утолщении галактики. В плоскости рукавов расположены газопылевые облака, которые могут казаться темными, если они заслоняют находящиеся за ними звезды, или же светлыми - если звезды расположены перед этими облаками и освещают их. Существуют также галактики и в виде бесформенных звездных скоплений. При гравитационном взаимодействии форма галактик искажается.

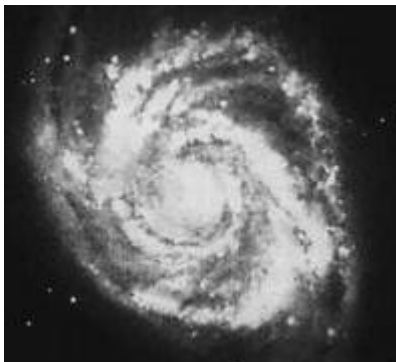


Рис. 1. Спиральная галактика в созвездии Гончих Псов (БСЭ)

Галактики излучают основную часть энергии в видимой части спектра. У ряда галактик (активных) преобладает рентгеновское и ультрафиолетовое излучение. Самыми мощными источниками энергии в Метагалактике являются

кварзары, напоминающие ядра активных галактик. Галактики, значительную часть энергии, излучающие в радиодиапазоне, называются «радиогалактиками». В ядрах этих галактик идут пока неизвестные физические процессы. Получены фотографии галактик и квазаров, удаленных от Земли на $12\div 15 \times 10^9$ световых лет².

Ночью с Земли можно наблюдать светлую полосу, опоясывающую небосвод. Свечение исходит от множества трудно различимых звезд, составляющих галактику Млечный Путь³. Млечный Путь - спиральная галактика. Полагают, что в ее центре находится неизлучающая «черная дыра»⁴. Диаметр нашей галактики порядка 100 тыс. световых лет, при толщине до 20 тыс. световых лет. В одном из «рукавов» Млечного Пути на удалении в 10^{17} км от его центра находится Солнечная система.

В окрестностях Солнечной системы плотность звезд невелика⁵. Расстояние до ближайшей к Солнцу звезды α -Центавра составляет более 4 световых лет, а до ближайшей к Солнечной системе крупной галактики - Туманности Андромеды $2,6 \times 10^6$ световых лет.

В 1920 гг. американский астроном Э. Хаббл измерил скорости и направления движения галактик. Оказалось, что галактики «разлетаются» от общего центра. Полагают, что протоматерия галактик $\sim 14 \times 10^9$ лет назад было сконцентрировано в сверхмалом объеме - фридмоне⁶, а после «раскрытия» фридмона (Большого Взрыва) стало рассеиваться⁷. Эволюция Метагалактики проходила в четыре этапа: адронный⁸, лептонный⁹, фотонный¹⁰ и звездный, с

² Световой год равен расстоянию, преодолеваемому светом за один год ($\sim 9,6 \times 10^{12}$ км).

³ Galaktikos — молочный, млечный, от греческого gala — молоко. Название галактики - Млечный Путь связано с мифом о разлившемся по небу материнском молоке богини Геры, вскормившей Геркулеса.

⁴ «Чёрная дыра» - космический объект, возникающий в результате гравитационного сжатия (коллапса) звёзды, с массой превышающей критическую величину.

⁵ Звезды занимают около 10^{-25} объема Метагалактики.

⁶ Представление о фридмоне основывается на общей теории относительности А. Эйнштейна, согласно которой геометрические свойства пространства зависят от распределения масс и меняются во времени. Полагают, что в фридмоне диаметром $1,6 \times 10^{-31}$ м содержалось 10^{95} г вещества. Плотность вещества в привычных формах в Метагалактики оценивается в 3×10^{-31} г/см³ (т.е. условно один мг вещества рассеян в 100 объемах земного шара).

⁷ «В начало Мира можно не верить, но его невозможно ни доказать, ни осознать умом» (Ф. Аквинский, 1225-1274). «... начало Вселенной в том виде, как оно нам известно, может быть концом другой формы развития материи, хотя практически было бы совершенно невозможно узнать что-нибудь относительно этого периода, поскольку все следы в хаосе разрушения и перестройки» (М. Борн, 1882-1970). «Большой Взрыв», возможно, являлся переходом материи в привычные нам формы в трехмерное пространство.

⁸ Адроны - элементарные частицы (протон, нейтрон, гипероны, мезоны, резонансные частицы), участвующие в сильных взаимодействиях.

каждым из которых можно сопоставить определенное состояние вещества. Галактики, как скопления звезд, возникли на звездной стадии. Звезды - это стяжения плазмы¹¹, в центральных областях которых протекают термоядерные реакции. В составе звезд преобладают водород и гелий (порядка 75 и 23% массы соответственно). Термоядерное «горение» водорода (слияние четырех ядер водорода - протонов в одно ядро гелия) протекает с выделением энергии.

История человечества слишком коротка для того, чтобы можно было проследить эволюцию отдельной звезды. Моделирование процессов, протекающих внутри звезд, и наблюдения за звездами, находящимися на разных стадиях развития, позволили предположить, что звезды рождаются группами при сжатии газопылевых туманностей. Масса такой туманности может превышать массу Солнца на 5-6 порядков.

Процесс эволюции звезд зависит от их массы. В начале XX века Э. Герцшпрунг и Г. Рассел установили, что большинство массивных звезд яркие и горячие, а звезды с малой массой относительно тусклые и холодные. Массивные звезды горят недолго (несколько миллионов лет). В массивных звездах происходит последовательное превращение водорода в гелий, гелия в углерод, а затем и образование более тяжелых элементов вплоть до железа. Эволюция массивной звезды завершается взрывом - вспышкой сверхновой, во время которой яркость звезды несколько суток может равняться яркости галактики. Синтез химических элементов с атомной массой больше, чем у железа происходит только во время взрывов сверхновых звезд. Материя, выброшенная в межзвездное пространство, при взрывах звезд, в дальнейшем может образовать газопылевые облака, из которых формируются новые звезды, а из остатка либо нейтронная звезда, либо черная дыра.

Ближайшая к Земле звезда Солнце. Это рядовая звезда по яркости, размерам и массе. Такие звезды как Солнце горят не так ярко как массивные звезды, но долго - миллиарды лет. Их эволюция завершается менее мощным взрывом. При этом часть вещества выбрасывается в виде облака газа и пыли, а из остатка образуется звезда типа «белого карлика». Самая неяркая судьба у звезд с малой массой: они горят тускло многие миллиарды лет, постепенно гаснут и возможно становятся планетами.

⁹ Лептоны - элементарные частицы (электрон, мюон, нейтрино и соответствующие им античастицы), участвующие лишь в электромагнитных, слабых и гравитационных взаимодействиях.

¹⁰ Фотон - элементарная частица, квант электромагнитного излучения (в частном смысле - света).

¹¹ Плазма - ионизированный газ, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов практически одинаковы.

В Метагалактике порядка 4% вещества находится в трех известных формах:

- космические лучи, представляющие собой элементарные частицы;
- рассеянные атомы, ионы и молекулы, образующие межгалактический газ¹²;
- консолидированные атомы¹³ в составе космических тел и газопылевых туманностей.

Около 23% массы Метагалактики приходится на «темную материю», а 73% на «темную энергию» изучение которых началось лишь в XXI веке. Отсюда степень достоверности современных представлений о Метагалактике не превышает 4%.

Все известные формы вещества характеризуются единством на уровне элементарных частиц, этим объясняется единство материального мира на атомарном уровне. Максимально возможное количество химических элементов в Метагалактике не превышает 150, число изотопов порядка 2000, из которых стабильны до 300 (по Д.Н. Трифонову). Атомы трансурановых элементов нестабильны: их ядра включают десятки протонов и нейтронов. Из-за значительных размеров ядер трансурановых элементов короткодействующие внутриядерные связи периферийных протонов ослабевают, и дальнедействующие силы электростатического отталкивания обуславливают распад ядер. Продуктами распада нестабильного ядра являются ядро другого химического элемента и радиоактивное излучение. В Метагалактике наиболее распространен водород, гелий, кислород, углерод и азот.

В Солнечной системе насчитывается 85 химических элементов с порядковыми номерами в периодической системе Д.И. Менделеева от 1 (водород) до 92 (уран). Трансурановые элементы (с №93), а также технеций (№43), прометий (№61), полоний (№84), астат (№85), франций (№87), актиний (№89), протактиний (№91) являются вторичными или получены искусственно¹⁴. Распространенность элементов определяется процессами

¹² Масса рассеянного вещества в нашей галактике соизмерима с массой консолидированного вещества.

¹³ Атом – мельчайшая химически неделимая частица вещества. Состоит из ядра, содержащего протоны и нейтроны и электронной оболочки и в целом электронейтрален. Атомы одного и того же химического элемента отличающиеся по массе называют изотопами. Свойства химических элементов определяются строением его электронной оболочки. Нарушение электронейтральности атома приводит к образованию иона.

¹⁴ Из природных радиоактивных элементов только торий и уран имеют изотопы, периоды полураспада которых сравнимы с возрастом Земли. Поэтому торий и уран сохранились на нашей

синтеза элементов в звездах и с ростом их порядковых номеров убывает. Самые распространенные изотопы относятся к типу $4n$ (^{12}C , ^{16}O , ^{24}Mg , ^{28}Si , ^{40}Ca , ^{56}Fe).

Образование Солнечной системы связывают с происхождением химических элементов – последнего акта ядерного синтеза в космической эволюции вещества.

Относительно происхождения планет существует три класса гипотез:

- Солнце и планеты солнечной системы образовались в космических временных рамках одновременно из вращающейся газопылевой туманности (гипотеза Канта-Лапласа);
- Вещество планет возникло из материи «выброшенной» Солнцем (гипотезы: Бюффона, Чемберлена-Мультона, Джинса-Джеффриса, Фесенкова);
- Планеты солнечной системы образовались из газопылевой туманности захваченной Солнцем (гипотеза Шмидта).

Наиболее вероятной представляется гипотеза Канта-Лапласа. Считается, что 98% массы досолнечного облака нашей звездной системы было представлено атомами (прежде всего водородом и гелием), а 2% - космической пылью из ледовых (водяных, углекислых, метановых, аммиачных и др.), каменных (в основном силикатных и оксидных) и железоникелевых образований. Первичное облако (небула) изначально вращалось и при этом сжималось. Так как центробежные силы препятствовали сжатию в экваториальной плоскости, облако приобрело сплюснутую форму.

При сжатии скорость вращения возрастала, и в центре первичного облака образовался сгусток, который постепенно разогревался, что обуславливало конвекцию тепла¹⁵ от центра небулы к периферии. Космическое излучение ионизировало облако до состояния плазмы. Сила Кориолиса¹⁶ закручивала конвекционные потоки плазмы в спирали. В целом небула напоминала соленоид, генерирующий магнитное поле. Магнитные силовые линии «армировали» туманность, обуславливая ее вращение как единого целого.

Английский астрофизик Ф. Хойл предположил, что при превышении критической температуры и массы вещества в центре туманности произошел распад небулы на Протосолнце и периферийный газопылевой диск с ничтожно

планете со времён её формирования и являются первичными. Происхождение названий некоторых химических элементов приведено в Приложении 1.

¹⁵ Конвекция - перенос теплоты потоками вещества.

¹⁶ Сила Кориолиса (по имени франц. учёного Г. Кориолиса) - одна из сил инерции, обуславливающая отклонение прямолинейного движения потока (в данном случае плазмы), связанного с вращающимся массивным телом. Это отклонение проявляется при очень больших скоростях движения или при весьма длительном движении (например, ток воды в реках, сопровождает подмыв берега).

малой плотностью. В Протосолнце сосредоточилась почти 99,9% массы первичного облака, при незначительном моменте количества движения. Остаток вещества образовал газопылевой диск, на который приходилось 98% начального момента количества движения туманности. Величина силы Кориолиса, на медленно вращающемся Протосолнце, была весьма незначительна, поэтому потоки плазмы перестали закручиваться в спирали, генерация единого магнитного поля в туманности прекратилась. Протосолнце сжималось и разогревалось, и когда температура в его ядре достигла миллионов градусов, началось термоядерное «горение» водорода, а Протосолнце превратилось в настоящую звезду – Солнце, плазменный шар диаметром в $1,4 \times 10^6$ км, с массой в $1,98 \times 10^{33}$ г и средней плотностью 1,4.¹⁷

При разрушении небулярного соленоида (рис. 2) напряженность магнитного поля в газопылевом диске на краткий по космическим масштабам момент времени (тысячи лет) резко возросла. Возникли круговые электрические токи, и диск распался на отдельные независимо вращающиеся кольца. Кольца перетягивались магнитными силовыми линиями, образуя стяжения – глобулы¹⁸. По мере увеличения массы протопланетных сгустков и уменьшения степени ионизации происходило уплотнение вещества.

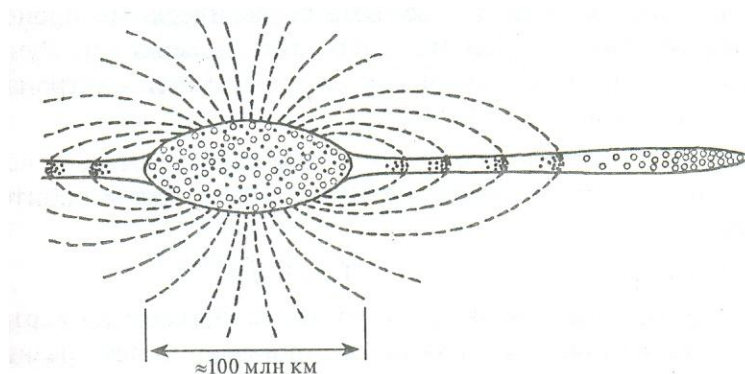


Рис. 2 Небула в режиме ротационной неустойчивости (по А.П. Никонову)

Распределение атомов в небулярном соленоиде определялось их склонностью к ионизации. Атомы с высоким потенциалом ионизации (металлы и металлоиды - черные точки на рис. 2) концентрировались близ Протосолнца, а с низкой склонностью к ионизации (неметаллы - кружки на рис. 2) распространялись дальше от центра системы. Поэтому ближайшие к Солнцу

¹⁷ Солнце излучает водородную плазму (солнечный ветер), образующую гелиосферу, которая распространяется на расстояние до 3×10^9 км и ограничена межзвездным газом.

¹⁸ Российские ученые Т. Энеев и Н. Козлов в 1980 г. предложили математическую модель образования планет Солнечной системы из газовых глобул. С моделью согласуются фактическое число планет, расстояния между ними, обратное вращение Венеры, наличие пояса астероидов за орбитой Нептуна.

планеты (земной группы) отличаются от состава внешних планет Солнечной системы (группы Юпитера).¹⁹



Рис. 3 Последовательность расположения планет Солнечной системы

Описанная модель распределения химических элементов при образовании планет позволяет оценить исходный состав протопланетного вещества в зоне формирования Земли (табл. 1).

Таблица 1

Состав вещества в зоне формирования Земли [6]		
Элемент	% от общего числа атомов	масс. %
Водород	59	
Кремний	19,5	15,2
Магний	15,5	12,7
Железо	2,5	34,6
Алюминий	1,0	1,1
Кальций	0,9	1,1
Натрий	0,7	0,6
Кислород	0,6	29,5
Углерод	0,03÷0,3	
Сера	0,01÷0,1	1,9
Азот	<0,01	

Почти 60% всех атомов в этой зоне составлял водород. Водород мигрирует через твердые тела и многие металлы под давлением способны поглощать значительное количество водорода с образованием твёрдых растворов, сохраняющих кристаллическую структуру металла, и имеющих плотность, значительно превышающую плотность самого металла. Это происходит потому, что атомы металла, взаимодействуя с водородом, теряют внешнюю электронную оболочку и превращаются в ионы, имеющие значительно меньший объем²⁰. При нагревании гидрид распадается на водород и металл, объем которого превышает исходный объем гидрида.

¹⁹ Плотность внешних планет в 3-7 раз уступает плотности планет земной группы.

²⁰ Диаметр атома Mg 3,2 ангстрема, диаметр иона Mg²⁺ 1,3 ангстрема. Диаметр атома Si 2,7 ангстрема, диаметр иона Si²⁺ 1,1 ангстрема. Плотность гидридов Mg и Si может превысить плотность Au. Диаметр иона H⁺ меньше диаметра иона металла в n×10⁴ раз. В нормальных условиях плотность Si равна 2,33, а при давлении соответствующем глубине 1200 км составляет 4,66.

Начальная плотность глобулы не превышала $1,5 \text{ г/м}^3$. Энергия гравитационного сжатия расходовалась на создание химических связей водорода с металлами, а разогрев вещества при его конденсации не превышал критических значений распада гидридов. Затем согласно гипотезе В.Н. Ларина [6] тепло распада радиоактивных элементов в недрах Протоземли обусловило смену эндотермической генерации гидридов на экзотермическую реакцию их разложения во внешней части ее ядра. Объем планеты за счет распада металлогидридов стал увеличиваться и этот процесс продолжается по настоящее время²¹.

Водород, проходя через вещество планеты, вступал в восстановительные реакции, что способствовало перемещению к поверхности других химических элементов (прежде всего кислорода). В результате этого процесса Земля расслоилась на ряд геосфер. В центре находится плотное внутреннее ядро из гидридов (в основном кремния и магния)²². Его окружает внешнее ядро наводороженных металлов, которые при больших давлениях обладают пластичными свойствами, далее следует нижняя мантия - металлосфера, состоящая на 60% из Mg_2Si , на 30% из Si и на 10% из FeSi с примесью других элементов и перекрытая силикатно-окисной оболочкой - литосферой.

По другим представлениям планеты земной группы возникли при слиянии (аккреции) силикатно-железо-никелистых космических тел, которые постепенно разогрелись благодаря распаду радиоактивных элементов до такой степени, что металлы расплавились и «стекли» к центру масс, образовав металлические ядра²³, а более легкий и силикатный материал остался на периферии, образовав мантию. При этом роль 98% вещества небулы в формировании планет незначительна.

Предположение о железо-никелистом ядре было сделано по принципу аналогии: железо – устойчивый, тяжелый, магнитный и распространенный химический элемент. Однако при давлениях, действующих в центре Земли (около 3000 т/см^2), плотность железа будет существенно больше плотности земного ядра. Железо-никелистые метеориты, которые отождествляют с

²¹ Кэри У. В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной. -М.: Мир, 1991, 447 с. Согласно оценке Ю.Г. Старицкого (1998) за последние 450 млн. лет радиус Земли увеличился на 377 км.

²² Предположение о том, что ядро Земли является реликтом первичного вещества Солнечной системы в 1957 г. сделал Л. Эггед. Исходя из этих представлений, температура внутреннего ядра может обеспечивать явление близкое к сверхпроводимости.

²³ Энергия распада радиоактивных элементов, существовавших в объеме Протоземли, недостаточна для выплавки вещества ядра Земли, составляющего около 1/3 от ее массы. Ни одно из месторождений урановых и ториевых руд не содержит расплавов.

веществом ядра Земли, не содержат других элементов в количествах необходимых для компенсации избыточной плотности гипотетического железо-никелистого ядра. В ядре Земли температура, согласно указанным представлениям, превышает 4000°C, но при нагреве свыше 769°C железо утрачивает ферромагнитные свойства (точка Кюри). Данные сейсмического зондирования показали, что скорость прохождения сейсмической волны через ядро и железо близки. Но не все подобное тождественно. Например, скорость прохождения сейсмической волны через лунный грунт (реголит) и швейцарский сыр одинакова...

Планеты, имеющие значимые гравитационные поля, обладают атмосферой. Первоначально атмосферы Венеры, Земли и Марса видимо состояли главным образом из углекислого газа. В отличие от Венеры и Марса физические условия на поверхности Земли позволяют воде существовать в жидкой фазе. На Венере для этого слишком жарко (средняя температура у поверхности 480°C), а на Марсе слишком холодно (средняя температура -55°C). С образованием на Земле водоемов, углекислый газ стал растворяться в воде, образуя углекислотные осадки (в последующем карбонатные породы). Постепенно практически весь углекислый газ был удален из земной атмосферы, и роль ведущего газа в ней перешла к азоту. С появлением фотосинтезирующих растений в земной атмосфере накопилось значительное количество кислорода. Современная атмосфера Земли имеет азотно-кислородный состав, в отличие от углекислых атмосфер Венеры и Марса.

Ближайшей космический сосед Земли – Луна, наиболее хорошо изученный объект космоса. Луна исследована десятками автоматических станций. Шесть раз (в 1969÷72 гг.) на Луну высаживались астронавты. С поверхности и скважин глубиной до 3 м отобрано и доставлено на Землю 5 т лунных горных пород.

Луна обращается вокруг Земли по эллиптической орбите на среднем расстоянии 384400 км (~60 радиусов Земли). Масса Луны составляет $73,5 \times 10^{18}$ т (1,23% массы Земли). Систему Земля—Луна следует рассматривать как двойную планету с общим центром масс, отстоящим от центра Земли на 4,7 тыс. км.²⁴

²⁴ Силу притяжения Луны и Земли оценивают величиной в 2×10^{16} т. Из-за отклонения орбиты Луны от плоскости экватора происходит смещение центра масс, изменение положения оси вращения Земли и напряженного состояния недр.

Притяжение Луны создаёт приливные явления в атмосфере, водной оболочке и литосфере. Приливные волны перемещаются при вращении Земли и в земной коре имеют амплитуду до 43 см, в открытом океане для воды до 1 м. Многократное изменение состояний горных пород при приливах приводит к необратимому изменению их свойств, одним из проявлений этого является планетарная трещиноватость. Трение, сопровождающее движение приливов, приводит к потере системой Земля—Луна энергии и передаче момента количества движения от Земли к Луне. Вращение Земли замедляется, а Луна удаляется от Земли, при этом центр общих масс смещается к центру Земли. В результате увеличения радиуса Земли и взаимодействия с Луной продолжительность суток возрастает на 0,57 сек за столетие. По годичным кольцам прироста ископаемых кораллов установлено, что период вращения Земли вокруг оси увеличивается (450 млн. лет назад длительность суток составляла 21,9 час, а в году было 400 дней).

Из-за приливного взаимодействия вращение Луны вокруг своей оси синхронизировано с вращением вокруг Земли, и Луна постоянно обращена к Земле одной стороной. На видимом с Земли полушарии Луны выделяются светлые и темные области. В XVII в. Г. Галилей установил, что темные области Луны («морья») имеют ровную поверхность, тогда как светлые области («континенты») изобилуют кратерами и горными хребтами.

Полагают, что первоначально вся поверхность Луны представляла собой сплошной «континент». «Континентальная» кора Луны сложена кристаллическими горными породами (анортозитами). Луна на раннем этапе развития подвергалась интенсивной метеоритной бомбардировке, в результате чего оказалась изрыта метеоритными кратерами (рис. 4). На поздних этапах метеоритной бомбардировки Луна претерпела удары очень крупных тел, в результате этого возникли глубокие разломы, из которых излились лавовые покровы. Видимо свою роль сыграло и притяжение Земли. Так образовались сравнительно ровные лунные «морья». На невидимой стороне Луны нет крупных «морей», поверхность образует «континент». Американские лунные сейсмостанции позволили установить, что поверхностная оболочка (кора) Луны асимметрична: на видимой стороне она имеет мощность около 60 км, а на обратной около 200 км²⁵. Энергии метеоритов падающих на обратную сторону не хватало, чтобы пробить лунную кору.

²⁵ Возможно из-за смещения ядра Луны под влиянием притяжения Земли.



Рис. 4 Фрагмент лунной поверхности с кольцевыми метеоритными кратерами
(фото из Интернета)

На Луне зафиксированы слабые лунотрясения, эпицентры которых располагаются вдоль линий маркирующих? крупнейшие разломы. «Сейсмоактивные» зоны примерно совпадают с теми районами Луны, где астрономы наблюдали быстротечные истечения газов, которые можно интерпретировать как выходы вулканических газов.

Луна хранит массу загадок. Анортозиты - горные породы, на значительных площадях залегающие непосредственно на поверхности Луны, могли образоваться только при условии кристаллизации под покровом плотной внешней среды. Что представляла собой и куда делась эта внешняя среда неизвестно. Обнажения анортозитов свидетельствуют о существенных вертикальных перемещениях лунной коры, а также о значительной эрозии, либо о процессах пока неизвестных. Представления о других космических объектах следует составить самостоятельно.²⁶

²⁶Полагают, что Луна и астероиды могут служить в будущем источником минерального сырья. На Земле значительная часть месторождений возникла из осадков водной среды, а также в результате гидротермальных процессов и выветривания горных пород с участием воды. При ведении горных работ на Луне и астероидах должны учитываться малая гравитация, сильное космическое излучение, отсутствие атмосферы, жидкой воды и пр.

2. СТРОЕНИЕ И ВОЗРАСТ ЗЕМЛИ

Земля (от древнеславянского корня «зем» слов пол, низ) - третья от Солнца планета и пятая по размеру и массе среди планет Солнечной системы. Важнейшим отличием Земли от других планет Солнечной системы является существование на ней жизни в форме биополимерных тел (систем), способных к саморепликации в условиях постоянного обмена веществ и энергии с окружающей средой, достигшей с появлением человека стадии разума (ноостадии)²⁷. Условия для развития жизни в привычных нам формах на других планетах не обнаружены. Однако жизнь — естественный этап развития материи, поэтому Землю нельзя считать единственным обитаемым космическим телом, а земные формы жизни высшими и единственно возможными²⁸.

Образование Земли сопровождалось дифференциацией вещества, которой способствовал постепенный разогрев недр, за счёт теплоты, выделявшейся при: миграции масс под действием силы тяжести, экзотермических реакциях образования химических соединений из свободных элементов, распаде металлогидридов в периферийной зоне земного ядра и радиоактивных элементов²⁹. В результате дифференциации Земля разделена на концентрические слои — геосферы, различающиеся химическим составом, агрегатным состоянием и физическими свойствами. Дифференциация вещества Земли происходила и происходит на протяжении всей геологической истории.

Современный радиус Земли ~6371 км. По скорости прохождения сейсмических волн установлено, что в центре Земли имеется ядро радиусом ~3400 км, состоящее из сверхплотного вещества в особом состоянии (рис. 5).

²⁷ Жизнь, более сложная по сравнению с физической и химической форма существования материи. Живые объекты отличаются от неживых способностью к размножению, активной регуляцией своего состава и функций, формами движения, раздражимостью, приспособляемостью к окружающей среде и т. д.

²⁸ Амер. физик Ф. Типлер считает, что жизнь – закодированная информация, которая сохраняется естественным отбором и не привязана к нуклеиновым кислотам обязательным образом. Российские исследователи А.В. Олескин, И.В. Ботвинко, Т.А. Кировская (1997) полагают, что «функция наследственной передачи признаков ... первоначально зависела от неорганических генов», а белково-нуклеиновая основа жизни на Земле возникла через промежуточные этапы, важную роль в которых играли атомы металлов (Fe, Zn, Cu, Co, Mg, Ca), а также соединения серы, фосфора, азота и простейшие органические молекулы. Гипотетически, носители разума могут существовать и на основе «темной» материи. Вне Солнечной системы выявлены десятки планет, физические условия которых близки к земным.

²⁹ Согласно представлениям С. Кларка, К. Турекьяна, Л. Гроссмана и др. геосферы возникли независимо друг от друга в результате дискретной конденсации вещества протопланетной газовой туманности.

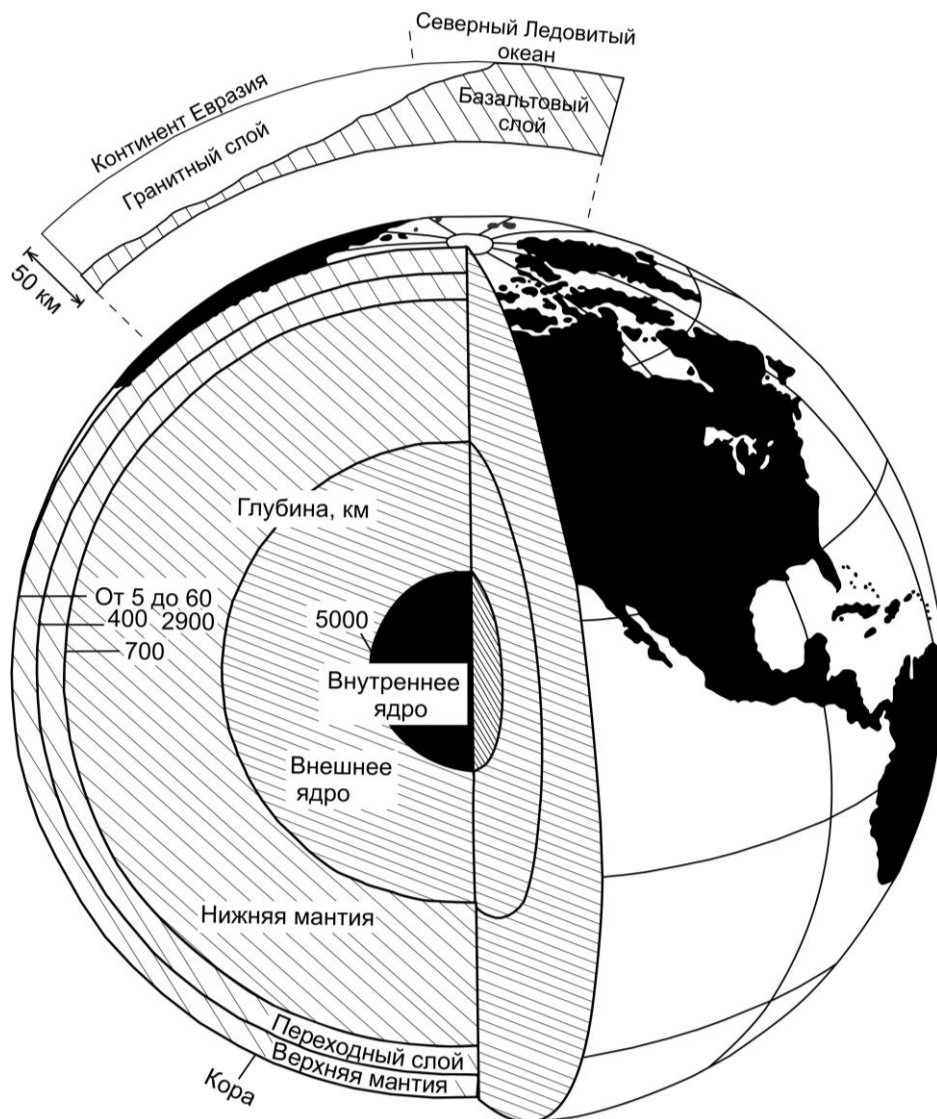


Рис. 5. Земля в разрезе (по Р.Ф. Флинту)

Выше ядра выделен особый вещественный комплекс – мантия толщиной ~2900 км. Мантия составляет около 80% объема Земли. Сцепление между ядром и мантией отсутствует. Вязкость вещества внешнего ядра значительно меньше вязкости вещества мантии. Из мантии к поверхности Земли идёт тепловой поток, в 20 тысяч раз меньший чем от Солнца (в среднем 0,06 Вт/м² суммарно около $2,5 \times 10^{13}$ Вт). Температура мантии ниже температуры полного расплавления горных пород (под материками порядка 600÷700°C). Нижняя часть мантии, прилегающая к ядру, на глубинах от поверхности Земли более 700 км находится в пластичном состоянии. В верхней мантии до глубины 700 км отмечаются очаги землетрясений, что указывает на значительную прочность слагающего её материала. Верхняя мантия расслоена. На глубине до 250 км в мантии выделяется слой пониженной вязкости - астеносфера.

Выше астеносферы залегает литосфера - область распространения горных пород, плотность которых возрастает с глубиной. В процессе расширения

Земли литосфера распалась на отдельные блоки – литосферные плиты, рассогласованно перемещающиеся по астеносфере.

Верхняя часть литосферы называется земной корой. Земная кора - единственная из внутренних геосфер, доступная прямому изучению, имеет мощность 5÷70 км (в среднем 16 км) и состоит из наиболее лёгких горных пород. Земная кора – субстрат, на котором осуществляется основная деятельность человечества и источник минерального сырья. Границей земной коры и верхней мантии считается поверхность Мохо, выделенная А. Мохоровичичем, при прохождении которой сверху вниз скорость продольных сейсмических волн резко возрастает, что можно интерпретировать как увеличения упругости и плотности вещества. В средней части земной коры на уровне т. н. границы Конрада (7÷18 км) по уменьшению скорости прохождения продольных волн и резкому снижению электрического сопротивления выделены прерывистые субгоризонтальные зоны. В сверхглубокой скважине СГ-3, пробуренной на Кольском полуострове на глубине 7÷10 км зафиксировано увеличение пористости горных пород и флюидопритоков. К этим глубинам приурочены очаги большинства землетрясений.³⁰

Физическим выражением внешней границы земной коры является рельеф³¹. Преобладающая часть рельефа непрерывно и постоянно скрытая водой с общим солевым составом называется Мировым океаном. Возвышающиеся над уровнем Мирового океана крупнейшие массивы земной коры - материки (континенты). Переходная область между материками и океанами, характеризующаяся уклоном до 10', называется шельфом. Общая площадь шельфа порядка 30 млн. км².

Земная кора на материках и под океаном различна. Земная кора под океанами по сейсмическим данным³² имеет мощность 5÷10 км и разделяется на

³⁰Юдахин Ф.Н. Волноводы в средней части земной коры и их роль в геодинамике. –с.144 (Ин-т экопроблем Севера УрО РАН, Архангельск).

³¹ Рельеф - совокупность неровностей поверхности суши, дна океанов и морей.

³²Геофизик Н.К. Булин считает, что достоверность сейсмических данных зависит, прежде всего, от искусства и эрудированности интерпретаторов и что мощность земной коры океанов и континентов практически одинакова. Геофизический прогноз по скважине СГ-3 совпал с фактическим разрезом лишь до глубины 0,4 км из пройденных 12,3 км. При сейсмозондировании параметры волн (координаты точек отражения и энергия) оцениваются по записям сейсмических волн и не имеют метрологического эталона. Результаты сейсморазведки лишь косвенно характеризуют состояние среды, а средства сейсморазведки не являются средствами измерений. «Интерпретация данных сейсмических исследований дело будущего» - считает президент международной программы «Литосфера» К. Фукс. Перефразируя Л. Тейлора можно сказать, что геофизические методы позволяют дистанционно часто с высокой точностью измерить физические параметры неизвестно чего. Фактом являются оценки геофизических параметров по конкретным методикам, а не результаты интерпретации этих оценок.

2 основных слоя. Под слоем морских осадков мощностью от 0 до 1 км залегает комплекс пород, обедненный кремнеземом (SiO_2) суммарной мощностью 5÷9 км, условно называемый базальтовым слоем.

Материковая земная кора, имеет мощность 35÷45 км, в горных районах до 70 км³³. Верхнюю часть материковой земной коры составляет прерывистый чехол, состоящий из разновозрастных осадочных и вулканических пород. Под чехлом толща материковой коры (фундамент) разделяется на 2 слоя с условными названиями: верхний обогащенный SiO_2 — гранитный, нижний — базальтовый слой. В переходной зоне от материка к океану выделяют земную кору промежуточного типа.

В земной коре с глубиной уменьшается содержание кремнезёма и глинозёма и возрастает содержание окислов железа и магния, светлые и легкие (плотность 2,65) магматические породы сменяются темными и более плотными (плотность >2,9). В целом материковая кора сложена горными породами невысокой плотности, поэтому континенты возвышаются над океаническими впадинами. Земная кора близка к состоянию изостазии (равновесия): чем плотнее или толще какой-либо участок земной коры, тем глубже он погружен в мантию. Этим объясняется обращенный характер поверхности мантии под горными сооружениями («корни» гор).

Температура земной коры с глубиной возрастает в среднем на 30°C/км. Радиоактивные калий, уран и торий, содержащиеся в гранитном слое под материками могут генерировать этот тепловой поток. Тепловой поток океанической коры на порядок превышает величину возможного радиогенного тепла и видимо, обусловлен распадом металлогидридов в периферийной зоне земного ядра.

Литосфера, являясь глобальным геологическим телом, состоит из отдельных частей. Границы, объемы, образование и эволюция этих частей, как и связь земной коры и литосферы в целом с более глубокими геосферами могут быть представлены по-разному. Мобилистская гипотеза предполагает, что основными структурными элементами являются литосферные плиты (Северо-Американская, Евразийская, Африканская, Южно-Американская, Индо-Австралийская, Антарктическая и Тихоокеанская и ряд более мелких), ограниченные зонами максимальной сейсмической активности (взаимодействия), включающие участки континентальных массивов и

³³Мощность коры по отношению к диаметру Земли меньше толщины яичной скорлупы к диаметру яйца.

океанических впадин, и перемещающиеся горизонтально как единые элементы на тысячи километров (рис. 6).

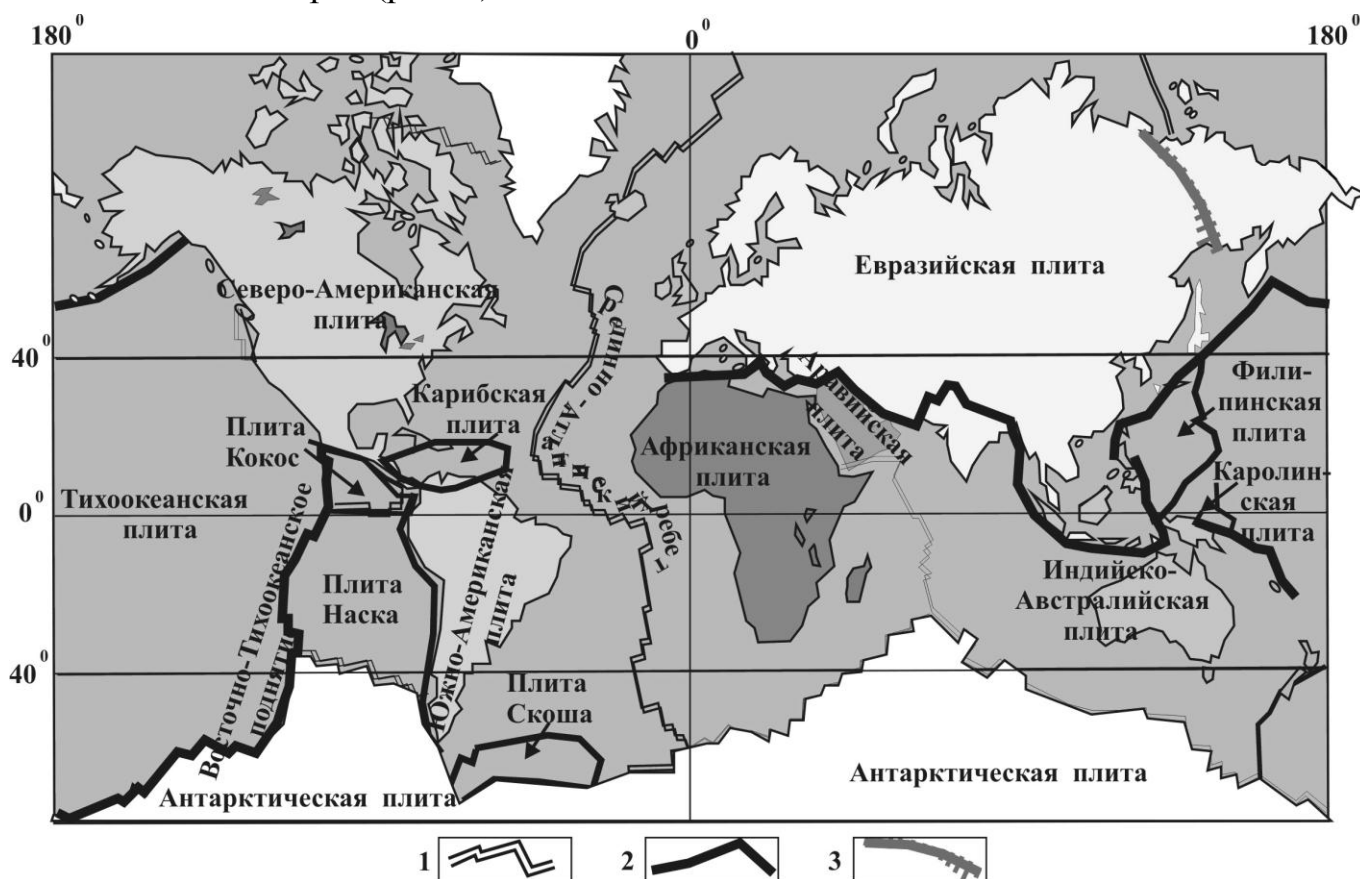


Рис.6 Размещение основных литосферных плит

1 - Срединно-океанические хребты; 2 – границы плит; 3- граница между платформами Евразийской плиты (по К.Сейферту, 1990 с упрощениями)

Согласно фиксистской гипотезы положение материков относительно стабильно, а их образование и эволюция включает две фазы геосинклинальную и платформенную. Геосинклиналь - это обширный, вытянутый участок земной коры, характеризующийся значительными вертикальными движениями с последовательным образованием прогиба, заполнением его осадками и преобразованием прогиба в складчатое горное сооружение, которое постепенно разрушается, что приводит к выравниванию рельефа и формированию платформенного чехла на складчатом основании (фундаменте платформы).

Платформа - крупный (несколько тысяч км в поперечнике), относительно устойчивый участок земной коры выдержанной мощности, характеризующийся низкой сейсмичностью, специфической вулканической деятельностью и слабо расчленённым рельефом (А.Д. Архангельский, 1932). Под осадочно-вулканогенным чехлом платформ залегает фундамент, сформированный в доплатформенную (геосинклинальную) стадию развития. Окраины платформ периодически вовлекаются в опускания с накоплением континентальных

обломочных, а также угленосных или соленосных мелководно-морских песчано-глинистых и карбонатных отложений. Тектонические движения, обусловившие с горообразование (орогенез), приводят к поднятию платформ (главным образом на их периферии) и возникновению эпиплатформенных орогенов. Переход отдельных частей земной коры из геосинклинальной в платформенную стадию развития происходит в масштабах планеты не одновременно. По времени образования складчатого фундамента платформы разделяют на древние и молодые.

Древние платформы, составляющие ядра современных материков, возникли более 600 млн. лет назад (например, Восточно-Европейская (Русская) и Сибирская платформы). В составе фундамента древних платформ преобладают сильно дислоцированные граниты, гнейсы и кристаллические сланцы.

Фундаментом молодых платформ считают комплекс умеренно дислоцированных и слабо метаморфизованных осадочных и вулканогенных пород при подчинённом значении гранитов, имеющих возраст менее 600 млн. лет. К молодым платформам относят, например, равнинную часть Западной Сибири и Предкавказья.

Наиболее крупные структурные элементы древних платформ — щиты и плиты. В пределах щитов вследствие длительного поднятия и размыва отсутствует осадочный чехол и на поверхность выступает фундамент платформ (например, Балтийский и Алданский щиты). Плиты имеют характерное для платформ двухэтажное строение, включая мощный (3÷5 км) осадочный чехол.

С земной корой взаимодействуют внешние водная (гидросфера) и воздушная (атмосфера) оболочки, которые сформировались из паров и газов, выделившихся из недр Земли. В гидросфере вода находится в жидком, твердом, газообразном, химически и биологически связанном состоянии.

Большую часть поверхности Земли занимает Мировой океан (70,8% или 361,1 млн. км²), который расчленяется материками на Тихий, Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый. Суша (149,1 млн. км² или 29,2%) включает шесть материков: Евразию, Африку, Северную Америку, Южную Америку, Антарктиду и Австралию, а также острова. Восточное и северное полушария Земли — материковые. Суша в северном полушарии занимает 39%, а в южном полушарии лишь 19% поверхности. Западное полушарие, как и южное —

океанические³⁴. Неравномерность распределения массы земной коры создает моменты сил, не совпадающие с направлением вращения Земли и, видимо, сказывается на ходе геологических процессов.

Обобщенный профиль суши и дна океанов образует материковую и океаническую «ступени». Среднее превышение суши от поверхности Мирового океана 875 м. Средняя глубина океана около 3800 м. Высочайшая вершина мира — гора Джомолунгма в Гималаях достигает 8848 м.³⁵ Глубочайшая океанская впадина - Марианский желоб в Тихом океане имеет абсолютную отметку -11022 м. Размах абсолютных отметок между горой Джомолунгмой и Марианской впадиной почти 20 км.

Около 96% общего объема воды сосредоточено в океанах и морях³⁶; более 2% заключено в подземных водах; около 2% — во льдах и снегах (главным образом Антарктики, Арктики и Гренландии); 0,02% — в поверхностных водах суши (в реках, озёрах, болотах). В литосфере содержится до 1,3 млрд. км³ воды, что близко к её объему в гидросфере.

В атмосфере содержится 0,0007% и организмах 0,0001% воды. Водные массы всех форм взаимно обращаемы. В общем круговороте наиболее подвижна влага атмосферы. Годовое количество осадков, выпадающих на Земле (119 тыс. км³/год), равно количеству воды, испарившейся с поверхности суши и океанов.

Атмосферой называют газовую среду выше земной коры. Сухой атмосферный воздух у поверхности содержит по объёму 78,08% азота, 20,95% кислорода (~10⁻⁶% озона), 0,93% аргона и около 0,03% углекислого газа. Менее 0,1% приходится на водород, неон, гелий, метан, криптон и др. газы. Во влажном воздухе содержание водяного пара у земной поверхности колеблется от 2×10⁻⁵% в Антарктиде до 4% в тропиках. В воздухе присутствует также пыль почвенного, органического, техногенного и космического происхождения, частички вулканического пепла и минеральных солей³⁷. Наиболее плотным слоем атмосферы является прилегающая к земной коре тропосфера, на которую приходится 75% от массы атмосферы. При отсутствии атмосферы средняя

³⁴ Асимметрия полушарий обусловлена неравномерностью расширения Земли. В наибольшей степени расширение затрагивает океанические полушария.

³⁵ Через каждый км подъема в горы температура снижается на 5÷7°C.

³⁶ В отличие от океана море занимает меньшую площадь, имеет существенно меньшую глубину (<3800 м), а берега, как правило, принадлежат одному матерiku.

³⁷ При среднем содержании растворенных веществ в атмосферных осадках в 0,2÷0,3 мг/л на 149 млн. км² суши в год выпадает 3 млн. т солей.

температура на Земле составляла бы -19°C . Общие сведения о геосферах представлены в табл. 2.

Таблица 2

Строение Земли (без верхней атмосферы) (БСЭ с изменениями)

Геосферы	Объём $\times 10^{18}$, м ³	Плотность, кг/м ³	Масса $\times 10^{18}$, т	Доля массы геосферы от массы Земли, %
Тропосфера*	1,5	1,22 (н. у.)	~0,003	$\sim 10^{-6}$
Гидросфера	1,4	1030	1,4	0,02
Земная кора	10,2	2850	28	0,48
Мантия	896,6	3300÷5700	4013	67,2
Ядро	175,2	9400÷12300	1934	32,3
Вся Земля	1083,4	5500	5976**	100,0

* Тропосфера простирается на ~ 12 км. ** $1/448$ доля массы внешних планет и $1/330000$ массы Солнца.

Земля обладает гравитационным, магнитным и электрическим - геофизическими полями. Гравитация обуславливает сферичность Земли, многие черты рельефа, течение рек, движение ледников и др. геологические процессы.

Магнитное поле создаётся в результате вращения Земли и особого состояния вещества на периферии ее ядра. Магнитная ось смещена от центра Земли на 436 км в сторону Тихого океана и наклонена на 12° по отношению к оси вращения Земли. Магнитное поле образует магнитосферу, по форме напоминающее комету с хвостом направленным от Солнца. С магнитным полем Земли связано электрическое поле, которое в значительной степени формируется благодаря процессам, протекающим на границе фаз в системе вода – горная порода. Литосфера несёт отрицательный электрический заряд, который компенсируется объёмным положительным зарядом атмосферы. Земля в целом электронейтральна.

Геофизические поля Земли поглощают и преобразуют галактические лучи и излучение Солнца. Магнитосфера и особенно атмосфера задерживают большую часть жёсткой электромагнитной и корпускулярной радиации и защищают от их смертоносного воздействия живые организмы. Земля получает $5,4 \times 10^{24}$ МДж/год лучистой энергии Солнца, но лишь около 50% ее достигает поверхности Земли и служит главным источником энергии ветра, океанических течений и др. Средняя температура у поверхности Земли $+4^{\circ}\text{C}$.

Линейная скорость вращения Земли от 0 м/сек на полюсах до 465 м/сек (1670 км/час) на экваторе. Поэтому центробежная сила и ускорение силы тяжести минимальны на экваторе. Скорость вращения Земли несколько меняется в течение года из-за воздействия Луны и сезонных перемещений

воздушных и водных масс. Поскольку Земля имеет сплюснутую форму (избыток массы у экватора), а орбита Луны лежит не в плоскости земного экватора, притяжение Луны вызывает полный поворот земной оси в пространстве за 26 тыс. лет. На это движение накладываются периодические колебания положения оси (основной период 18,6 года).

Ось вращения Земли отклонена на $23^{\circ}26,5'$ и от нормали к плоскости большого круга небесной сферы, по которому происходит видимое годичное движение Солнца. На протяжении XX века этот угол уменьшался на $0,47''$ за год. Наклон оси вращения Земли к плоскости большого круга приводит к смене времён года. Гравитационное влияние Луны, Солнца и планет вызывает периодические изменения эксцентриситета орбиты и наклона оси Земли, что является одной из причин многовековых изменений климата³⁸.

Земля имеет сложную форму, определяемую совместным действием гравитации и центробежной силы, вызванной осевым вращением Земли, а также совокупностью рельефообразующих сил. Приблизённо форму Земли описывают уровенной поверхностью гравитационного потенциала (т. е. поверхностью, во всех точках перпендикулярную к направлению отвеса), совпадающую с поверхностью воды в океанах (при отсутствии волн, приливов-отливов, течений и возмущений, вызванных изменением атмосферного давления). Эту поверхность называют геоидом. Объём, ограниченный этой поверхностью, считается объёмом Земли. За средний радиус Земли принимают радиус шара того же объёма, что и объём геоида³⁹. На территории России за поверхность геоида принята условная поверхность, совпадающая с многолетним средним уровнем воды в Финском заливе, зафиксированном на особом замерном пункте в Кронштадте (футштоке). Расстояния по вертикали от этого уровня до любой точки называется ее абсолютной отметкой, которая может иметь как положительные, так и отрицательные значения.

Поверхность Земли, гидросферу, тропосферу, а также верхнюю часть земной коры объединяют под названием географическая (ландшафтная⁴⁰) оболочка. Географическая оболочка явилась ареной возникновения(?) жизни,

³⁸Климат – многолетний режим погоды, в определенных физико-географических условиях. Погода – состояние атмосферы. По воздействию воды на породы земной коры различают три типа климата: гумидный – влажный, аридный - сухой и нивальный климат - полярных и высокогорных областей.

³⁹Экваториальный радиус Земли 6378 км, полярный 6357 км. Уровень поверхности моря, в общем, повторяет топографию морского дна. Поверхность геоида волнообразна. Ранее считалось, что Земля имеет форму сфероида. Расхождение высот между поверхностями геоида и сфероида в отдельных точках достигает 150 м.

⁴⁰Ландшафт - сочетание рельефа, климата, почв и растительного покрова в определенных границах.

развитию которой способствовало наличие на Земле физических и химических условий, необходимых для синтеза органического вещества. Возраст углеродистого органического вещества в горных породах⁴¹ (~3,8 млрд. лет) указывает, что уже в начале геологической истории наша планета не была безжизненной, а температура поверхности была близка к современной. Прямое или косвенное участие организмов во многих геохимических процессах имеет глобальные масштабы и качественно изменяет географическую оболочку, преобразуя состав атмосферы, гидросферы и отчасти земной коры⁴².

Первые организмы были безъядерными⁴³ одноклеточными и получали энергию, расщепляя H_2S . Схема реакции хемосинтеза⁴⁴ приведена ниже (1).



Основными компонентами атмосферы 4,5÷4,3 млрд. лет назад были углекислота, азот, сернистый ангидрид, аммиак, метан. Содержание кислорода не превышало 0,02%. Примерно 3,1÷3,3 млрд. лет назад вслед за бактериями появляются простейшие водоросли, осуществлявшие фотосинтез. Содержание кислорода в атмосфере превысило 0,02%. Через 500÷700 млн. лет содержание кислорода в атмосфере достигло 0,2%, а еще через 1,5 млрд. лет благодаря деятельности многоклеточных растений достигло 2%. Увеличение доли свободного кислорода в атмосфере обусловило появление красноцветных породных комплексов, окрашенных оксидом железа, и в последующем возникновение защитного озонового слоя, что позволило организмам выйти за пределы гидросферы⁴⁵.

Совокупность организмов и среда их обитания составляют неразрывное целое. Это позволяет рассматривать эволюцию биосферы и земной коры как совместный и непрерывный процесс. В ходе эволюции возрастает количество видов растений и животных, усложняется их организация и функции. Изучение

⁴¹ Изотопный состав углерода в органических и минеральных соединениях существенно различен.

⁴² Более 96% органической массы составляют Н, О, С, N, 4% приходится на Са, Р, Na, S, К, Cl, Mg и др. элементы.

⁴³ Высшими таксономическими категориями (рангами) в системе органического мира являются биологические надцарства, царства и подцарства. По отсутствию или наличию в клетках истинного ядра организмы разделяют на два надцарства прокариот и эукариот, включающие 4 царства. Прокариоты включают одно царство — дробянки (два подцарства — бактерии и сине-зелёные водоросли); эукариоты — три царства: растения (2 подцарства — низшие растения и высшие растения), грибы (2 подцарства — низшие грибы и высшие грибы) и животные (2 подцарства — простейшие и многоклеточные животные).

⁴⁴ При хемосинтезе используется энергия, получаемая при окислительно-восстановительных реакциях. Хемосинтезирующие организмы обитают на дне морей у термальных источников, возможно, и на других планетах.

⁴⁵ Жесткое ультрафиолетовое излучение разрушает ядра клеток.

условий осадконакопления, магматических и тектонических процессов, соотношения радиоактивных изотопов и продуктов их распада, комплексов окаменевших (фоссилизированных) органических остатков и продуктов жизнедеятельности⁴⁶ дает возможность расчленить геологическую историю Земли на отдельные геохронологические этапы: эоны, эры, периоды и более короткие интервалы геологического времени (табл. 3).

Возраст древнейших горных пород доступных изучению по данным радиометрии⁴⁷ составляет ~4 млрд. лет⁴⁸, причем эти породы представляют собой преобразованные ранее существовавшие горные породы. Возраст Земли как геологического тела оценивается в 4,5÷4,7 млрд. лет.⁴⁹

Наиболее древний этап геологического развития Земли носит название архейского (AR)⁵⁰ эона (эпохи) и подразделяется по структурно-вещественным особенностям на 4 эры (эоархей - AR₁, палеоархей – AR₂, мезоархей – AR₃, неоархей – AR₄) общей продолжительностью более 1,5 млрд. лет, на протяжении которых в земной коре преобладали восстановительные геохимические условия, а органический мир был представлен лишь одноклеточными организмами.

В интервале 2500÷542 млн. лет от настоящего времени выделен протерозойский (PR) эон, в отложениях которого выявлены многоклеточные бесскелетные организмы, а геохимическая обстановка в целом характеризуется как окислительная. В составе протерозоя выделяют три эры: палеопротерозой (PR₁), мезопротерозой (PR₂) и неопротерозой (PR₃).

⁴⁶ Аристотель считал окаменевшие органические остатки переходной формой между органическим и минеральным царством, доказательством самозарождения жизни из ила. В 1940 гг. идею зарождения жизни из минерального вещества в современных условиях отстаивала акад. АМН СССР О.Б. Лепешинская. До конца XVIII в. существовало и представление, что окаменелости - игра природы, либо заготовки организмов, созданные Богом. Хотя еще Геродот, Страбон, Л. да Винчи, М.В. Ломоносов и др. признавали в фоссилиях остатки ранее живших организмов. Де Маршалл считал, что если Земля возникла при аккреции космических тел, то отпечатки организмов следует рассматривать как доказательства существования внеземной жизни.

⁴⁷ Распад радиоактивных элементов в минерале начинается с момента его образования. Если известны: скорость распада, текущее количество радиоактивного элемента и продуктов распада, то можно оценить время образования минерала.

⁴⁸ Образцы для определения возраста пород отбирались фактически с поверхности. Возраст нижележащих пород не известен.

⁴⁹ В 1650 г. архиепископ Дж. Ашер (Ирландия) вычислил, что бог сотворил Землю 18 октября 4004 г. до н. э., а в 9 часов утра 23 октября и Адама. Эту дату он получил из сопоставления возрастов и родственных связей всех упомянутых в Библии лиц. От библейского сотворения Мира прошло чуть более 6 тыс. лет. Возраст Земли франц. естествоиспытатель Ж. Бюффон в XVIII веке оценил в 70 тыс. лет, а в XIX веке англ. физик У. Кельвин в 20 млн. лет.

⁵⁰ Для каждого этапа эволюции земной коры принят индекс, образованный начальной буквой соответствующего латинского названия, а также для отображения соответствующих комплексов горных пород на геологических картах (по предложению И.В. Гете) цвет.

Табл. 3. Упрощенная геохронологическая таблица

Эра	Период	Продолжит. Нижн. граница (млн. лет)	Эволюция биосферы		Горючие полезные ископаемые
			Флора	Фауна	
Кайнозой Kz	Четвертичный Q	<u>1,8</u> 1,8	Широкое распространение кустарниковых форм и трав	Появление человека и социосферы	Торф (100%)
	Неогеновый N	<u>23</u> 25	Преобладание современных древесных видов	Формирование близкого к современному сообщества животных	Бурые угли. Нефть, газ
	Палеогеновый P	<u>43</u> 66	Появление трав	Широкое развитие млекопитающих	Бурые и каменные угли. Нефть, газ
Мезозой Mz	Меловой K	<u>80</u> 146	Первые цветковые (покрытосеменные) растения	Вымирание последних динозавров, аммонитов	Нефть, газ. Угли
	Юрский J	<u>54</u> 200	Голосеменные растения (хвойные, цикадовые и гинкговые)	Широкое распространение морских рептилий, динозавров, птерозавров, крокодилов. Появление птиц	Нефть, газ. Угли. Горючие сланцы
	Триасовый T	<u>51</u> 250	Голосеменные растения	Динозавры. Появление черепах, ящериц, млекопитающих	Нефть, газ. Угли. Горючие сланцы.
Палеозой Pz	Пермский P	<u>48</u> 299	Голосеменные растения (цикадовые и гинкговые, первые хвойные)	Вымирание многих морских беспозвоночных. Господство на суше примитивных рептилий. Появление предков динозавров	Угли. Горючие сланцы. Нефть, газ.
	Каменноугольный C	<u>60</u> 359	Голосеменные растения (кордаиты). Высшие споровые	Появление рептилий. Широкое распространение амфибий. Стрекозы	Угли. Горючие сланцы. Нефть, газ.
	Девонский D	<u>47</u> 416	Распространение наземных растений (псилофиты, хвощи, папоротники)	Бескрылые насекомые. Появление и распространение амфибий. Распространение рыб	Барзассит. Горючие сланцы. Нефть, газ.
	Силурийский S	<u>28</u> 444	Появление наземных споровых растений (псилофиты)	Выход членистоногих на сушу. Скорпионы	Гор. сланцы. Нефть, газ. Углепроявления.
	Ордовикский O	<u>44</u> 488	Царство водорослей	Эволюция примитивных рыб. Царство морских беспозвоночных	Горючие сланцы. Нефть, газ.
	Кембрийский Є	<u>54</u> 542	Царство водорослей	Появление трилобитов, скелетной фауны (предков рыб). Царство членистоногих	Нефть, газ. Горючие сланцы
Протерозойский эон PR ₁ ÷PR ₃		<u>458</u> 1000	Царство многоклеточных водорослей	Появление предков морских червей, медуз, губок, членистоногих	Горючие сланцы. Нефть, газ.
		600/1600 900/2500	Появление эукариот. Водоросли, бактерии (Fe)		Шунгит. Нефть, газ.
Архейский эон AR ₁ ÷AR ₄		2000/4500	Первые биогенные отложения. Геологическая эволюция←Химическая эволюция←Физическая эволюция		

Интервал геологического времени (AR+PR), до распространения скелетных животных назван криптозоом, на который приходится 89% от общей длительности геологической истории. Этап геологического времени после распространения скелетных форм – фанерозой.

Границы между эрами фанерозоя (палеозоя - Pz, мезозоя - Mz и кайнозоя - Kz) также соответствуют переломным рубежам в развитии органического мира, обусловленными планетарными тектоническими перестройками, изменениями климата и т. п.

Начиная с нижнего палеозоя (кембрийский период) в отложениях присутствуют остатки скелетных форм животных. В растительном сообществе в палеозое резко преобладали споровые формы, в мезозое наибольшую значимость имели голосеменные растения, кайнозой - эра покрытосеменных и цветковых растений. Изменения в растительном царстве (кормовой базе), предшествовали и обуславливали изменения в животном мире.

Земля - открытая система и в составе Солнечной системы обращается вокруг центра галактики Млечный Путь. Скорость движения Солнца по галактической орбите составляет примерно 220÷250 км/с. Период обращения Солнечной системы (галактический год) оценивается в 215 млн. лет с погрешностью не менее 10%. От возникновения Земли как планеты прошёл 21 галактический год.

В качестве начала отсчета нового галактического года принят момент нахождения Солнечной системы на минимальном расстоянии от центра Галактики. Солнечная система движется волнообразно относительно экваториальной плоскости Млечного Пути, пересекая её каждые 30÷35 млн. лет. В свою очередь Млечный Путь совершает оборот вокруг ядра Метагалактики за 11 млрд. лет.

Завершение одного и начала другого галактического года сопровождается глобальными перестройками литосферы, потеплениями климата, изменениями биоты, повышениями уровня Мирового океана. Длительность этой фазы составляет 20÷30 млн. лет. Глобальные изменения можно связать с периодическим вхождением Солнечной системы в мощные потоки космического вещества, которое оказывает прямое воздействие на Землю. Внутри каждого галактического года происходят меньшие по масштабам явления, которые могут быть условно названы сезонами.

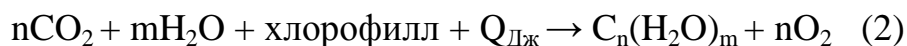
Последние три галактических года, соответствуют по геохронологической шкале вендско-ордовикскому, силурийско-пермскому и

мезозойско-кайнозойскому этапам геологической истории. Текущий галактический год длится около 5 млн. лет.

Человечество⁵¹ существует ~2 млн. лет (0,04% геологического времени). На протяжении жизни поколения секундная стрелка геологической истории неподвижна и наблюдается лишь один «кадр» фильма о естественном развитии Земли.

Ввиду глобального значения живого вещества как геологического агента область распространения жизни и биогенных продуктов была названа биосферой⁵² (сферой жизни). Биосферу составляют различные биогеоценозы — комплексы живых организмов (биоценозы⁵³) и неорганических компонентов взаимосвязанных обменом веществ и энергии.

Геологическая роль живого вещества проявляется в биогеохимических процессах. Через посредство живых организмов (главным образом через фотосинтез) солнечная энергия вводится в физико-химические процессы земной коры, а затем перераспределяется через питание, дыхание и размножение организмов, вовлекая в процесс косное вещество. Растения за год усваивают $3,65 \times 10^{11}$ т CO_2 , $1,5 \times 10^{11}$ т H_2O и выделяют $2,7 \times 10^9$ т O_2 .⁵⁴ Основное значение в образовании органического вещества растений имеет фотосинтез, который можно описать схемой:



Для перевода 1 моля углекислого газа в углеводы необходимо около 460 Дж тепла, а для выработки 1 моля жирового вещества 600 Дж. Ежегодно

⁵¹Переход от приматов к человеку связан с заменой биологических регуляторов внутри сообщества регуляторами социальными. Этого требовала организация трудового процесса. Наследуется лишь потенциальная возможность приобретения речи, усвоения социальных правил и трудовых навыков. Современные люди принадлежат к: надцарству эукариотов; царству животных; подцарству многоклеточных; типу позвоночных; классу млекопитающих; отряду приматов; семейству гоминид; роду *homo* (человек); виду *sapiens* (разумный), подвид *faber* (созидающий). Со времени появления *Homo sapiens faber* до XXI века н. э. сменилось порядка 3000 поколений. Через миллионы лет на смену четвертичному периоду придет новый геологический период, который будет характеризоваться иными видами флоры и фауны, а на смену *Homo sapiens* придет иной вид носителей разума, свободных от биологических регуляторов.

⁵²Биосфера охватывает часть атмосферы, гидросферу и земную кору, которые взаимосвязаны сложными биогеохимическими циклами миграции веществ и энергии. Начальный момент этих циклов заключён в химическом связывании солнечной энергии растениями и синтезе биогенных веществ. В 1969 г. Дж. Лавлок и Л. Маргулис предложили концепцию Геи, согласно которой Земля – живое существо, а биосфера функционирует как единый организм.

⁵³Биоценоз – совокупность растений, животных, микроорганизмов на участках суши или водоёма, характеризующихся определёнными отношениями как между собой, так и с другими элементами ландшафта. Биоценоз — система, способная к саморегулированию, хотя живое вещество реально проявляется в виде отдельных организмов, различающихся условиями существования, составом, строением, видовой принадлежностью.

⁵⁴Для вызревания початка растение кукурузы перерабатывает 2 т воздуха и 200 л воды.

растения связывают и превращают в химическую энергию 2×10^{15} квт/час солнечной энергии. При этом в процессе фотосинтеза из воздуха изымается 10^{10} т углерода. Большая часть углерода возвращается в атмосферу в результате разложения (окисления, горения) органики одновременно высвобождая тепловую (солнечную) энергию. Поедая пищу и обогревая жилье дровами и углем, мы используем законсервированную энергию Солнца.

Общее количество углерода в атмосфере по оценке В.А. Успенского $6,1 \times 10^{11}$ т. Процесс захоронения органического вещества идет более 3,5 млрд. лет. В течение года более 10^9 т углерода из атмосферы, гидросферы и биосферы уходят в литосферу. Если бы атмосфера не пополнялась углекислым газом из недр, примерно за 600 лет весь углерод атмосферы мог бы быть связан в органических отложениях.⁵⁵ Круговорот углерода в атмо- и гидросфере создает условия для развития биосферы.

Живые организмы распространены в части объема Земли, где жидкая вода находится в состоянии термодинамической устойчивости и в ряде областей с температурой ниже 0°C . Поле устойчивости жизни (условия среды, в которых возможна жизнедеятельность организмов) расширяется с увеличением приспособляемости в ходе эволюции, а также за счёт создания защитных оболочек, внутри которых возникают особые условия, отличающиеся от условий окружающей среды. Наибольший размах этот процесс принял с появлением человека, который способен существенно расширять сферу своего обитания и формировать новые оболочки Земли (техносферу, ноосферу).

На Земле существует до 2 млн. видов животных и до 500 тыс. видов растений. Из животных по числу видов первое место занимают насекомые (950 тыс. видов), затем идут моллюски (70 тыс. видов) и позвоночные (60 тыс. видов)⁵⁶. Из растений на первом месте — покрытосеменные (до 300 тыс. видов). Грибы (70÷100 тыс. видов).

Масса современного живого вещества оценивается в десятки триллионов тонн. Биомасса растений на суше значительно больше, чем животных. Наиболее велика биомасса лесов (примерно 3×10^{11} т сухого вещества). Биомасса почвенных наземных животных около $0,5 \times 10^9$ т сухого вещества⁵⁷,

⁵⁵ Уменьшение содержания CO_2 в атмосфере на средних широтах в 2 раза может понизить среднегодовые температуры на $4\div 5^\circ\text{C}$, а увеличение повысить температуру в высоких широтах на $8\div 9^\circ\text{C}$.

⁵⁶ В т.ч. млекопитающих порядка 5,4 тыс. видов.

⁵⁷ Большая часть общей биомассы животных в поясе умеренного климата приходится на почвенную фауну (дождевые черви, личинки насекомых, нематоды, многоножки, клещи и др.). В лесной зоне она составляет сотни кг/га, главным образом за счёт дождевых червей (300—900 кг/га). Черви и муравьи

биомасса всех прочих животных суши в $10\div 100$ раз меньше. Общая биомасса бактерий и других микроорганизмов в биоценозах суши превосходит биомассу животных. Землю следует считать планетой бактерий. Годовая продукция $C_{\text{орг}}$ в Мировом океане оценивается в $35\div 75\times 10^9$ т, при величине терригенного сноса 25×10^9 т минерализуется 99% $C_{\text{орг}}$.⁵⁸

на 1 га за год перемещают порядка 25 т минерального вещества. Средняя биомасса позвоночных животных достигает 20 кг/га.

⁵⁸ В арктических морях России (общей площадью $4,48\times 10^6$ км²) за год накапливается 9×10^6 т $C_{\text{орг}}$ при уровне fossilization 5,5%. В пелагиали океана коэффициент fossilization 0,02%, на шельфе до 1,3% (Ветров А.А., Романкевич Е.А. 2001).

3. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ НЕДР.

МИНЕРАЛЫ И ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Геохимическая классификация элементов. Из внутренних геосфер Земли для изучения и практического использования доступна лишь верхняя часть земной коры. Относительные содержания химических элементов в земной коре, гидросфере, Земле в целом, космических телах и др. геохимических системах оценивают в кларках (в честь амер. геохимика Ф.У. Кларка). Различают весовые (мас.%; г/т) и атомные (% от числа атомов) кларки. В земной коре преобладают восемь элементов ($\Sigma 99$ мас.%): кислород (46÷47), кремний (25,7÷27,7), алюминий (7,7÷8,1), железо (5,0÷6,2), кальций (3,6÷5,8), магний (2,1÷3,2), натрий (1,8÷2,8) и калий (1,3÷2,6); (Ti 0,4; H, P, Mn по 0,1 мас.%). На долю кислорода приходится почти половина массы земной коры и с учетом ионного радиуса, кислород занимает порядка 60% ее объема. Земную кору можно представить как соединения кислорода и кремния с примесью других элементов.

В земной коре наиболее распространены элементы с четными порядковыми номерами в периодической таблице (табл. 1). Содержание химических элементов, в общем, убывает по мере увеличения массовых чисел и не стабильности ядер атомов и часто не соответствует обыденным представлениям. Из-за разной способности элементов к образованию в земной коре устойчивых соединений в значительных концентрациях, кларки широко используемых элементов Cu, Zn, Pb во много раз меньше, чем кларки считающихся редкими Zr, V, Y.

Химические элементы, имеющие близкие химические и физические свойства, обусловленные в значительной степени строением внешних электронных оболочек, концентрируются в определённых геохимических системах и делятся на четыре группы: литофильные, халькофильные, сидерофильные, атмосферные. Один и тот же химический элемент может концентрироваться в разных природных системах.

Литофильные (камнелюбивые) элементы – основные химические элементы горных пород, проявляют химическое сродство к кислороду. В их число входят 54 элемента периодической системы: O, Si, Al, C, все щелочные и щёлочноземельные металлы, галогены и многие редкие элементы. Большинство из литофильных элементов в свободном состоянии не встречается. На литофильные элементы приходится около 97 мас.% солей вод океанов — продуктов разрушения (выветривания) горных пород.

Халькофильные (меделюбивые) элементы - основные химические элементы сульфидных руд (S, Cu, Zn, As, Se, Ag, Sn, Sb, Au, Hg, Pb и др). Халькофильные металлы обладают сродством к S, Se, Te, часть из них встречается в свободном состоянии. В определённых условиях образуют месторождения сульфидных руд.

Сидерофильные (железолубивые) элементы - представлены элементами VIII группы периодической системы (Fe, Co, Ni, МПП⁵⁹) и некоторыми другими элементами (Mo, Re). Иногда к сидерофильным элементам относят также Au, P, As, C, Sn, Sb и др. Встречаются либо в самородном состоянии, либо в соединениях низших валентностей. Сидерофильные элементы обнаруживают химическое сродство к мышьяку (Pt, Co, Ni, Fe), несколько меньше — к сере (главным образом Mo и Re, а также Pd, Fe, Co, Ru, Pt). Сидерофильные элементы за исключением Fe характеризуются очень низкими кларками. Металлы группы платины обладают пониженной миграционной способностью.

Атмофильные элементы - химические элементы типичные для атмосферы Земли. К атмофильным элементам относят: водород, азот и инертные газы (гелий, неон, аргон, криптон, ксенон и радон), все они за исключением водорода и углерода находятся в атмосфере в виде простых веществ. Кислород, слагающий ~47 мас.% литосферы, относят к литофильным элементам.

Особую группу образуют биофильные элементы (элементы жизни), входящие в состав живого вещества. Они делятся на макробиогенные (H, C, N, O, Cl, Br, S, P, Na, K, Mg, Ca) и микробиогенные (V, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, B, Si, Mo, F).

Минералы. Минералы – это продукты природных химических процессов, свойственных геосферам Земли. Чаще всего под минералом (от лат. *minera* – руда) подразумевают природное элементарное геологическое тело, обладающее индивидуальными физическими и химическими свойствами, состоящее из одного, либо из закономерного сочетания химических элементов.

Минерал - промежуточное звено в ряду объектов разной категории сложности. Элементарные частицы образуют атомы; атомы, соединяясь химическими связями, образуют минеральные индивиды; ассоциации минералов слагают горные породы; горные породы формируют определенные структурно-вещественные комплексы (геологические формации), в совокупности образующие земную кору. К минеральным образованиям относят

⁵⁹ МПП - металлы группы платины: Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt

природные неорганические соединения, соли органических кислот и углеводородные ископаемые смолы (янтарь)⁶⁰.

Термин минерал применяется как по отношению к конкретным кристаллам и зернам - минеральным индивидам, так и к их определенным группам – минеральным видам, выделяемым по составу и/или структуре. Минеральные виды по отличиям в форме, свойствах, составе или атомарной структуре (кристаллической решетке) разделяют на разновидности. Идентичные по химическому составу минералы с разной структурой и соответственно имеющие другой облик и иные свойства, относят к разным минеральным видам, например, алмаз, графит и фуллерен (C); кальцит и арагонит (CaCO₃); пирит и марказит (FeS₂). Это явление называется полиморфизмом.

В кристаллических решетках минералов химические элементы могут замещаться другими, если их заряды совпадают по знаку, близки по атомным весам и ионным радиусам, при этом соединения различные по составу кристаллизуются в одинаковых формах. Это явление носит название изоморфизм. Так, например, железо в минералах может быть замещено или замещает Al, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Zn, Ga, In, Pt; медь может быть замещена или замещает Co, Ni, Zn, Ga, Ag, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi. Поэтому большинство химических формул минералов носит качественный характер, указывает только главные (видообразующие) элементы и их примерное соотношение.

К началу XIX века было известно менее 100 минеральных видов, к концу XIX в. – 1500, в настоящее время число известных минеральных видов приближается к 4000, хотя 85 химических элементов по теории вероятности могут дать порядка 10²⁸ сочетаний. Из-за незначительной распространенности большинства химических элементов и рамок природных условий число минералов ограничено. Новые минеральные виды чаще всего представлены отдельными зернами, примазками, пленками.

В настоящее время нашли применение порядка 600 минералов. Практическая ценность минералов определяется возможностью извлечения из них химических элементов или их особыми свойствами (твердостью, тугоплавкостью, электроизоляционными, оптическими, декоративными, пьезоэлектрическими и др.). Порядка 40 минералов могут применяться в естественном виде без разделения на химические элементы (как консервант,

⁶⁰ По В.И. Вернадскому, Н.А. Смольянинову, А.К. Болдыреву, А.Г. Бетехтину и др. все продукты природных химических процессов не независимо от агрегатного состояния являются минералами.

абразивы, молекулярные сита, драгоценные и поделочные камни, огнеупоры). Минералы слагают руды, используются как флюсы и горно-химическое сырье. Примерно 25 минералов (биолитов) могут образоваться в живых организмах, это главным образом, фосфаты, оксалаты, карбонаты, сульфаты, кремнезем, оксиды и гидроксиды железа.

Минералы чаще всего встречаются в виде минеральных зерен и при благоприятных условиях принимают форму кристалла.⁶¹ Традиционно считается, что кристалл – твёрдое тело,⁶² имеющее естественную форму правильного многогранника, обусловленную периодическим расположением атомов⁶³ (ионов, молекул) в узлах структурного каркаса (рис. 7).

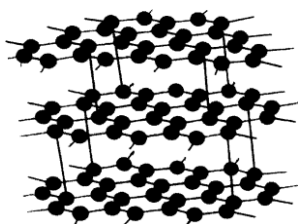


Рис. 7. Кристаллическая решётка графита

Кристаллическая решетка возникает при размещении ионов под действием сил притяжения и отталкивания наиболее плотно друг к другу, при условии трёхмерной периодичности. Электронные оболочки атомов, объединённых в кристаллическую решетку химическими связями, перекрываются.

Кристалл – система равновесная в конкретных физико-химических условиях. Атомы в кристаллической решетке, колеблются около положений равновесия, причём характер колебаний зависит от координации атомов, энергии связи и внешних условий. С повышением температуры колебания атомов усиливаются, что может привести к разрушению структурной решетки и переходу вещества в жидкое состояние. Кристаллическое вещество всегда анизотропно, т. е. оценки физико-механических свойств по непараллельным направлениям различны.

Каждому кристаллическому веществу при заданных термодинамических условиях, соответствует конкретная кристаллическая структура, определяющая его внешнюю форму и анизотропию физических свойств. Форма кристаллов воспринимается через элементы их огранения – грани, ребра и вершины. Грани кристаллов, как правило, параллельны плоским сеткам пространственной

⁶¹ Зерно минерала, имеющее четкую естественную огранку, называется идиоморфным. Зерно неправильной формы – ксеноморфным.

⁶² В 1888 г. австр. ученый Ф. Рейницер открыл жидкие кристаллы.

⁶³ В 1890 г. Е.С. Федоров установил, что атомы в кристаллах могут образовывать 230 пространственных групп.

решетки с наиболее плотным расположением атомов, сила сцепления между этими плоскостями минимальна. Грани пресекаются по прямым линиям – ребрам. Ребра кристаллов параллельны рядам ионов с наиболее сильной химической связью в решетке. Точки пересечения ребер образуют вершины. Упорядоченность пространственного расположения атомов в кристаллической решетке минерала выражается через симметрию. Симметрия кристаллов – закономерная повторяемость в пространстве элементов его огранения. Форма и размеры кристаллов варьируют, но все кристаллы конкретного минерала имеют одну и ту же симметрию.

Элементы огранения кристаллов связаны воображаемыми плоскостями и линиями (осями) симметрии, которые могут проходить через общую точку (центр симметрии). Оси симметрии (L) – поворотные оси, при вращении вокруг которых на определенный (элементарный) угол тождественные части кристалла повторяются⁶⁴. Плоскость симметрии (P) – плоскость отражения тождественных частей кристалла. Центром симметрии (C) является особая точка внутри кристалла, характеризующаяся тем, что любая прямая проходящая через нее на равных расстояниях по обе стороны от центра встретит структурно тождественные точки кристалла. Сочетание элементов огранения в кристаллах подчиняется определенным правилам, ограничивающим возможные комбинации элементов симметрии. Существует 32 класса симметрии, каждому из которых отвечает определенная кристаллографическая формула, указывающая конкретные элементы симметрии в соответствующих пространственных формах. Например, кристаллы кубической формы имеют 3 четверные, 4 тройные, 6 двойных осей, 9 плоскостей и центр симметрии (формула симметрии: $3L_44L_36L_29PC$). Кристаллу в виде прямоугольного параллелепипеда соответствует формула симметрии $3L_23PC$; а шару - $\infty L_\infty \infty PC$.

По огранению кристаллы делятся на две группы: т.н. простые формы, состоящие из одинаковых по форме и величине симметрично расположенных граней (куб, октаэдр) и комбинаций 47 простых форм. В природе встречаются 7 основных видов кристаллических конструкций, каждой из которых соответствует определенное число плоскостей, осей определенного порядка и центр симметрии.

⁶⁴Элементарный угол кратен 30° , содержится в 360° целое число раз, которое называется порядком оси. Со структурными решетками минералов согласуются оси второго (L_2), третьего (L_3), четвертого (L_4) и шестого (L_6) порядка. Пятерная ось симметрии, встречающаяся в органическом царстве, запрещена в кристаллах.

При росте кристалла его грани смещаются параллельно самим себе поэтому углы между соответствующими гранями кристалла одного и того же вещества постоянны⁶⁵.

Форма реальных кристаллов обычно отличается от идеальной. Условия зарождения и роста кристалла влияют на его облик. При обильном поступлении исходного вещества возникают несовершенные кристаллы содержащие посторонние включения. При недостатке соответствующего вещества в питающих растворах кристалл начинает растворяться. Облик кристалла во многом зависит и от его положения во время роста. Например, если кристалл кварца во время формирования свисает вертикально, то сила тяжести направлена вдоль длинной оси кристалла (L_3), а питающие растворы поступают медленно и равномерно, при этом формируются наиболее совершенные кристаллы с чистыми гранями. При росте снизу вверх грани кристалла кварца оказываются загрязненными транзитными компонентами. При наклонном или горизонтальном положении длинной оси кристалла, питающие растворы обтекают его неравномерно, нижние грани получают меньше питания, чем верхние. Если исходное вещество осаждается преимущественно на ребрах кристаллов, то грани начинают отставать в скорости роста и при этом возникают ажурные («скелетные») кристаллы (например, снежинки). Размеры кристаллов меняются от 1 нм (коллоидно-дисперсные минералы) до 15 м (кристаллы кварца, берилла, полевого шпата, мусковита). Минеральное вещество может заполнить ограниченный объем произвольной формы, образуя зерна.

Искажение формы кристаллов подчиняется четким закономерностям и происходит только в пределах допускаемых их симметрией. Кристаллы при росте сохраняют только те элементы симметрии, которые являются общими и для кристалла и для кристаллообразующей среды. Кристаллы обладают «памятью»: изучение дефектов кристаллов позволяет восстановить условия их формирования.

Природные кристаллы состоят из различно ориентированных кристаллических блоков размером $10^{-4} \div 10^{-6}$ см, структура каждого из которых почти идеальна. Вследствие изменений условий роста, захвата примесей и вторичной деформации в кристаллах возникают точечные дефекты, и

⁶⁵ В 1611 г. И. Кеплер установил равенство углов между лучами снежинок. В 1669 г. Н. Стенон определил, что во всех кристаллах данного вещества при данных температуре и давлении двугранные углы между соответствующими гранями (вне зависимости от размеров и формы граней) всегда одинаковы.

нарушается порядок упаковки атомных слоев. При наличии в минерале всего $10^{-7}\%$ примесных атомов число дефектов в 1 см^3 кристаллической решетки составит примерно 10^{13} .⁶⁶ Благодаря дефектам кристаллических решеток минералов в недрах имеет место диффузия⁶⁷.

Часто в природе наблюдаются псевдоморфозы – минеральные образования, облик которых не соответствует их составу и/или строению. Псевдоморфозы возникают при замещении исходного вещества минеральным веществом иного состава с сохранением исходной формы. Например, псевдоморфоза халцедона по древесине, гетита по пириту, магнетита по гематиту (мушкетовит) и пр.

Физические свойства минералов определяются их составом, структурой, преобладающим типом связи, составляющих их атомов (ионов)⁶⁸, типом и количеством дефектов. В большинстве минералов химические связи имеют смешанный характер.

Кристаллы изучают рентгеноструктурным, электронографическим и др. методами, что позволяет оценить размеры элементарной ячейки и их структуру.

Ряд минеральных образований имеют аморфное строение (опал, обсидиан, янтарь, твердые нефтиды) с беспорядочным расположением составляющих его атомов (молекул) и обладают изотропностью (физические свойства одинаковы во всех направлениях). Аморфные и высокодисперсные вещества относят к минералоидам.

Кристаллическое состояние вещества более устойчиво, чем аморфное, т. к. закономерному расположению иона в структурной решетке отвечает минимальная внутренняя энергия. В процессе свободного роста кристаллические образования стремятся принять форму характерную именно для данного вещества (самоограниться⁶⁹). Аморфные вещества не способны к самоогранению.

⁶⁶ Епифанов Г.И. Физика твердого тела. –М.: ВШ, 1977.

⁶⁷ Диффузия - проникновение соприкасающихся веществ друг в друга вследствие теплового движения частиц. Диффузия происходит в направлении падения концентрации вещества и ведёт к равномерному распределению вещества по всему занимаемому им объёму.

⁶⁸ Типы химической связи: ионная (электронное взаимодействие между ионами); ковалентная (имеются атомы с общей парой электронов); металлическая (ионы связываются между собой свободными электронами); координационная или донорно-акцепторная (характерна для соединений с комплексными радикалами); Ван-дер-Ваальса (слабое межмолекулярное взаимодействие).

⁶⁹ Б.Н. Артемьев первым провел опыт по самотрансформации шаров каменной соли в ее насыщенном растворе в кубические кристаллы. В природе наряду с характерными кубическими кристаллами встречается волокнистая (игольчатая) каменная соль. Игольчатый облик могут иметь и кристаллы кальцита.

Упрощенная диагностика минералов основывается на оценке облика зерен (кристаллов) и их агрегатов; физических свойств (показатель преломления, цвет, блеск, спайность, твердость, ковкость, хрупкость, плотность, магнитность, радиоактивность, плавкость и др.)⁷⁰ и химических особенностей (реакции с кислотами, основаниями, горючесть и др.), органолептических свойств.

Минеральные индивиды могут иметь изометрический, уплощенный или удлинённый вид. Часто минералы встречаются в виде закономерных сростков одиночных кристаллов – двойников, своеобразных «роз», «щеток» (друз)⁷¹ (рис. 8), зерен. Грани некоторых кристаллов имеют штриховку, возникающую в связи с особенностями роста.

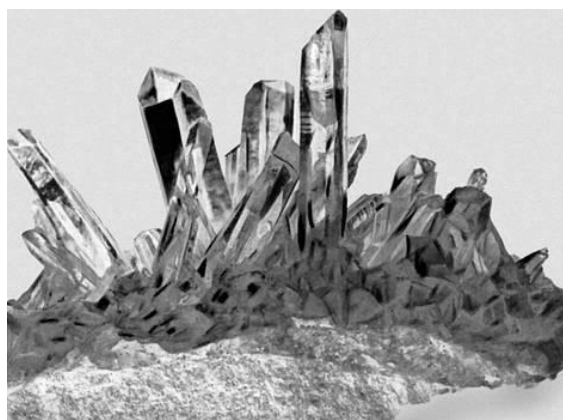


Рис. 8. Друза кристаллов кварца (БСЭ)

По способности пропускать свет (по величине показателя поглощения света) минералы делятся на: прозрачные, полупрозрачные, просвечивающие и непрозрачные. Многие минералы просвечивают в тонких осколках и шлифах⁷². Агрегаты, состоящие из различно ориентированных зерен прозрачного минерала, непрозрачны, так как свет многократно преломляясь в разных направлениях, рассеивается и отражается.

При прохождении света через прозрачный кристалл может наблюдаться расщепление луча на два пучка, распространяющихся с разными скоростями в двух перпендикулярных плоскостях. Это явление называется двойным лучепреломлением и является диагностическим свойством, например, для разновидности минерала кальцита - исландского шпата.

⁷⁰Ряд макроскопических свойств минералов можно определить, только если они представлены крупными кристаллами или зернами (обломками).

⁷¹Друза - совокупность кристаллов, выросших гранью или ребром на стенки пустот в массиве горных пород. При этом свободная часть кристаллов хорошо огранена, а их удлинение примерно перпендикулярно к поверхности нарастания. Часто встречаются друзы кварца, пирита, кальцита, антимонита, гипса и др.

⁷²Шлиф – пластинка горной породы толщиной до 0,03 мм отшлифованная с двух сторон и предназначенная для микроскопических исследований породы в проходящем свете.

Блеск минералов (светоотражение) определяется показателями преломления и поглощения света, а также характером отражающей поверхности. Различают минералы с металлическим, металловидным и неметаллическим блеском. Блеск, напоминающий блеск полированного металла называют металлическим, потускневшего металла металловидный (полуметаллический). Наиболее яркий блеск - металлический характерен для минералов с металлическим типом химической связи: самородных металлов (золото, серебро, медь и др.), многих сульфидных соединений (галенит, пирит и др.) и оксидов металлов (гематит и др.). Неметаллический блеск часто наблюдается у прозрачных минералов. В порядке убывания яркости различают следующие виды неметаллического блеска: алмазный - характерен для минералов с ковалентным типом химической связи (алмаз, касситерит и др.), стеклянный - характерен для минералов с ионно-ковалентным типом химической связи (кварц, гипс, кальцит и др.), перламутровый (слюда, гипс и др.), шелковистый (асбест и др.), жирный (самородная сера и др.). У некоторых минералов блеск на гранях кристаллов и на изломе различный. Например, у кварца на гранях блеск стеклянный, а на изломе жирный. Плёнки и налёты на поверхности резко изменяют блеск минералов.

Цвет минералов – способность поглощать свет (электромагнитные волны) определяется химическим составом и типом химической связи атомов и ионов, а также дефектами и примесями в составе минерала. Избирательное поглощение обуславливает цвет минерала в узком диапазоне спектра. Если поглощение света равномерно по всему диапазону спектра минерал окрашен в серые цвета (от белого до черного).

При описании цвета минералов его часто сопоставляют с цветом каких-либо предметов или веществ (яблочно-зелёный, лимонно-жёлтый, кроваво-красный и т.п.), минеральных «цветовых эталонов» (киноварно-красный, изумрудно-зелёный и др.) или сплавов металлов — оловянно-белый (арсенопирит), стально-серый (молибденит), латунно-жёлтый (халькопирит), медно-красный (самородная медь) и т. д. Ряд минералов меняют свой цвет по различным кристаллографическим направлениям (плеохроизм) или в зависимости от длины световой волны.

Окраска минерала может быть: идиохроматической (собственной) если обусловлена его химическим составом (видообразующими или примесными элементами, играющими роль хромофоров), особенностями кристаллической структуры; аллохроматической, вызванной механическими примесями, чаще

всего включениями окрашенных минералов, иногда — пузырьками жидкостей, газов и т. п.⁷³ Псевдохроматическая окраска обусловлена дифракцией и интерференцией света, а также рассеянием, преломлением, полным внутренним отражением света, особенностями строения минеральных образований (закономерным чередованием фаз различного состава в иризирующих полевых шпатах; глобулярным строением опалов и т.п.) или состоянием поверхностного слоя минеральных зерен (побежалости — радужные плёнки на халькопирите и др.).

Цвет драгоценных и поделочных камней является одной из основных характеристик их качества. Различают цвет минералов в кристаллах (зернах) и агрегатах, под микроскопом (в шлифах и аншлифах⁷⁴), в тонком порошке (цвет черты на бисквите – фарфоровой массе непокрытой глазурью).

Цвет черты является более выдержанным диагностическим признаком, чем окраска минерала в зерне. Цвет порошка минерала и окраска минерала в зерне часто не совпадают. Цвет черты может зависеть от размерности частиц порошка минерала. Например, серая черта молибденита при растирании зеленеет, а серая черта антимонита буреет.

Спайность – свойство минералов раскалываться по определенным кристаллографическим направлениям с образованием поверхностей различной степени совершенства (ровности и блеска). По степени совершенства различают следующие виды спайности: весьма совершенную (слюда), совершенную и среднюю (полевые шпаты и др.), несовершенную (апатит, касситерит и др.), весьма несовершенную (золото, кварц и др.). Спайность в минералах может проявляться по одному или нескольким направлениям. В одном кристалле из-за особенностей структуры может проявиться несколько видов спайности. Поверхности спайности в совокупности образуют многогранники, имеющие характерный облик кристаллов данного минерала. Двугранные углы между плоскостями спайности постоянны и являются одним из диагностических признаков минералов.

Минералы могут раскалываться также и по произвольным поверхностям - изломам, образующим отдельности. Различают изломы занозистые (опал),

⁷³ Так, оранжево-красный цвет сердолика обусловлен включениями гидроокислов железа, зелёный цвет празема (также разновидности кварца) связан с включениями «иголочек» актинолита или хлорита.

⁷⁴ Аншлиф - пластинка горной породы толщиной от 5 мм отшлифованная с одной стороны, предназначенная для микроскопических исследований в отраженном свете.

раковистые (кварц) и др. Ковкие самородные металлы (медь, серебро, золото и др.) дают крючковатые изломы.

Твердость – степень сопротивления механическому воздействию. Наибольшей твердостью обладают минералы с плотным расположением атомов (ионов высокой валентности) в кристаллической решетке в случае их ковалентной связи. Присутствие в кристаллической структуре гидроксильных групп или молекул воды снижает твердость минералов. Твердость минералов зависит также от количества и состава примесей, газовой жидких микровключений, дефектов в структуре, степени выветрелости и т. д. По относительной твердости минералы разделяются на 10 групп. Типичные представители (эталон) каждой группы составляют т. н. минералогическую шкалу твердости от 1 до 10 в порядке возрастания: тальк, гипс, кальцит, флюорит, апатит, ортоклаз, кварц, топаз, корунд, алмаз, предложенную Ф. Моосом в 1811 г. Относительная твердость определяется путем царапания испытываемой поверхности эталоном. При отсутствии эталонов пользуются подручными средствами. Минералы с твердостью 1 и 2 царапаются ногтем, 3 - медной проволокой, 4 - гвоздем, 5 - стеклом, 6 - напильником. Минералы с твердостью 6 и больше царапают стекло. По абсолютной твердости алмаз (10060 кг/мм^2) превосходит кварц (1130 кг/мм^2) в 9 раз, а тальк ($2,4 \text{ кг/мм}^2$) в 4200 раз.

По плотности минералы делятся на легкие до 2,5 (например, минеральные соли), средние $2,5 \div 4$ (например, кварц) и тяжелые более 4 (например, барит).

Химические свойства (например, реакции с кислотами и основаниями, горючесть) и различная растворимость в воде, также используются при диагностике минералов. Например, часть карбонатов выделяет углекислый газ при реакции с разбавленной соляной кислотой в нормальных условиях; сера горит; халькопирит окисляется на воздухе; минеральные соли легко растворяются в воде и т. д.

Минералы можно различать по органолептическим свойствам (вкусу, запаху), тактильным ощущениям, а также по характерному облику. Например, при ударе по арсенопириту появляется «чесночный» запах; галит на вкус соленый; тальк жирный на ощупь и т. п.

Ряд минералов радиоактивен (уранинит, монацит и др.). Свойства минералов, подвергшихся радиоактивному облучению, могут существенно измениться (метамитизация).

Свойства минералов, характеризующие условия их образования и особенности минералообразующей среды, называются типоморфными и используют при оценке перспективности участка недр на выявление залежей полезных ископаемых.

Часто в природе отмечается связь конкретных минералов между собой по месту и условиям образования (парагенезис минералов). В этом случае наличие одного минерала позволяет предположить возможность выявления другого (например, пирит и халькопирит; галенит и сфалерит). Имеет место и невозможность одновременного образования и сонахождения конкретных минералов, например, кварца и нефелина; минералов возникающих только в приповерхностных условиях с минералами больших глубин.

По химическому составу и строению минералы объединяются в типы⁷⁵, важнейшими из которых являются: самородные элементы, сульфиды, оксиды и гидроксиды, галоиды, карбонаты, сульфаты, фосфаты, силикаты и алюмосиликаты.

Самородные элементы (простые вещества) – состоят из атомов лишь одного химического элемента, встречаются в природе в виде более или менее устойчивых минералов. На самородные элементы приходится менее 0,02% массы земной коры. Среди самородных элементов различают: неметаллы (полиморфные модификации углерода — алмаз, графит и др.; S, Se, Te), полуметаллы (As, Sb) и металлы (Au, Ag, Cu, МПГ, Fe, Pb, Zn, Sn, Hg, Bi). К типу самородных относят генетически связанные с ними твёрдые растворы простых веществ и интерметаллические соединения, например, ферроплатину; электрум (AgAu) и т.д. Самородные элементы иногда образуют промышленно значимые скопления - месторождения.

Сульфиды (сернистые соединения) - класс минералов, представляющих собой соединения металлов с серой. На сульфиды приходится порядка 0,5% массы земной коры. По типу химической связи сульфиды — преимущественно ковалентные соединения. Главными видообразующими элементами сульфидов являются Fe, Pb, Cu, Sb, As, Co, Ni, Zn, Cd, Mo, Hg. В виде изоморфных примесей в сульфидах встречаются Au, Ag, Ga, Ge, In, Tl, Re и др. Большинство сульфидов непрозрачны, часто имеют высокую отражательную способность. Твёрдость по минералогической шкале от 1÷2 (молибденит и др.) до 5÷7 (пирит и др.), обычно 2÷4. Плотность свыше 4. При окислении на поверхности Земли

⁷⁵ Тип – крупнейшая систематическая единица минералов. Типы минералов делятся на классы, подклассы, отделы, подотделы, группы, подгруппы, семейства и подсемейства, минеральные виды.

сульфиды переходят в сульфаты, а затем в гидроксиды, карбонаты и др. соли кислородных кислот, реже в самородные элементы (например, Cu, Ag). Многие сульфиды являются важными рудными минералами. Важнейшие диагностические свойства 10 наиболее распространенных сульфидов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Свойства наиболее распространенных сульфидов

Блеск					
металлический			неметаллический		
Относительная твердость					
>5		<5			
Цвет минеральных зерен					
серый	желтый	серый	желтый	бу́рый	красный
Арсенопирит - FeAsS	Пирит - FeS ₂ (кубики)	Галенит – PbS (кубики)	Пентландит - (Fe,Ni) ₉ S ₈ (спайность)	Сфалерит (ZnS)	Киноварь (HgS)
		Молибденит - (MoS ₂)	Пирротин – FeS (магнитный)		
		Антимонит – Sb ₂ S ₃ (лучистый)	Халькопирит - CuFeS ₂ (побежалость)		

Оксиды и гидроксиды - группа минералов, представляющих собой соединения химических элементов с кислородом и/или с гидроксильной группой. На минералы этой группы приходится порядка 17% массы земной коры, в т.ч. на долю минералов кремнезема 12,6%, а на оксиды и гидроксиды железа до 4%.

В качестве катионов в составе оксидов и гидроксидов встречено около 40 элементов; в основном литофильных (Si, Ti, Nb, Ta, Mn, Al, Mg, Sn, Zr и др.) и в меньшей степени халькофильных и сидерофильных. Среди оксидов выделяют простые оксиды (например, минералы кремнезема - SiO₂, корунд - Al₂O₃, гематит - Fe₂O₃, касситерит - SnO₂) и сложные оксиды, включающие атомы металла с различной валентностью (магнетит - FeO×Fe₂O₃, хромит FeO×Cr₂O₃).

Многие оксиды и гидроксиды являются полезными ископаемыми (например, руды Mn, Fe, Al, кварц и др.). Важнейшие диагностические свойства 11 наиболее распространенных оксидов и гидроксидов приведены в таблице 5.

Галоиды - класс минералов, представляющие собой соли галогеноводородных кислот. Наиболее распространены в природе хлориды, реже фториды, весьма редки бромиды и иодиды, а астатиды вообще не встречаются.

Свойства наиболее распространенных оксидов и гидроксидов

Облик			
кристаллы, зернистые агрегаты		натеки, плотные и землистые агрегаты	
Черта			
нет, слабая	окрашенная	нет, слабая	окрашенная
Кварц	Магнетит	Халцедон	Гетит ⁷⁶
Хромит	Гематит	Опал	Пиролюзит
Касситерит		Бокситы ⁷⁷	
Корунд			

По составу, свойствам и условиям образования природные хлориды делятся на две группы. К первой группе относятся растворимые в воде хлориды Na, K, NH₄, Mg, Ca, Al, Mn и Fe. Наиболее распространены: галит (NaCl), сильвин (KCl), бишофит (MgCl₂×6H₂O), карналлит (KMgCl₃×6H₂O). Содержат 20÷70% Cl. В основе кристаллических структур лежит кубическая упаковка ионов Cl. Химическая связь в основном ионная. Часто бесцветны, твердость 1÷2, плотность 1,6÷3,2. Гигроскопичны, на вкус солёные или горькие. Слагают зернистые и плотные массы в крупных месторождениях, прожилки и желваки в осадочных толщах; друзы, налёты и корочки в осадках озёр, солончаках и продуктах вулканической деятельности.

Ко второй группе относят нерастворимые в воде хлориды Cu, Pb, Ag, Hg, As, Sb и Bi, часто с анионами O, OH иногда с NO₃, SO₄. Содержат 6÷35% Cl. Химическая связь в основном ковалентная. Цвет минералов бесцветный, синий, зелёный, жёлтый. Образуют корочки, друзы, налёты, землистые массы. Твердость по минералогической шкале до 4, плотность 3,7÷8,3. Образуются в зоне окисления рудных месторождений в условиях сухого климата при воздействии хлоридных вод на рудные минералы, а также в процессе вулканической деятельности. Хлориды используются в химической и пищевой промышленности, сельском хозяйстве.

В природе фтор чаще соединяется с Na, K, Ca, Mg, Al и с редкоземельными элементами (TR), реже с Cs, Sr, Pb, Bi, В. Фториды

⁷⁶ Гётит (в честь ученого и поэта И.В. Гете), FeOОН. Цвет буровато-жёлтый до тёмно-красновато-бурого. Образует удлиненные кристаллы и их сростки, натёчные агрегаты, а порошковатые и землистые массы. Иногда замещает пирит и др. сульфиды, карбонаты и окислы, содержащие железо, а также органические остатки. В смеси с гидрогётитом, гидрогематитом, лепидокрокитом, окислами и гидроокислами кремния, алюминия и марганца слагает бурые железняки.

⁷⁷ Бокситы (по названию местности Ле-Бо во Франции), горная порода, состоящая из гидратов глинозёма (Al₂O₃) — диаспор (AlOОН), бемита, гиббсита и минералов группы бурого железняка, каолинита, хлорита, кальцита и др. Наиболее вредная примесь — кремнезём (SiO₂). Цвет бокситов от розового до тёмно-красного и от зеленовато-серого до тёмно-серого). Плотность 2,9÷3,5. Твёрдость по шкале Мооса до 6. Структура плотная (яшмовидная), бобовая, оолитовая, пористая, рыхлая (землистая).

бесцветны или окрашены, прозрачны или просвечивающие, со стекляннм блеском, твёрдостью $2\div 5$, плотностью $2,0\div 3,2$ и низкими показателями преломления ($1,30\div 1,50$). Фториды возникают в возгонах вулканов, встречаются в кислых и щелочных породах. Практическое значение имеют флюорит (CaF_2) и криолит ($\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$). Месторождения редки.

Карбонаты – группа широко распространённых природных соединений угольной кислоты (H_2CO_3) с литофильными (Na , Ca , Mg , Sr , Ba , TR), а также халькофильными (Zn , Cu , Pb , Bi) элементами. В состав карбонатов входят один или два главных катиона с добавочными анионами (OH , F , Cl) или без них. Карбонаты имеют твёрдость от 3 до 5, повышенную растворимость в воде, лёгкую растворимость в соляной кислоте, высокое двойное лучепреломление; диссоциируют при нагреве. Цвет карбонатов зависит от ионов-хромофоров. Карбонаты меди — зелёные и синие, урана — жёлтые, железа и редких земель — коричневые, кобальта и марганца — розовые, остальные бесцветны или слабо окрашены.

Карбонаты отлагаются в морских бассейнах (карбонаты кальция и магния слагают мощные толщи известняков доломитов), в гидротермальных месторождениях (кальцит, сидерит, анкерит), в коре выветривания (магнезит), в зоне окисления сульфидов (малахит, азурит). Многие карбонаты могут использоваться как руды Zn , Pb , Bi , Ba , Sr , Cu , Fe , Mn , TR и др. металлов, как сырьё для цементной промышленности (например, кальцит известняка) и как строительный и поделочный материал (доломит, малахит). На карбонаты приходится порядка 1,5% массы земной коры (преобладает кальцит - CaCO_3).

Фосфаты – группа природных соединений ортофосфорной кислоты (H_3PO_4) с катионами Ca , Fe , Al , U , Cu , Mn , Pb , Zn и др., добавочными анионами (OH , Cl , F , O , CO_3) или молекулярной водой. Редко в их состав входят радикалы (SiO_4 , SO_4 , VO_3 и др).

Фосфаты встречаются в виде массивных зернистых агрегатов, землистых масс, оолитов (конкреций)⁷⁸, корочек, реже кристаллов. Окраска разнообразная. Твёрдость от 2 до 6; плотность $1,7\div 7,1$.

⁷⁸Оолиты – минеральные образования шаровидной или эллипсоидальной формы. Размеры оолитов от нескольких мкм до 25 мм. Часто в центре оолита находится песчинка или фрагмент известковой раковины, вокруг которых нарастают минеральные корочки, вследствие чего строение оолита обычно концентрически-скорлуповатое; встречаются также оолиты радиально-лучистого и сложного (комбинации концентрически-скорлуповатых и радиально-лучистых структур) строения. Оолиты образуются в воде в результате коллоидно-химических и биохимических процессов.

Фосфаты образуются в основном в верхней части земной коры – на дне морей, озёр, в болотах, почвах и корках выветривания; в зоне окисления рудных месторождений. Известны фосфаты и магматического происхождения (апатит связан с щелочными породами; монацит связан с пегматитами и гранитами); ряд фосфатов встречается в виде примесей в жилах. На фосфаты приходится порядка 0,7% массы земной коры. Фосфаты в основном рассеяны. Наиболее распространены и практически важны минералы группы апатита ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$) (скрытокристаллический апатит слагает фосфориты), вивианит ($(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})[\text{PO}_4] \times 8\text{H}_2\text{O}$), монацит, бирюза и др.

Фосфаты используются в качестве сырья для получения фосфора и удобрений. Вивианит – дешёвая синий пигмент и удобрение, монацит – источник редких земель и тория, бирюза – ювелирное сырьё.

Сульфаты - класс минералов, представляющих собой соли серной кислоты (H_2SO_4), большинство из которых не устойчивы и редки. Важнейшие видообразующие катионы сульфатов: Fe (особенно Fe^{3+}), Na, K, Cu, Mg, Al, Ca, Pb, Ba. Кристаллы сульфатов, как правило, имеют изометричны. Цвет сульфатов обусловлен ионами-хромофорами, минеральными включениями и наличием дефектов. Плотность сульфатов от 1,5 до 6,9. Для сульфатов характерна растворимость в воде и низкая твёрдость (2÷3,5).

Сульфаты образуются в зоне выветривания и при седиментогенезе⁷⁹ в крупных водных бассейнах (например, гипс – $\text{CaSO}_4 \times n\text{H}_2\text{O}$); в ходе гидротермальных процессов (барит – BaSO_4); при окислении сульфидов и при деятельности вулканов.

Сульфаты находят применение как руды металлов (Ba, Sr, Pb и др.), в химической, резиновой, бумажной, лакокрасочной, кожевенной, текстильной и др. отраслях промышленности; в стекольном и керамическом производстве; при бурении — как утяжелитель глинистых растворов (барит); в строительном деле для изготовления связующих (гипс и ангидрит - CaSO_4), в медицине. На сульфаты приходится порядка 0,1% массы земной коры.

Силикаты и алюмосиликаты. Силикаты – природные химические соединения с кремнекислородным радикалом $[\text{SiO}_4]^{4-}$. Минералы, в структуре которых радикал $[\text{SiO}_4]^{4-}$ частично замещен алюмокислородным радикалом $[\text{AlO}_4]^{5-}$, относят к алюмосиликатам. Силикаты, как и алюмосиликаты различаются по химическому составу, наличию воды или гидроксильной

⁷⁹Седиментогенез - процесс, приводящий к образованию осадков на дне водоёмов и во впадинах суши.

группы, дополнительных анионов, сочетанию радикалов, часто образуют твёрдые растворы, а также изоморфные примеси. Распределение изоморфных составляющих в их структуре зависит от температуры при образовании, что позволяет использовать силикаты в качестве геотермометра. Из-за изменчивости состава формулы силикатов и алюмосиликатов являются условными.

Из-за сложного строения большинство силикатов имеет низкую симметрию: лишь 9% кристаллизуется в изометрических формах. Для силикатов характерно двойникование⁸⁰ и изоморфизм. Спайность силикатов и алюмосиликатов зависит, прежде всего, от характера сочетания кремнекислородных радикалов; твёрдость обычно $5,5 \div 7$ (редко 1-2), плотность $2,5 \div 3,5$, цвет часто определяется катионами железа (Fe^{2+} — зелёный, Fe^{3+} — бурый, красный, жёлтый, Fe^{2+} и Fe^{3+} - синий и др.) и др. У некоторых силикатов и алюмосиликатов окраска аллохроматическая.

Силикаты и алюмосиликаты возникают из магмы, в ходе метаморфических и гидротермальных процессов, а также при выветривании. Очень крупные кристаллы силикатов и алюмосиликатов образуются в пегматитах. Полагают, что оливин и др. плотные силикаты преобладают в верхней мантии. При выветривании этих минералов выщелачиваются основные соединения, освобождается кремнезём, образуются глинистые минералы⁸¹, а также оксиды железа, карбонаты и др.

На силикаты и алюмосиликаты приходится 25% от общего числа минералов, Плагиоклазы, оливин, пироксены и др. являются главными породообразующими минералами, входят в состав метеоритов и лунных пород. Они слагают более 75% земной коры по массе⁸² и 95% массы изверженных горных пород. Ряд силикатов имеют значение как руды лития, бериллия, никеля, рассеянных элементов. Нефелин - комплексное сырьё для получения алюминия, поташа, соды. Большую долю нерудных полезных ископаемых (полевые шпаты, слюды, асбест, тальк, цеолиты, бентонитовые и огнеупорные

⁸⁰ Двойникование - образование в монокристалле областей с закономерно измененной ориентировкой структурной решетки. Каждый атомный слой последовательно смещается на долю межатомного расстояния, при этом все атомы в двойниковой области перемещаются на промежуток, пропорциональный их удалению от плоскости зеркального Двойникование может сопровождаться изменением размеров, формы и свойств кристаллов.

⁸¹ При выпаривании коллоидного раствора гидрослюд образуется блестящая корочка; коллоидного раствора каолинита матовая; коллоидного раствора монтмориллонита корочка трещиноватая.

⁸² На полевые шпаты приходится ~58 мас.%; пироксены, амфиболы и оливины $\Sigma 16,5$ мас.%; слюды 3,5 мас.%; минералы глин 1 мас.%.

глины), драгоценных и поделочных камней (изумруд, аквамарин, топаз, хризолит, турмалин, гранаты и др.) составляют силикаты и алюмосиликаты.

Основные диагностические свойства и практическое значение отдельных минералов приведены в приложении 2.

Горные породы. Горные породы - природные агрегаты минералов или органического вещества, образующие геологические тела, слагающие литосферу Земли, твердые оболочки планет земной группы и Луны. Науки, изучающие горные породы – петрография, литология, петрофизика.

Горные породы могут состоять из одного или из нескольких минералов и в отличие от минералов более неоднородны. Из общего числа минералов лишь 150 являются породообразующими, причем главными следует считать всего 10. До 60 минералов слагают 99% горных пород. Минералы, доля которых по объему в горной породе не превышает 2%, называются акцессорными. В природе сочетания минералов определяются физико-химическими процессами породообразования и геохимическими законами распространения литофильных химических элементов. Валовой химический состав горных пород характеризуется массовой долей наиболее распространенных (главных) оксидов: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , H_2O и P_2O_5 .

Горные породы различаются генезисом, составом, особенностями строения, включающими понятия структура и текстура. Структура и текстура наряду с минеральным составом являются важнейшими диагностическими признаками горных пород.

Структура горных пород – характеристика, отражающая генезис и преобразования горных пород, выраженные через размер и форму минеральных зерен. Для магматических и метаморфических пород структуры определяются степенью кристаллизации (ясно-, и скрытокристаллическая, стекловатая и др.), размерами (крупно-, средне- и мелкозернистая), а также формой зерен, способом сочетания их между собой и с нераскристаллизованной массой. Структуры осадочных пород зависят от состава первичного осадка, динамики среды осадконакопления, величины и формы минеральных частиц, взаимного расположения, соотношения и особенностей физических связей между ними. Примеры наименований структур осадочных пород: тонко-, мелко-, средне- и крупнозернистые; рыхлые и сцементированные.

Текстура горных пород – характеристика упорядоченности в расположении минеральных зерен в породе. Примеры названий текстур пород: массивная (неупорядоченная), слоистая (полосчатая), флюидальная, пористая.

Состав, строение, свойства, состояние и условия залегания горных пород определяются ходом геологических процессов, приводящих к их образованию и изменению. Чаще всего выделяют три генетических класса горных пород: осадочные, магматические и метаморфические, а также переходные группы пород. Магматические и метаморфические породы слагают соответственно примерно 50 и 40% объема земной коры, осадочные менее 10% (занимая около 75% поверхности Земли).

Магматические (изверженные) породы, магматиты – естественные ассоциации минеральных зерен и вулканического стекла⁸³ в разных пропорциях. Магматические породы, образовавшиеся в условиях высоких температур и давлений из существенно силикатного расплава – магмы, относятся к группе ортопород, а возникшие в процессе метасоматоза⁸⁴ к группе парапород.

Главные породообразующие минералы магматитов – силикаты и алюмосиликаты (полевые шпаты, слюды, пироксены, амфиболы), часто кварц и др. Содержание главных оксидов в магматических породах меняется в широких пределах (SiO_2 24÷80, Al_2O_3 0÷20, Fe_2O_3 0÷13, FeO 0÷15, CaO 0÷17, MgO 0÷30, Na_2O 0÷14, K_2O 0÷13, H_2O 0÷3 мас.%). По содержанию кремнезема по массе магматиты делят на группы: кислые (SiO_2 более 64%), средние (SiO_2 53÷64%), основные (SiO_2 44÷53%), и ультраосновные (менее 44% SiO_2). При содержании кремнезема более 53% в магматической породе присутствует свободный кварц. В кислых породах содержание кварца превышает 10% по объему. Содержание кремнезема коррелирует с количеством цветных (темных) минералов и плотностью породы. Насыщенные кремнеземом магматиты светлые (лейкократовые) и легкие (средняя плотность 2,65; содержание Fe_2O_3 , FeO и MgO незначительно). Основные и ультраосновные магматиты темные (меланократовые) и имеют плотность более 2,9, в их составе существенную роль играют Fe_2O_3 , FeO , MgO . В каждой группе выделяют магматические породы нормального ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} < \text{Al}_2\text{O}_3$) и щелочного ряда ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3$). Породы, различающиеся по содержанию главных оксидов, отличаются и по

⁸³ Вулканическое стекло – нераскристаллизовавшийся остаток силикатной магмы.

⁸⁴ Метасоматоз – замещение одних минералов другими с существенным изменением химического состава породы, часто с сохранением её объема и твердого состояния при воздействии растворов с высокой химической активностью.

содержанию элементов примесей. С кислыми магматитами связаны руды олова, вольфрама, золота и т.д.; с основными породами - руды меди и т.д.; с ультраосновными - руды хрома, никеля, платина и т.д.; с щелочными магматитами - руды титана, циркония, редких земель, апатиты и т. д. Магматические породы могут использоваться как минеральное сырье в цветной металлургии и химической промышленности (например, для получения алюминия и соды из нефелиновых сиенитов); как строительные материалы и как скальные основания зданий и сооружений. Наиболее распространенные магматические породы приведены в таблице 6.

При медленном застывании магмы и при метасоматозе на глубинах более 3 км образуются полнокристаллические крупно- и среднезернистые (средний размер зерен >10 мм и $1\div 10$ мм соответственно) массивные интрузивные породы, слагающие чаще всего секущие по отношению к вмещающей толще (дайки) и послойные (силлы) магматические тела.

Структура интрузивных пород может быть как равномерно-, так и неравномернозернистой. Из магмы, застывшей относительно быстро на глубине менее 1 км, или излившейся на земную поверхность, образуются эффузивные породы⁸⁵, залегающие в виде потоков и покровов. Эффузивные породы могут иметь текстуру со следами течения и состоят из вулканического стекла или скрытозернистой общей массы, часто включающей изолированные более крупные минеральные зерна. В термодинамических условиях земной коры на глубинах $1\div 3$ км из магмы возникают гипабиссальные породы, по строению занимающие промежуточное положение между интрузивными и эффузивными породами.

Описано более 1000 магматических пород. Систематика магматитов основана на их составе и строении. Множество магматитов, не указанных в таблице 6, являются переходными между породами смежных классов.

Осадочные породы образуются в результате процессов разрушения более древних горных пород любого генезиса, а также в процессе осаждения вещества из воды и атмосферы, жизнедеятельности организмов или совокупности этих процессов при поверхностном давлении и температуре.

Отложение исходного вещества осадочных пород происходит под действием силы тяжести обычно горизонтальными слоями. Смена условий осадконакопления часто приводит к стратификации (формированию отдельных слоев) осадочной толщи.

⁸⁵ Непосредственная связь с магмой не вызывает сомнений только у эффузивных пород (Даминова А.М., 1967).

Характерные признаки широко распространенных магматических горных пород

1. Типичная текстура магматических горных пород – массивная; флюидальная; миндалекаменная; пористая.
 2. Породообразующие и второстепенные минералы магматических горных пород – силикаты и алюмосиликаты, редко кальцит, апатит и др.

Породообразующие минералы-индикаторы (в порядке значимости)		Кварц, полевые шпаты (калиевые и плагиоклаз)	Полевые шпаты, кварц	Полевые шпаты	Оливин. Пироксены	Нефелин, калиевые полевые шпаты
Второстепенные минералы (в порядке встречаемости)		Слюды, амфиболы, пироксены		Пироксены, оливин, амфиболы	Амфиболы, плагиоклаз	Амфиболы, пироксены, биотит
Окраска яснозернистой породы		Светлая (коричневая и серая), пятнистая		Преимущ. темная	Черная, темно-зеленая, однотонная	Пестрая (зеленоватая, серая)
Объем темных минералов в породе		0÷15%	15÷30%	30÷65%	>65%	15÷50%
Структура породы	Группы пород*	Кислые (SiO ₂ >64%)	Средние (SiO ₂ 53÷64%)	Основные (SiO ₂ 44÷53%)	Ультраосновные (SiO ₂ <44%)	Щелочные (K ₂ O+Na ₂ O>7%), SiO ₂ <56%
Крупно- и среднезернистая, порфириформная**, пегматитовая	Интрузивные	Гранит	Диорит (плагиоклазы) Сиенит (калиевые полевые шпаты)	Габбро	Перидотит Дунит Пироксенит	Нефелиновый сиенит
Средне- и мелкозернистая, порфириформная	Гипабиссальные			Диабаз		
Скрытозернистая, стекловатая, порфириформная	Эффузивные***	Кварцевый порфир Риолит. Пемза. Обсидиан	Порфирит Трахит Андезит	Порфирит Базальт	Пикрит Кимберлит****	Фонолит

* В каждой группе выделяют магматиты нормального и щелочного ряда. В таблице для примера приведены нефелиновый сиенит и фонолит.

** Порфириформная структура - строение магматитов, при котором отдельные более крупные, идиоморфные минеральные зерна окружены основной относительно равномернозернистой массой. Пегматитовая структура характеризуется массивностью крупных минеральных индивидов или тесным взаимным прорастанием кварца и полевого шпата, возникающим при их одновременной кристаллизации. Полевой шпат в этом случае образует крупные кристаллы, а кварц — одинаково ориентированные многочисленные выделения в нём.

*** Минеральный состав основной массы эффузивных пород макроскопически не различим.

**** Кимберлит – брекчиевидная горная порода, состоящая из обломков ультраосновных и основных горных пород, иногда гранитов, кристаллических сланцев, песчаников и др., включенных в мелкозернистую массу серпентин-карбонатного состава. Возможность существования исходной кимберлитовой магмы не доказана. Отнесение кимберлитов к магматитам условно.

По способу образования осадочные породы делятся на хемогенные (гидрогенные), сложенные минералами, сформировавшимися химическим путем в водной среде; органиогенные (биогенные, биохемогенные), сложенные фрагментами организмов и продуктами их преобразования и обломочные, состоящие из обломков горных пород (У. Твенгофел, 1926; М.С. Швецов, 1934). Породы близкие по составу и/или структуре могут принадлежать к разным генетическим классам (например, известняки могут быть, как хемогенными, так и органиогенными, а пелиты хемогенными и обломочными). Существуют и другие классификации осадочных пород. В 1998 г. В.Н. Швановым и др. предложена классификация осадочных горных пород по вещественно-структурному принципу на разряды кварцево-силикатных (силикатитов), несилкатных (оксидных, фосфатных, соляных и др.) и некарбонатно-углеродистых (органических) пород.

Наиболее характерными текстурами осадочных пород являются слоистая, землистая, оолитовая (с шарообразными выделениями в объеме породы), массивная; структуры – зернистая, скрытокристаллическая, обломочная, органиогенная. Между основными группами осадочных пород наблюдаются взаимные переходы, возникающие в результате смешения материала разного генезиса. Хемогенные и биогенные породы классифицируют по химическому составу (табл. 7).

Таблица 7

Важнейшие хемогенные и биогенные осадочные породы

Подгруппы пород	Хемогенные	Биогенные
Карбонатные	Известняк. Известковый туф. Мергель. Доломит	Известняки (раковинные, коралловые, водорослевые). Мел
Кремнистые	Трепел	Диатомит. Радиолярит. Опока
Фосфоритные	Фосфориты желваковые	Фосфориты ракушечниковые. Гуано
Галоидные	Каменная соль. Сильвинит	
Сульфатные	Гипс. Ангидрит	
Железистые	Бурый железняк и др.	
Марганцовистые	Марганцовистая порода	
Глинистые	Глины. Аргиллиты	
Глиноземистые	Бокситы	
Органические	Битумолиты	
	Карболиты	Торф. Ископаемые угли. Горючие сланцы. Шунгиты

Диагностика хемогенных пород производится, прежде всего, по их минеральному составу, а органиогенных пород по составу преобразованных

органических остатков. Например, кремнеземные панцири диатомей слагают диатомит; мел образован кальцитовыми остатками морских микроорганизмов (рис. 9). Хемогенные глинистые породы — дисперсные продукты глубокого химического преобразования силикатных и алюмосиликатных минералов исходных пород.

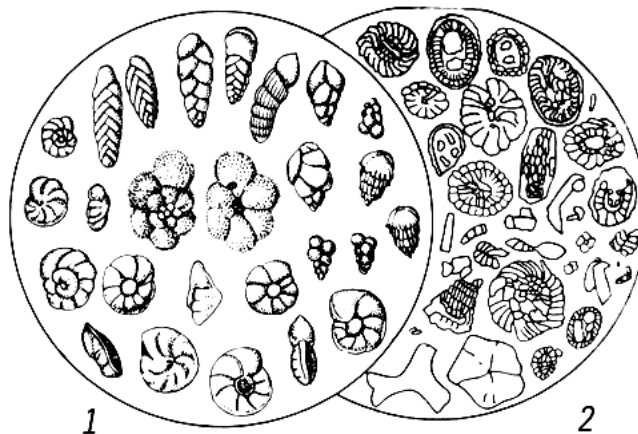


Рис. 9 Кальцитовые скелеты микроорганизмов, слагающих мел (БСЭ). 1 — фораминиферы (зарисовки под световым микроскопом); 2 — водоросли (кокколиты) и их обломки (зарисовки с электронно-микроскопических фотоснимков)

Биогенные породы, в значительной степени сложенные органическим веществом и его производными, образуют подгруппу органических (углеродных некарбонатных) пород. Органические породы делятся на битумолиты и карболиты.

К битумолитам относят углеводородные образования, не имеющие биоморфной структуры и более чем на 50% состоящие из углеводородов и их производных. Битумолиты включают горючие газы и газогидраты, газоконденсаты и нефти, полужидкие – мальты и твердые нафтиды (например, асфальт и озокерит). Отнесение газовых и жидких углеводородов к горным породам обосновано требованиями научной систематизации, если исходить из приоритета состава, а не агрегатного состояния вещества, которое определяется физическими условиями окружающей среды.

Карболиты (твердые каустобиолиты) включают классы гумолитов (ископаемые угли и торф) и сапропелитов (горючие сланцы и шунгиты). В органическом веществе гумолитов преобладают преобразованные остатки высших растений⁸⁶, в сапропелитах остатки планктона⁸⁷.

⁸⁶Высшие растения – многоклеточные преимущественно наземные растения. Обладают дифференцированными органами. В их химическом составе преобладает углевод - целлюлоза (клетчатка), образующая оболочки клеток.

⁸⁷Планктон - совокупность простейших организмов, населяющих водоёмы, не способных противостоять переносу течениями. В состав планктона входят как растения — фитопланктон, так и

Элементарные составляющие карболитов минерального и органического происхождения, как правило, имеют размерность до 50 мкм и различимы только под микроскопом. В минеральной составляющей карболитов преобладают алюмосиликаты, кремнезем и карбонаты. При сгорании минеральные компоненты карболитов переходят в аэрозоли, золу и шлак, частью разлагаются до газообразного состояния. Органические микрокомпоненты карболитов с определенными диагностическими (морфологическими) признаками по аналогии с минералами и в отличие от них называются мацералами.

Гумолиты по степени углефикации (повышению доли $C_{орг}$) образуют ряд: торф→бурые угли→каменные угли→антрациты. Бурые угли независимо от цвета в образце имеют коричневую черту на бисквите, каменные угли - черную. При растирании черта каменных углей близких к бурым бурееет. Среди углей при одинаковом содержании несгораемого остатка (золы) антрациты обладают наибольшей плотностью ($>1,5$) и твердостью (до 4). Невооруженным глазом по блеску в малозольных углях бывают различимы четыре составляющие (макроингредиента): витрен (блестящий), фюзен (матовый), кларен (полублестящий), дюрен (полуматовый).

Обломочные (терригенные) породы (кластолиты) – группа осадочных пород, образованная фрагментами ранее существовавших горных пород различного генезиса. В основу классификации обломочных горных пород положены их структура (размер частиц) и характер связи между частицами (цементации) (табл. 8). Цементированные обломочные осадочные породы по составу цемента делятся на глинистые, карбонатные, кремнистые, железистые, фосфоритовые и др. Условно к обломочным относят породы коры выветривания⁸⁸, сложенные фрагментами исходных горных пород различного размера. Минеральный состав пелитов позволяет уточнить их классификационную принадлежность. Так обломочные горные породы сложенные более чем на 50% частицами кварца размером $<0,005$ мм считаются обломочными, а при преобладании в их составе глинистых минералов могут быть отнесены и к хемогенным горным породам⁸⁹.

животные — зоопланктон. По химическому составу в планктоне преобладают белки и жиры, образующие внутриклеточное содержимое.

⁸⁸Кора выветривания – совокупность продуктов естественного разрушения (выветривания) горных пород.

⁸⁹ В 1 см³ глины содержится более 25 млрд. чешуек глинистых минералов.

Классификация обломочных осадочных пород

Структура (подгруппа) пород	Размеры обломков, мм	Рыхлые породы		Сцементированные породы	
		обломки			
		угловатые	окатанные	угловатые	окатанные
Грубообломочная (псефиты)	> 100	глыбы	валунник	брекчия: глыбовая щебеночная	конгломерат: валунный галечный
	100-10	щебень	галечник		
	10-2	дресва	гравийник	дресвяная	гравилит
Среднеобломочная (песчаные или псаммитовые породы)	2-1	песок:		песчаник:	
	1-0,5	грубозернистый			
	0,5-0,25	крупнозернистый ⁹⁰			
	0,25-0,05	среднезернистый			
Мелкообломочная (пылеватые или алевритовые породы)	0,05-0,005	алеврит, лесс ⁹¹ , ил		алевролит	
		глина		аргиллит	
Глинистая (пелиты) ⁹²	<0,005	глина		аргиллит	

Химический состав осадочных пород отличается от магматических пород большей выдержанностью содержаний минералообразующих соединений (например, содержание SiO_2 изменяется от 0 (ископаемые соли) до 100% (чистые кварцевые пески); CaO — от долей процента (чистые каолиновые глины) до 56% (известняки) и т. п.), повышенным содержанием воды, CO_2 , органического углерода, «летучих» (S, Cl, B и др.), а также преобладанием окисного железа над закисным.

Промежуточное положение между осадочными и вулканическими породами занимает группа вулканогенно-осадочных пород (вулканический

⁹⁰ В 1 м³ крупнозернистого песка содержится более 1 млрд. песчинок.

⁹¹ Лесс – пылеватая, однородная, пористая, обычно неслоистая рыхлая горная порода, состоящая из мельчайших зерен кварца, вторичных глинистых минералов и углекислого кальция (27÷90% кварца и силикатов, 4÷20% глинозема, 6% и более углекислого кальция) с примесью других минералов. Часто содержит конкреции углекислого кальция. Макропористость типичного лесса > 50%. Лесс пронизан вертикальными каналцами, оставшихся после отмирания корней травы. Обладает просадочностью (самопроизвольным уменьшением объема при сильном увлажнении), анизотропностью в горизонтальном и вертикальном направлениях. Лесс может образовывать столбчатые отдельности и вертикальные обрывы. В степных и полупустынных районах умеренного пояса Европы, Азии, Северной и Южной Америки на водоразделах, склонах и древних террасах речных долин покровы лесса занимают большие площади при мощности до 100 м.

⁹² Выделяют также супеси и суглинки - рыхлые горные породы, состоящие из глинистых, пылеватых и песчаных частиц. Супесь содержит 3÷10% (по массе), а суглинок 10÷30% глинистых частиц. Наиболее глинистые супеси и суглинки называются тяжёлыми, наименее глинистые — лёгкими. Песчаные и пылеватые частицы часто представлены кварцем. Глинистые минералы: каолинит, монтмориллонит и др. Иногда супеси и суглинки обогащены органическим веществом или водорастворимыми солями. Термин «супесь» и «суглинок» обычно применяют к породам континентального происхождения, а соответствующие им по составу морские отложения относят к группе глинистых песков и песчанистых (алевритистых) глин. Суглинки часто используются в качестве сырья для производства кирпича.

пепел, вулканический туф и др.), по генезису вещества являющихся магматическими, а по условиям отложения осадочными образованиями.

Осадочная оболочка Земли⁹³ имеет мощность от 0 до 25 км и сложена глинистыми породами (на 40%), карбонатными породами (до 24%), песчаными породами (на 20%), эффузивами (на 10÷15%) и солями (на 2%) (по А.Б. Ронову).

Цвет осадочных пород в значительной степени определяется содержанием органического вещества и соединений железа. Органическое вещество окрашивает породы в серый и черный цвет. Соединения 3-валентного железа дают красный, желтый, бурый цвета, 2-валентного железа зеленовато-голубой цвет.

Метаморфические породы – естественные ассоциации минералов, образованные в толще земной коры в результате преобразования (метаморфизма) горных пород любого генезиса за счет внутренней энергии Земли при воздействии температуры, давления и в результате химических процессов. Обычно эти преобразования протекают в твердом состоянии и выражаются в изменении минерального, а иногда и химического состава и строения пород. При ультраметаморфизме происходит разложение слюд, талька, серпентина, хлорита и др. силикатов с освобождением воды, существенно снижающей температуру плавления минеральных зерен по их контактам.

Для метаморфических пород кроме массивной и очковой характерны ориентированные текстуры: сланцеватая, плейчатая, гнейсовая, полосчатая, волокнистая; структуры зернистая, кристаллическая, чешуйчатая, игольчатая, таблитчатая. Существуют постепенные переходы между исходными и вновь образованными метаморфическими горными породами (метаосадочные и метамагматические породы).

Метаморфические породы состоят из минералов устойчивых при повышенной температуре и давлении. Это преимущественно породообразующие минералы магматитов: кварц, полевые шпаты, слюды, амфиболы, пироксены, магнетит, гематит, а также характерный минерал осадочных пород - кальцит. Такие минералы, как хлорит, тальк, серпентин, хризотил-асбест, гранат, графит образуются в ходе метаморфических процессов.

В зависимости от того, какой фактор (температура, всестороннее или

⁹³ Общая масса осадочных пород фанерозоя оценивается в $(1,7\div 2,4)\times 10^{24}$ г.

одностороннее давление, геохимические процессы) играл ведущую роль при изменении горных пород, различают следующие виды метаморфизма:

- региональный метаморфизм проявляется на значительных участках недр, под воздействием высоких температур и литостатического давления, в течение длительного геологического времени;
- контактово-термальный метаморфизм затрагивает локальные участки недр, подвергшиеся воздействию повышенных температур в зонах прилегающих к магматическому очагу или каналу;
- контактово-метасоматический метаморфизм затрагивает локальные участки недр, подвергшиеся воздействию термальных растворов и газовых эманаций в зонах прилегающих к магматическому очагу или каналу;
- динамометаморфизм затрагивает локальные участки недр, подвергшиеся преобладающему одностороннему тектоническому воздействию (стрессу).

Систематика метаморфических горных пород основывается на условиях преобразования и типе исходных пород (табл. 9).

Среди метаморфических пород преобладают гнейсы и кристаллические сланцы. Метаморфические горные породы по химическому составу, в общем, близки к осадочным или магматическим породам, хотя в них в процессе метасоматоза могут возникать особые минеральные виды и концентрации рудных минералов. Характерные признаки наиболее распространенных метаморфических горных пород приведены в табл. 10.

Горные породы при кондиционном (промышленно значимом) содержании полезных компонентов или непосредственно (без выделения минеральных составляющих) могут быть использованы в качестве полезного ископаемого. Горные породы следует рассматривать как объекты разработок и как конструктивные элементы горных выработок. Горные породы характеризуются прочностными, плотностными, упругими, тепловыми, магнитными, электрическими, радиационными и др. свойствами, обусловленными их составом, строением и термодинамическими условиями формирования и нахождения. Например, теплоемкость, коэффициент теплового расширения, модуль объемного сжатия горных пород зависят от минерального состава пород, а прочность, упругость, тепло и электропроводность и от строения. Механические свойства обусловлены силами связей минеральных зерен, а тепловые и электрические – их ориентировкой и наличием проводящих каналов в горных породах.

Классификация метаморфических пород

Вид метаморфизма	Исходная порода	Метаморфическая порода
Региональный	Угли	Графитолит ⁹⁴
	Глины, аргиллиты	Аргиллитовый сланец
		Шиферный (аспидный) сланец
		Филлиты
		Кристаллический сланец
		Парагнейсы
	Песчаники с кремнистым и глинистым цементом	Кварциты
		Слюдяно-кварцитовые сланцы
		Кварцитовидные песчаники
		Парагнейсы
	Известняки, доломиты	Мраморы
	Кремнистые породы	Яшмы
		Мелкозернистые кварциты
	Кислые и средние магматические породы	Слюдяной сланец
		Гнейсы
Основные породы	Зеленые сланцы	
	Амфиболиты	
	Эклогит	
Ультраосновные породы	Тальковый сланец	
	Серпентинит	
Гнейсы, сланцы, амфиболиты	Параграниты	
Контактово-термальный	Угли	Графитолит
	Песчано-глинистые породы	Биотитовый роговик
	Основные и средние магматические породы	Амфиболовый роговик
		Известково-силикатный роговик
Карбонатные породы	Мраморы	
Контактово-метасоматический	Продукт изменения карбонатных пород	Скарны
	Продукт изменения пород богатых кремнеземом	Грейзен Березит
	Продукт изменения пород бедных кремнеземом	Лиственит
Динамометаморфизм	Любые породы	Катаклазиты
		Милониты

Межминеральные связи в горных породах осуществляются за счет поверхностной и объемной сил⁹⁵. Природа поверхностных сил состоит в следующем. Атомы в кристаллической решетке минерала химически связаны. В поверхностном слое минерального зерна силы межатомного взаимодействия

⁹⁴ Горные породы более чем на 50% сложенные скрытокристаллическим графитом относят к графитолитам.

⁹⁵ Объемная сила - сила, действующая на все частицы породы и пропорциональная массе частицы.

с внешней стороны не компенсированы, вследствие этого поверхностные слои обладают избыточной энергией. Часть этой энергии идет на образование межминеральных связей. Степень проявления поверхностной энергии зависит от типа химической связи, прямо пропорциональна удельной поверхности зерен и обратно пропорциональна расстоянию между ними.

Таблица 11

Характерные признаки метаморфических пород

Текстура	Минеральный состав	Структура и особые свойства породы	Название
Сланцеватая, плейчатая	Не различим	Зеленая, серая мелкочешуйчатая порода; шелковистый блеск	Филлит
	Слюды, иногда кварц, гранат, графит и др.	Средне-, крупночешуйчатая порода с преобладанием слюды; кварц плохо заметен	Слюдяные сланцы
	Хлорит, иногда кварц, слюды, кальцит и др.	Чешуйчатая или листоватая порода серо-зеленого цвета	Хлоритовый сланец
	Тальк, кальцит, кварц	Чешуйчатая, светлая, светло-серая, зеленоватая, мягкая, жирная на ощупь порода	Тальковый сланец
Массивная, полосчатая	Серпентин, хризотил-асбест, иногда магнетит, хромит, тальк	Порода серо-зеленая с пятнами темно-зеленого, белого, черного цвета, часто с прожилками хризотил-асбеста, иногда магнитна	Серпентинит (змеевик)
Полосчатая, гнейсовая, массивная	Амфибол, плагиоклаз (часто белый), иногда гранат, кварц	Кристаллическая зелено-черная порода, похожа на пироксенит, но с более сильным блеском	Амфиболит
Гнейсовая, очковая, полосчатая	Кварц, полевые шпаты, биотит, иногда амфибол, пироксен, гранат	Кристаллическая порода с ориентированной текстурой, по составу похожая на гранит	Гнейс
Массивная	Кварц	Мелкозернистая, иногда сливная (отдельные зерна нельзя различить), белая, желтая, красноватая порода, искристая на изломе, похожа на плотный и крепкий песчаник	Кварцит
Полосчатая	Кварц, оксиды и гидроксиды железа, силикаты	Тяжелая порода, состоящая из чередующихся светлых (кварцевых) и темных полос, часто магнитна	Железистый кварцит (джеспилит)
Массивная, полосчатая, узорчатая	Кальцит, доломит, иногда с графитом, серпентином и др.	Порода зернистая белая, светло-серая, реже красноватая или желто-бурая, иногда рисунчатая, реагирует с HCl	Мрамор
Массивная	Не различим	Мелкозернистая крепкая серая, буровато-серая, темно-серая, темно-зеленая или черная порода, иногда розовато-серая	Роговик

Таблица 11. Продолжение

Текстура	Минеральный состав	Структура и особые свойства породы	Название
Массивная, пятнистая	Гранат, пироксен, кальцит, плагиоклаз, амфибол, магнетит, сульфиды и др.	Порода разнообразная по составу и внешнему виду с большим количеством пироксенов и (или) граната. Структура часто неравномерно-зернистая	Скарн
Массивная	Кварц, слюды, пирит	Светлая мелкозернистая порода, иногда с прожилками кварца	Березит
Массивная	Карбонаты, кварц, слюды, хлориты, пирит	Зеленоватая мелкозернистая порода	Лиственит
Массивная	Кварц, слюды, иногда берилл, топаз, касситерит, вольфрамит, молибденит	Крупнокристаллическая белая, светло-серая, желтоватая порода	Грейзен
Брекчие-видная	Обломки пород, руд, минералов	Брекчиевидная порода	Катаклазит
Сланцеватая, очковая	Не различим	Порода, состоящая из мелко перетертого материала первичных пород	Милонит

Свойства горных пород зависят также от электрического, магнитного, радиационного воздействия, насыщения пород жидкостями, газами и т.д. Изменение одного из свойств горной породы приводит к изменению ряда других. Так увеличение пористости приводит к снижению плотности, прочностных и упругих свойств, теплопроводности, диэлектрической проницаемости, а также к увеличению влагоемкости и водопроницаемости горных пород.

Совокупность химических, физико-механических, водных и горно-технологических свойств пород и их взаимосвязь определяют технологию горных работ и бурения скважин, переработки (использования) полезных ископаемых, меры по управлению состоянием массива горных пород, особенности конструкций оснований и фундаментов сооружений.

4. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Планета Земля как геологическое тело существует ~4,5 млрд. лет. Возникла Земля и приобрела свой облик в ходе длительной эволюции в строгом соответствии с известными и еще не известными законами физики и химии. Между геосферами постоянно идет обмен веществом и энергией. Быстрее всего процессы идут в атмосфере и гидросфере, но основное содержание истории развития планеты составляют более медленные изменения, совершающиеся во внутренних геосферах. Изучение этих изменений необходимо для понимания современного, будущего и прошлых состояний Земли. Процессы, происходящие на поверхности и в недрах Земли, изучает динамическая геология.

Под геологическими процессами понимается совокупность явлений приводящих к возникновению новых и изменению состава, строения, свойств, состояния, формы, размеров или связей, ранее существовавших геологических тел. Твердые горные породы преобразуются в сыпучие, а рыхлые породы в связные. Химические элементы в земной коре и на ее поверхности могут перемещаться и перераспределяться в жидкой фазе (в магматических расплавах, в водных растворах), в газообразной фазе (с продуктами дегазации недр), в твердой фазе (при диффузии и метасоматозе, в виде пыли и при гравитационном перемещении крупных частиц). В водных растворах элементы перемещаются в виде ионов, молекул и коллоидных частиц, в газах в форме молекул и аэрозолей. Миграционная способность элементов в недрах зависит от химических свойств массивов горных пород и геомеханических⁹⁶ условий, в которых мигрируют элементы. В результате миграции происходит рассеивание одних и концентрация других химических элементов, иногда с образованием залежей полезных ископаемых. В миграции элементов, происходящей на земной поверхности, большую роль играют биогеохимические процессы.

Геологические процессы различаются по масштабам, интенсивности, длительности действия и источникам энергии. Периоды постепенного и длительного изменения (эволюции) недр и сопряженных сред, чередуются с резкими изменениями геологической среды и ландшафтов (катастрофами).

Преобразование поверхности и недр Земли обусловлено действием двух групп процессов. Первую образуют эндогенные процессы, движущим началом которых является внутренняя энергия Земли (главным образом сила тяжести,

⁹⁶Геомеханика (механика горных пород) – наука о механических составляющих энергомассообменных процессов в массивах горных пород и силах, вызывающих эти процессы.

центростремительная и центробежная силы, а также энергия распада металлогидридов ядра Земли и радиоактивных химических элементов). Вторую группу составляют экзогенные процессы, порождаемые лучистой энергией Солнца и притяжением Луны⁹⁷.

Эндогенные процессы зарождаются во внутренних геосферах и проявляются в форме тектоногенеза, магматизма и метаморфизма.

Процессы, приводящие к перемещениям отдельных участков (блоков) земной коры, изменению их формы, размеров и строения в результате действия внутренних сил называются тектоническими, а область их проявления тектоносферой. Тектонические движения часто имеют как вертикальную (радиальную), так и горизонтальную (тангенциальную) компоненту, в ходе которых возникают прогибы, в которых накапливаются мощные толщи осадков и орогены (горные страны).

Вертикальные движения происходят со скоростью порядка 0,5-2 см/год, но характеризуются сменой знака, т. е. являются колебательными. Поэтому результирующие скорости вертикальных движений, определяемые за десятки миллионов лет, не превышают 0,1 см/год в подвижных поясах и 0,01 см/год на платформах, при установленных суммарных перемещениях в 10 км и более.

Годовая скорость горизонтальных перемещений в тектонически активных зонах (Восточная Африка, Япония, Таджикистан, Калифорния) составляет 0,1-5 см. Горизонтальные движения обычно длительно сохраняют свою направленность. Современное размещение континентов обусловлено в значительной степени горизонтальным перемещением соответствующих литосферных плит за сотни миллионов лет на тысячи км.⁹⁸

Различают современные тектонические движения, которые непосредственно отражаются в современном рельефе и определяются геодезическими методами и движения геологического прошлого. По длительности тектонические движения делятся на медленные (вековые) и быстрые. Быстрые движения связаны с землетрясениями и, как правило, отличаются высокой скоростью. Одномоментные смещения земной

⁹⁷ А.Н. Павлов (1991) и др. полагают, что интенсивность геологических процессов, начиная с архея, не уменьшается и, исходя из второго начала термодинамики, первичным и наиболее значимым источником энергии геологических процессов является космос. По оценкам О.Г. Сорохтина и С.А. Ушакова (1991) эндогенные процессы на Земле прекратятся через 1,0÷1,5 млрд. лет.

⁹⁸ Относительное перемещение материков может быть объяснено исходя из гипотезы о первоначально гидридной Земли, расширяющейся при распаде металлогидридов в периферийной части ядра планеты. За год один мм приращения радиуса Земли дает увеличение периметра геоида примерно на 6 мм, т.е. на 60 км за 1 млн. лет.

поверхности во время землетрясений иногда превышают 10 м. Однако роль таких смещений в формировании рельефа менее значима, чем суммарные результаты медленных движений.

Землетрясения - подземные удары и колебания поверхности Земли, вызванные быстротечным переходом потенциальной энергии недр в кинетическую. Ежегодно на земном шаре регистрируется 20 катастрофических, 150 разрушительных, около 7 тысяч сильных, 19 тысяч умеренных, 150 тысяч слабых землетрясений и несколько миллионов сейсмособытий. Согласно международной сейсмической шкале MSK-64 землетрясения по интенсивности разделяются на 12 градаций (баллов). Сейсмособытия силой в 1 балл регистрируются лишь специальными приборами. Сейсмические удары в 12 баллов сопровождаются существенными сдвигами и деформациями, как в недрах, так и на земной поверхности, приводят к разрушению всех без исключения инженерных сооружений. Современные конструктивные меры по защите сооружений от сейсмособытий эффективны при силе землетрясений до 8 баллов. Последствия землетрясения силой в 7,2 балла в г. Нефтегорске (о. Сахалин) в 1995 г. показаны на рис. 10. Было разрушено 17 многоквартирных домов из 22, погибли 2247 человек из 3200 жителей.



Рис. 10 Последствия землетрясения в пос. Нефтегорск⁹⁹ (Фото Г.Л. Коффа)

При сильных землетрясениях минеральные частицы колеблются с частотой до 200 раз в минуту. Вертикальные колебания минеральных частиц в скальных породах могут достигать 8 см, в песках 16 см, а горизонтальные 35 см. При прочих равных условиях разрушения всегда больше на территориях

⁹⁹ Полностью разрушены 5-этажные несейсмостойкие крупноблочные дома. Здания в 2-3 этажа (в основном кирпичные) имели повреждения 1÷5 степени.

распространения менее плотных, малопрочных и водонасыщенных пород, скорость распространения сейсмических волн в которых в 5÷10 раз меньше, чем в скальных породах.

Очаг землетрясения представляется областью хрупкой деформации массива горных пород с почти мгновенным перемещением масс. Центр очага именуется гипоцентром. Проекция гипоцентра на поверхность Земли называется эпицентром. Большая часть гипоцентров располагается на глубине порядка 20÷30 км. Редко отмечаются толчки, исходящие из верхней мантии. При удалении от эпицентра возрастает доля горизонтальной (самой опасной) составляющей сейсмической волны.

В ходе землетрясений высвобождается колоссальная энергия. В Ашхабаде в 1948 г. энергия землетрясения составила $\sim 10^{15}$ Дж, в Сан-Франциско в 1906 г. $\sim 10^{16}$ Дж, на Аляске в 1964 г. $\sim 10^{18}$ Дж. На Земле за год при землетрясениях разряжается упругая энергия порядка $0,5 \times 10^{19}$ Дж (0,5% всей энергии эндогенных процессов Земли).

Очаги землетрясений распространены неравномерно и совпадают с участками недр, в которых проявляются новейшие тектонические движения. Выделены 2 главных глобальных сейсмических пояса — Средиземноморский, простирающийся через юг Евразии от берегов Португалии на западе, до Малайского архипелага¹⁰⁰ на востоке и Тихоокеанский, охватывающий берега Тихого океана (рис. 11).



Рис. 11. Важнейшие сейсмические зоны Земли (по Дж. Гиру и Х. Шаху). 1 – сейсмические зоны и эпицентры землетрясений с магнитудой 8 и более, происшедшие с 1900 г.

¹⁰⁰ Малайский архипелаг — величайший островной регион Земли. Расположен между 6° С.Ш. и 11° Ю.Ш.. Общая площадь суши архипелага составляет около 2 млн. км².

Эти пояса включают молодые горные сооружения (Альпы, Апеннины, Карпаты, Кавказ, Гималаи, Кордильеры, Анды и др.), а также подвижные зоны подводных окраин материков (периферия Тихого океана с Алеутской, Курильской, Японской, Малайской, Новозеландской и др. островными дугами; Карибское, Средиземное и др. моря).

На платформах и на большей части дна океанов землетрясения происходят редко и большой силы не достигают. В пределах материков эпицентры землетрясений приурочены к областям тектонической активизации, а также к зонам, образованным системами разломов (рифты Восточной Африки, Красного моря, Байкала и др.). В пределах океанов значительной сейсмической активностью отличаются срединно-океанические хребты.

Землетрясения являются объектом изучения сейсмологии. Сейсмологи, используя геофизические и математические методы, моделируют внутреннее строение Земли, прогнозируют месторождения полезных ископаемых. Наблюдения над землетрясениями осуществляются сейсмическими службами. Прогноз землетрясений основывается на регистрации «предвестников» землетрясений — слабых предварительных толчков (форшоков), изменений состояния и свойств недр и сопряженных геосфер в сейсмоопасном районе. На территорию России составлена карта общего сейсмического районирования (ОСР-97) в масштабе 1:2500000. Для конкретных районов составляются карты сейсмического районирования крупных масштабов. Примерно 15% территории России находится в зоне, где возможны землетрясения силой 8-10 баллов, а на 20% территории возможны землетрясения силой до 7 баллов. Высока вероятность землетрясений силой 5 баллов в Мурманской области, на севере Карелии, на северном Кавказе, среднем и южном Урале, в полосе от Охотского моря до устья р. Лена. На юге Сибири, в Забайкалье, в Приморском крае и Сахалине возможны землетрясения в 5-8 баллов. Районы возможных 9-балльных землетрясений находятся в Прибайкалье, Камчатке, Курильских островах.¹⁰¹ Соблюдение норм сейсмостойкого строительства позволяет значительно снизить воздействие землетрясений.

Начиная с XX века постоянно возрастает число землетрясений вызванных техногенными причинами: разработкой месторождений полезных ископаемых, сооружением водохранилищ, закачкой в недра жидких отходов.

¹⁰¹ За период с 596 г. до н.э. до 1889 г. на территории России произошло 2574 землетрясения (А.П. Орлов, И.В. Мушкетов. 1893).

К тектоническим движениям не относят перемещения массивов горных пород, вызванные нарушениями их гравитационного равновесия под влиянием экзогенных и техногенных процессов, а также колебания земной коры вследствие притяжения Луны и Солнца. Не является тектоническим и процесс восстановления изостатического равновесия, например, поднятий при сокращении ледниковых покровов типа антарктического или гренландского. В тесной взаимосвязи с тектоническими процессами протекают магматические процессы, в ходе которых также возможны локальные движения земной коры, вызванные деятельностью вулканов.

Магматизм – совокупность процессов, связанных с образованием, движением и преобразованием магмы (преимущественно силикатного расплава) в магматические породы. Полагают, что магмы ультраосновного и основного состава образуются при плавлении вещества верхней мантии, кислые же магмы возникли в результате вторичного локального преобразования гранитоидно-метаморфизованного слоя земной коры. В зависимости от условий образования магмы различают два основных вида магматизма: интрузивный магматизм (плутонизм), при котором магма внедряется или образуется в массивах горных пород и застывает на глубине, и эффузивный магматизм (вулканизм), связанный с излиянием магмы на поверхность Земли в виде лав и выбросом продуктов вулканических извержений в виде обломков и летучих компонентов.

Массив кислых интрузивных пород может занимать площадь в тысячи км². Ранее считалось, что они могут быть прослежены на глубины в десятки км. По геофизическим данным, данным бурения и горных работ установлено, что крупнейшие гранитные интрузии имеют линзовидную форму и мощность до 5 км. Формирование массивов интрузивных пород возможно как без образования расплава, так и за счет плавления. Магма образуется в объеме будущего интрузивного тела на месте залегания ранее существовавших горных пород при изменении термобарических условий в локальной области, а не перемещается из неопределенных глубин. Значительную роль в этом процессе играет вода, выделяющаяся при разрушении неустойчивых минералов. Скопление магмы вызывает плавление окружающих пород, очаг магмы увеличивается в объеме, состав расплава меняется за счет ассимиляции окружающего вещества. Если давление в магматическом очаге превышает предел прочности вмещающих пород, происходит миграция расплава в область пониженного давления, а по контактам минеральных зерен возникают новые порции расплава.

Вулканы занимают значительные территории при относительно малой мощности. Так на площади в 7 млн. км², включающей часть Среднесибирского плоскогорья, Западной Сибири, п-ва Таймыр, акватории Ледовитого океана и островов Северной Земли общий объем базальтов (траппов) позднего палеозойского – раннего мезозойского возраста составляет 4×10⁶ км³, при средней мощности до 0,6 км (В.Л. Масайтис, 1983). Базальтовые покровы верхнемелового и палеогенового возраста мощностью до 1,8 км занимают на Деканском плоскогорье площадь около 520 тыс. км².

Вулканы - образования, возникающие над зонами ослабления земной коры, по которым на земную поверхность выводятся магматические расплавы (лавы), горячие газы и обломки горных пород (рис. 12).



Рис. 12. Гипотетическое строение вулканов в разрезе (БСЭ с изменениями)

В процессе кристаллизации магмы, когда остаточный расплав обогащается газами и паром давление растворённых в магме газов становится больше давления вышележащих толщ. Газы начинают продвигаться по ослабленным зонам и увлекают магму к земной поверхности, магма как бы вскипает. Изменение состояние вещества может быть обусловлено и изменением напряженного состояния недр в результате сброса напряжения через вновь образованную зону ослабления.

При извержении высота подъёма газов, паров воды, насыщенных пеплом и обломками лав над земной поверхностью колеблется от 1 до 5 км (во время извержения вулкана Безымянного на Камчатке в 1956 г. она достигла 45 км). Вулканический пепел в атмосфере может вызвать днем сумерки. Пепловый материал переносится на расстояния в десятки тысяч км. Объём выброшенного обломочного материала может достигать тысяч км³, а излившейся лавы десятки км³.

Вулканические аппараты состоят из трещинного или трубообразного канала (некка), жерла (поверхностной части канала), окружающих канал скоплений лав и вулканогенно-обломочных продуктов и кратера (впадины,

расположенной на вершине сооружения). Наиболее распространены конусообразные, куполообразные и щитовидные вулканические постройки.

Извержение вулканов представляет собой чередование взрывных выбросов и излияний лав. Продукты извержения вулканов бывают газообразными, жидкими (лава) и твёрдыми. В зависимости от соотношений вулканических продуктов (газообразных, жидких и твёрдых) и вязкости лав выделены 4 главные типа извержений: экструзивный, эксплозивный, эффузивный и смешанный.

Для экструзивного типа характерно выжимание вязкой кислой лавы напором газов из нека и образование куполов. В эксплозивном типе извержений большую роль играют взрывы с выбросом газообразного вещества с огромным количеством пепла и обломков лав, а вязкие лавы кислого состава образуют небольшие потоки. Эффузивный тип извержения, создающий чаще всего щитовидные вулканы¹⁰², отличается относительно спокойным излиянием лавы основного состава, образующей в кратерах огненно-жидкие озёра и лавовые потоки. Газы, содержащиеся в небольшом количестве, образуют фонтаны, с комками и каплями жидкой лавы, которые вытягиваются при выбросе в тонкие нити. При смешанном типе извержений, создающем обычно стратовулканы, наряду с обильными излияниями лав андезитового и базальтового состава (иногда в виде длинных потоков), характерны небольшие взрывы с выбросом шлака и вулканических бомб.

Извержения происходят не только через вершинный (главный) кратер, но и через побочные кратеры, расположенные на склонах и на некотором удалении от них. Извержения иногда сопровождаются обрушениями вулканического сооружения и сдвижением прилегающей территории; образующиеся впадины диаметром до первых десятков км называют кальдерами.

Магматические очаги могут находиться в верхней мантии на глубине порядка 50÷70 км (вулкан Ключевская сопка, Камчатка) или в земной коре на глубине 5÷6 км (Везувий, Италия).

По активности вулканы делятся на: действующие, уснувшие и потухшие. К первым относят ~800 вулканов на суше и более 150 подводных¹⁰³,

¹⁰² Остров Исландия образован пятью перекрывающимися щитовидными вулканами.

¹⁰³ Активность глубоководных вулканов обычно незаметны, так как давление воды препятствует взрывным извержениям. На мелководье извержения проявляются выбросами огромных количеств пара и газов с мелкими обломками лавы. Взрывы происходят до тех пор, пока продукты извержения не образуют остров. После чего взрывы прекращаются или чередуются с излияниями лавы.

извержения которых зафиксированы в исторический период и которые выделяют горячие газы и воды. К уснувшим относят вулканы, об извержениях которых нет сведений, но они имеют характерную форму и под ними располагаются очаги локальных землетрясений. Потухшими называют сильно разрушенные (эродированные) вулканы без каких-либо проявлений вулканической и сейсмической активности. Общее число известных уснувших и потухших вулканов ~1350. В среднем вулканы извергаются один раз в 220 лет, 20% всех вулканов извергаются раз в 1000 лет, а 2% раз в 10000 лет и реже. Извержения бывают длительными (от нескольких лет, до столетий) и кратковременными (измеряемые часами). Извержениям предшествуют землетрясения, акустические явления, изменения магнитного поля и состава фумарольных газов¹⁰⁴, беспокойное поведение животных и другие явления.

Действующие вулканы расположены вдоль молодых горных хребтов или крупных разломов земной коры в тектонически подвижных областях на сотни и тысячи км. Почти две трети вулканов сосредоточены на островах и берегах Тихого океана (Тихоокеанский вулканический пояс). Много вулканов также в районе Атлантического океана. В России действующие вулканы расположены на Камчатке (28 вулканов) и на Курильских островах (39 вулканов).

Если лава застывает в приповерхностных условиях, а вмещающий массив горных пород пронизан системой водопродвижающих трещин, возникают периодически фонтанирующие горячие источники – гейзеры. Вода на контакте с лавой превращается в пароводяную смесь, которая вырывается на поверхность, при этом давление в трещинных пустотах снижается и в контакт с лавой вступает новая порция воды. Гейзеры известны на Камчатке, на западе США (Кордильеры), Исландии, Новой Зеландии, Японии, Чили, Гватемале и др. странах. Пароводяная смесь гейзеров может использоваться для теплоэлектроснабжения.

Особые, разнообразные по форме геологические образования, постоянно или периодически извергающие на поверхность Земли грязевые массы и газы, часто с водой и нефтью называют грязевыми вулканами. При преобразовании в недрах существенно глинистых осадков, содержащих большое количество

¹⁰⁴Фумаролы — выходы вулканического газа из трещин на поверхности вулкана или недавно образовавшихся лавовых потоков. В составе вулканического газа преобладают водяной пар (60÷99,9%), H₂S, SO₂, CO₂, CO, B, H, O, N, Ar, Cl, F, CH₄ по 0,1÷1%. Выделение паров и газов иногда достигает грандиозных размеров. Так, в долине «Десяти тысяч дымов» на Аляске на поверхность вырывается 23 тыс. м³/сек пара при температуре 600°C. Вместе с парами воды здесь выходит в атмосферу в течение года 1,25 млн. т HCl и др. продуктов.

влаги и органического вещества, образуются значительные объемы свободной жидкости и газов. Если давление в очаге преобразования превышает критическую величину, зависящую от физико-механических свойств перекрывающих пород, разжиженные массы и газы вырываются на земную поверхность.

При извержении грязевого вулкана в море в 25 км от г. Баку 15.11.58 г. столб пламени взметнулся на несколько км, фонтан грязи при диаметре 120 м имел высоту 500 м. Фонтанирование продолжалось около суток. На Апшеронском полуострове максимальная высота конуса грязевого вулкана достигает 490 м.¹⁰⁵ Конуса нафтидов на о. Тринидад имеют высоту до 20 м. Грязевые вулканы известны на восточном побережье Каспия, Таманском, Керченском полуостровах, на востоке Грузии; в Италии, Исландии, Новой Зеландии, Центральной Америке.

Метаморфизм. Метаморфизмом называют изменение сложения и/или состава горных пород в недрах без плавления. Минеральные ассоциации любого генезиса, оказываясь в физических и химических условиях недр отличных от первоначальных, преобразуются в метаморфические горные породы.

Регионально-метаморфические породы имеют наибольшее распространение, формируются длительное время под действием теплового потока из недр и литостатического давления. За счёт аргиллитов на глубинах свыше 7 км, при температуре более 200°C по мере увеличения степени метаморфизма последовательно возникают филлиты→сланцы→гнейсы. Из мергелей или основных магматических пород образуются хлоритовые и актинолит-хлоритовые (зелёные) сланцы и амфиболиты. На очень больших глубинах возникают гранат-пироксеновые породы - эклогиты. При региональном метаморфизме из песчаников образуются кварциты, из известняков мрамор, происходит углефикация органического вещества, а антрациты могут перейти в графитолиты. При температуре 650÷800°C на значительных глубинах пироксены исходных пород замещаются роговой обманкой, роговая обманка — биотитом, плагиоклаз — калиевым полевым шпатом и кварцем, горные породы разного происхождения превращаются в гранитоиды. Параграниты слагают древние щиты, например, Балтийский щит.

На контакте с магматическими очагами и некками из алюмосиликатных пород образуются роговики, из известняков — мраморы, из бокситов —

¹⁰⁵ Грязевые вулканы Азербайджана выделяют в год до 250 млн. м³ газообразных продуктов.

корундовые породы (наждаки), уголь преобразуется в природный кокс и графит.

При контактово-метасоматическом изменении горных пород под воздействием агрессивных термальных растворов и газов происходит замещение одних минералов другими, часто с сохранением первоначального строения, объёма пород и твёрдого состояния. Химизм растворов, вызывающих метасоматоз, изменяется в ходе их охлаждения. Различают метасоматоз магматической стадии, сопровождающий внедрение магмы и постмагматический метасоматоз периода охлаждения горных пород. При высоких температурах в щелочной среде образуются скарны, в кислотной среде грейзены, при низких температурах карбонатиты¹⁰⁶, листвениты и березиты.

Перенос химических элементов и соединений потоком растворов, проходящих через горные породы может иметь инфильтрационный характер. Диффузионный метасоматоз связан с диффузией компонентов в относительно неподвижном растворе, пропитывающем горные породы. На границе резко различных по химизму сред (известняки и кварциты, граниты и ультраосновные породы и т.п.) происходит встречная диффузия различных компонентов (т. н. биметасоматоз). В результате метасоматоза могут образоваться мономинеральные породы или возникнуть метасоматическая зональность.

В зонах интенсивной тектонической деформации массива возникают тектониты (брекчии-катаклазиты и милониты).

В ходе магматических и тектонических процессов глубинное вещество может быть выведено на земную поверхность и преобразовано под воздействием экзогенных процессов в осадочные породы. В ходе нисходящих движений земной коры осадочные породы вовлекаются в глубокие зоны недр и могут быть преобразованы в метаморфические породы, которые будут выведены на поверхность Земли и после разрушения снова преобразуются в осадочные породы.

Экзогенные процессы свойственны приповерхностной части земной коры. Экзогенные процессы приводят к разрушению горных пород (выветривание); к перемещению продуктов выветривания под действием силы

¹⁰⁶Карбонатиты - горные породы магматического или метасоматического генезиса, сложенные в основном карбонатами (кальцитом, доломитом, анкеритом) и пространственно связанные с массивами ультраосновного—щелочного состава.

тяжести, ветра и воды (денудация); изменению рельефа движущимися водами и ледниками (эрозия); накоплению осадков в понижениях рельефа (аккумуляция).

Выветривание - процесс разрушения горных пород в условиях земной поверхности под влиянием температурного воздействия, механического и химического действия атмосферы, воды и организмов. По характеру среды различают атмосферное и подводное выветривание. По типу воздействия на горные породы различают: физическое выветривание, ведущее только к механическому распаду породы на обломки; химическое выветривание, при котором горная порода изменяется химически с образованием минералов более стойких в условиях земной поверхности; органическое (биологическое) выветривание, преобразующие породы в результате жизнедеятельности организмов.

Физическое выветривание пород происходит без изменения химического состава минералов, при механическом воздействии. Породообразующие минералы обладают различными коэффициентами теплового расширения. Например, коэффициент объемного расширения кварца в 2 раза больше, чем у полевого шпата, а коэффициенты линейного расширения у кварца и кальцита по разным кристаллографическим направлениям различаются в 2 раза. При смене температур на контакте минеральных зерен возникают усилия, которые могут привести к появлению трещин и разрушению породы. Наиболее устойчивы к разрушению при перепаде температур мономинеральные мелкозернистые основные и ультраосновные магматиты. Температурное выветривание происходит главным образом в условиях сухого климата и связано с резкими колебаниями температуры горных пород при нагреве солнечными лучами и последующем охлаждении.¹⁰⁷ В областях с частыми перепадами температуры от положительных до отрицательных значений механическое разрушение пород происходит под влиянием морозного (криогенного) выветривания: при замерзании воды в трещинах ее объем увеличивается на 9%, при этом развивается давление до 790 кг/см^2 и порода разрывается. Наиболее морозостойки магматические горные породы.

В результате интенсивного физического выветривания магматитов в условиях континентального климата на склонах и вершинах гор образуются значительные по площади скопления глыб и щебня, залегающие в виде «плаща» (т. н. каменные моря или курумы) (рис. 13). Курумы, постепенно

¹⁰⁷Пирамида Хеопса в Египте ежегодно теряет 0,2 мм наружного слоя песчаника, при этом у подножия образуются осыпи объемом в 50 м^3 .

смещающиеся вниз по склону, нередко образуют «каменные реки». Форма глыб курума в значительной степени определяется системами трещин в массиве коренных пород. Механическое разрушение горных пород подготавливает их для химического выветривания.

Основные агенты химического выветривания — кислород воздуха, углекислый газ и особенно водные растворы. Химическое выветривание пород (окисление, гидратация, гидролиз и выщелачивание) происходит с выделением тепла под действием химически активных веществ, транспортируемых током воздуха либо водой. Например, пирит, взаимодействуя с кислородом воздуха во влажных условиях, переходит в гидроксид железа (3), в качестве попутного продукта образуется серная кислота, растворяющая горные породы.



Рис. 13 Курумы Станового нагорья (Бурятия)



Процесс окисления может привести к самовозгоранию сульфидных руд и угля переизмельченных¹⁰⁸ при их добыче и хранении.

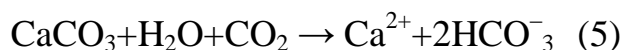
При гидратации происходит преобразование минералов в кристаллогидраты. Например, ангидрит (CaSO_4) превращается в гипс ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) с увеличением объема минерального зерна примерно на 1/6. При этом первичное залегание горных пород осложняется появлением мелких складок и трещин.

¹⁰⁸Интенсивность химических реакций в значительной степени зависит от площади взаимодействия реагентов. При делении кубика породы объемом в 1 см^3 (с общей площадью граней 6 см^2) на частицы размером $<0,005 \text{ мм}$ суммарная площадь поверхностей частиц составит порядка 4 тыс. м^2 . Скорость химического выветривания известняков достигает 3 см, гранитов 0,002 см в год.

Гидролиз - реакция ионного обмена между минералами и водой, приводящая к замене иона исходного минерала на гидроксил (ОН). Например, при гидролизе полевые шпаты разрушаются до каолинита (4), а пироксены, амфиболы и оливин могут быть преобразованы в глины, остаточные железные руды и бокситы.



Выщелачивание – процесс перехода минерального вещества в раствор. Например, в литре воды может быть растворено порядка 100 мг аморфного кремнезема. Воды, циркулирующие в толще пород, помимо простого растворения способны производить и химические преобразования. В воде хорошо растворимы минеральные соли, менее растворимы сульфаты и еще хуже карбонаты. Сульфатные породы и каменная соль могут растворяться в воде без сопутствующих реакций. Карбонатные породы растворяются при участии свободной углекислоты по схеме (5):



Силикаты и алюмосиликаты переходят в раствор под действием, прежде всего, органических кислот.

Выщелачивание пород часто сопровождается и их механическим размывом. При растворении и выносе минеральных частиц (суффозии) в массиве горных пород возникают каверны и карстовые полости.

Карст – подземная разновидность гидрохимического выветривания. Если растворимые горные породы перекрыты слоем почвы или рыхлыми отложениями на поверхности возникают понижения (воронки, «котлы» и др.) различной формы диаметром от 1 до 200 м и глубиной от 0,5 до 50 м, иногда котловины площадью до сотен км², образующиеся путём вымывания в трещины и пустоты карстующихся толщ рыхлых покровных образований (закрытый карст). На дне воронок и котловин встречаются водопоглощающие отверстия — поноры. Котловины и воронки могут периодически заполняться водой (исчезающие озёра, речки и ручьи). Карстовые провалы отсутствуют, если растворимые породы перекрыты некарстующимися сцементированными толщами (погребённый карст). В закарстованных массивах, подземные полости могут образовывать сообщающиеся карстовые пещеры. Например, в штате Кентукки США суммарная длина системы пещер Флинт-Ридж более 240 км. Высота пещер до 91 м. Пантюхина пещера в Абхазии имеет глубину 1505 м. Интересны и карстовые пещеры Абхазии (рис. 14), уникальна ледяная пещера в Пермском крае (г. Кунгур).



Рис. 14 Карстовая пещера Новый Афон (Абхазия). Видны свисающие натечные минеральные образования - сталактиты и направленные им навстречу сталагмиты. При соединении сталактитов и сталагмитов образуются натечные колонны – сталагматы (фото Горолевич У.А.)

Карстовые колодцы и пропасти являются переходными формами между поверхностными и подземными формами карста. Глубочайшие карстовые пропасти мира — Пьер-Сен-Мартен 1110 м (Франция — Испания) и Берже 1122 м (Изер, Франция). Назаровская пропасть в районе Сочи (западный Кавказ) имеет глубину около 500 м.

Комплекс поверхностных и подземных карстовых форм наиболее полно выражен в том случае, когда поверхность растворимых горных пород обнажена (голый карст). Для карстовых ландшафтов характерны останцы известняков. В зонах тектонических нарушений и долинах рек, где сильнее циркуляция подземных вод карст наиболее интенсивен. Водоразделы обычно закарстованы слабее. Степень закарстованности оценивают отношением суммарной площади карстовых пустот к общей площади территории.

С карстовыми явлениями внешне сходны явления псевдокарста, возникающие во льду и мёрзлых породах (термокарст), в мелкообломочных и пористых породах (кластокарст, лёссовый карст, механическая суффозия, просадки); в их развитии основную роль играют таяние льда, механическое воздействие движущейся воды и пр. Процессы, связанные с выщелачиванием солей из рыхлых пород, с растворением известкового и гипсового цемента обломочных пород, составляют группу карстово-суффозионных процессов, в ходе которых вода избирательно растворяет цемент, а основная масса породы (глинистые частицы, песок) удаляется механически током воды.

Карст осложняет строительство, известны случаи фильтрации воды из водохранилищ и разрушения плотин из-за выщелачивания. На относительно слабо закарстованных территориях допускается строительство жилых зданий в 5 этажей с применением специальных конструктивных мер (усилением фундаментов, закладкой железобетонных поясов и т.п.). Карст затрудняет ведение горных работ (например, на Ленинградском месторождении горючих сланцев, Северо-Уральских бокситовых рудниках). Иногда система карстовых пустот может быть использована для дренажа поверхностных и подземных вод из горных выработок.

В пределах материков карстующиеся породы занимают значительные площади (карбонатные — до 40, гипсы и ангидриты — около 7, ископаемая соль — до 4 млн. км²). В России карст развит на Восточноевропейской равнине, Урале и в Предуралье, на Северном Кавказе, в горах Южной Сибири, в Приангарье и на Дальнем Востоке.

Сток подземных вод оценивается в 2,2 тыс. км³/год, а суммарный вынос растворенных веществ оценивается в 1300 млн. т/год. Работа подземных вод заключается не только в выщелачивании горных пород, но и в переносе и аккумуляции минеральных осадков в недрах путем замещения вмещающих пород новым минеральным веществом или заполнения пустотного пространства. Осаждение осадков связано с изменением термобарических условий и окислительно-восстановительного потенциала растворов и вмещающих пород. При этом могут образоваться залежи свинцовых, цинковых и железных руд, бокситов, фосфоритов, россыпи золота, алмазов и др. Сами подземные воды являются одним из важнейших видов полезных ископаемых.

Органическое выветривание обусловлено как процессами обмена живых организмов с окружающей средой, так и физическим расклиниванием горных пород корнями растений. Биота извлекает из горных пород необходимые для жизнедеятельности химические элементы при этом разлагая минералы. На 1 г выветрелой породы может приходиться до 1 млн. бактерий. Давление, развивающееся в тканях корней, может достигать 19 МПа.

Своеобразным типом выветривания является почвообразование, при котором ведущую роль играют биоценозы¹⁰⁹. Почва - особое природное образование, характеризующееся плодородием и возникшее в результате

¹⁰⁹Биоценоз - совокупность растений, животных, микроорганизмов, населяющих участок суши или водоёма и характеризующихся определёнными отношениями как между собой и окружающей средой.

преобразования органических остатков и поверхностных слоев земной коры под совместным воздействием воды, воздуха и организмов. Годовое количество растительного опада изменяется от 5÷6 ц/га в пустынях и 10 ц/га в тундрах до 250 ц/га во влажных тропических лесах. Зольность опада составляет от 1 до 15%. В почве опад подвергается воздействию микроорганизмов, минерализующих до 80÷90% его сухой массы и участвующих в синтезе гумусовых веществ. На 1 м² почвы приходится до нескольких сотен особей мезофауны, до нескольких сотен тысяч единиц микрофауны. Земляные черви за год на 1 га перерабатывают 5 т почвы. Минеральное вещество, проходя через пищеварительный тракт червей, преобразуется в водорастворимые вещества. Деятельность почвенной фауны ускоряет гумификацию и минерализацию растительных остатков, изменяет солевой режим и кислотно-щелочной баланс почвы, повышает её пористость, водо- и воздухопроницаемость, способствует приращению мощности продуктивного горизонта и перемешиванию слоев почвы, создаёт водопрочную зернистую структуру почвы.

На скорость и степень выветривания, объем и состав продуктов выветривания, влияют климат, рельеф, состав, сложение и состояние исходных пород. Обычно все виды выветривания действуют одновременно, но в зависимости от климата тот или иной из них преобладает. Химическое и органическое выветривание горных пород преобладает в районах с влажным (гумидным) климатом. Физическое выветривание наиболее активно проявляется в районах с аридным и нивальным климатом. Выветривание наиболее интенсивно в условиях тропического или субтропического климата и расчлененного рельефа.

Поверхностная часть массива коренных (материнских) пород¹¹⁰, измененная физико-химическими и биологическими процессами называется корой выветривания. Коре выветривания свойственна геохимическая зональность, выраженная характерным для каждой климатической зоны минеральным комплексом. В зависимости от степени кислотности (щёлочности) среды и биогенных факторов образуются минералы различного состава: от устойчивых в щелочной среде (в нижних горизонтах) до устойчивых в кислой или нейтральной среде (в верхних горизонтах). Разнообразие продуктов выветривания определяется минеральным составом первичных горных пород. Например, ультраосновные породы при

¹¹⁰ Коренная порода – горная порода, залегающая на месте образования и неизменная в ходе выветривания.

выветривании подвергаются карбонатизации (с образованием кальцита, доломита, магнезита и т.п.), по трещинам могут образоваться минералы никеля, а вследствие гидролиза и кремнезем. Зона конечного гидролиза и окисления ультраосновных пород может содержать крупные месторождения руд никеля, кобальта, марганца, магнезита и природно-легированных железных руд.

Конечные продукты выветривания карбонатитов – горных пород, состоящих более чем на 90% из кальцита, анкерита, сидерита и небольшого количества примесей (пироксенов, амфиболов и редкоземельных минералов) - гидроокислы железа, обогащенные минералами-примесями, устойчивыми в поверхностных условиях. При выветривании карбонатитов даже при ничтожном первичном содержании ниобия, тантала, редких земель и фосфора могут возникнуть промышленные залежи руд этих элементов.

В составе органического вещества углей при химическом выветривании доля углерода и водорода уменьшается, а кислорода увеличивается, кроме того, увеличивается влажность угля, понижается способность его к спеканию, уменьшается теплота сгорания, уголь разрыхляется до состояния сажи. Сложность ведения горных работ в зоне залегания выветрелых углей резко возрастает. Выветрелые угли могут быть использованы как сырье для получения гуминовых удобрений.

Рыхлые отложения, образованные при выветривании коренных пород на месте их залегания называют элювием. Состав элювия отвечает составу коренных пород. Продукты выветривания, перемещенные на склон, называют делювием, а залегающие в основании склона пролювием. Продукты выветривания, составляющие делювий, имеют разнообразный состав (от глин и песков до крупных валунов) и характеризуются слабой сортированностью. По петрографическому составу делювий отличается от подстилающих его горных пород, обнаруживая связь с коренными породами, залегающими выше по склону и на вершинах. Пролювиальные отложения обычно образуют в нижней части склонов плащевидный покров (шлейф), смягчающий переход к прилегающей равнине. С делювием и пролювием часто связаны россыпи золота и руд др. металлов. Различают площадную кору выветривания, чехлом перекрывающую коренные породы (мощность до десятков м) и линейную кору, развитую по ослабленным зонам в материнских породах на глубину до 1500 м.

Неоднородность и неодинаковая устойчивость пород к выветриванию на различных участках ведёт к образованию останцов. При удалении водой или ветром продуктов выветривания возникают своеобразные эрозионные формы

рельефа, зависящие как от характера выветривания, так и от свойств коренных горных пород (рис. 15).



Рис. 15 Эрозионный рельеф (Становое нагорье. Бурятия)

Для массивов интрузивных пород характерны скруглённые формы рельефа; для слоистых осадочных и метаморфических — ступенчатые формы (карнизы, ниши и т. п.). Во влажном климате на территориях развития карстующихся пород возникают провалы, разделённые острыми выступами и гребнями (карры). В ходе выветривания образуется обломочный материал и растворимые соединения, которые попадая в водные бассейны, могут выпасть в осадок — первичный материал различных осадочных пород и многих видов полезных ископаемых.

Роль гидросферы в экзогенных процессах. Гидросфера содержит все химические элементы в виде взвесей и растворенных веществ. Содержание солей в водах суши при общем преобладании карбонатов, зависит от местных условий и прежде всего от климата. Обычно воды суши пресные (соленость от 0,05 до 1‰¹¹¹). Минерализация воды Онежского озера 35 мг/л, Ладожского озера 60 мг/л, Байкала 150 мг/л. Наиболее минерализованы воды соленых озер (Мертвое море до 260‰) и подземные воды (до 600‰).

Озера занимают около 2% площади суши. Озера — естественные водоемы с замедленным водообменом, расположенные в понижениях суши. Являются, прежде всего, участками аккумуляции продуктов выветривания с прилегающей площади водосбора и абразии (разрушения волнами) берегов. Большинство озер существует тысячи - десятки тысяч лет. За это время происходит

¹¹¹ Солёностью в промилле (‰) называется количество солей в граммах в 1 кг водного раствора, при условии, что все галогены заменены эквивалентным количеством хлора, а карбонаты переведены в окислы.

заполнение озерных котловин осадками и их заболачивание. Скопления в озерных отложениях оксидов и гидроксидов железа и марганца в северном и умеренном поясах и алюминия в субтропическом и тропическом поясах могут образовывать месторождения. Промышленное значение могут иметь озерные глины и сапропель. В засушливых районах озерные месторождения важные источники минеральных солей.

Соленость морской воды колеблется от 1÷2‰ (Финский залив Балтийского моря) до 41,5‰ (Красное море), средняя соленость океанической воды около 35‰. Солевой состав вод формируется за счет продуктов выветривания горных пород и продуктов дегазации мантии. В океанической воде преобладает хлорид натрия. В океаническую воду Na, Mg, Ca, K и др. катионы поступают главным образом за счет речного стока. Анионы Cl, S, F, Br, I и др. являются преимущественно продуктами подводных вулканических извержений. Азот, свободный кислород и CO₂, попадает в гидросферу из атмосферы и продуктов жизнедеятельности организмов. В океаны ежегодно поступает порядка 3 млрд. т осадочного материала (не менее 50% приходится на биогенный материал и 20% на растворенные вещества). Оптимальные содержания растворенных биофильных элементов создают благоприятную среду для развития организмов в океанической воде. Мировой океан служит главным водохранилищем планеты и основным аккумулятором солнечной энергии и вследствие большой теплоемкости воды сглаживает колебания температуры атмосферы. Течения связывают отдельные океаны и моря в единое целое, вследствие чего вода Мирового океана обладает общими физико-химическими свойствами.

Приливное движение вод, вызванное притяжением Луны и Солнца, является планетарным. Непрерывно движущиеся водные массы, взаимодействуя с горными породами побережья, производят огромную разрушительную и созидательную (аккумулятивную) работу (уступы - глинты и пляжи¹¹² соответственно).

В зависимости от глубины, удалённости берега, форм рельефа дна, течений, условий обитания организмов и др. факторов в морских бассейнах сосуществуют разнообразные обстановки осадкообразования. Так, в прибрежной зоне под воздействием волнения накапливаются пески, галечники, ракушечники, а в участках затишья и близ устьев рек — глины, алевроиты. На подводных поднятиях и на открытых шельфах часты биогенные известковые

¹¹² Пляж - полоса наносов на побережье в зоне действия прибойного потока.

осадки и пески; в морских впадинах преобладают глины, алевриты, обогащенные органическим веществом; встречаются карбонатные и кремнистые илы. На склонах образуются подводно-оползневые отложения. В центральных частях глубоких морей, куда поступает мало терригенного материала образуются диатомиты и известняки. На мелководье образуются рифовые известняки и доломиты. К мелководным отложениям относятся некоторые железистые (оолитовые) и марганцовистые, фосфоритные породы, горючие сланцы, бокситы и др.

Состав и распределение морских отложений зависят в первую очередь от тектонического режима и климатических условий. Тектонические движения определяют образование морских бассейнов, их конфигурацию, основные черты рельефа дна и прилегающих берегов, обуславливают трансгрессии и регрессии моря, влияют на интенсивность осадконакопления и на мощности отложений. Характер морских отложений в тектонически подвижных и относительно стабильных областях существенно различен. Для первых характерны большие мощности, формирование на начальных и заключительных стадиях тектонических циклов глубоководных морских отложений: кремнистых и глинистых пород, туфов и туффитов, мергелей, а также обломочных отложений, рифовых известняков. В стабильных морских областях формируются мелководные органогенные известняки и доломиты, тонкозернистые терригенные породы (глины, мергели, мелкозернистые песчаники) небольшой мощности.

В морях гумидных зон преобладают терригенные отложения — пески, алевриты, глины. В холодноводных бассейнах местами накапливаются диатомовые илы, биогенные известняки, а в тёплых водах тропической зоны — кораллово-водорослевые рифовые комплексы; местами происходит накопление хемогенных оолитовых известковых осадков. В ледовой зоне большое значение приобретают ледово-морские отложения.

В протерозое и палеозое хемогенные морские отложения накапливались в более широких масштабах, чем в мезозое и кайнозое, когда большее развитие получило биогенное осадкообразование. В докембрии и раннем палеозое были широко распространены морские доломиты, а в последующие эпохи — в основном известняки. Своеобразные морские отложения — железистые кварциты (джеспилиты) известны только в протерозое и т. д. В этих изменениях отражается эволюция состава гидросферы и атмосферы, развития жизни.

Морские отложения преобладают над континентальными отложениями, слагая более 75% общего объема осадочной оболочки материковой земной коры. Многие метаморфические породы возникли из морских отложений.

Деятельность текучих вод приводит к разрушению горных пород, расчленению (эрозии) и общему понижению суши. Эрозия — один из главных факторов формирования рельефа.¹¹³ Различают поверхностную эрозию (смыв со склонов), способствующую сглаживанию рельефа, и линейную эрозию, приводящую к расчленению земной поверхности при образовании оврагов, долин.

Наиболее выраженным типом линейной эрозии является речная эрозия, которая проявляется в виде: прямого воздействия течения, вызывающего растворение пород водой; взвешивание твердых частиц и их перемещение по поверхности ложа реки водным потоком¹¹⁴; истирание ложа реки частицами, переносимыми водой; возбуждение электрических зарядов в системе «вода — твердые тела» и способствует суспензированию мелких частиц. Водный сток рек оценивается в 41,7 тыс. км³/год. Суммарное количество материала выносимого реками в моря и океаны превышает 18×10^9 т, в т.ч. $3,2 \times 10^9$ т солей в год.

Размывающая способность потока зависит от скорости течения (градиента уклона русла), расхода водного потока, формы русла, характера ложа реки и положения базиса эрозии¹¹⁵. Градиент уклона русла может колебаться от 8 см/км на равнинах, до десятков метров на 1 км в горных реках. Расход воды определяется объемом потока в единицу времени на единицу поперечной площади русла ниже уровня воды. Максимальный расход воды в Амазонке 150 тыс. м³/сек.

Речная эрозия разделяется на глубинную (в т. ч. пятящуюся, которая, распространяясь вверх по водотоку, приводит к формированию продольного профиля равновесия) и боковую, приводящую к расширению дна долины путем меандрирования (рис. 16) или смещения русла.

На ранней стадии развития в реке преобладает донная эрозия, а долина имеет V-образную форму. На зрелой стадии долина становится

¹¹³ Под термином «эрозия» часто понимается непосредственная деструктивная деятельность моря, ветра, ледников и др. С нерациональной деятельностью человека связана антропогенная эрозия.

¹¹⁴ Река – поток воды в естественном русле. Потоки воды при скорости 0,3 м/сек переносят тонкий песок, при 1 м/сек - гравий, при 2 м/сек - гальку.

¹¹⁵ Базис эрозии – поверхность, на уровне которой водный поток теряет гравитационную энергию и ниже которой он не может углублять свое ложе. Изменение базиса эрозии часто связано с движениями земной коры.

корытообразной. На конечной стадии развития реки продольный профиль выполаживается, течение замедляется, широкая пойма заболачивается.



Рис. 16 Меандры ручьев в долине р. Вилюй (Бурятия. Фото Литвинова И.А.)

Крупные реки в средних и высоких широтах, текущие вдоль меридиана под действием центробежной силы вращения Земли (ускорение Кориолиса) в северном полушарии подмывают преимущественно правые берега (Днепр, Дон, Волга, Обь, Иртыш, Лена, Дунай, Нил), а в южном левые.

В реках в местах резкого перепада высоты русла образуется уступ, с которого низвергается водный поток - водопад. Уступ водопада разрушается у основания, и водопад постепенно отступает вверх по течению реки. Например, Тосненский и Саблинский водопады (Ленинградская область), имея до водопада ложа из известняка, подстилаемые более мягкими породами, ежегодно отступают на 0,7—1,0 м. При разрушении уступа на месте водопада нередко образуются пороги (например, Ивановские пороги на р. Неве).

Самый высокий водопад Анхель (Венесуэла) имеет высоту 1054 м. Крупнейшим по количеству сбрасываемой воды является Ниагарский водопад, ширина которого достигает 1100 м при высоте падения около 51 м. В России водопады распространены в Карелии, на Кольском полуострове, на Северном Кавказе, горных районах Сибири (рис. 17).

Если энергия потока не достаточна, происходит аккумуляция обломочного материала, который осаждается на дне водоемов, в долинах и

устьях рек и ручьев. Речные отложения, состоящие из сортированного слоистого обломочного материала, называют аллювием¹¹⁶.



Рис. 17 Водопад на руч. Еленинском (Бурятия)

В аллювии равнинных рек выделяется (рис. 18): русловой аллювий, отлагающийся в смещающемся русле потока (косослоистые пески и гравий), пойменный аллювий, накапливающийся поверх руслового во время половодий (преимущественно супеси и суглинки) и старичный аллювий, осаждающийся в старицах (обогащенные органическим веществом супеси и суглинки).

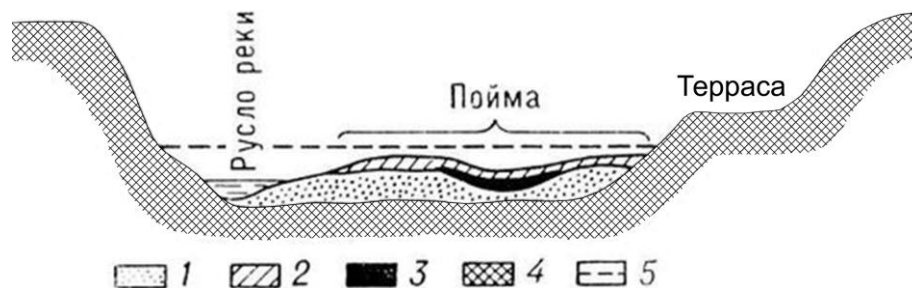


Рис. 18. Строение аллювия равнинной реки. 1, 2, 3 — аллювий: русловой, пойменный, старичный; 4 — коренные породы склонов и дна речной долины; 5 — уровень воды во время половодья (БСЭ с изменениями)

Состав и строение аллювия существенно изменяется в зависимости от величины и режима потока, рельефа водосбора и слагающих его горных пород. В аллювии горных рек преобладает валунно-галечный русловой аллювий. Ручьи, текущие по оврагам и балкам, отлагают плохо сортированный материал. Древние аллювиальные отложения обычно преобразованы в конгломераты, песчаники и аргиллиты. С аллювием связаны россыпи золота, платины и др.

¹¹⁶Аллювий - слагает поймы и террасы речных долин и играет важнейшую роль в составе континентальных осадочных формаций.

полезных минералов, а также месторождения строительных песков, гравия и гальки.

В долинах рек выделяют пойму и террасы. Пойма - часть дна долины, расположенная выше меженного уровня и затопляемая в половодье. Речные террасы - естественные горизонтальные или слабо наклонные участки речных долин, ограниченные уступами и являющиеся остатками их прежнего дна. Террасы могут располагаться в виде ступеней. Самая высокая терраса — наиболее древняя, низкая — самая молодая. В зависимости от глубины вреза реки и мощности аллювия различают террасы аккумулятивные (накопления осадков); цокольные (смешанные), когда ниже аллювия обнажаются коренные породы (цоколь) и эрозионные (размывы) — имеющие вид ступеней, вырезанных в коренных породах речной эрозией. Чаще всего речные террасы образуются при врезании реки в дно и склоны долины, вызванным понижением базиса эрозии или увеличением расхода воды в реке из-за климатических изменений.

Кроме долин рек террасы встречаются вдоль побережий морей и больших озёр, и маркируют прежнее положение уровня воды. Солифлюкционные¹¹⁷ (наплывные) террасы, образуются при неравномерном перемещении насыщенных водой отложений по многолетнемерзлым породам. Изучение террас позволяет установить палеогеографическую и палеоклиматическую обстановку конкретной территории. На террасах часто располагаются населённые пункты и промышленные объекты, прокладываются дороги, размещаются сельскохозяйственные угодья.¹¹⁸

Водонасыщенные отложения, постепенно смещающиеся по склону под действием силы тяжести, образуют оползни (рис. 19). Смещение происходит при нарушении равновесия пород, вызванного: увеличением крутизны склона при подмыве водой; ослаблением прочности пород при выветривании или переувлажнении; сейсмическими толчками; антропогенной деятельностью (разрушение склонов выемками; чрезмерный полив угодий, расположенных на склонах и т.п.). Наиболее часто оползни возникают на склонах, сложенных чередующимися водоупорными (глинистыми) и водоносными породами

¹¹⁷ Солифлюкция - течение увлажнённых тонкодисперсных грунтов на склонах, развивающееся в процессе их промерзания и протаивания.

¹¹⁸ Встречаются террасы, образующиеся и при сглаживании возвышенностей. Они располагаются выше уровней бассейнов и долин, имеют невыдержанные превышения и наклоны. Число террас зависит от геологического строения. Площадки террас, возникших на склонах, сложенных чередующимися, полого залегающими пластами горных пород, приурочены к кровлям пластов пород, устойчивых к выветриванию.

(например, песчано-гравийными, трещиноватыми карбонатными). Развитию оползней способствует наклон слоев или наличие трещин, падающих по склону.



Рис. 19 Продольный разрез оползня (БСЭ с изменениями)

В плане оползней часто имеет форму полукольца, образуя понижение в склоне (оползневой цирк) (рис. 20). Для борьбы с оползнями применяются дренаж склонов, производится закрепление склонов посадками и специальными сооружениями.



Рис. 20 Оползневый цирк. (Бурятия. Фото Литвинова И.А.)

Кроме оползней опасными гравитационными явлениями являются также сели – потоки, содержащие до 75% обломков горных пород, внезапно возникающие в руслах горных рек после ливней, бурного таяния ледников или снега, а также при обрушении в русло рыхлого материала (при уклонах не менее 8%). Различают сели несвязные -водокаменные и вододресвяные, связные - грязекаменные и грязевые. В несвязных селях транспортирующая среда обломков — вода, а в связных – взвешенные в воде тонкодисперсные

частицы. Сели движутся со скоростью до 10 м/сек, как правило, волнами, что обусловлено механизмом их формирования и образованием в сужениях и на поворотах русла скоплений твёрдого материала с последующим их прорывом. Объёмы единовременных выносов достигают 10^6 м³, а крупность переносимых обломков в поперечнике до 4 м, при массе до 200 т. Основные меры борьбы с селями — закрепление растительного покрова на горных склонах, а также профилактический спуск горных водоёмов, расчистка скоплений рыхлого материала и регулирование стока горных рек системами противоселевых плотин.

Ледовые геологические процессы. Лед – вода в твердой фазе, минерал и мономинеральная горная порода. Зерна льда состоят из молекул Н₂О, соединенных водородными связями в трехмерный каркас (рис. 21).

Лед встречается в природе в виде собственно льда (материкового, плавающего, подземного и т.д.), а также в виде снега, инея. Растворимость веществ во льду очень низкая. Солонватость морского льда объясняется включением кристалликов соли и капель рассола. Лед может содержать также минеральные включения и включения газа. Основные ресурсы льда на Земле сосредоточены в высоких широтах. Лед имеется и на внешних планетах Солнечной системы и кометах.

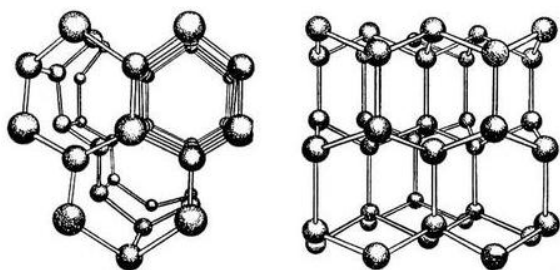


Рис. 21 Структура льда (показаны атомы кислорода и направления водородных связей) в двух проекциях (БСЭ)

Лед играет важную роль в природных процессах. Обладая меньшей, чем у воды плотностью лед образует на поверхности воды покров, предохраняющий реки и водоемы от промерзания. Вследствие высокой отражательной способности льда (0,45) и снега (до 0,95) покрытая ими площадь получает тепла на 65% меньше, чем смежные участки земной поверхности, не покрытые льдом и снегом. Летом в полярных областях солнечная радиация больше, чем в экваториальном поясе, но температура остается низкой, т. к. значительная часть солнечного тепла затрачивается на таяние льда. Поэтому ледяные покровы обуславливают охлаждение земной поверхности и климатическую зональность.

При ударном воздействии лед хрупок, а под длительной нагрузкой начинает течь. При температуре близкой к 0°С текучесть льда в 10^6 раз выше

чем у других горных пород. Благодаря текучести лед не накапливается беспредельно. Движущиеся естественные скопления льда атмосферного происхождения на земной поверхности называются ледниками. При склоне ложа в 1° ледник начинает течь при мощности льда в 62,5 м, при наклоне ложа в 45° движение льда наблюдается при толщине в 1,5 м. Максимальная скорость у горных ледников обычно составляет несколько м в год, а у ледников на побережье Гренландии до 14 км в год (40 м/сут). Одиночные ледники имеют площадь от тысяч м^2 до 14 млн. км^2 и мощность до 4,3 км (Антарктида). Общая площадь современных ледников около 16,1 млн. км^2 (11% площади суши), а объём порядка 30 млн. км^3 , соответственно 89,6% и 98% приходится на материковые ледниковые покровы, 9,1% и около 2% — на шельфовые ледники, 1,3% и около 0,1% — на высокогорные ледники. Площадь ледников в России составляет 50 тыс. км^2 , из которых 90% приходится на острова Северного Ледовитого океана.

Аккумулируя громадное количество пресной воды, ледники оказывают существенное влияние на хозяйственную деятельность в предгорных районах. Лед используется в целях снегозадержания, устройства ледяных переправ, хранилищ, льдозакладки горных выработок и т. п.

Наибольшую распространенность ледники имели в эпохи сильного похолодания — ледниковые периоды, в течение которых многократно чередовались ледниковья (отрезки времени с более холодным климатом) и межледниковья (отрезки времени с более теплым климатом). Ледниковые периоды имели место в нижнем протерозое в Северной Америке, в верхнем протерозое в Африке, Австралии, в Евразии и Северной Америке, в ордовике в Африке, в конце карбона и начале перми в южном полушарии. Наиболее изучен ледниковый период четвертичного периода (см. табл. 2), в течение которого выделяется 4 ледниковья, последнее из которых завершилось ~12 тыс. лет тому назад.

Геологическая деятельность льда проявляется в ледовом литогенезе и образовании своеобразных форм рельефа. Нивальный тип литогенеза — осадочное породообразование на участках суши, где наблюдаются достаточно длительные периоды с отрицательной температурой, а роль химического и биохимического выветривания незначительна. Материал для ледниковых отложений образуется, прежде всего, за счет физического выветривания горных пород и ледниковой эрозии. Перенос обломков осуществляется льдом и отчасти током подледниковых рек, что обуславливает отсутствие механической

сортировки осадочного материала. В результате нивального литогенеза образуются рыхлые ледниковые отложения.

При движении ледника происходит как выпахивание, так и сглаживание ложа обломками транспортируемых льдом. Горные ледники могут образовывать временные запруды, разрушение которых может иметь катастрофические последствия. Рыхлые породы, слагающие ложе ледника, под его нагрузкой испытывают складчатость и могут быть перемещены по направлению движения ледника (гляциодислокации).

Ледниковые отложения подразделяются на собственно ледниковые (морена) и водно-ледниковые. Моренные равнины сложены глинами, суглинками, супесями с валунами, галькой, щебнем, редко валунными песками и щебнем. Ледниковые отложения четвертичного периода распространены на в северном полушарии в пределах умеренных поясов. Древние ледниковые отложения – тиллиты сильно уплотнены, сцементированы, а иногда и метаморфизованы.

Водно-ледниковые отложения образуются внутри и по периферии ледников из отсортированного и переотложенного талыми водами моренного материала. Различают ледниково-речные отложения потоков талых вод (косослоистые пески, гравий, галечники) и озерно-ледниковые отложения внутри- и приледниковых озер (преимущественно ленточные глины¹¹⁹). Характерными формами послеледникового рельефа являются камы, озы и зандры, распространенные в областях четвертичного материкового оледенения в Швеции, Финляндии, на северо-западе России.

Камы – холмы и гряды в областях распространения четвертичного материкового оледенения. Встречаются одиночно и группами. Высота от 2 до 30 м. Сложены песками с линзами и прослоями глин с валунами. Камы - отражение аккумулярующей деятельности плоскостного смыва на поверхности, внутри и придонной части разрушающегося ледника.

Озы – узкие (до 3 км) валы (длинной до 500 км), высотой до нескольких десятков метров, часто сложенные косослоистыми песками, гравием, галькой с

¹¹⁹Ленточные глины, осадки озёр, располагавшихся близ материкового ледника. Для ленточных глин характерно чередование тонких летних и зимних слоев, сложенных соответственно песчано-алевритовым или более глинистым материалом. Мощность пары слоев обычно меньше 1 мм (иногда до нескольких см). Внутри крупных слоев различается микрослоистость, связанная с изменением погоды и интенсивностью таяния ледников. Ленточные глины распространены в Белоруссии, Прибалтике, на севере Европейской части России, в Скандинавии, на севере Польши и Германии. Оценки числа годовых слоев в ленточных глинах используется для геохронологии после ледникового времени.

валунами. Представляют собой отложения потоков талых вод, протекавших в теле ледника.

Зандры - слившиеся друг с другом краевыми частями плоские конусы выноса подледниковых потоков, сложенные галечниками и песками, примыкавшие к краю ледников. Песчаные незаросшие зандры часто превращаются в поля материковых дюн.

Для областей распространения мощных ледниковых покровов характерны вертикальные движения земной коры (гляциоизостазия), обусловленные нагрузкой ледниковых покровов (опускания) и упругой реакцией ложа при стаивании ледников (поднятия). Гляциоизостатические опускания наиболее выражены под ледниковыми щитами Гренландии и Антарктиды, где ложе ледника на значительных площадях прогнуто ниже уровня моря. Гляциоизостатические поднятия особенно интенсивны в недавно освободившихся от материковых льдов областях, например в Канаде и Скандинавии, где подъем земной поверхности за послеледниковое время превышает 300 м,¹²⁰ а современные скорости поднятий доходят до 1 м в столетие (шведское побережье Ботнического залива).

Область существования льда в земной коре – криолитозона. Криолитозона - верхний слой земной коры, характеризующийся отрицательной температурой почв и горных пород на время не менее суток и наличием или возможностью существования подземных льдов. В зависимости от частоты перехода температуры пород через 0°C в течение года в криолитозоне выделяют слой кратковременного и сезонного промерзания—протаивания - т. н. активный (деятельный) слой и многолетняя криолитозона, характеризующаяся длительным сохранением подземного льда. Наряду с многолетнемёрзлыми породами¹²¹ и подземными ледяными телами многолетняя криолитозона содержит безводные и насыщенные растворами

¹²⁰ Плотность литосферы в 3 раза превышает плотность льда. Тогда, в соответствии с законом Архимеда, для вытеснения 300 м плотного вещества на него должна действовать нагрузка 900 м ледяного панциря.

¹²¹ Мёрзлые горные породы - природные минеральные и органоминеральные агрегаты, содержащие лёд. Образуются в верхнем слое земной коры при её кратковременном, сезонном и многолетнем промерзании. По длительности пребывания в мёрзлом состоянии делятся на кратковременно и сезонномёрзлые (менее одного года), перелетки (от одного года до двух лет) и многолетнемёрзлые горные породы (более двух лет). Форма, размеры и взаимное расположение ледяных включений в многолетнемёрзлых породах определяются условиями осадконакопления и промерзания. Присутствие льда в многолетнемёрзлых горных породах существенно влияет на их физические, механические и фильтрационные свойства. Трещиноватые скальные и рыхлые породы благодаря промерзанию приобретают сцепление, прочность, непроницаемость и др. Горные породы, охлаждённые ниже 0°C, но не содержащие льда, называют морозными породами.

горные породы с отрицательными температурами, но без ледяных включений.

Нижняя граница криолитозоны проходит по геоизотерме 0°C , которая при изменении условий тепло и влагообмена поверхностного слоя горных пород изменяет своё положение. Глубина залегания нулевой изотермы от поверхности Земли колеблется от нескольких м в умеренных широтах (на границах области распространения многолетнемёрзлых или охлажденных пород) до нескольких км в высоких широтах (свыше 4 км в Антарктиде и 1,5 км в Субарктике). Криолитозона охватывает оргогены всех континентов, возвышающиеся над снеговой линией, высотные климатические пояса полярных, субполярных и умеренных широт, а также климатические пояса, где промерзание влажных почв или охлаждения ниже 0°C сухих песков и трещиноватых скальных пород имеет спорадический характер.

На территориях с положительной среднегодовой температурой распространён лишь сезонно мёрзлый (активный) слой. В области распространения многолетнемёрзлых горных пород активный слой называется сезоннопротаивающим (сезонноталым), вне ее — сезоннопромерзающим (сезонномёрзлым). На границе области распространения многолетнемёрзлых толщ среднегодовые температуры могут отклоняться от 0°C , что ведёт к периодическому или эпизодическому формированию и деградации мёрзлых перелетков — зародышей многолетней криолитозоны. В областях с близкой к 0°C отрицательной среднегодовой температурой многолетняя криолитозона имеет островной характер.

В Южном полушарии многолетняя криолитозона распространена под ледниковым покровом Антарктиды и в её шельфовой зоне с отрицательной средней годовой температурой морского дна, а также под ледниками и сезонноталыми почвами орогенов в Южной Америки, Африки и Австралии. В Северном полушарии многолетняя криолитозона охватывает субполярный пояс на материках, расширяющийся по мере усиления континентальности климата; горные сооружения островов и континентов, возвышающиеся над снеговой линией; значительную часть шельфа арктических морей, а также массивы горных пород под ледниковыми покровами и сезонно-талыми почвами Гренландии, Исландии и островов Северного Ледовитого океана. Многолетняя криолитозона существует и под термокарстовыми озёрами Арктики и Субарктики. Многолетнюю криолитозону в высоких широтах нарушают сквозные и несквозные талики различного генезиса, в которых температура пород хотя бы часть года положительна. В широкой полосе равнин вблизи

границы многолетней криолитозоны встречаются отдельные острова многолетнемёрзлых пород. В Западной Сибири южнее этой границы (при отсутствии многолетнемёрзлых горных пород в почвенном слое) на значительной глубине от поверхности (до 100 м и более) протягивается широкий (свыше 400 км) и прерывистый слой реликтовой деградирующей многолетней криолитозоны.

В России многолетняя мерзлота занимает 9658 тысяч км² (56% территории страны), что обуславливает специфику жизнедеятельности и функционирования производственного и сельскохозяйственного комплексов.¹²² Порядка 19% территории России занимают олени пастбища и лишь 13% пригодны для возделывания злаков (А. Пляц, 1998).

Для полярных, субполярных и высокогорных областей криолитозоны характерны криогенные и посткриогенные процессы и явления: криогенное выветривание; криолитогенез; растрескивание и пластическая деформация мёрзлых горных пород; пучение рыхлых пород; вымораживание крупных обломков на поверхность; просадки и термокарст; вязкое течение и криогенное обрушение пород со склонов; усиленная боковая эрозия и абразия льдистых отложений и др. С этими процессами связано образование: трогов, цирков, склоновых террас; оползней, обвалов, оплывин, пучений (гидролакколиты) и др.

Возникновение многолетней криолитозоны возможно при нахождении суши в высоких широтах или на определенной высоте над уровнем моря, а также сохранения параметров циркуляции атмосферы и океанических вод достаточно длительное время. Формирование многолетней криолитозоны предшествует развитию поверхностного оледенения и охватывает большие по сравнению с последним площади.

В криолитозоне образуются газогидраты - твёрдые кристаллические вещества (льдоподобные кристаллиты), состоящие из воды (матрица) и включений газа, которые при высоких давлениях существуют при положительных температурах. Макроскопически газогидраты выглядят как инееподобные агрегаты, стяжения. Общая формула газовых гидратов $M \times (H_2O)_n$, где M – молекулы газа, а значения n меняются от 6 до 17в

¹²²Среднегодовые температуры самых холодных стран мира: Россия -5,5°C, Канада -5,1°C, Исландия +0,9°C, Финляндия +1,5°C, Норвегии +7°C (А.П. Паршев). Эффективная хозяйственная деятельность на постоянной основе может осуществляться на территориях расположенных ниже +2000 м и там, где среднегодовая температура превышает -2°C (Ж.Э. Реклю). Исходя из этого лишь 1/3 территории России является эффективной.

зависимости от состава газа и условий образования гидратов. Чистый метан образует с водой льдоподобные агрегаты в толще осадков при давлении 2,0 МПа и температуре $3\div 4^{\circ}\text{C}$. При наличии в метане примесей (<1%) этана, пропана и ряда др. газов давление гидратообразования снижается до 0,5 МПа. В 1 м^3 метаногидрата при давлении 25 МПа, содержится примерно 200 м^3 газа. Т. к. ~50% вод Мирового океана имеет температуру ниже $2,3^{\circ}\text{C}$, газогидраты распространены на 90% площади океанического дна на глубинах от единиц до 1500 м от уровня моря, при мощности до 700 м. Ресурсы углеводородных газогидратов только в океанических донных отложениях составляют 121×10^{15} (121 квадриллион) м^3 , что в энергетическом эквиваленте на 3 порядка превышает ресурсы всех разведанных месторождений нефти, газа и угля.

Геологическая работа атмосферы проявляется в ветровой (механической) эрозии возвышенных элементов рельефа, переносе минеральных частиц, в химическом воздействии кислорода воздуха на горные породы, а также в формировании температурного режима планеты и волн разрушающих берега. Ветер¹²³ при скорости до 6,5 м/сек переносит мелкие песчинки. Умеренный ветер (до 10 м/сек) способен транспортировать зерна песка размером до 1 мм. Штормовой ветер (до 20 м/сек) переносит гравий. Скорость воздушного потока в торнадо может превышать скорость звука ($>331,8\text{ м/с}$). Твердые частицы в составе воздушного потока оказывают абразивное воздействие на выходы скальных и полускальных пород, в результате этого процесса (корразии) возникают останцы. Пылеватые частицы могут подниматься с токами воздуха на высоту до 6 км и переноситься на тысячи км. Масса единичного смерча может достигать 1 млн. т. Когда энергия ветра оказывается недостаточной для поддержания частиц во взвешенном состоянии, происходит их выпадение из воздуха и аккумуляция при этом возникают лессы, барханы, дюны, донные отложения. Количество материала переносимого ветром с суши в море оценивается в $1,6\times 10^9$ т в год. В донных осадках океанов доля выпавших из воздуха частиц составляет от 20 до 75% (А.П. Лисицын). С поверхности морей и океанов в атмосферу ежегодно поднимается в виде аэрозолей около 10^9 т соли. Резкое изменение атмосферного давления может вызвать перераспределение геомеханических напряжений в массивах горных пород и вызвать динамические явления в горных выработках.

¹²³ Ветер - движение воздуха в атмосфере субпараллельное земной поверхности. Возникает из-за неравномерного горизонтального распределения давления, которое, в свою очередь, обусловлено неравенством температур в атмосфере.

Действие эндогенных и экзогенных процессов на земную поверхность противоположно. Эндогенные процессы (в основном тектонические движения) обуславливают членение земной коры на блоки, обладающие относительной подвижностью. Экзогенные процессы разрушают поднятые блоки, заполняют продуктами разрушения понижения, т. е. направлены на выравнивание поверхности Земли. При взаимодействии внутренних и внешних процессов на земной поверхности образуются различные типы рельефа, происходит кругооборот вещества, сопровождаемый обновлением земной поверхности и коры. Разделение геологических процессов на эндогенные и экзогенные условно. Интегрирующий процесс, главными факторами которого являются тектоногенез и климат, а в результате возникают осадочные горные породы, носит название литогенез.

Возрастающее влияние на ход природных процессов имеет техногенез. Техногенез (антропогенез) – процесс изменения природных экосистем¹²⁴ под воздействием деятельности человека. Область проявления техногенеза – техносфера. На заре человечества техносфера была представлена тотечными ареалами и не выходила за пределы биосферы, в эпоху древних цивилизаций приобрела очаговый характер, ныне имеет глобальные масштабы. В древнем Египте глубина горных выработок достигала 200 м. Римский историк Саллюстий в I в. до н.э. писал: «Надо ли вспоминать о том, чему никто, кроме очевидцев не поверит – как частные лица срывали горы, осушали моря?». Человек создает вещества, не имеющие природных аналогов (взрывчатые вещества, пестициды, геотекстиль и т.д.). Результат техногенного термометаморфизма (кирпич), диагенеза (бетон) и пирогенеза (стекло). До появления металлургии в свободном состоянии человек знал лишь благородные металлы, медь, ртуть и метеоритное железо. Деятельность человека является по В.И. Вернадскому мощной геологической силой.

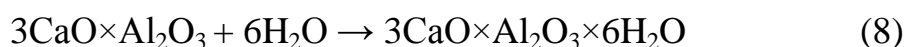
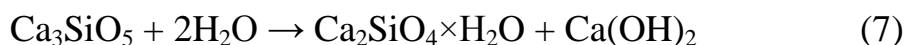
Один из самых распространенных искусственных каменных материалов - бетон получают после твердения смеси вяжущего вещества (с водой или без неё), заполнителей и специальных добавок. В качестве основного вяжущего вещества для бетона используют цемент, мировое производство которого превышает $1,7 \times 10^9$ т/год (1/3 приходится на Китай). Среди множества типов

¹²⁴ Экосистема – совокупность взаимосвязанных организмов и условий их существования (А. Тенсли, 1935). Природная экосистема характеризуется потоками энергообмена и круговорота веществ. Главное свойство экосистем – способность самосохраняться или восстанавливаться существенно ограничивается под воздействием техногенеза.

цементов важнейшим является портландцемент¹²⁵, получаемый обжигом смеси карбонатных (известняки, мергель) и алюмосиликатных (глины, аргиллиты) пород и вводом регулирующих добавок (гипс и др.).

Сырье для получения цемента размалывается и перемешивается. Полученную шихту нагревают. При 100÷110°C из шихты удаляется свободная вода, при 600°C начинает удаляться гидратная и гидроксильная вода, при 800÷850°C начинают разлагаться кальцит и алюмосиликаты. При 1300÷1500°C продукты распада вступают в химическое взаимодействие с образованием клинкерных минералов. При охлаждении до 1000°C заканчиваются химические реакции и кристаллизация расплава, содержащего Ca_2SiO_4 (белит, 6÷47%), Ca_3SiO_5 (алкит, 37÷72%), $\text{CaO}\times\text{Al}_2\text{O}_3$ (алюминат кальция, 2÷20%), $\text{CaO}\times\text{Al}_2\text{O}_3\times\text{Fe}_2\text{O}_3$ (алюминоферрат кальция, 2÷19%) и др. Охлажденный клинкер измельчают до 1÷10 мкм. Полученный тонкий порошок и есть портландцемент.

При смешивании портландцемента с водой происходит гидратация техногенных минералов цемента и ряд других реакций по схемам (6÷9):



Минералообразование в цементном камне (бетоне) может продолжаться несколько лет. Главным продуктом гидратации портландцемента является гидрат силиката кальция ($\text{Ca}_2\text{SiO}_4\times\text{H}_2\text{O}$) переменной стехиометрии, образующий агрегат хаотично расположенных пленок и пластинок.

Качество портландцемента определяется сбалансированностью химического состава минерального сырья. При избытке в составе шихты CaO в цементном камне будет присутствовать остаточный вымываемый минерал портландит ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), что понижает прочность камня («белая смерть бетона»). При избытке в шихте SiO_2 образуется минерал геленит ($2\text{CaO}\times\text{Al}_2\text{O}_3\times\text{SiO}_2$), также снижающий прочность цементного камня. При наличии в шихте магния при обжиге образуется периклаз (MgO), гидратация которого продолжается годы и сопровождается увеличением объема уже схватившегося цементного

¹²⁵ **Цементы** - неорганические порошкообразные вяжущие материалы, обладающие способностью при взаимодействии с водой или др. жидкостями образовывать пластичную массу, затвердевающую со временем. В 1796 г. Дж. Паркером из обожженного мергеля был получен романцемент. В 1824 г. Дж. Аспдин в Англии и независимо в 1825 г. Е.Г. Челиев в России создали портландцемент (Груцек М., Рой Д. Минералогия портландцемента // Минералогическая энциклопедия. Л., 1985. с.168-172).

камня, что может привести к разрушению изделия. Небольшое количество щелочей в шихте полезно, поскольку снижает температуру плавления клинкера, но при повышенном содержании щелочей образуются соединения, ухудшающие качество бетона. Поэтому управление качеством цементной шихты является весьма ответственной задачей.

Для составления шихты используются карбонатные и глинистые породы соответственно содержащие не более: MgO 4% и 6%; SO₃ 1,3% и 5%; (K₂O+Na₂O) 1% и 4%; P₂O₅ 0,4% и 0,6%; TiO₂ 2% (в глинистых породах). В карбонатной составляющей содержание CaO обычно более 44%. Состав глинистых пород: SiO₂ 50÷65%; Al₂O₃ 15÷20%; Fe₂O₃ 6÷10%. Валовый состав шихты: CaO 60÷67%; SiO₂ 21÷24%; Al₂O₃ 4÷7%; Fe₂O₃ до 2,5%. При шихтовке добавкой высококремнистых пород (диатомитов, трепелов, кварцевого песка и др.), высокожелезистых продуктов (железных руд, пиритовых огарков и др.), бокситов регулируют величины коэффициента насыщения (K_н=0,82÷0,95); силикатного (n=1,2÷3,5) и глиноземного (p= 1÷2,5) модулей (10÷12).

$$K_n = [(CaO_{\text{общ}} - CaO_{\text{св}}) - (1,65Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3 + 0,7SO_2)] / 2,8(SiO_{2\text{общ}} - SiO_{2\text{св}}) \quad (10)$$

$$n = SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3) \quad (11)$$

$$p = Al_2O_3 / Fe_2O_3 \quad (12)$$

Техногенез преобразует и человека в части замещения органов (искусственные зубы, сосуды, хрусталик глаза). Гипотетически возможно изменения генома человека для избавления от наследственных болезней, увеличения длительности жизни и т.п.¹²⁶

Деятельность человека неизбежно нарушает динамическое равновесие экосферы. Длительные и высокодебитные откачки подземных вод, нефти, газа, добыча твердых полезных ископаемых, приводят к уплотнению пород и оседанию земной поверхности (г.г. Мехико, Токио, Осака, на нефтяном месторождении Уилмингтон (США, штат Калифорния), на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей¹²⁷ (ВКМКС, Пермский край). Мульды оседания (рис. 22) имеют площади в тысячи км², при осадке в десятки м, их образование приводит к разрушению зданий, сооружений, коммуникаций, способствует развитию экзогенных процессов.

¹²⁶ Пока за тысячелетия людям не удалось вывести ни одного нового вида растений или животных.

¹²⁷ Добыча солей ВКМКС составляет 25-27 млн. т в год, при этом более 70% добытой массы поступает в отходы. Более 40% отходов используется для закладки в отработанные пространства. В солеотвалах и шламохранилищах скопилось более 300 млн. т отходов, они занимают около 2000 га бывших лесных и сельскохозяйственных угодий. В реку Каму ежегодно сбрасывается более 50 млн. м³ загрязненных сточных вод, а валовый сброс загрязняющих веществ составляет порядка 900 тыс. т.



Рис. 22 Деформации земной поверхности в результате ведения подземных горных работ в районе г. Прокопьевск (Кузбасс) (РУЭ)

Закачка промышленных стоков в недра провоцирует техногенные землетрясения (г. Денвер, США). Строительство плотин приводит к обводнению горных пород ложа водохранилища и, как следствие, к увеличению сейсмической активности (водохранилище Марафон, Греция; водохранилище Мид-Лейк, США и др.). Со сточными водами в недра поступает ежегодно на $\sim 3 \times 10^9$ т больше растворенных веществ, чем извлекается при водоотборе.

Общее количество извлекаемой из недр горной массы превышает 2×10^{10} т в год. В результате горных работ происходит изменение природного ландшафта, геофизических и геохимических полей в массивах, подстилающих основания техногенных образований, а также гидрологических и гидрогеологических режимов территорий; развитие геологических процессов, которые могут иметь опасный характер. В ходе хозяйственной деятельности образуются техногенные грунты насыпей, свалок и отвалов; а также грунты, измененные техногенным воздействием. Ежегодно в мире при рудообогатении образуется около 3 млрд. м³ хвостов, для размещения которых отчуждается до 2 тыс. га земель, при мощности отходов рудообогатения в десятки метров.

Отвалы иногда образуют техногенные залежи (месторождения) с содержанием ценных компонентов, превосходящим природные руды. В техногенных месторождениях сосредоточено сырье для производства строительных материалов, для получения редких и рассеянных элементов (например, германия из золы ТЭЦ и продуктов коксового производства). Ежегодно в США погребается на свалках порядка 700 тыс. т. алюминиевой тары (на 2 млрд. \$). Масса ежегодно выбрасываемой электронной техники по содержанию золота соответствует примерно 300 млн. т руды среднего качества.

Масса твердых отходов в России превышает 12 млрд. т. В отходы цветной металлургии содержат (тыс. т): меди 7790, свинца – 980, цинка – 9140, никеля – 2480, вольфрама – 129, лития – 97. Объем отходов рудообогащения железорудных предприятий России оценивается в 1 млрд. м³. Хвостохранилища Лебединского горно-обогатительного комбината (ГОКа) занимают - 1956 га, Стойленского - 1800, Михайловского - 940, Ковдорского - 906, Оленегорского - 1350, Качканарского ГОКа – 1130 га.

Состояние техногенного месторождения определяют группы элементов, относящиеся к физико-географической, минералого-геохимической, инженерно-геологической, гидрогеологической, технологической и экологической подсистемам. Невыдержанный химический, минеральный и гранулометрический состав техногенных образований затрудняют расчет суммарного экономического эффекта от их переработки и требуют индивидуального подхода к оценке каждого техногенного месторождения.

В России ежегодно образуется порядка 1,5 млрд. т углеотходов, из которых 95% приходится на вскрышные и вмещающие породы, более 30 млн. т - отходы обогатительных фабрик и около 50 млн. т золошлаковые отходы. Используется только часть отходов, из которых 95% направляется на планировку разрезов, 4,9% применяется в строительстве и производстве строительных материалов, 0,1% при закладке горных выработок шахт. Остальной объем пустых пород размещается во внешних отвалах, а влажные отходы обогащения - в шламонакопителях, занимающих значительные территории и являющихся источниками загрязнения окружающей среды. Общая площадь земель, нарушенных угледобывающими предприятиями, превышает 100 тыс. га, ежегодно вновь нарушается до 3,5 тыс. га, из них рекультивируется до 70%. К наиболее характерным видам нарушений экосистем относятся внешние отвалы, промплощадки, шламонакопители, гидро- и золоотвалы, выемки карьеров, провалы земной поверхности, выбросы в атмосферу.

К основным источникам выбросов в атмосферу относятся промышленные котельные и сушильные установки обогатительных фабрик, вентиляционные стволы шахт (только в Кузбассе в год выбрасывается в атмосферу до 2 млрд. м³ шахтного метана), породные отвалы, угольные склады, горнотранспортное оборудование. Токсиканты поступают в атмосферу при массовых взрывах на разрезах, при самовозгорании отвалов. В России горит 40 породных отвалов. Предприятиями углепрома России за год выбрасывается в атмосферу порядка

850 тыс. т загрязняющих веществ, в т. ч. 92,2% газообразных и 7,8% твердых. Из общего объема загрязняющих веществ 90,2% составляет угольный метан, 5,4% CO₂, 2,5% SO₂, 1,7% оксиды азота, 0,1% органические вещества.

Объем водопотребления на предприятиях углепрома России превышает 200 млн. м³ в год (0,7÷0,8 м³ на 1 т добычи). На производственные нужды идет 74,5%, на хозяйственно-питьевые нужды 22,6%, на прочие нужды 2,9%. Объем сброса сточных вод в поверхностные водные объекты превышает 550 млн. м³ (2 м³ на 1 т добычи). При этом в водные объекты поступает со сточными водами порядка 550 тыс. т минеральных солей, 19 тыс. т взвешенных и 5,3 тыс. т органических веществ, 350 т железа, 79 т нефтепродуктов в год. Ряд малых рек в угольных регионах загрязнен и выведен из хозяйственного пользования.

Первые законодательные акты, направленные на охрану окружающей среды принимались еще в античный период. Одной из важнейших проблем является охрана недр. Охрана недр – система мероприятий, обеспечивающих наиболее рациональное использование ресурсов недр (вещества, пространства, энергии, информации) в интересах нынешнего и последующих поколений. Охрана недр подразумевает: нормативно-правовую регламентацию порядка пользования недрами; проведение опережающего геологического изучения недр, включая достоверную оценку запасов полезных ископаемых и условий эксплуатации месторождений, состава, строения, свойств и состояния участка недр, предоставленных в целях, не связанных с добычей полезных ископаемых; проведение государственной экспертизы результатов геологического изучения месторождений полезных ископаемых, государственный учет движения запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и попутных компонентов при разработке месторождений, а также участков недр в целях, не связанных с добычей полезных ископаемых; охрана месторождений полезных ископаемых от затопления, обводнения, пожаров и др. факторов, снижающих качество полезных ископаемых и промышленную ценность месторождений или осложняющих их разработку; предотвращение загрязнения недр при ведении горных работ; соблюдение установленного порядка консервации и ликвидации угольных шахт и разрезов, а также подземных сооружений не связанных с добычей полезных ископаемых; нормативно-правовую регламентацию порядка застройки и использования площадей залегания полезных ископаемых в иных целях; предотвращение накопления промышленную и бытовых отходов на площади водосбора и в областях питания водоносных горизонтов.

Возрастающее прямое и косвенное воздействие человека на окружающую среду позволяет именовать четвертичный период геологической истории антропогеном. Человечество постепенно ослабляет свою зависимость от природной среды, но усиливает зависимость от техносферы.

5. ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ ЗАЛЕГАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ

Под действием силы тяжести и дополняющей ее центростремительной силы все геосферы Земли приобрели шарообразную форму. Поэтому нормальное (первичное) залегание горных пород в общем случае является горизонтальным. Под действием центробежной силы, действующей по касательной к поверхности, вследствие неравномерного вращения Земли и перестройки недр в ходе геологических процессов первичное залегание геологических тел может быть нарушено. Наиболее распространенной формой геологических тел образуемых горными породами, являются пластообразные залежи.

Пласт – геологическое тело осадочного генезиса, ограниченное субконгруэнтными¹²⁸ поверхностями напластований вмещающих пород, мощность которого во много раз меньше протяженности по любому направлению. Пласт может быть прослежен на площади от единиц до десятков тысяч км², при мощности в несколько метров. Пласт – основной элемент стратифицированной¹²⁹ толщи, может состоять из одного слоя массивного сложения или группы слоев, т.е. обладать слоистостью.

Слой – часть пласта, однородная на определенном масштабном уровне по составу, строению, свойствам и состоянию (СССС). Прослой (пропласток) – 1) часть слоя горных пород, чем-либо отличающаяся от остальных его частей (окраской, крепостью, составом и т. п.); 2) слой горных пород незначительной мощности, залегающий между слоями других горных пород и имеющий подчиненное значение. При наличии прослоя говорят, что пласт имеет сложное строение. В слоях и прослоях могут быть выделены элементарные единицы – слойки.

Совокупность нескольких пластов, характеризующихся какими-либо признаками, отличающими ее от смежных совокупностей, называется пачкой. Пачки обычно имеют ограниченное распространение.

Слоистость осадочных горных пород – повторение слоев и слойков сходных по составу, либо образующих повторяющиеся сходные группы (пары, ленты, пачки). Слоистость является основным текстурным признаком осадочных образований. Слоистость обусловлена колебательными движениями земной коры, изменениями палеоклимата и гидродинамики среды осадконакопления. Различают собственно слоистость осадочной толщи,

¹²⁸ Субконгруэнтные - примерно параллельные.

¹²⁹ Стратифицированная – расслоенная.

выражающуюся в чередовании слоев горных пород, различных по составу, текстуре и пр., и слоистость горных пород (выражается в чередовании тонких, до 1-2 см, слоев, отличающихся структурой или составом горных пород) внутри одного слоя. Поверхности наслоений и слоев могут являться элементами ослабления массива горных пород. Относительные ориентировки поверхностей напластования и слоев могут не совпадать (рис. 23).

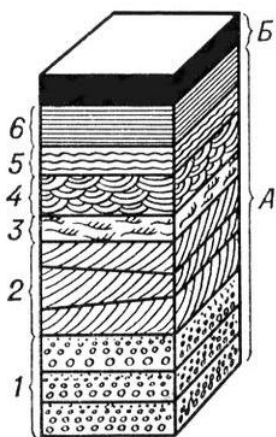


Рис. 23 Ориентировки поверхностей напластования и слоев: А – пласт песчаника, разделяющейся на слои (1-6) с различными типами слоистости: 1- ритмически-сортированная горизонтальная, 2 – косая, 3 – косоволнистая, 4 – волнистая, 5 – пологоволнистая, 6 – горизонтальная; Б – не слоистая (массивная) глина (БСЭ)

Горные породы, подстилающие пласт, образуют почву пласта. Нижняя поверхность пласта, непосредственно контактирующая с почвой, называется подошвой. Горные породы, перекрывающие пласт, образуют кровлю пласта. Вмещающие породы со стороны почвы наклонного пласта часто называют лежащим боком, а со стороны кровли висячим боком. Границы пласта – свидетельства смены геологических условий.

Пласты характеризуются положением в пространстве, морфологией, строением, мощностью, размерами по простиранию и падению, выдержанностью и нарушенностью.

Положение в пространстве наклонно залегающих геологических тел определяется элементами залегания – углом падения, азимутами простирания и падения (рис. 24).

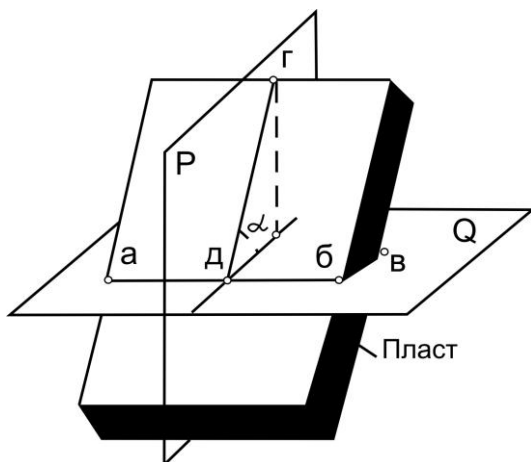


Рис. 24 Элементы залегания пласта: аб — линия простирания; дг — линия падения-восстания; α — угол падения. Q – горизонтальная плоскость, P – вертикальная плоскость

Угол падения характеризует наибольшую крутизну пласта и оценивается двугранным углом между поверхностью пласта и горизонтальной плоскостью в вертикальном сечении. Луч угла падения, расположенный на поверхности пласта, называется линией падения-восстания. Направление падения выражается азимутом падения.

Азимут - горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления меридиана до данного направления по ходу часовой стрелки, изменяется от 0 до 360°. ¹³⁰ Азимуты падения и восстания пласта отличаются на 180°. Прямая в плоскости пласта перпендикулярная его падению (восстанию) называется простиранием пласта. Линия простирания – след горизонтальной плоскости на поверхности пласта, залегающего с наклоном.

На плане азимуты падения-восстания и простирания отнесенные к одной точке образуют азимутальный крест. Линия пересечения подошвы или кровли пласта с горизонтальной плоскостью, определяет положение точек с равными отметками на поверхности пласта и называется стратоизогипсой. Проекция стратоизогипс на вертикальную плоскость образуют систему горизонтальных линий, отстоящих на высоту сечения. Проекция стратоизогипс на горизонтальную плоскость образуют систему субконгруэнтных линий, расстояние между которыми называется заложением. Стратоизогипса может быть аппроксимирована отрезками прямых, каждый из которых представляет собой линию простирания на отдельном участке.

Элементы залегания пласта могут быть определены горным компасом, аналитически, путем геометрических построений по структурным картам или данным бурения.

Горный компас – угломерный прибор для определения элементов залегания структурообразующих поверхностей и ориентирования на местности (рис. 25). Угломерная часть горного компаса монтируется на прямоугольном основании, длинные стороны которого параллельны диаметру 0-180° (СЮ) азимутального кольца (лимба). От обычного компаса он отличается тем, что 1) лимб градуирован против часовой стрелки; 2) имеет отвес (клинометр) для замеров углов падения; 3) часто снабжен уровнем; 4) имеет устройство ввода

¹³⁰ Конец стрелки компаса направленный на север, предложил называть северным в 1269 г. П. Мерикур (Перегрин). До экспедиции Х. Колумба 1492 г. европейцы считали, что стрелка компаса направлена на Полярную звезду, которая ее и притягивает. Представление об источнике геомагнетизма в недрах Земли было высказано лишь в 1544 г.

поправки магнитного склонения¹³¹. При замере азимута заданного направления длинную сторону горного компаса направляют «северной» стороной на визируемый предмет и берут отсчет по северному концу магнитной стрелки. Угол падения измеряют, прикладывая горный компас в вертикальном положении длинной стороной к линии падения и беря отсчет по зубцу отвеса.

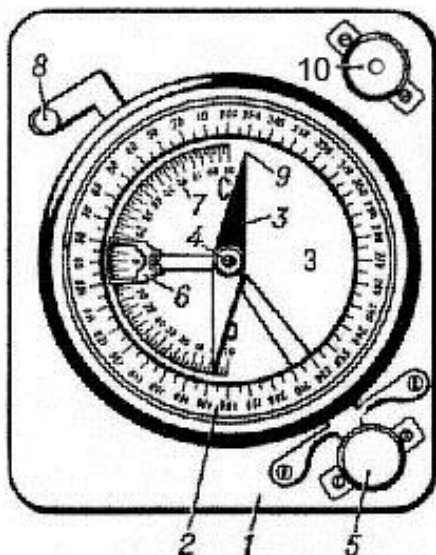


Рис. 25 Горный компас. 1 — основание; 2 — лимб круга; 3 — магнитная стрелка; 4 — острие, на котором вращается магнитная стрелка; 5 — зажимный винт магнитной стрелки; 6 — отвес; 7 — лимб отвеса; 8 — зажим отвеса; 9 — северный конец магнитной стрелки; 10 — уровень (БСЭ с изменениями)

В зависимости от величины угла падения различают пласты: горизонтальные (до 10°), пологие ($10-18^\circ$), наклонные ($19-35^\circ$), крутонаклонные ($36-55^\circ$) и крутые ($56-90^\circ$). Углы падения влияют на выбор способов и схем вскрытия, условия ведения горных работ, степень извлекаемости (технологичности) запасов полезного ископаемого¹³². Группировка по углам падения обусловлена при подземных работах условиями транспортировки горной массы, а при открытых работах особенностями технологии ведения горных работ. Рельсовый транспорт используется в горизонтальных горных выработках, транспортеры с гладкой лентой эффективны при углах падения до 18° , скребковые конвейеры применяются в наклонных горных выработках, при крутом залегании отбитая горная масса свободно перемещается под действием силы тяжести. Эффективные средства транспортировки горной массы по поверхностям с углами наклона $36-55^\circ$ пока не разработаны. Для работы

¹³¹Магнитное склонение - угол между магнитным и географическим меридианами. Северный магнитный полюс находится в Канадском Арктическом архипелаге (82° СШ и 114° ЗД) в 1100 км от северного географического полюса, южный магнитный полюс на Земле Виктории в Антарктиде (66° ЮШ и 141° ВД) в 2500 км от южного географического полюса. От западных границ России примерно до меридиана г. Омска магнитный меридиан без учета аномалий магнитного поля проходит западнее географического. Для каждого региона периодически (раз в 5 лет) уточняют величину магнитного склонения.

¹³²Извлекаемость запасов — пригодность и подготовленность запасов полезного ископаемого к эффективной высокопроизводительной отработке.

горного оборудования наиболее благоприятны углы падения пластов до 12° , когда сила тяжести обеспечивает устойчивое положение механизмов при работе. Очистные комплексы на угольных шахтах рассчитаны для работы на пластах с падением до 35° .

На открытых горных работах при горизонтальном и пологом залегании вскрытие производят сразу на всю глубину карьера, как правило, внешними траншеями, применяют бестранспортную систему вскрышных работ, вскрышу¹³³ складировать во внутренних отвалах. Наклонные и крутые пласты вскрывают внутренними траншеями, вскрышные породы направляют во внешний отвал, число уступов, находящихся в одновременной работе не постоянно, с глубиной объема горно-подготовительных работ на 1 т добычи возрастают, фронт очистных работ сокращается, длина транспортных путей увеличивается. При разработке наклонного пласта по условиям устойчивости борта карьера не требуется выемка вскрышных пород лежащего бока. При крутом залегании вскрыша производится как по висячему, так и по лежащему боку.

Морфология пласта – одна из важнейших характеристик, определяемая, прежде всего: мощностью, составом и строением, площадью распространения, характером и степенью изменчивости, нарушенностью пласта.

Мощность пласта – расстояние между кровлей и почвой пласта – основной морфологический параметр. Различают мощность пласта: горизонтальную (m_g), вертикальную (m_v), истинную (нормальную) (m_n) и видимую замеренную ($m_{сл}$) в случайном направлении (рис. 26).

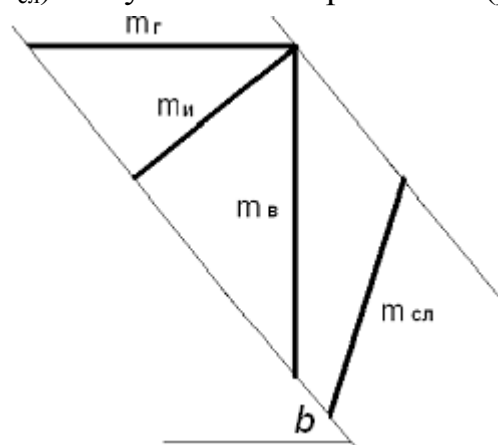


Рис. 26 Соотношения видов мощностей пласта в разрезе по линии падения-восстания

¹³³Вскрыша – породы, которые залегают над залежью полезного ископаемого и удаляются, при обнажении залежи.

Истинная мощность пласта – кратчайшее (по нормали) расстояние между кровлей и подошвой пласта. Видимая мощность пласта – расстояние между кровлей и подошвой пласта, измеренное по произвольному направлению. Между мощностями пласта по различным направлениям существует функциональная зависимость:

$$m_{и} = m_{г} \times \sin b = m_{в} \times \cos b = m_{сл} \times (\cos a \times \cos b + \sin a \times \sin b) \times \cos y,$$

где b – угол падения пласта,

a – азимут замера по случайному направлению,

y – угол между азимутами падения пласта и замера.

В вертикальном сечении (разрезе) пачки возможны два случая соотношений между пластами различного возраста. Если процесс накопления толщи был непрерывным и вышележащий слой или пласт, без перерыва налегает на подстилающие породы, говорят о согласном залегании. Во втором случае стратиграфическая (временная) последовательность между вышележащим и подстилающим слоями нарушается, а отложения определенного геологического возраста в разрезе отсутствуют. Нарушение возрастной последовательности слоев в толще (выпадение из разреза отложений определенного геологического возраста) называется несогласием.

Различают два основных вида несогласного залегания. При стратиграфическом (параллельном) несогласном залегании разновозрастные слои залегают параллельно, комплекс верхних слоев повторяет формы залегания нижних, но отделен поверхностью размыва от древних слоев — стратиграфическим перерывом (рис. 27).

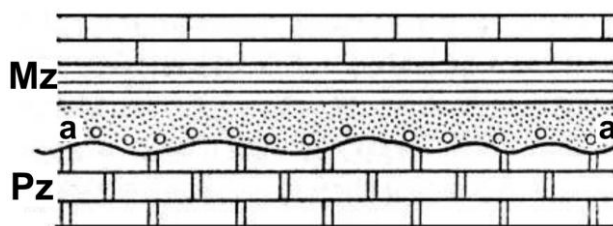


Рис. 27 Стратиграфическое несогласие
 $a \sim a$ — поверхность несогласия (раздела) молодой (Mz) и древней (Pz) толщ
 (БСЭ с изменениями)

При структурном (угловом) несогласном залегании разновозрастные толщи не только отделены поверхностью размыва, но и имеют различный наклон слоев (рис. 28). Несогласное залегание этого типа образуется в том случае, если ранее отложенные слои были наклонены или смяты в складки, затем были частично эродированы (например, при морской абразии) и на поверхности размыва отложились новые горизонтальные слои. Изучение

характера залегания имеет большое значение для выяснения геологической истории развития территории, помогает установить время рудообразования и др. геологических процессов.

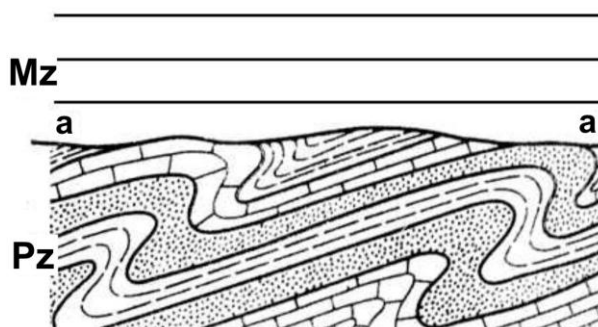


Рис. 28 Структурное несогласие: Pz — древняя толща, смятая в складки; Mz — несогласно залегающая молодая толща; а ~ а — поверхность несогласия (БСЭ с изменениями)

Геологические тела, возникшие в ходе магматизма, метаморфизма, экзогенных процессов, тектонических движений и осложняющие первичное залегание горных пород, называют дислокациями. Дислокации подразделяются на инъективные, складчатые (пликативные), разрывные (дизъюнктивные) и т.п.

Инъективные дислокации сложены интрузивными и гипабиссальными породами и делятся на согласные и несогласные (секущие).

Силл - пластообразное тело интрузивных горных пород, залегающее согласно с вмещающими слоистыми породами. Площадь силла может составлять тысячи километров, при мощности в сотни метров. Особенно часто встречаются силлы образованные основными и ультраосновными магматитами.

Лакколит - грибообразная (караваеобразная) форма залегания магматических пород, образующаяся при внедрении магмы между слоями осадочных пород, при этом слои приподнимаются над интрузией. В поперечнике лакколиты могут достигать 5 км.

Лополит - форма залегания магматитов в виде плоской чаши с опущенной центральной частью и приподнятыми краями. Предполагают, что лополиты образуются в тех случаях, когда внедрившаяся в осадочную толщу, магма подходит близко к земной поверхности и подстилающие лополит осадочные породы прогибаются в область магматического очага. Лополиты в поперечнике могут достигать сотен км.

Дайка – плитообразное тело магматических пород, секущее вмещающую толщу. Нередко дайки состоят из пород более прочных, чем вмещающие, и поэтому из-за выветривания выделяются над местностью в виде линейных останцов (рис. 29). Дайки могут группироваться в пояса.



Рис. 29 Выход дайки на поверхность (БСЭ)

Шток - тело горных пород цилиндрической, каплевидной или изометрической формы. Контакты с вмещающими породами осложнены жилоподобными ответвлениями (апофизами). Размеры в поперечнике от нескольких м до нескольких км.

Жилы — геологические тела (1 на рис. 30), образовавшиеся в результате выполнения шва трещины минеральным веществом, либо вследствие метасоматического замещения горных пород вдоль трещин. Поверхность, отделяющая жилу от вмещающих пород, называется зальбандом.



Рис. 30 Жилы

Батолит – гипотетическая форма залегания интрузивных пород (главным образом гранитоидов). Батолитам приписывались огромные размеры как в глубину (до неопределённых пределов), так и по площади выхода на земную поверхность (до нескольких тысяч км²). Ряд гипотез отводил батолитам существенную роль в образовании гранитов. Предполагалось, что базальтовая магма, внедряясь в земную кору и поглощая ее, приобретает гранитный состав. По другим воззрениям, магма претерпевала кристаллизационную дифференциацию, в результате которой в верхах батолитов возникали кислые

породы (граниты), а часть магмы, имеющая основной состав опускалась в подкоровые области. Геофизические исследования, бурение скважин и горные работы не подтвердили наличия в природе тел, подобных батолитам. Все гранитные тела имеют ограниченную мощность, метаморфическое основание и различные формы залегания.

Формы и размеры тел магматитов наблюдаемые на земной поверхности определяются в значительной мере степенью эрозии и обнаженности. Магматиты образуют и другие формы тел. Излившиеся на поверхность Земли лавы застывают в виде потоков и покровов эффузивных пород.

Лавовые покровы – пластообразные, часто изометричные в плане, горизонтально залегающие тела. Могут залегать на площадях в десятки тысяч км², а планетарная площадь распространения лавовых покровов составляет миллионы км². Лавовые потоки имеют более неправильную форму и меньшую распространенность. Образуются при течении лавы по понижениям рельефа. Протяженность потоков может превышать их ширину в десятки раз.

При метаморфизме горных пород первоначальная форма геологических тел может меняться за счет изменения объема минерального вещества, например, при серпентинизации ультраосновных пород, что выражается в проявлении мелкой складчатости.

При складкообразовании тела горных пород могут растягиваться и делиться на блоки (прочных) пород, при этом пространство между блоками заполняется более пластичными породами. Образовавшиеся блоки прочных пород залегают цепочкой и носят название будин. Форма будин: параллелепипеды, линзы, пластообразные залежи с пережимами и раздувами и др. Размеры будин от долей метра до сотен метров. При динамометаморфизме горные породы могут образовывать чечевицеобразные и серповидные тела в ядрах складок (факолиты), а также формировать тела тектонитов непосредственно у сместителей разрывных нарушений.

6. НАРУШЕННОЕ ЗАЛЕГАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Земная кора вследствие геологических процессов постоянно испытывает колебательные и дислокационные движения, в ходе которых составляющие ее геологические тела могут подвергаться упругим, пластическим и хрупким деформациям в виде растяжения, сжатия, изгиба, кручения и разрыва.

Под деформацией геологического тела понимают изменение относительного положения отдельных частей тела относительно друг друга. Любую деформацию можно свести к растяжению (сжатию) и сдвигу. Деформация горных пород может явиться следствием фазовых превращений, связанных с изменением объема, теплового расширения, намагничивания, проявления пьезоэлектрического эффекта или же результатом действия внешних сил. Деформация представляет собой результат изменения межуатомных расстояний и перегруппировки атомов. Обычно деформация сопровождается изменением величин межуатомных сил, мерой которого является упругое напряжение.

Колебательные движения являются обратимыми и вызывают упругую деформацию геологических тел. Планетарные колебательные движения земной коры носят характер ежесуточных приливных волн в литосфере с амплитудой порядка 0,4 м и длиной волны в сотни километров. Локальные колебательные движения ощущаются при сейсмических событиях.

Деформация называется упругой, если она исчезает после удаления вызвавшей её нагрузки, и пластической, если после снятия нагрузки она не исчезает. Несмотря на то, что величина упругих деформаций незначительна, энергия упругого сжатия кристаллических пород может вызвать образование открытых трещин (хрупкую деформацию) в массиве при снятии напряжения.

Все горные породы при деформации в большей или меньшей мере проявляют пластические свойства. Горная порода является упругой, т. е. не обнаруживающей заметных пластических деформаций, пока нагрузка не превысит предельной величины, при достижении которой без увеличения нагрузки происходит микроперемещение минерального вещества по плоским сеткам кристаллических решеток минералов, межзерновое проскальзывание и перекристаллизация. Характер пластической деформации зависит от свойств и водонасыщенности горной породы, температуры, продолжительности действия нагрузки, скорости деформации. Например, хрупкие породы, имеющие низкую начальную пористость, в условиях трехосного неравномерного сжатия расширяются, а пластичные могут приобрести складчатое залегание. Если

сжимающая нагрузка будет возрастать за пределом пластичности, образуются сколовые и отрывные трещины (хрупкая деформация).

Пластические и хрупкие деформации являются необратимыми и реализуются в ходе дислокационных движений при этом геологические тела приобретают нарушенное (вторичное) залегание.

Складки – волнообразные изгибы пластов без нарушения их сплошности. Основной причиной образования складок являются дислокационные тектонические процессы.

На разрезах складки могут быть выпуклыми и вогнутыми. Область перегиба пластов называется замком складки. Стороны складки – ее крылья. Пространство между крыльями называется ядром складки. По относительному возрасту горных пород в ядре и на крыльях различают антиклинальные и синклинали. В ядре синклинали всегда залегают более молодые породы, чем на крыльях. В ядре антиклинали всегда залегают более древние породы, чем на крыльях. Часто на разрезах у антиклиналей замок обращен вверх, а в синклиналях вниз. В крест простирания антиклинали и синклинали могут чередоваться (рис. 31). Крыло складки может одновременно принадлежать смежным синклинали и антиклинали.

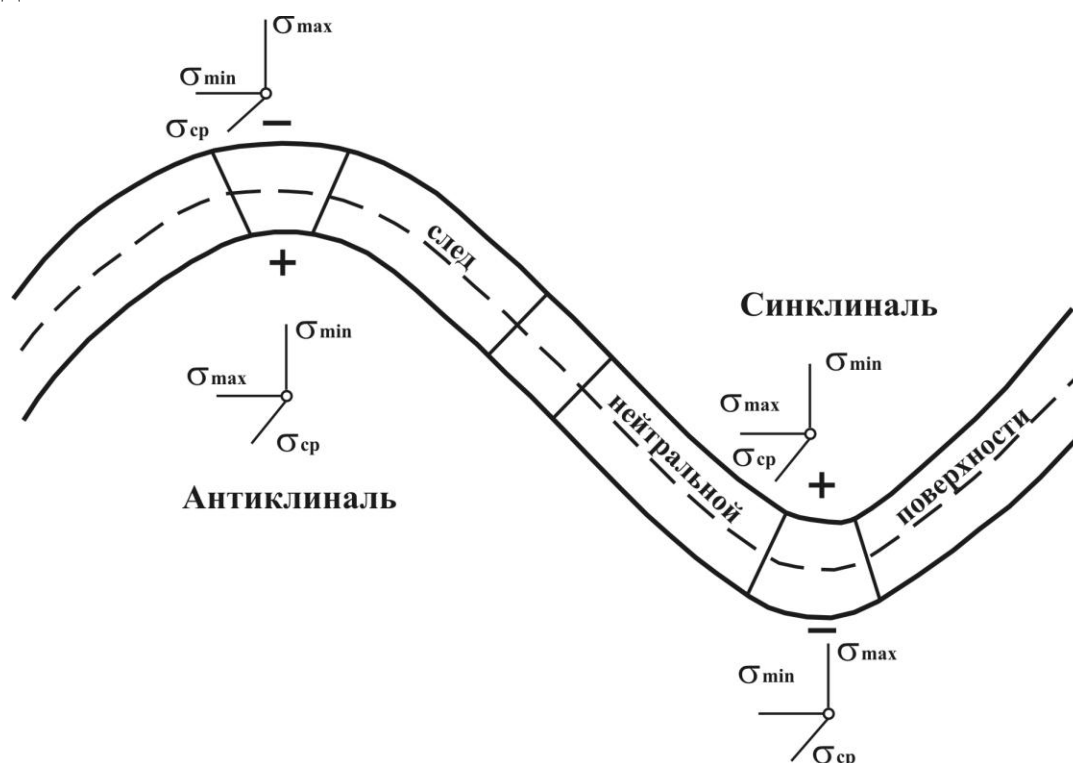


Рис. 31 Сопряженные складки в разрезе
 σ – главные нормальные сжимающие напряжения

Ядра складок являются зонами относительного сжатия массива горных пород, а замки зонами относительного растяжения (на рис. 31 знаки + и -

соответственно). Условия ведения горных работ в замках и ядрах синклинальных и антиклинальных складок существенно различны. Условная поверхность, разделяющие разнонапряженные участки в складке называется нейтральной поверхностью.

По очертаниям в плане могут различаться: линейная складка, если длина её значительно превышает ширину; брахискладка, если длина несколько больше ширины; купол (антиклиналь) или мульда (синклиналь), когда длина и ширина складки примерно одинаковы. Часто угольные месторождения приурочены к синклиналям, а нефтяные и газовые месторождения приурочены к антиклиналям.

В горизонтальном срезе в местах замыкания (окончания) синклинальных и брахисинклинальных складок и в мульдообразных структурах слоистые толщи горных пород образуют дугообразные изгибы с наклоном слоев к центру. Этот дугообразный изгиб носит название центриклиналь (рис. 32).

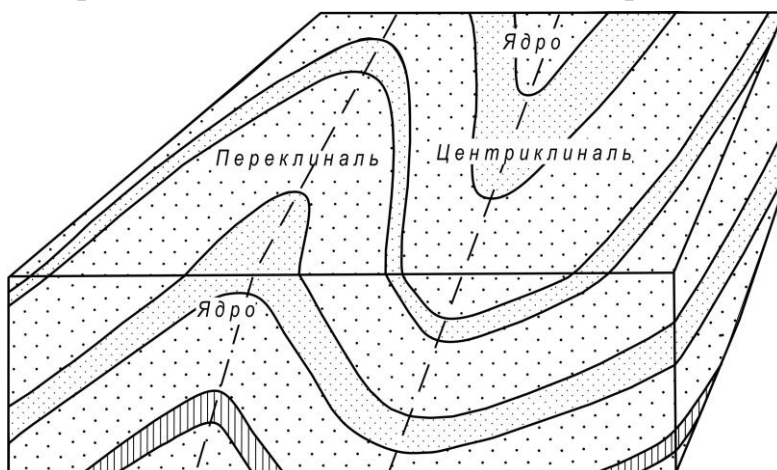


Рис. 32 Типы замыкания складок (по В.Н. Павлинову)

В горизонтальном срезе в местах замыкания (окончания) антиклинальных и брахиантиклинальных складок и в куполообразных структурах слоистые толщи горных пород образуют дугообразные изгибы с наклоном слоев от центра. Этот дугообразный изгиб носит название периклиналь (рис. 35). Выделяют также шарниры, оси и углы складок.

Шарнир складки - линия, соединяющая точки перегиба слоя в замке. Если в складку смята серия слоев, то складка будет иметь шарниры по каждому слою. Поверхность, проходящая через серию шарниров, называется осевой поверхностью складки. Линия пересечения осевой поверхности с горизонтальной плоскостью – ось складки. Ось складки может быть криволинейной. Угол складки – двугранный угол, определяемый в плоскости перпендикулярной ее шарниру (рис. 33).

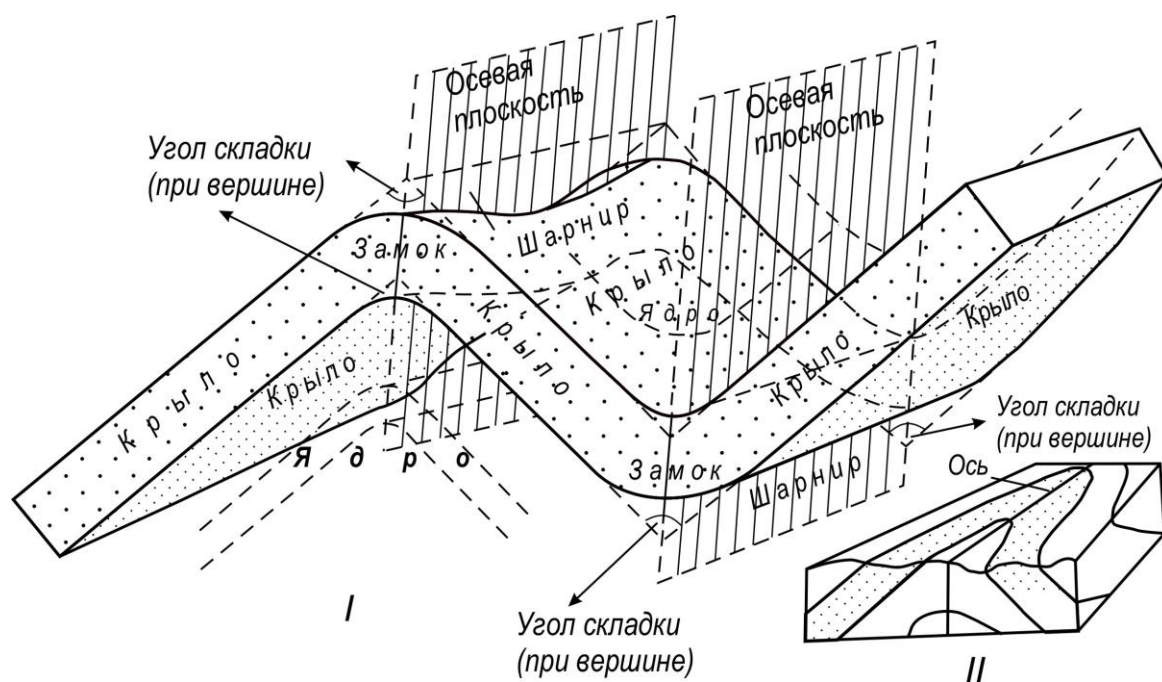


Рис. 33 Элементы складок

В зависимости от направления и наклона осевой поверхности и крыльев складка может быть прямой (осевая поверхность примерно вертикальна), а углы наклона крыльев примерно равны; косой (осевая поверхность наклонная, а крылья падают в разные стороны), опрокинутой (осевая поверхность наклонная, а крылья падают в одну сторону), лежащей (осевая поверхность примерно горизонтальна); симметричной или асимметричной; по углу складки остро- и тупоугольной, по форме замка коробчатой, веерообразной, килевидной; по соотношению мощностей слоев в замках и на крыльях концентрической (параллельной) (рис. 34). По положению осевой поверхности к крыльям складка может быть симметричной и асимметричной.

Геометрическими параметрами складок являются протяженность, ширина, высота (амплитуда) оцененные по конкретному слою; двугранный угол, образованный крыльями складки; а также угол наклона осевой поверхности и крыльев (от едва заметного до вертикального).

Линейные размеры складок колеблются от долей метра (волнистость) до многих километров. Изменчивость залегания пластов в замках складок оценивают радиусом кривизны R складки, вычисленным по формуле:

$$R = (d^2 + t^2)/2t, \text{ м,}$$

где d – половина длины хорды изогнутой части складки, м;

t – стрела прогиба, м.

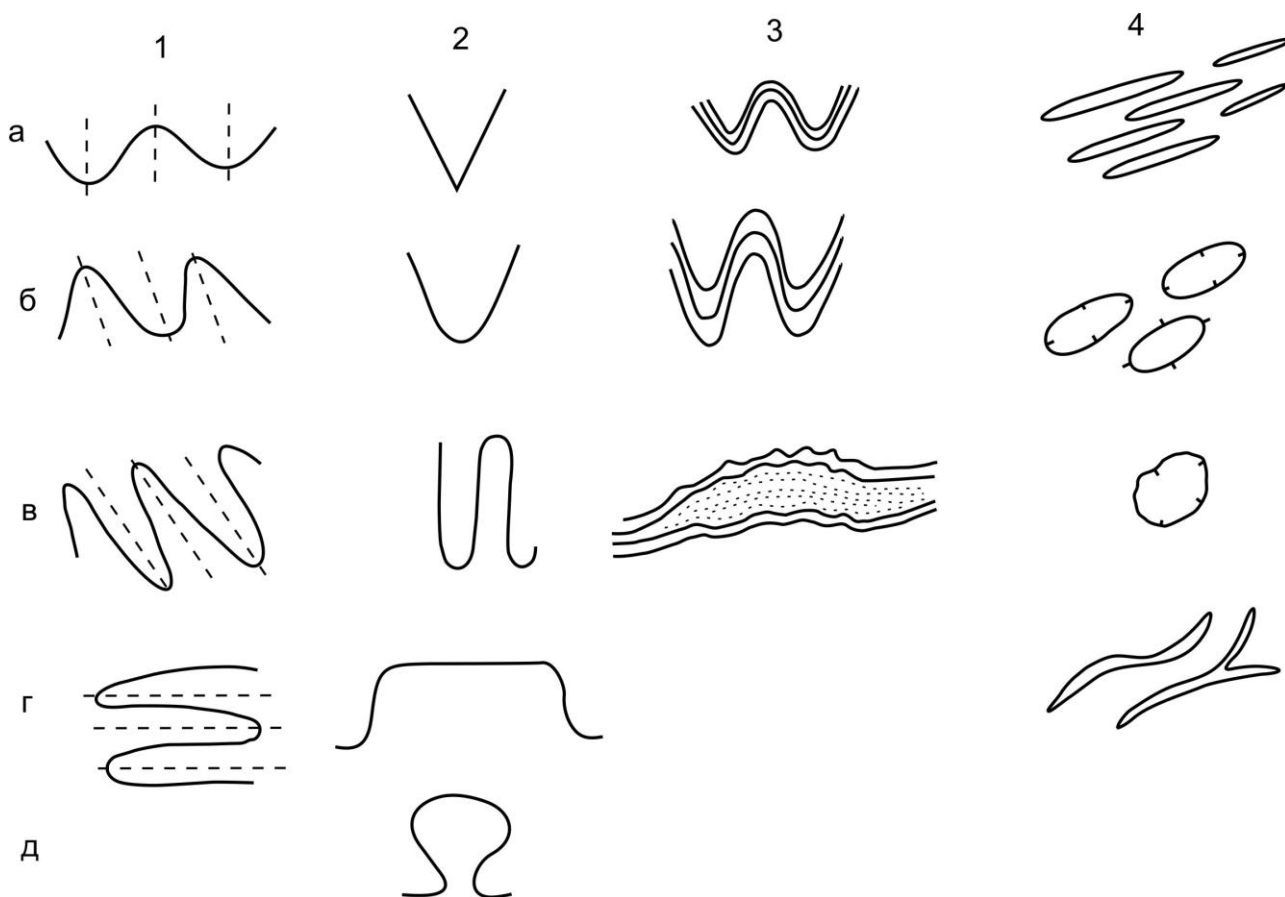


Рис. 34 Виды складок. 1-3 в разрезе. 1 – по наклону осевой плоскости: а – прямая, б – наклонная, в – опрокинутая, г – лежачая; 2 – по форме замка: а – острая, б – округлая, в – изоклиальная, г, сундучная (коробчатая), д – веерообразная; 3 – по соотношению мощности слоев на крыльях и в замках: а – параллельная (концентрическая), б – подобная, в – дисгармоничная; 4 – по форме в плане: а – линейная, б – брахиформная, в – изометричная, г – изогнутая и разветвленная

Складки могут образовываться как после, так и во время накопления осадков. Для складок возникших после накопления осадков характерна выдержанная мощность как толщи в целом, так и отдельных пластов. Конседигенная (синседиментационная) складчатость развивается одновременно с накоплением осадков в погружающихся бассейнах осадконакопления. Характерные признаки таких складок — уменьшение мощности слоев и переход от более глубоководных (глины, мергели, тонкозернистые известняки, кремнистые породы) к более мелководным (пески, обломочные или органогенные известняки) отложениям от замков синклиналей к сводам антиклиналей.

При литификации¹³⁴ и метаморфизме стратифицированной толщи из-за неравномерной усадки различных пород могут возникнуть складки

¹³⁴ Литификация – процесс уплотнения и преобразования осадков в горную породу. В ходе литификации может происходить как цементация минеральных зерен, так и образование новых минералов.

нетектонической природы. Складки магматогенных и метаморфогенных толщ называют синформами (аналог синклинали) и антиформами (аналог антиклинали).

Кроме складок в ходе пластической деформации пласты горных пород могут сформировать одностороннюю складку - флексуру. Флексура состоит из 5 элементов: двух изгибов (колен) и трёх крыльев (двух крайних – опущенного и приподнятого за пределами изгибов и смыкающего – между изгибами). Каждый элемент флексуры характеризуется собственными параметрами залегания, соотношение которых определяет многочисленные разновидности флексур (рис. 35). Флексуры распространены на платформах и в складчатых областях.

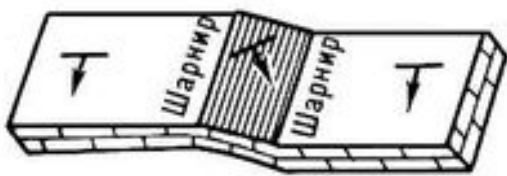


Рис. 35 Ориентировка крыльев наклонной флексуры (БСЭ)

Наклонно залегающие пласты, не имеющие перегибов называют моноклиналями.

При напряжениях, превышающих силы межатомного, молекулярного или ионного взаимодействия, механические микродефекты горных пород развиваются в системы закономерно ориентированных трещин скола и отрыва. Сколы в горных породах с амплитудой смещения крыльев более 10 см обычно относят к разряду разрывов.

Разрывное нарушение (дизъюнктив) – нарушение сплошности массива горных пород, фиксируемое по относительному перемещению разобщенных частей массива (крыльев) по поверхности скола (сместителю). Крыло разрыва расположенное под сместителем называется лежачим, а расположенное над сместителем висячим. Гладкая поверхность хрупкого разрушения горных пород, возникшая при тектонических движениях или оползнях – зеркало скольжения. На зеркале скольжения могут быть заметны штрихи (следы, борозды) скольжения, ориентированные по направлению перемещения крыльев разрывного нарушения и поперечно ориентированная ступенчатость (ребристость).

Характер проявления хрупкой деформации определяется с одной стороны составом, строением, свойствами и состоянием массива горных пород, а с другой стороны, величиной и длительностью действующих напряжений. Объемное напряженное состояние твердых тел предшествующее разрушению

аппроксимируется эллипсоидом напряжений, отображающим соотношение и положение в пространстве т. н. главных нормальных сжимающих напряжений (ГНСН). Три разновеликие ортогональные оси ГНСН в геологии принято обозначать σ_3 (максимальное), σ_2 (среднее) и σ_1 (минимальное). Ориентировка осей σ_3 и σ_1 определяет положение сместителя нарушения в пространстве, направление относительного перемещения крыльев и кинематический тип разрывов. Различают следующие основные кинематические типы разрывов: сбросы, взбросы и сдвиги.

Сброс – разрывное нарушение, у которого опущенным, относительно лежащего, является висячее крыло. Сместитель падает в сторону опущенного крыла. При образовании сбросов σ_3 перпендикулярно поверхности крыльев, а σ_1 горизонтально (рис. 36а). Для сбросов характерно разобщение крыльев (зияние).

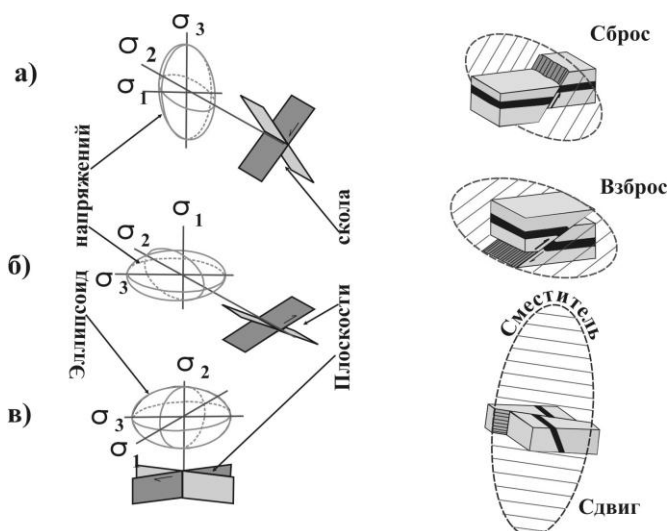


Рис. 36 Связь ориентировки осей эллипсоида напряжений и кинематических типов разрывных нарушений (по Е. Андерсону с изменениями)

Взброс – разрывное нарушение, у которого поднятым, относительно лежащего, является висячее крыло. Сместитель падает в сторону поднятого крыла. При образовании взбросов σ_3 напряжение параллельно поверхности крыльев, а σ_1 вертикально (рис. 36б). Для взбросов характерно сдвоение (перекрывание) крыльев. Пологий взброс называют надвигом.

Сдвиг – разрывное нарушение с преимущественно горизонтальным смещением крыльев. При образовании сдвига главные нормальные сжимающее и растягивающее напряжения субгоризонтальны (рис. 36в).

При наклонном положении осей σ_3 и σ_1 образуются сбросо-сдвиги и взбросо-сдвиги. Кинематическая классификация разрывных нарушений является универсальной применяется для описания хрупкой деформации горных пород любого состава.

Специфика геологического картирования и разведки месторождений обуславливает фрагментарность наблюдений и документации разрывных нарушений и трассировку разрывов часто на интуитивной основе. В большинстве случаев информация о разрывном нарушении сводится к графическому представлению главного элемента разрыва – сместителя в произвольном сечении как линии с указанием элементов залегания и амплитуды смещения. Иногда для крупных нарушений выполняют построение горизонталей (изогипс) сместителей, что дает некоторое представление об их морфологии, но не позволяет судить о конечных размерах и характере изменения амплитуд смещения.

Особенности геологического строения угленосных толщ (многопластовость и выдержанность), а также широкий фронт горных работ в плане и разрезе позволили на фактическом материале эксплуатационной разведки шахтных полей угольных бассейнов России и ближнего зарубежья с высокой достоверностью провести моделирование разрывов различных типов и рангов.¹³⁵ Модельные представления о разрывных нарушениях, разработанные в лаборатории шахтной геологии института ВНИМИ вошли в курс обучения горных вузов¹³⁶, нашли признание у специалистов¹³⁷, стали классическими¹³⁸ и апробированы на рудных месторождениях¹³⁹.

За основу построения модели сместителя одиночного разрыва предложенной А.С. Забродиным были приняты изоамплитуды смещения, как основного параметра, физически определяющего наличие разрыва. Результаты геометризации сместителей разрывов на ряде шахт Прокопьевского и Анжерского районов Кузбасса приведены на рис. 37 и 38.

Обобщение опыта геометризации разрывных нарушений позволило сформулировать следующие постулаты: изменение амплитуды смещения по разрыву носит закономерный характер от максимума до нуля во всех направлениях; сместитель разрывного нарушения независимо от условий залегания и его кинематического типа может быть оконтурен нулевой изоамплитудой замкнутой по эллипсу (рис. 39); величина максимальной истинной амплитуды смещения (R) ориентирована по штрихам скольжения и

¹³⁵ Разрывные нарушения угольных пластов (по материалам шахтной геологии). –Л.: Недра, 1979. -190 с.

¹³⁶ Букринский В.А. Геометрия недр. –М.: изд-во МГГУ, 2002. –549 с.

Ушаков И.Н. Горная геометрия. –М.: Недра, 1979. –440 с.

¹³⁷ Плотников Л.М. Структуры сдвига в слоистых геологических телах. –Л.: Недра, 1991. –151 с.

¹³⁸ Российская угольная энциклопедия. Т.1-3. –СПб.-М., 2004-2007

Российская геологическая энциклопедия. Т2. – М. .-СПб, 2011.

¹³⁹ Мишин Н.И., Степина З.А., Панфилов А.Л. Структурная организация рудных полей. –СПб., 2007. -232 с.

коррелирует с протяженностью двух ортогональных осей (большой L и малой H) сместителя (рис. 37÷39).

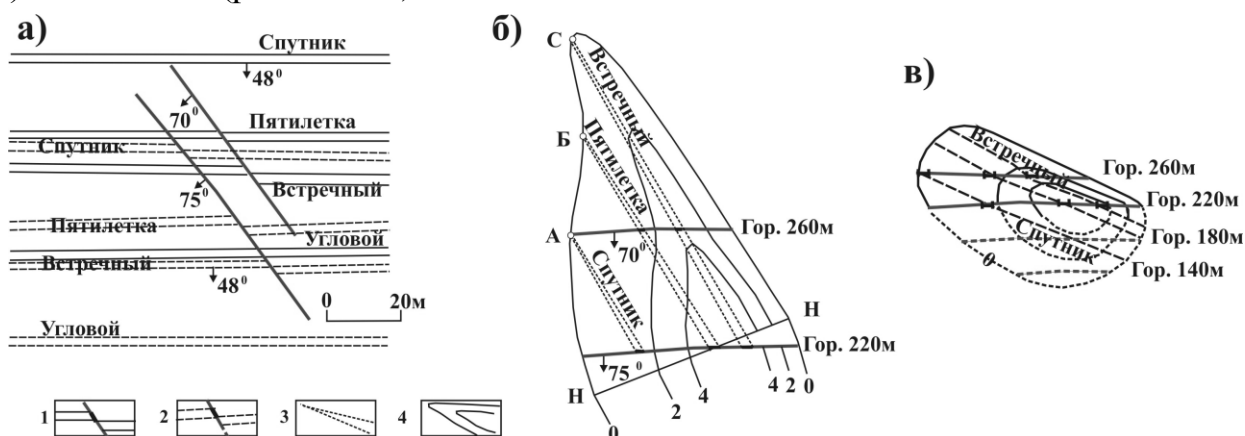


Рис. 37 Модель сместителя сдвига по данным обработки крутопадающих пластов ш. «Зенковские уклоны». а) – совмещенный план гор. 260 (1) и 220 (2); б) – часть модели, построенная по фактическим данным; в) – проекция фактической и прогнозной частей сместителя; 3 – линии скрещения пластов и сместителя; 4 – изоамплитуды. А, Б, С – нулевые амплитуды смещения [ссылка 135]

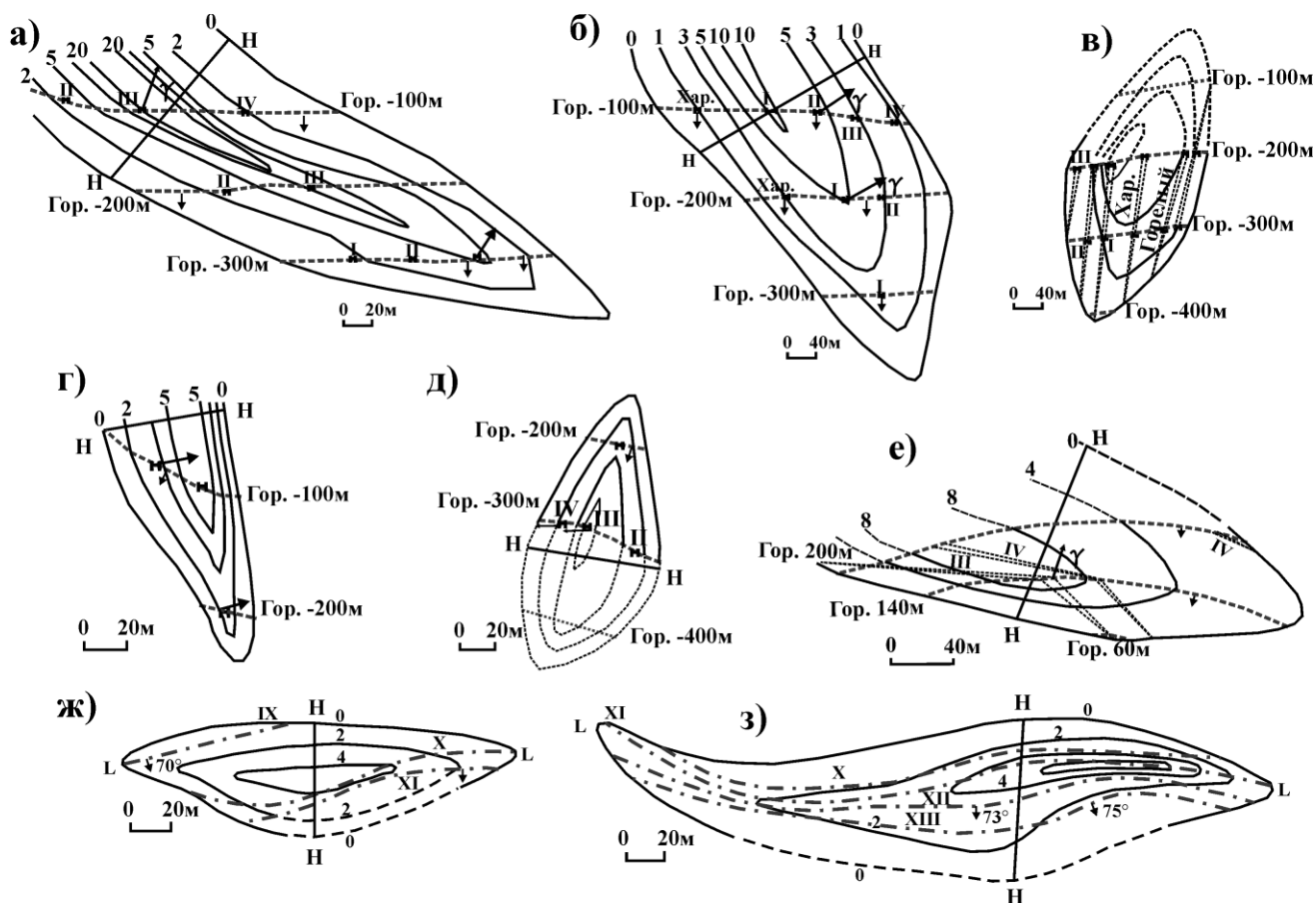


Рис. 38 Модели сместителей на шахтных полях: а), б) и г) – ш. «Коксовая», в) ш. им. Ворошилова, д) ш. им. Калинина, е) – з) – ш. «Судженская»; пласты: I – I Внутренний, II - II Внутренний, III - III Внутренний, IV - IV Внутренний, Хар. – Характерный [ссылка 135]. Обозначения см. рис. 37.

Величина максимальной истинной амплитуды смещения¹⁴⁰ пропорциональна количеству энергии затраченной на хрупкое разрушение массива горных пород и пропорциональна суммарной деформации массива пород по направлению перемещения крыльев разрыва (ось Н).

$$H = R/\lambda,$$

где λ - коэффициент предельной остаточной деформации массива пород, изменяются от 0,03 для слабых пород до 0,07 для прочных пород (среднее 0,05).

Между осями L и H сместителя выявлена следующая статистическая зависимость:

$$L = k H,$$

где k – коэффициент пропорциональности, изменяющийся от 2 для изотропного и до 6 для существенно анизотропного массива горных пород (среднее 3).

Тогда:

$$L = (k/\lambda) R$$

$$H = 20 R$$

$$L = 60 R$$

$$R : H : L = 1 : 20 : 60$$

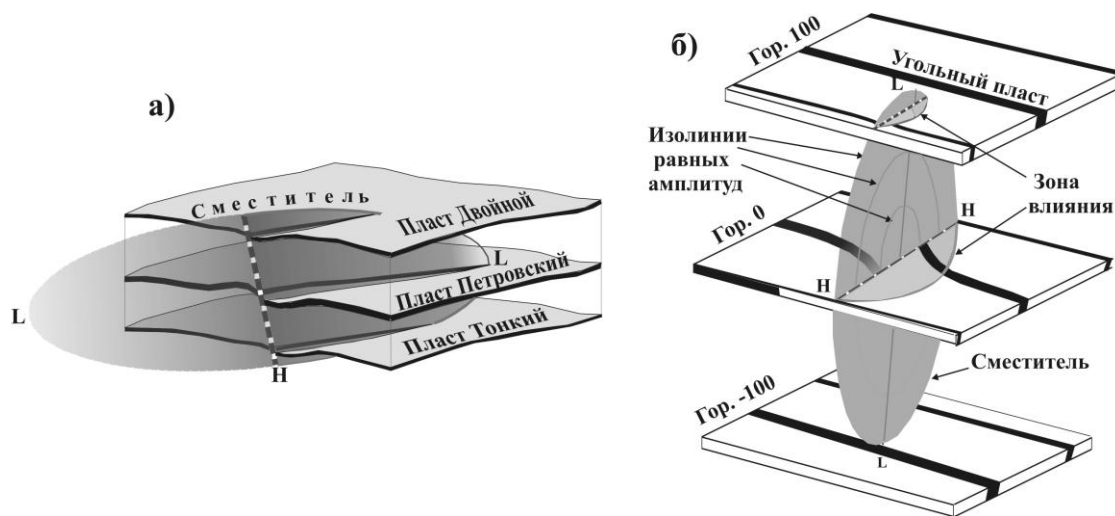


Рис. 39 Схематизированные структурно-геометрические модели сместителей а - сброса (шахта «Судженская») и б – сдвига (шахта «Коксовая») (по Н.И. Мишину)

Соотношение R:H:L выдержано для разрывов различного ранга, что позволяет использовать его для оценки конечных размеров разрывных нарушений по величине максимальной амплитуды перемещения. Наиболее

¹⁴⁰ Амплитуда (как и протяженность) разрыва является векторной величиной. За истинную амплитуду принимается величина смещения, замеренная в плоскости сместителя между ранее сопряженными точками в крыльях разрыва по штрихам скольжения. Максимальная истинная амплитуда перемещения (R) относится к центру сместителя.

точно размеры сместителя устанавливаются в случае, если они вскрываются на нескольких горизонтах или пластах, а амплитуда прослеживается от нуля через максимум до нуля.

Из модели сместителя следует, что амплитуда и протяженность разрыва в произвольном сечении зависит не только от ранга разрыва, но также от ориентировки и удаления сечения от центра сместителя. Максимальную протяженность имеет сечение, проходящее через центр сместителя. Направление развития и затухания сместителя определяется пространственной ориентировкой осей.

Наблюдениями установлено, что следы скольжения на сместителе располагаются параллельно оси Н. У нормальных сбросов и взбросов ось Н совпадает с линией падения–восстания, а ось L с линией простирания сместителя; у сдвигов ось L близка к вертикали, а ось Н совпадает с простиранием сместителя. У взбросо- и сбросо-сдвигов оси сместителей занимают промежуточное положение между линиями падения и простирания. Зная направление перемещения крыльев и распределение амплитуд разрыва по сместителю, можно определить ориентировку его осей в пространстве и максимальное развитие нарушения на глубину.

По материалам эксплуатационной разведки шахтных полей установлено, что у каждого разрывного нарушения существует зоны влияния, в пределах которой отмечено изменение состава, свойств, строения и состояния массива горных пород, а также характера связей фрагментов массива горных пород, слагающих крылья разрывов. Эти изменения на мезоуровне проявляются в динамометаморфизме пород (например, образовании тектонитов¹⁴¹), развитии приразломной трещиноватости, понижении прочности и изменении устойчивости пород, что обуславливает реализацию динамических явлений в горных выработках в пределах этих зон. Ширина зон влияния разрывов, выделяемых по этим показателям различна, наиболее широкую зону влияния образуют содизъюнктивные трещины.

Наличие зон влияния в крыльях разломов дает основание для выделения третьей оси системы разрыва, которая нормальна к сместителю и определяет ширину зоны влияния нарушения (В). По трем взаимно перпендикулярным осям модель разрывного нарушения можно представить в виде эллипсоида. Объемную модель разрыва принято называть эллипсоидом смещения (рис. 40).

¹⁴¹ Марков А.Б. Инженерно-геологические особенности тектонитов. –Душанбе, 1977, -172 с.

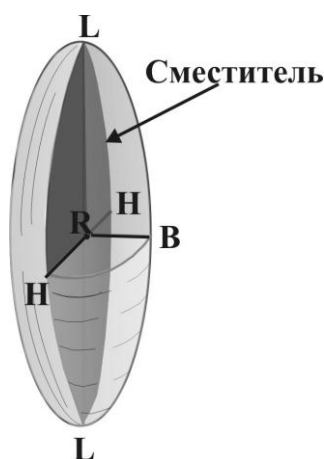


Рис. 40 Эллипсоид смещения –
объемная модель разрывного нарушения (по Н.И. Мишину)

Соотношение ширины зоны содизъюнктивной трещиноватости ($B_{тр}$) по нормали к сместителю в обоих крыльях разрыва с максимальной амплитудой смещения (R) примерно составляет:

$$B_{тр} = 10R$$

Конечные размеры эллипсоида смещения определяются из эмпирического отношения:

$$R:B_{тр}:H:L=1:10:20:60$$

Вследствие закономерного характера хрупкой деформации земной коры для одиночных разрывов разных кинематических типов и порядков отношение $R:B_{тр}:H:L$ является достаточно выдержанным. Частота содизъюнктивных трещин уменьшается по мере удаления от сместителя разрыва. Наиболее трещиновата зона на расстоянии примерно равная одной максимальной истинной амплитуде смещения, ориентированная по нормали к сместителю¹⁴².

Так как механизм формирования разрывов не зависит от формационной принадлежности участка недр, можно полагать, что модельные представления, полученные при изучении тектоники угольных месторождений, могут считаться типовыми. Приведенные выше формулы представляют собой математическую модель одиночного разрывного нарушения и не характеризуют линейную структурную зону разлома, представленного совокупностью кулисообразно расположенных единичных разрывов.¹⁴³ Наиболее надежным признаком одиночного разрывного нарушения является линейный характер изменения амплитуд смещения от максимума до нуля. Структурные зоны, образованные системой одиночных разрывов, часто имеют региональный характер, смещения в структурной зоне разлома невыдержанны.

¹⁴²Для приблизительных оценок ширину зоны пониженной крепости угля у разрывного нарушения можно считать равной $B_{кр. у.} = R^{0.5}$, а по углевмещающим породам $B_{кр. п.} = 0,3R^{0.5}$

¹⁴³Точно также нельзя отождествлять трещину с зоной повышенной трещиноватости.

С учетом фрагментарности и ограниченности даже прямых наблюдений при геометризации нарушения существенен вопрос о длине, единичности или множественности и сопряженности разрывов. Увязка отдельных наблюдений и группировка разрывов в единую зону являются операциями экстраполяционного характера и генерализации, и в определенной степени субъективны. Масштабный уровень разрывного нарушения может быть оценен только в результате системной геометризации, т.к. конкретное сечение эпюры сместителя может не совпадать с главным сечением.

Зоны у разрывных нарушений относятся к участкам с особо сложными горно-геологическими и гидрогеологическими условиями.

Системы разрывных нарушений, оконтуривающие блок земной коры (массива горных пород), образуют горсты и грабены.

Горст – относительно приподнятый блок земной коры, ограниченный субпараллельными сбросами. Длина горста значительно больше ширины.

Грабен – относительно опущенный блок земной коры, ограниченный субпараллельными сбросами. Длина грабена значительно больше ширины. Морфологически крупные грабены выражены озерами (напр. оз. Байкал).

7. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ

Геологическая карта – уменьшенное, обобщенное двухмерное изображение на топографической основе геологического строения и состава какого-либо участка земной коры. Геологические карты служат основой для оценки перспектив развития минерально-сырьевой базы и регулирования недропользования, выбора территорий для постановки поисковых и разведочных работ, выбора площадок для размещения горных предприятий и различных сооружений на поверхности и в недрах и т. п.

Геологические карты получают в результате полевых работ, дистанционных исследований или обработки материалов предшествующих геологических работ. Требования к составлению, оформлению и содержанию геологических карт унифицированы.

На листе геологической карты кроме самой карты, помещают легенду (систему условных обозначений), геологические разрезы, стратиграфические колонки и дополнительные схемы. На геологической карте отображаются контура, состав, возраст, строение и соотношения геологических тел. Важным приложением к геологической карте является пояснительная записка. Для понимания содержания геологических карт необходимо знать: возрастные индексы геохронологической шкалы (табл. 3); смысловое наполнение условных знаков; диагностические признаки основных структурных элементов земной коры.

Геологические карты различаются по назначению, содержанию, масштабам. Наибольшее значение имеют собственно геологические карты, на которых с помощью цвета показывают площади распространения породных комплексов различного возраста, а также линейные и точечные геологические объекты. Комплексы пород архея (AR) на картах показывают розовым цветом, протерозоя (PR) сиреневато-розовым, кембрия (Є) темным сине-зеленым, ордовика (O) оливковым, силура (S) светло серо-зеленым, девона (D) коричневым, карбона (C) серым, перми (P) оранжево-коричневым, триаса (T) лиловым, юры (J) голубым, мела (K) зеленым, палеогена (P) оранжево-желтым, неогена (N) желтым, четвертичного периода (Q) желтовато-серым цветом. При отображении на карте породных комплексов одного геологического периода светлыми оттенками соответствующих цветов указывают более молодые образования.

Состав горных пород указывается штриховыми знаками, а магматических и метаморфических пород кроме этого цветом или буквами. Например, кислые

магматические горные породы обозначаются красным цветом; средние темно-малиновым; основные темно-зеленым; ультраосновные темно-фиолетовым. Индексация интрузивных пород дается строчными буквами греческого алфавита (например, γ – граниты, ξ – сиениты, ν – габбро, σ – дуниты).

Каждый лист карты представляет собой трапецию ограниченную спрямленными дугами меридианов и параллелей, размер которой обусловлен масштабом карты и широтой местности. Листы карт имеют определенные обозначения (номенклатура). В качестве основы международной разграфки принят лист карты масштаба 1:1 000 000 с размерами: 4° по широте и 6° по долготе, обозначаемый буквой латинского алфавита от А до V (по широте, начиная от экватора) и арабской цифрой от 1 до 60 (по долготе, начиная от меридиана 180°) (рис. 41).

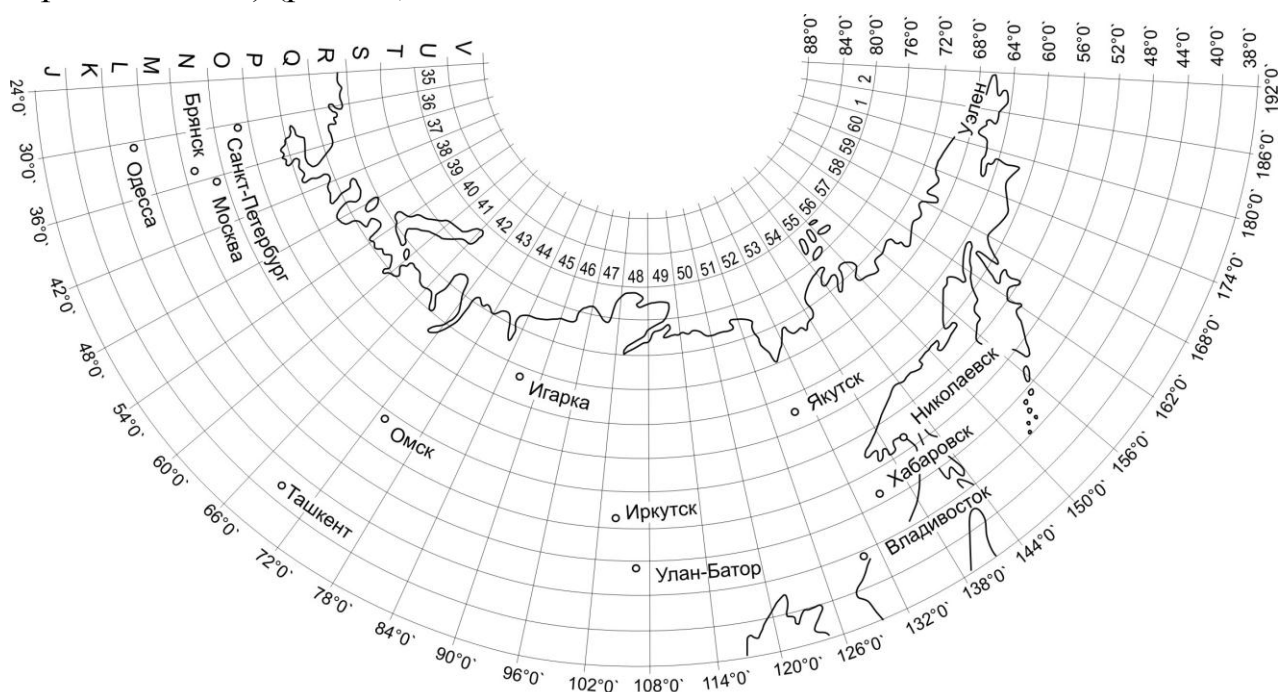


Рис. 41 Разграфка листов карт масштаба 1:1000000 на территории России

Листы карт более крупных масштабов составляют определённую часть листа более мелкого масштаба и для их обозначения к исходной номенклатуре карты мелкого масштаба добавляют др. буквы и цифры (рис. 42). По номенклатуре карт можно определить их масштаб, географическое положение и площадь территории данного листа (табл. 12).

Геологические карты делятся на обзорные (численный масштаб 1:1500000, линейный масштаб¹⁴⁴ в 1 см 15 км и мельче), мелко- (численный

¹⁴⁴Линейный масштаб представляет собой прямую, разделённую на равные отрезки с подписями, указывающими длины соответствующих им отрезков в натуре.

административных и экономических районов. Среднемасштабные карты позволяют давать предварительную оценку перспективности площадей на выявление месторождений, выявлять закономерности формирования и размещения месторождений полезных ископаемых. Крупномасштабные карты обеспечивают прогноз локальных площадей и структур, перспективных для выявления месторождений полезных ископаемых.

В зависимости от содержания и назначения различают: собственно геологические карты, карты современных (четвертичных) отложений, тектонические, литологические, палеогеографические, гидрогеологические, инженерно-геологические, карты полезных ископаемых, геохимические, геофизические и др. Существенные детали строения на геологической карте могут быть показаны на врезке схематично в масштабе более крупном, чем масштаб карты. Современные отложения на геологической карте показывают только на тех площадях, где они имеют значительную мощность, а картирование более древних пород из-за этого не было выполнено.

Разграфка и составление карт осуществляется в географической системе координат, а отображение объектов производится с поправкой на схождение меридианов. Поэтому прямые линии местности, секущие меридианы будут отображаться на карте частями спиралей - локсодромами, а прямолинейные объекты на карте на местности будут являться криволинейными. Искажение изображений наиболее значительно на картах мелких масштабов.

При картографировании объектов в масштабе 1:5000 и крупнее поправкой на схождение меридианов пренебрегают и используют прямоугольную систему координат (X, Y). Двумерное изображение совокупности природных объектов и/или сооружений в прямоугольной системе координат в горизонтальной плоскости называется планом земельного или горного отвода и т.п. В практике горных работ обычно используют планы масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500, 1:200. Границы площадей, отображаемых на планах, определяются потребностями горного производства и могут не совпадать с принятой разграфкой карт. Требования к составлению, оформлению и содержанию планов горных выработок стандартизированы.

Геологическое картирование крайне трудоемкий процесс, число точек геологической документации в пределах листа карты может достигать многих сотен. Каждому масштабу карты соответствует своя степень детальности, поэтому переход с одного масштабного уровня карты на другой не может быть осуществлен путем механического увеличения изображения. Например,

условный знак на мелкомасштабной карте при любом увеличении не дает дополнительной информации.

Так как 75% поверхности Земли слагают осадочные горные породы, то в основу геологического картирования положены следующие законы и принципы, установленные для пластообразных тел:

- осадки, формирующие пласт, отлагаются горизонтально (т. к. осадок, под действием силы тяжести выпадает из водной или воздушной среды вертикально); из пары слоев в ненарушенном залегании подстилающий слой является более древним (Н. Стенон);
- расположение горных пород в непрерывном разрезе осадочных толщ, соответствует их расположению на площади осадконакопления (Н.А. Головкинский, Й. Вальтер);
- одновозрастные осадки содержат схожие комплексы ископаемых организмов, которые сменяют друг друга в определенном порядке (У. Смит);
- каждому отрезку геологического времени соответствует уникальный комплекс организмов (Ч. Дарвин);
- секущее тело магматитов всегда моложе той породы, которую оно пересекает, а включения всегда старше вмещающей породы (Дж. Геттон).

Следуя этим положениям и учитывая элементы залегания геологических тел, по геологической карте можно оценить особенности размещения геологических объектов на площади и составить представление о глубинном строении территории по геологическим разрезам, то есть, говоря словами М.В. Ломоносова – странствовать в недрах Земли взором мысленным.

Геологический разрез (профиль) – изображение строения и состава недр в вертикальном сечении. Геологические разрезы составляются по данным геологических наблюдений, по геологическим картам, документации буровых скважин и горных выработок и др. Геологические разрезы обычно проводят поперёк простирания геологических структур по линиям, проходящим через буровые скважины. На концах линий разрезов и в точках их изломов ставятся буквы или цифры.

На разрезах состав горных пород показывается специальными знаками. Так известняки на разрезах отображают в виде системы прямоугольников, пласты угля черными полосами, залежи песков хаотично расположенными точками, глины параллельными линиями.

Горизонтальный масштаб геологических разрезов обычно соответствует масштабу геологической карты. Шкала вертикального масштаба разбивается на

равномерные отрезки и оцифровывается. При равенстве вертикального и горизонтального масштабов геологический разрез позволяет получать неискажённое изображение рельефа и геологического строения. Для более детального отображения геологического строения вертикальный масштаб разреза увеличивают в несколько раз. При этом угловые соотношения искажаются.

Перспективное плановое изображение геологической ситуации, совмещенное с вертикальными геологическими разрезами называется блок-диаграммой (рис. 32).

Возрастные соотношения горных пород, залегающих на конкретной территории отображают на сводной стратиграфической колонке. Стратиграфическая колонка – прямоугольный чертёж, изображающий последовательность залегания горных пород в нормальном стратиграфическом разрезе, их литологические особенности и характер контактов между смежными стратиграфическими подразделениями. На стратиграфической колонке помещаются названия (индексы) стратиграфических подразделений, их геологический возраст, мощность, литологические и палеонтологические характеристики.

Стратиграфическая колонка, разрезы и блок-диаграммы составляется с использованием условных знаков, принятых для соответствующей геологической карты.

Предметный указатель

«Определите значение слов, и Вы избавите человечество от половины его заблуждений» - Р. Декарт

- Абсолютная отметка 25
Азимут 105
Азимутальный крест 105
Аккреция 13
Акцессорные минералы 50
Аллохроматическая окраска 41
Аллювий 86
Алюмосиликаты 48, 147
Амплитуда складки 115
Амплитуда смещения 119, 121
Антиклиналь 113
Антиформа 117
Аншлиф 42
Астеносфера 18
Атмосфера 14, 22, 95
- Батолит 110
Биогенные породы 54
Биосфера 26, 30
Блеск минерала 41
Блок диаграмма 130
Большой Взрыв 7
Брахискладка 114
Будины 111
- Взброс 118
Ветер 95
Висячее крыло 117
Висячий бок 104
Водопад 85
Вулканогенно-осадочные породы 57
Вулканы 69
Выветривание 74
Выщелачивание 76
- Газогидраты 94
Галоиды 45
Гейзеры 71
Гелиоцентрическая гипотеза 5
Географическая оболочка 25
Геоид 25
Геологическая карта 125
Геологические процессы 63
Геологический разрез 129
Геология 3, 4
Геосинклираль 21
- Геосферы 17, 24
Геофизические поля 24
Геохимическая классификация элементов 33
Геохронологическая таблица 28
Геоцентрическую модель 5
Гидратация 75
Гидролиз 76
Гидросфера 22, 81
Гипоцентр 66
Главные нормальные напряжения 113
Горные породы 50
Горный компас 105
Горст 124
Грабен 124
Грязевые вулканы 71
- Дайка 52, 109
Двойное лучепреломление 40
Делювий 80
Деформация геологических тел 112
Друза 40
- Жизнь 17, 26
Жилы 107
- Заложение 105
Замок складки 113
Зандры 92
Звезда 8
Землетрясения 18, 65
Земля 13, 17, 63
Земная кора 19
Зеркало скольжения 117
- Идиохроматическая окраска 41
Излом 42
Изоморфизм 35
Изотропность 39
Инъективные дислокации 109
- Камы 91
Карбонаты 47, 142
Карст 76
Кларк 33

Климат 25
 Клинометр 105
 Колебательные движения 112
 Количество химических элементов 9
 Кора выветривания 79
 Коренные породы 79
 Кремнезем 20, 45
 Криолитозона 92
 Криптозой 29
 Кристалл 36
 Кристаллическая решетка 36
 Кровля пласта 104
 Крыло разрыва 117
 Крыло складки 113
 Купол 114

Лавовые покровы 111
 Лавовые потоки 111
 Лакколит 109
 Ландшафт 25
 Легенда геологической карты 125
 Лед 89
 Ледники 90
 Ледниковые периоды 90
 Лежачее крыло 117
 Лежачий бок 104
 Ленточные глины 91
 Линейная складка 114
 Линейный масштаб 126
 Линия простираия 105
 Литогенез 96
 Литосфера 18, 20
 Литосферные плиты 19, 21
 Локсодрома 128
 Лополит 109
 Луна 14

Магматизм 68
 Магматические горные породы 51, 53
 Магнитное поле 24
 Магнитное склонение 106
 Мантия 13, 18
 Мацерал 56
 Межминеральные связи 60
 Метагалактика 6
 Материки 19
 Международная сейсмическая шкала 65
 Металлосфера 13
 Метаморфизм 59, 72
 Метаморфические породы 58
 Минерал 34, 136
 Минералоид 39

Мировой океан 19, 22, 82
 Млечный Путь 7
 Мобилистская гипотеза 20
 Модель сместителя 119, 123
 Моноклиналиное залегание 117
 Морена 91
 Морфология пласта 107
 Мощность пласта 107
 Мульда 114

Надвиг 118
 Недра 3, 4
 Некк 69
 Несогласие 108
 Номенклатура карт 126

Обломочные породы 54, 56
 Объемная модель разрыва 122
 Озера 81
 Озы 91
 Оксиды и гидроксиды 45, 138
 Оолиты 47
 Оползень 87
 Органические породы 55
 Органическое выветривание 78
 Органолептические свойства минералов 43
 Орогенез 22
 Осадочные породы 52
 Осевая поверхность складки 114
 Ось складки 114
 Охрана недр 101

Парагенезис минералов 44
 Параметры сместителя 121
 Пачка 103
 Периклиналь 114
 Планы горных и земельных отводов 128
 Пласт 103
 Платформа 21
 Плиты платформ 22
 Плотность минерала 43
 Поверхность Мохо 19
 Подошва пласта 104
 Пойма 87
 Полиморфизм 35
 Почва 78
 Почва пласта 104
 Принципы геологического картирования 129
 Пролувий 80
 Прослой 103

Псевдоморфозы 39
 Псевдохроматическая окраска 42

Радиус Земли 17, 25
 Разграфка карт 126
 Разрывное нарушение 117
 Река 84
 Рельеф 19
 Ресурсы недр 3
 Речная эрозия 84

Самородные элементы 44, 136
 Сброс 118
 Сдвиг 118
 Сейсмический пояс 66
 Сель 88
 Силикаты 48
 Силл 52, 109
 Симметрия 37
 Синклиналь 113
 Синформа 117
 Складки 113
 Слоистость 103
 Слой 103
 Слойки 103
 Слоичатость 104
 Сместитель разрыва 117
 Согласно залегание 108
 Солнечная система 6, 7, 10
 Спайность 42
 Стратиграфическая колонка 130
 Стратиграфическое несогласное залегание 108
 Стратоизогипса 105
 Структура горных пород 50
 Структурное несогласное залегание 109
 Сульфаты 48, 141
 Сульфиды 44, 137

Твердость 43
 Текстура горных пород 50
 Тектонические процессы 64
 Терраса 87
 Техногенез 96
 Техногенные месторождения 99
 Трещина 117

Угол падения пласта 105, 106
 Угол складки 114

Фанерозой 29
 Физические свойства минералов 40
 Физическое выветривание 74
 Фиксистерская гипотеза 21
 Флексура 117
 Форшок 67
 Фосфаты 47, 143
 Фотосинтез 26, 30
 Фундамент платформы 20, 21

Хемогенные породы 54
 Хемосинтез 26
 Химические свойства минерала 43
 Химические элементы 9
 Химическое выветривание 75

Цвет минерала 41
 Цвет черты на бисквите 42
 Цемент 97
 Центриклиналь 114

Чехол платформы 20
 Численный масштаб 126

Шарнир складки 114
 Шельф 19
 Щиты платформ 22
 Шкала твердости 43
 Шлиф 40
 Шток 110

Эволюция звезд 8
 Экзогенные процессы 73
 Элементы залегания 101
 Элювий 80
 Эндогенные процессы 64
 Эпицентр 66
 Эрозия 84

Ядро Земли 13, 14, 17
 Ядро складки 113

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Ершов В.В., Новиков А.А., Попова Г.Б. Основы геологии. –М.: Недра, 1986, -310 с.
2. Павлинов В.Н., Кизильватер Д.С., Лин Н.Г. Основы геологии. –М.: Недра, 1991, -270 с.
3. Короновский Н.В., Старостин В.И., Авдонин В.В. Геология для горного дела. –М.: Издат. центр Академия, 2007. -576 с.
4. Пособие к лабораторным занятиям по общей геологии / Под ред. В.Н. Павлинова –М.: Недра, 1988.

Дополнительная литература

1. Никитина М.И., Караулов В.Б. Геология, основные понятия и термины. Справочное пособие. –М.: УРСС, 2003. -152 с.
2. Годовиков А.А. Минералогия. –М.: Недра, 1975, -520 с.
3. Петрография / Под ред. А.А. Маракушева. –М., 1986.
4. Якушова А.Ф., Хаин В.Е., Славин В.И. Общая геология. –М.: МГУ, 1988.
5. Войткевич Г.В. Рождение Земли. –Ростов-на-Дону, Феникс, 1996, -450 с.
6. Ларин В.Н. Гипотеза изначально гидридной Земли. –М.: Недра, 1980, -298 с.
7. Здорик Т.Б., Фельдман Л.Г. Минералы и горные породы. Энциклопедия природы России. –М.: 1998.
8. Романовский С.И. Великие геологические открытия. –СПб.: ВСЕГЕИ, 1995, -216 с.
9. Шафрановский И.И. Симметрия в природе. –Л.: Недра, 1968, -184 с.
10. Хаин В.Е., Короновский Н.В. Планета Земля от ядра до ионосферы. –М.: КДУ, 2008. -244 с.
11. Большая советская энциклопедия.
12. Российская геологическая энциклопедия.

Популярные сайты по геологии

1. <http://geo.web.ru>
2. <http://www.rgo.ru>
3. <http://www.ig.uit.no/webgeology>

Происхождение названий некоторых химических элементов

Русское название	Латинское написание	Происхождение названия	Символ	
			написание	чтение
Азот	<i>Nitrogenium</i>	от греч. "рождающий селитру"	N	"эн"
Алюминий	<i>Aluminium</i>	от лат. "квасцы"	Al	"алюминий"
Аргон	<i>Argon</i>	от греч. "недеятельный"	Ar	"аргон"
Барий	<i>Barium</i>	от греч. "тяжелый"	Ba	"барий"
Бериллий	<i>Beryllium</i>	от греч. "берилл"	Be	"бериллиум"
Водород	<i>Hydrogenium</i>	от греч. "рождающий воду"	H	"аш"
Вольфрам	<i>Wolframium</i>	от нем. Wolf - волк, Rahm - сливки	W	"вольфрамиум"
Гелий	<i>Helium</i>	от греч. "Солнце"	He.	"гелий"
Железо	<i>Ferrum</i>	от лат. "меч"	Fe	"феррум"
Золото	<i>Aurum</i>	от лат. "горящий"	Au	"аурум"
Калий	<i>Kalium</i>	от арабск. "щелочь"	K	"калий"
Кальций	<i>Calcium</i>	от лат. "известняк"	Ca	"кальций"
Кислород	<i>Oxygenium</i>	от греч. "рождающий кислоты"	O	"о"
Кобальт	<i>Cobaltum</i>	от нем. "домовой, гном"	Co	"кобальт"
Кремний	<i>Silicium</i>	от лат. "кремень"	Si	"силициум"
Литий	<i>Lithium</i>	от греч. "камень"	Li	"литиум"
Магний	<i>Magnesium</i>	от назв. полуострова Магnezия	Mg	"магний"
Марганец	<i>Manganum</i>	от греч. "очищающий"	Mn	"марганец"
Медь	<i>Cuprum</i>	от греч. назв. о. Кипр	Cu	"купрум"
Молибден	<i>Molybdaenum</i>	от лат. "свинец"	Mo	"молибденум"
Мышьяк	<i>Arsenicum</i>	от греч. "сильный, мощный"	As	"арсеникум"
Натрий	<i>Natrium</i>	от арабск. "моющее средство"	Na	"натрий"
Никель	<i>Niccolum</i>	от нем. "горный дух "	Ni	"никель"
Олово	<i>Stannum</i>	происхождение названий «stannum» и «олово» точно не установлено	Sn	"станум"
Ртуть	<i>Hydrargyrum</i>	от лат. "жидкое серебро"	Hg	"гидраргирум"
Свинец	<i>Plumbum</i>	от лат. названия сплава свинца с оловом.	Pb	"плюмбум"
Сера	<i>Sulfur</i>	от санскритского "горючий порошок"	S	"эс"
Серебро	<i>Argentum</i>	от греч. "светлый"	Ag	"аргентум"
Сурьма	<i>Stibium</i>	от тур. "порошок для чернения бровей"	Sb	"стибиум"
Углерод	<i>Carboneum</i>	от лат. "уголь"	C	"цэ"
Фосфор	<i>Phosphorus</i>	от греч. "несущий свет"	P	"пэ"
Фтор	<i>Fluorum</i>	от лат. глагола "течь"	F	"фтор"
Хлор	<i>Clorum</i>	от греч. "зеленоватый"	Cl	"хлор"
Хром	<i>Chromium</i>	от греч. "краска"	Cr	"хром"
Цинк	<i>Zincum</i>	от нем. "олово"	Zn	"цинк"

Краткая характеристика важнейших минералов (по Кирьяковой И.Г. с изменениями)

Название, формула	Цвет	Черта	Блеск*	Спайность и излом*	Твердость*; плотность	Облик. Особые свойства	Практическое значение
Самородные (свободные) элементы, металлы							
Медь, Cu	медно-красный	блестящая медно-красная	мет.	нет	<u>3</u> , 9 (тяж)	Дендриты. Ковкость, часто легко окисляется	Второстепенный источник Cu (металлургия: сплавы с Zn – латунь, с Sn – бронза)
Серебро, Ag	серебряно-белый	блестящая металлическая	мет.	нет	<u>3</u> , 10-11 (тяж)	Дендриты. Ковкость	Монеты, ювелирные изделия, медицина (антисептик), фото, серебрение, электрон. пром-сть.
Золото, Au	золотисто-жёлтый	жёлтая металлическая	мет.	нет	<u>2,5-3</u> , 15,5-18 (тяж)	Дендриты часто в кварце. Ковкость	Основной валютный металл, ювелирные изделия, золочение, электрон. пром-сть
Самородные (свободные) элементы, неметаллы							
Алмаз, C	бесцветный, голубоватый, жёлтый, бурый	нет	алмазный	сов.	<u>10</u> 3,5 (сред)	Кристаллы в виде октаэдров, ромбододекаэдров, кубов и их комбинаций. Горит, хрупкий	Ювелирные алмазы – драгоценный камень I порядка, технические алмазы: абразивы
Графит, C	серый, чёрный	серая, чёрная	полумет.	в. сов. по 1 плоскости	<u>1</u> 2,2 (лег)	Таблитчатые и мелкозернистые агрегаты. Чертит на бумаге, жирный на ощупь	Электроды, грифели, смазка, проводник, металлургия
* Свойства минералов, отмеченные звездочкой, проявлены только у кристаллических разновидностей							

Название, формула	Цвет	Черта	Блеск*	Спайность и излом*	Твёрдость*; плотность	Облик. Особые свойства	Практическое значение
Сера, S	жёлтая, бурая	бледно-желтоватая	алмазный, жирный	несов.	<u>1-2</u> 2,1 (лег)	Кристаллы изометрические. Хрупкая, горит	Производство серной кислоты. спичек, ВВ, ядохимикатов
Сульфиды							
Пирит, FeS ₂	соломенно-жёлтый	чёрная	мет.	несов.	<u>6-6,5</u> 5 (тяж)	Кристаллы в виде куба, (пентагон-додекаэдра). Штрих. на гранях кристаллов	Производство серной кислоты. Иногда источник Au, Cu, Zn, Se. Коллекцион. минерал
Халькопирит, CuFeS ₂	латунно-жёлтый (с зеленов. оттенком)	зеленовато-чёрная	мет.	несов.	<u>4</u> 4,2 (тяж)	Зернистые агрегаты. Радужная побежалость	Гл. источник Cu. Сплавы Cu с Ni – мельхиор
Пирротин, Fe _{1-n} S _n	бронзово-жёлтый	серо-чёрная	мет.	несов.	<u>4</u> 4,6 (тяж)	Зернистые агрегаты. Иногда магнитен	Производство серной кислоты, второстепенный источник Fe, S
Пентландит, (Fe,Ni) ₉ S ₈	бронзово-жёлтый светлый	зеленовато-чёрная	мет.	сов.	<u>3-4</u> 4,5-5,2 (тяж)	Выделения в пирротине. Спайность	Гл. источник Ni, никелирование, хим. пром.
Молибденит, MoS ₂	серый	блест., серая (зеленеет при растирании)	мет.	в. сов.	<u>1</u> 4,7 (тяж)	Таблитчатые агрегаты. Чертит на бумаге, жирный на ощупь	Гл. источник Mo для тугоплавких сплавов, смазка, (Re)
Антимонит, Sb ₂ S ₃	серый (иногда синяя побежалость)	серая (буреет при растирании)	мет.	сов. (1 пл.)	<u>2</u> 4,5 (тяж)	Удлиненные кристаллы. Поперечная штриховка	Гл. источник Sb, хим. пром-сть

Название, формула	Цвет	Черта	Блеск*	Спайность и излом*	Твердость*; плотность	Облик. Особые свойства	Практическое значение
Киноварь, HgS	малиново-красный	малиново-красная	от алмазного до полумет.	сов. (2 пл.)	<u>2</u> 8,1 (тяж)	Зернистые, землистые агрегаты, ромбоэдрические кристаллы, малиново-красного цвета	Гл. источник Hg для приборостроения, ВВ, электротехники, хим. пром, амальгамация (растворяет Au и Ag)
Галенит, PbS	свинцово-серый	серовато-черная	мет.	сов. (3 пл.)	<u>3</u> 7,5 (тяж)	Кристаллы в виде куба. Зернистые агрегаты. Тяжёлый, часто вместе со сфалеритом	Гл. руда Pb, иногда источник Ag
Сфалерит, ZnS	жёлтый, коричневый, бурый, чёрный	б/цв., жёлтая, коричневая	алмазный	сов.	<u>3-4</u> 4 (тяж)	Зернистые агрегаты. Часто вместе с галенитом	Гл. руда Zn для антикоррозионного покрытия, как компонент латуни (с Cu), цинковых белил
Арсенопирит FeAsS	св. серый	серая, редко с бурым или фиолетовым оттенком	мет.	несов.	<u>5,5-6</u> 6 (тяж)	Удлиненные кристаллы, звездчатые сростки, шестоватые и зернистые агрегаты. При ударе появляется чесночный запах	Гл. источник As, реже Co и Ni
Оксиды и гидроксиды							
Кварц, SiO ₂	б/цв., серый, жёлтый, фиолетовый, чёрный, белый	нет	стекл.	в. несов.	<u>7</u> 2,6 (сред)	Призматические кристаллы, друзы, зернистые агрегаты. Сливные массы	Породообразующий минерал; оптика, ювелирно-поделочный камень

Название, формула	Цвет	Черта	Блеск*	Спайность и излом*	Твердость*; плотность	Облик. Особые свойства	Практическое значение
Халцедон, SiO_2 (скрыто-кристаллический кварц)	серый, бурый, коричнево-красный (сердолик), зелёный (хризопраз) и др.	нет	матовый	в. несов.	<u>7</u> 2,6 (сред)	Скрытозернистые агрегаты, натечные формы, полосчатые разновидности (тонкополосчатый – агат, грубополосчатый – оникс); неровный излом, полупрозрачен. При ударе издаёт запах горелого рога	Износоустойчивые детали в точных приборах; агат, оникс, сердолик, хризопраз – ювелирно-поделочный камень
Магнетит, $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$	от тёмно-серого до чёрного	чёрная	от полумет. до мет.	в. несов.	<u>5,5-6</u> 4,8-5,3 (тяж)	Октаэдры, зернистые агрегаты; сильно магнитен	Главный источник Fe (около 72%)
Гематит, Fe_2O_3	чёрный, серый, буровато-красный	вишнёво-красная	мет. (кристалл. разности)	в. несов.	<u>5,5-6</u> 5,3 (тяж)	Зернистые (пластинчатые, чешуйчатые) агрегаты	Главный источник Fe (около 70%)
Хромит, FeCr_2O_4	чёрный	светло-бурая	полумет.	в. несов.	<u>6</u> 4,2-5,1 (тяж)	Часто округлые скопления (нодулярные агрегаты) зёрен в серпентине	Гл. руда Cr; химическая промышленность. Краски и дубители кожи
Касситерит, SnO_2	от бурого до чёрного	б/цв. или светло-бурая	алмазный	несов.	<u>6-7</u> 6-7,1 (тяж)	Мелкие призматические, бипирамидальные кристаллы, друзы, зернистые агрегаты	Гл. источник Sn, отливки художественных изделий, компонент белой жести, фольги

Название, формула	Цвет	Черта	Блеск*	Спайность и излом*	Твердость*; плотность	Облик. Особые свойства	Практическое значение
Марганцевые руды: пиролюзит MnO_2 и псиломелан $mMnO \times MnO_2 \times nH_2O$	чёрный	чёрная, сажистая	полумет. или матовый	нет	<u>4-6</u> или <u>1-2</u> 4,0-5,1 (тяж)	Скрытокристаллические плотные или землистые, сажистые агрегаты (пачкают руки), иногда слабо магнитны	Гл. источник Mn; стекольная и химическая промышленность, красители, медицина – перманганат калия
Боксит (диаспор, бёмит, гиббсит – гидроксиды Al; + гидроксиды Fe и глинистые минералы) $Al_2O_3 \times 2H_2O$	розовый, бурый, красноватый, белый, сероватый, светло-фиолетовый	белая или светло-буроватая	матовый	нет	<u>от 1-2 до 4</u> 2,9-3,5 (легк. или сред)	Землистые, пористые или плотные агрегаты, оолиты	Лучшая руда Al
Гётит, $Fe_2O_3 \times 2H_2O$	от желтовато-бурого до чёрного	бурая	мет. или матовый	сов.	<u>5</u> или <u>1-2</u> 4,2 (тяж)	Почковидные, натёчные агрегаты, оолиты, конкреции или землистые агрегаты	Второстепенный источник железа
Галоиды							
Галит, NaCl	б/цв, белый, серый, синий, красноватый	белая	стекл., жирн.	сов., по кубу	<u>2-2,5</u> ; 2,2-2,3 (лег)	Кубич. кристаллы, зернистые или плотные массы. Солёный вкус. Растворяется в воде	Породообр. м-л осад. г.п. Пищевая соль, сырьё для получения соды и метал. Na
Сильвин, KCl	б/цв, белый, серый, красный	белая	стекл., жирн.	сов., по кубу	<u>1,5-2</u> ; 2 (лег)	Кубич. кристаллы, зернистые или плотные массы. Горько-солёный вкус. Растворяется в воде	Породообр. м-л осад. г.п. Сырьё для получения калийных удобрений и метал. К. Слабительное

Название, формула	Цвет	Черта	Блеск*	Спайность и излом*	Твердость*; плотность	Облик. Особые свойства	Практическое значение
Флюорит (плавиковый шпат), CaF_2	зональный, желтый, синий, фиолетовый, розовый, б/цв	белая	стекл., жирн.	сов. по октаэдру	<u>4</u> ; 3,1-3,2 (сред)	Изометр. кристаллы, зернистые или плотные массы	Флюс в металлургии, сырье для получения плавиковой кислоты, окислит. ракетного топлива, оптика
Сульфаты							
Гипс, $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	б/цв, белый, серый, желтый, красноватый	белая	стекл., шелковист., перламутровый	соверш.	<u>2</u> ; 2,2-2,4 (лег)	Таблитч. кристаллы (гипсовые розы), зернистые (алебастр) или плотные массы, волокнистые агрегаты (селенит), прозрачные кристаллы (марьино стекло). Двойники	Породообр. м-л осад. г.п. Связующее и стройматериалы, поделочный камень, бумажная и пищевая промышленность, медицина
Ангидрит, CaSO_4	белый, серый, голубоватый, красноватый	белая	стекл., жирн.	соверш.	<u>3-4</u> ; 2,9-3 (сред)	Зернистые или плотные массы, короткостолбч. кристаллы	Породообр. м-л осад. г.п. Связующее и стройматериалы, поделочный камень
Барит, BaSO_4	белый, серый, синий, бурый, красноватый	белая	стекл., перламутр.	соверш.	<u>3</u> ; 4,3-4,7 (тяж)	Уплощенные кристаллы, зернистые или плотные массы, радиально лучистые агрегаты	Утяжелитель буров. растворов, защита от жестких излучений
Англезит, PbSO_4	б/цв, белый, серый, желтый	белая	алм., жирн.	соверш.	<u>2,5-3</u> ; 6,1-6,4 (тяж)	Зернистые или плотные массы	Руда свинца

Название, формула	Цвет	Черта	Блеск*	Спайность и излом*	Твердость*; плотность	Облик. Особые свойства	Практическое значение
Карбонаты							
Кальцит, CaCO_3	б/цв, белый, серый, желтый	белая	стекл., перламутр.	сов., по ромбоэдру	<u>3</u> ; 2,6-2,8 (сред)	Призматич. кристаллы, плотные, зернистые или пористые массы. «Вскипает» в HCl в образце. «Двойникование» исландского шпата	Породообр. м-л осад. г.п. Стройматериалы, оптика, флюс, поделочный камень
Доломит, $\text{CaCO}_3 \times \text{MgCO}_3$	серовато-белый зеленоватый, желтоватый	белая	стекл.	соверш. по ромбоэдру	<u>3,5-4</u> ; 2,8-3 (сред)	Плотные, зернистые или пористые массы. В порошке «вскипает» в HCl	Породообр. м-л осад. г.п. Стройматериалы, поделочный камень
Магнезит, MgCO_3	белый, серый, буроватый, «рябой»	белая	стекл., матовый	сов., по ромбоэдру	<u>4-4,5</u> ; 2,9-3,1 (тяж)	Плотные, зернистые фарфоровидные массы. «Цвет. капуста». «Вскипает» в нагретой HCl	Огнеупор
Сидерит, FeCO_3	сероватый буроватый, желтоватый	белая, бурая	стекл., с буроватой побежалостью	соверш. по ромбоэдру	<u>4-4,5</u> ; 3,7-3,9 (сред)	Плотные, зернистые массы, шестоватые агрегаты. Капля HCl на сидерите медленно желтеет	Руда Fe

Название, формула	Цвет	Черта	Блеск*	Спайность и излом*	Твердость*; плотность	Облик. Особые свойства	Практическое значение
Смитсонит, $ZnCO_3$	серовато-белый, зеленоватый, буроватый	белая	стекл., перламутр.	соверш.	<u>5</u> ; 4,3-4,5 (тяж)	Плотные, зернистые, натечные массы, шестоватые агрегаты. «Вскипает» в HCl.	Руда Pb
Церуссит, $PbCO_3$	белый, серый, бурый, желтый	белая, св. серая	алм., жирн.	несоверш.	<u>3-3,5</u> ; 6,4-6,6 (тяж)	Плотные, зернистые, землистые массы, шестоватые агрегаты. «Вскипает» в HCl	Руда Zn
Малахит, $CuCO_3 \times Cu(OH)_2$	густо зеленый	св. зеленая	шелковист., матовый	соверш., часто не видна	<u>3,5-4</u> ; 3,9-4,1 (тяж)	Натечные или землистые массы. «Вскипает» в HCl, при добавлении аммиака раствор синее.	Поделочный камень, пигмент
Азурит, $2CuCO_3 \times Cu(OH)_2$	густо синий	голубая	стекл.	соверш.	<u>3,5-4</u> ; 4 (тяж)	Плотные, зерн. и земл. массы, короткостолбч. кристаллы. «Вскипает» в HCl	Пигмент
Фосфаты							
Апатит, $Ca_5[PO_4]_3(Cl, F, OH)$	белый, зеленый, фиолетовый, красный, желт.	белая	стекл., жирн.	средняя	<u>5</u> ; 3,2 (сред)	Шестигранные призматические кристаллы, плотные, зернистые сахаровидные массы	Сырье для производства фосфорных удобрений

Название, формула	Цвет	Черта	Блеск*	Спайность и излом*	Твердость*; плотность	Облик. Особые свойства	Практическое значение
Вольфраматы							
Вольфрамит, (Mn,Fe)WO ₄	черный, темно-коричневый	бурая	метал., жирный	соверш.	<u>5-5,5;</u> 7,1-7,5 (тяж)	Толстостолбчатые кристаллы, плотные массы	Руда W
Шеелит, CaWO ₄	Серый, желтый, коричневый, красный, б. цв.	белая	алм., жирн.	соверш.	<u>4,5-5;</u> 5,8-6,2 (тяж)	Таблитчатые и пирамидальные кристаллы, плотные, зернистые массы. В ультрафиол. лучах светится голубым цветом	Руда W
Силикаты и алюмосиликаты							
Оливин, (Mg,Fe) ₂ [SiO ₄]	прозрач. зеленый (хризолит), желтый - форстерит, черный - фаялит	нет	стекл., жирн.	средн., раковист.	<u>6,5-7;</u> 3-4 (сред)	Изометр. зерна, короткостолбч. или таблитч. кристаллы, зернистые агрегаты, сливные массы	Породообр. минерал у. осн. пород (строит. камень), хризолит – драгоценный камень, форстерит - огнеупор
Берилл, Be ₃ Al ₂ [Si ₆ O ₁₈]	желт., зел. (изумруд), голубой (аквамарин)	нет	стекл.	несов.	<u>7,5-8;</u> 2,6-2,9 (сред)	Столбч., призматич. кристаллы	Руда Be, ювелирная пром.
Слюды (Mg,Fe,K,Al) _n [AlSi ₃ O ₁₀] ₂ [OH,F] ₂ . (K,Al) – мусковит, (Mg,K) – флогопит, (Mg,Fe,K) – биотит, (Mg,Fe) – вермикулит	б/цв, белый, бурый, зел., желт., черн.	светл.	стекл., перлам.	в. сов., по 1 плоск.	<u>2-3;</u> 3 (сред)	Пластинки, тонкие чешуйки	Электро-, тепло-, звукоизоляция, смазка, ионнообменники

Название, формула	Цвет	Черта	Блеск*	Спайность и излом*	Твердость*; плотность	Облик. Особые свойства	Практическое значение
Гранаты, (Ca,Mg,Cr,Fe,Mn) ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃	просвеч., красн. (пироп), бур. (альмандин), зелен. (уваровит, демантоид), черн. (андрадит), бур-зел. (гроссуляр)	нет	стекл., жирн., алм.	несов., излом раковист.	<u>6,5-7,5;</u> 3,5-4,2 (сред)	Ромбододекаэдры, изометр. зерна. Встречается в скарнах (с пироксеном), кристал. сланцах, гранитах.	Ювел. пром., абразив
Пироксены, (Mn,Fe,Ca,Li,Al) ₂ [Si ₂ O ₆], Сподумен (Li,Al) ₂ [Si ₂ O ₆], Родонит (Mn,Ca) ₂ [Si ₂ O ₆]	желт., зел, кор., черн., розовый (родонит)	светл.	стекл.	средняя по 2 направл., угол ~90°	<u>5,5-6,5;</u> 3,5 (сред)	Коротко- и длинностолбчатые кристаллы, луч. агрегаты, плотные массы. Угол спайности ~90°	Породообразующий минерал у. осн. пород (строит. камень), руда Li и Mn, поделочный камень
Амфиболы, (Mg,Fe,Ca,Na,Al) ₇ [Si ₄ O ₁₁] ₂ [OH] ₂	зел, черн.	светл.	стекл.	средняя по 2 направл., угол ~120°	<u>5,5-6;</u> 3 (сред)	Вытянутые, игольчатые кристаллы, волокн. агрегаты. Угол спайности ~120°	Породообразующий минерал магм. и метам. пород, огнеупоры и кислотоупорные материалы. Нефрит – поделочный камень
Тальк, Mg ₃ [Si ₄ O ₁₀](OH) ₂	белый, бурый, зел., желт.	белая	стекл., перлам.	в. сов. по 1 плоск.	<u>1;</u> 3 (сред)	Пластинчатый, жирный на ощупь, не смачивается водой	Бумажная, резиновая, текстил., парфюмерная промышленности, кислотощелочеупор, носитель ядохимикатов

Название, формула	Цвет	Черта	Блеск*	Спайность и излом*	Твердость*; плотность	Облик. Особые свойства	Практическое значение
Хризотил-асбест, $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	бурый, зел.-желт., белый	белая	шелк.	в. сов. вдоль волокон	<u>1,5-2</u> ; 2 (лег)	Прожилки волокон. агрегатов в серпентините, легко расщепляется на волокна	Производство огнеупоров, теплоизол. и стойматериалов. Пыль канцерогенна.
Серпентин (змеевик) $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	бурый, зел., желт., пятнистый («шкура змеи»)	светл.	стекл., перлам.	несов.	<u>2,5-3</u> ; 2,5 (сред)	Сплошная масса часто с прожилками хризотил-асбеста	Породообразующий минерал. Облицовочный и поделочн. камень, производство огнеупоров, хим. пром.
Каолинит, $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$	серый, зелен., голуб., белый, желт.	белая	матов.	не видна	<u>1</u> ; 2,5 (сред)	Плотные, рыхлые, землистые, сплошные массы. Набухает в воде. Липнет к языку, легко растирается, часто жирен на ощупь	Породообразующий минерал. сырье фарфоровой и бумажной промышленности
Хлорит, $(Mg, Fe^{2+}) \times [AlSi_3O_{10}(OH)_2] 3(Mg, Fe)(OH)_2$	зел.-сер., темн. зел.	светл.	перлам.	в. сов. по 1 плоск.	<u>2-3</u> ; 2,5-3,5 (сред)	Чешуйчатые агрегаты	Породообразующий минерал метаморфических горных пород. Железные руды на Урале
Нефелин $Na(AlSiO_4)$	бурый, зел., красн., серый, просвеч.	светл.	стекл., жирн.	несов.	<u>5-6</u> ; 2,5 (сред)	Призматич. кристаллы, плотные, сливные массы. Не встречается вместе с кварцем	Породообразующий минерал, сырье для получения Al и соды, флотационный агент

Название, формула	Цвет	Черта	Блеск*	Спайность и излом*	Твердость*; плотность	Облик. Особые свойства	Практическое значение
Полевые шпаты. Плагиоклазы, (Ca,Na)[AlSi ₃ O ₈] от альбита (Na) до анортита (Ca)	белый, серый	светл.	стекл.	сов. по 2 плоск. (угол 86°)	<u>6-6,5</u> ; 2,5 (сред)	Призматич. кристаллы со штриховкой по спайности, зерн. агрегаты, плотные сливные массы Иризация у лабрадора и беломорита	Породообразующий минерал, поделочный и строительный камень
Полевые шпаты. Щелочные (калиевые) шпаты, (K,Na)[AlSi ₃ O ₈]	зел и голуб амазонит, красн., желт. ортоклаз, белый, серый,	светл.	стекл.	сов. по 2 плоск. (угол 90°)	<u>6-6,5</u> ; 2,5 (сред)	Призматич. кристаллы, закономерные срастания с кварцем	Породообразующий минерал, поделочный и строительный камень, керамич. пром-ность