

Қазақстан Республикасының  
Білім және ғылым  
министрлігі

Д. Серикбаев атындағы  
ШҚМТУ

Министерство  
образования и науки  
Республики Казахстан

ВКГТУ им. Д. Серикбаева

УТВЕРЖДАЮ  
Декан ГМФ  
\_\_\_\_\_ А.К. Адрышев  
\_\_\_\_\_ 2010 г.

## ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Курс лекции для студентов геологических и горных специальностей

## ЖАЛПЫ ЖӘНЕ ТАРИХИГЕОЛОГИЯ

Геологиялық және тау-кен мамандықтарының студенттеріне арналған  
курс лециялары

Өскемен  
Усть-Каменогорск  
2010

Курс лекций для студентов геологических и горных специальностей по дисциплине «Общая и историческая геология»/Мизерная М.А./ ВКГТУ. - Усть-Каменогорск, 2010. – 145 с.

Обсуждена на заседании кафедры «Геология и горное дело»

Зав. кафедрой ГиГД

М.А. Мизерная

Протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2010 г.

Одобрена методическим Советом горно-металлургического факультета

Председатель

Н.А. Нурбаева

Протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2010 г.

Автор

М.А. Мизерная

Нормоконтролер

Е.П. Петрова

**Министерство образования и науки Республики Казахстан**

**ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Д. Серикбаева**

**М.А.Мизерная**

**ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ**

Курс лекции для студентов геологических и горных специальностей

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Геология как наука о Земле	8
1.1 Этапы развития науки геология	8
1.2 Предмет и задачи геологии	9
2 Земля как планета Солнечной системы	9
2.1 Гипотеза происхождения Земли и Вселенной	9
2.2 Строение Солнечной системы. Основные параметры Земли	14
3 Строение геосфер	22
3.1 Методы изучения геосфер Земли	22
3.2 Характеристика основных внешних и внутренних геосфер	23
3.3 Понятие литосфера	28
4 Геологическая деятельность атмосферы	28
4.1 Выветривание. Геологическая роль выветривания	28
4.2 Геологическая деятельность ветра	33
5 Геологическая деятельность гидросферы	35
5.1 Понятие гидросферы	35
5.2 Геологическая работа рек	36
5.3 Геологическая деятельность временных водотоков	40
5.4 Геологическая деятельность морей, водохранилищ, озер и болот	44
5.5 Геологическая деятельность льда	49
5.6 Геологическая деятельность подземных вод	61
6 Геологическая деятельность биосферы	63
6.1 Сфера разума	63
6.2 Инженерная деятельность человека	64
6.3 Ноосфера – как геологический фактор	65
6.4 Круговорот вещества и энергии. Биотехносфера	67
6.5 Проблемы техногенного изменения окружающей среды в Казахстане	80
7 Геологическая деятельность факторов внутренней динамики Земли	83
7.1 Понятие эндогенных процессы. Магматизм. Вулканизм	83
7.2 Интрузивный магматизм	85
7.3 Эффузивный магматизм	86
8 Тектоника	91
8.1 Понятие тектоники, цели и задачи науки	91
8.2 Тектонические движения	92
9 Сейсмические процессы	99
9.1 Понятия - землетрясение, фокус, эпицентр	99
9.2 Типы землетрясений	102
10.2 Региональный метаморфизм	
10.3 Динамометаморфизм	
10.4 Контактный метаморфизм	
10.5 Гидротермальный метаморфизм	

## 10.6 Метаморфические фации

11 Минералы и горные породы	106
11.1 Минералы. Породообразующие минералы	106
11.2 Горные породы	111
11 Минералы и горные породы	115
11.1 Минералы. Породообразующие минералы	115
11.2 Горные породы	129
Список литературы	145

## ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие (курс лекций) «Общая и историческая геология» содержит сведения о Земле, ее строении, геологических процессах, происходящих в ее оболочках. Рассмотрены вопросы формирования современного облика Земли под воздействием природных и техногенных факторов, законы движения подземных вод, взаимодействие подземных вод с инженерными сооружениями. Особое внимание уделено вопросам мониторинга состояния окружающей среды под действием инженерной деятельности человека, мероприятиям по охране природных ресурсов от загрязнения и истощения.

Пособие предназначена для студентов – геологических и горных специальностей, экологов, кадастровиков, строителей и др. Может быть использована магистрантами, преподавателями.

# 1 ГЕОЛОГИЯ КАК НАУКА О ЗЕМЛЕ

## 1.1 Этапы развития науки геология

Геология - обширная наука, представляющая комплекс наук о Земле, занимающихся изучением Земли как планеты Солнечной системы; изучением вещественного состава и строения, ее оболочек; изучением геологических процессов, происходящих внутри Земли и на ее поверхности; геологической историей развития Земли и зарождения Жизни на ней.

1.1.1 Первый - начальный этап развития науки геологии приходится на начало XXVIII века. Для него характерно накопление и первичная систематизация геологических данных.

1.1.2 Второй этап – фундаментальный. Начинается в XIX веке. В это время закладываются фундаментальные основы науки. Благодаря трудам У. Смита, Ж. Кювье, и А. Броньяра появилась возможность сопоставления одновозрастных геологических пород, что положило начало использования исторического анализа. Выдающееся событие второго этапа – возникновение теории о геосинклиналях и платформах. Фундаментальный этап завершился выходом в свет трехтомного труда австрийского ученого Э.Зюсса «Лик Земли» (1883-1909). В этой классической монографии впервые был обобщен весь теоретический и практический материал по строению и развитию Земли. Все наблюдаемые геологические процессы и явления были изложены автором с точки зрения прогрессивных в то время представлений И. Канта и П. Лапласа о первоначально огненно-жидком состоянии нашей планеты и дальнейшем постепенном ее остывании.

1.1.3 Третий - критическо-революционный этап приходится на первую половину XX века. Была доказана несостоятельность концентрационной теории Канта-Лапласа о происхождении Земли. Началось широкое изучение океанического дна. В космос были запущены спутники Земли. Был получен уникальный материал по геологии нашей планеты и других планет Солнечной системы. С помощью инструментальных методов были установлены факты горизонтального перемещения крупных глыб литосферы относительно друг друга. Выявлено существование глобальной рифтовой системы, пересекающей дно Мирового океана. Все это привело к появлению новой концепции – *глобальной тектоники плит, внесшей революционные изменения в современную геологию.*

А.П. Виноградов выдвинул и научно обосновал идею о формировании планет из протопланетного облака космической пыли за счет аккреции вещества.

1.1.4 Четвертый – современный этап развития науки геология характеризуется широчайшим использованием современных методов познания. Существенно расширилась связь геологии с другими науками: физикой, математикой, астрономией, астрофизикой, химией, биологией, географией, которые обогатили ее своими знаниями и методами познания.

Современный этап характеризуется с одной стороны усиление фундаментализации геологии, с другой – резкое повышение ее прикладного значения и с третьей – огромное внимание геологии к вопросам защиты окружающей среды и рациональному использованию земных недр.

## **1.2 Предмет, задачи геологии.**

Предметом геологии является Земля и природные тела, слагающие верхние горизонты твердой оболочки Земли - земной коры.

Современная геология – это наука, изучающая состав, строение и историю Земли, закономерности и процессы, приведшие к формированию земной коры, слагающих ее горных пород.

Научное, познавательное и практическое значение геологии огромно. Это определяет ряд задач, решаемых этой наукой:

- изучение Земли – как космического тела;
- изучение процессов формирования основных типов горных пород;
- изучение явлений внутренней и внешней динамики Земли;
- выяснение причин и закономерностей развития природных геологических процессов;
- выяснение условий формирования основных типов полезных ископаемых.

## **2 ЗЕМЛЯ КАК ПЛАНЕТА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ. СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ**

### **2.1 Гипотезы происхождения Земли и Вселенной**

Один из коренных вопросов изучения Земли и Вселенной в общем – проблема происхождения Вселенной. Этот вопрос имеет не только научное, но и мировоззренческое, философское значение. Существует множество гипотез происхождения Солнечной системы (Канта, Лапласа, Шмидта и др. По современным представлениям ведущие ученые мира придерживаются одной - теории «Большого взрыва».

#### **2.1.1 Гипотеза Канта.**

На протяжении многих веков вопрос о происхождении Земли оставался монополией философов, так как фактический материал в этой области почти полностью отсутствовал. Первые научные гипотезы относительно происхождения Земли и Солнечной системы, основанные на астрономических наблюдениях, были выдвинуты только лишь в XXVIII веке.

Первой в этом ряду была знаменитая теория, сформулированная в 1755 году немецким философом Иммануилом Кантом. Кант считал, что Солнечная система возникла из некой первичной материи, до того свободно рассеянной в космосе. Частицы этой материи перемещались в различных направлениях и, сталкиваясь друг с другом, теряли скорость. Наиболее тяжелые и плотные

из них под действием силы притяжения соединялись друг с другом, образуя центральный сгусток - Солнце, которое, в свою очередь, притягивало более удаленные, мелкие и легкие частицы. Таким образом, возникло некоторое количество вращающихся тел, траектории которых взаимно пересекались. Часть этих тел, первоначально двигавшихся в противоположных направлениях, в конечном счете, были втянуты в единый поток и образовали кольца газообразной материи, расположенные приблизительно в одной плоскости и вращающиеся вокруг Солнца в одном направлении, не мешая друг другу. В отдельных кольцах образовывались более плотные ядра, к которым постепенно притягивались более легкие частицы, формируя шаровидные скопления материи; так складывались планеты, которые продолжали кружить вокруг Солнца в той же плоскости, что и первоначальные кольца газообразного вещества.

### 2.1.2 Небулярная гипотеза Лапласа

В 1796 году французский математик и астроном Пьер-Симон Лаплас выдвинул теорию, несколько отличную от предыдущей. Лаплас полагал, что Солнце существовало первоначально в виде огромной раскаленной газообразной туманности (небулы) с незначительной плотностью, но зато колоссальных размеров. Эта туманность, согласно Лапласу, первоначально медленно вращалась в пространстве. Под влиянием сил гравитации туманность постепенно сжималась, причем скорость ее вращения увеличивалась. Возрастающая в результате центробежная сила придавала туманности уплощенную, а затем и линзовидную форму. В экваториальной плоскости туманности соотношение между притяжением и центробежной силой изменялось в пользу этой последней, так что, в конечном, счете масса вещества, скопившегося в экваториальной зоне туманности, отделилась от остального тела и образовала кольцо. От продолжавшей вращаться туманности последовательно отделялись все новые кольца, которые, конденсируясь в определенных точках, постепенно превращались в планеты и другие тела солнечной системы. Эти две теории взаимно дополняли друг друга, поэтому в литературе они часто упоминаются под общим названием как гипотеза Канта-Лапласа. Поскольку наука не располагала в то время более приемлемыми объяснениями, у этой теории было в XIX веке множество последователей.

### 2.1.3 Гипотеза О.Ю. Шмидта

В конце XIX века и на протяжении XX века было предложено много других космогонических гипотез, но все они оказались недолговечными.

Значительным прогрессом в развитии научных представлений о происхождении Солнечной системы явилась космогоническая гипотеза, разработанная советским ученым О. Ю. Шмидтом.

За основу так называемой метеоритной гипотезы О. Ю. Шмидта, изложенной им впервые еще в 1944 г. взято представление о том, что Земля и остальные планеты нашей Солнечной системы образовались путем постепенного сгущения холодных твердых или газообразных частиц из

колоссального газово-пылевого облака, захваченного Солнцем на пути своего движения. Планеты, — как сказано у О. Ю. Шмидта, — формировались в присутствии и под влиянием уже существовавшего Солнца. Под действием солнечного притяжения захваченные частицы материи стали двигаться в Галактике вместе с Солнцем. Более крупные тела газово-пылевого облака могли стать «зародышами» будущих планет. Из твердых, а также и газообразных частиц возникли не только планеты, но и их спутники, кометы и метеориты.

Считая, что Земля образовалась из холодных частиц, О. Ю. Шмидт отбрасывает долго господствовавший взгляд, утвердившийся со времен Лапласа, об изначально огненно-жидком состоянии планет и постепенном их охлаждении с момента образования. Источником земной теплоты он считает энергию радиоактивного распада. Радиоактивный распад обеспечивает теплоту Земли на очень длительное время. Возможно, по О. Ю. Шмидту, что наибольшее разогревание Земли имело место еще в начале геологического развития нашей планеты и лишь впоследствии началось ее медленное остывание. Такое воззрение совпадает с предположениями многих геологов о большей тектонической активности нашей планеты в прошлом. Таким образом, согласно гипотезе О. Ю. Шмидта, Земля постепенно разогревается, а затем остывает.

С позиции своей гипотезы О. Ю. Шмидт довольно убедительно объяснил многие важные законы движения Солнечной системы, как-то: почти круговое движение планет и их вращение, прямые и обратные движения спутников и другие явления.

Несмотря на то, что в рамках этой гипотезы впервые в космогонии приводятся объяснения ряда характерных черт строения и развития Солнечной системы, все же у многих астрономов, геофизиков и геологов она вызвала серьезные возражения. Так, например, недостаточно убедительно разработана проблема захвата Солнцем газово-пылевой материи — основы всей гипотезы, не касается она и эволюции Солнца и звезд

Главный недостаток гипотезы О. Ю. Шмидта заключается в том, что проблема происхождения планет и их спутников им объясняется вне связи с процессом образования Солнца, хотя последнее и является главным и определяющим членом системы. Несомненно, что Солнце с его исключительно огромной массой играло ведущую роль в формировании всей системы и потому игнорирование его в гипотезе является крупным недостатком. Совсем неубедительным является предположение автора гипотезы о захвате или пленении «мелких частиц в массовом количестве» из туманностей нашей Галактики. Бездоказательным также является утверждение автора о холодном состоянии всех планет в первую стадию своей жизни.

Гипотеза О. Ю. Шмидта не разрешила самого главного и трудного вопроса в проблеме происхождения небесных тел — вопроса о происхождении околосолнечного облака. Она установила лишь ряд

отдельных закономерностей в строении планет Солнечной системы и частично наметила пути их эволюции.

#### 2.1.4 «Катастрофические» космогонические гипотезы

Мысль Бюффона о происхождении планет Солнечной системы в результате столкновения Солнца с другим небесным телом в 1880 г. была вновь поднята новозеландским ученым Биккертоном. Он предположил, что Солнечная система сформировалась в результате столкновения Солнца с другой звездой. Тучи осколков, образованные после такого столкновения, сгруппировались в туманности, из сгущения которых и образовались планеты.

Таким образом, появились гипотезы о происхождении Солнечной системы так называемого *катастрофического* направления, развитые за рубежом Чемберлином, Мультином, Джинсом и др.

Американский геолог Чемберлин и астроном Мультион выступили с *«планетеземальной гипотезой»*. Они предполагали, что некая звезда, проходя близ Солнца, оказала на него значительное приливное действие. В результате на поверхности Солнца образовались гигантские протуберанцы, поднявшиеся до необычных высот и стувившиеся в небольшие твердые тела — «планетезимали», из агрегатов которых в конечном счете образовались планеты. В отличие от Канта и Лапласа, Чемберлин и Мультион полагали, что Земля первоначально была холодной и ее масса была значительно меньше. Размеры Земли увеличивались постепенно вследствие непрерывного падения на нее метеоритов («планетезималей»). Внутренняя температура Земли увеличивалась в процессе уплотнения и слияния метеоритов: энергия движения переходила в теплоту.

Английский астроном Джинс также предположил, что некогда близко к Солнцу подошла другая звезда и вырвала из него длинную струю газа, которая, после того как звезда удалилась в мировое пространство, и послужила материалом для образования планет. Газовая струя вначале напоминала сигару, поэтому в ее центральной части образовались наиболее крупные планеты (Юпитер, Сатурн), а на концах — более мелкие (Меркурий, Плутон). Газовая струя унаследовала движение Солнца. Формирование спутников планет в Солнечной системе повторяло в общих чертах историю формирования планет. Свою гипотезу Джинс иллюстрировал графической схемой.

Развивая свои идеи, Джинс утверждал, что медленность эволюции звезд позволяет считать основную массу звезд практически неизменной. Он рассматривал звезды, как «тяжелые» точки с постоянной массой и с постоянным моментом количества движения. Исходя из этого, он утверждал, что для небесных тел характерно «извечное равновесие и невозможность качественных изменений материи».

#### 2.1.5 Гипотеза В. Г. Фесенкова

Акад. Фесенков полагал, что процесс формирования планет широко распространен в природе и во вселенной существует много планетных

систем. В соответствии с позднейшими данными в области происхождения новых звезд В. Г. Фесенков считает, что Солнце и планеты образовались почти одновременно и из одной и той же исходной среды — уплотненного волокна газовой-пылевой туманности, находящейся в неустойчивом состоянии. В плотном волокне сформировалось звездообразное сгущение, окруженное исходной газовой-пылевой средой и вытянутое вместе с окружающим его облаком в плоскости экватора. Далее, под влиянием очень быстрого вращения, которое было у первичного Солнца, значительная часть газовой-пылевой материи не смогла присоединиться к центральному сгущению и все дальше и дальше удалялась от центра туманности по плоскости экватора, образуя нечто вроде диска или уплощенной линзы.

Центробежные силы и корпускулярное излучение у первичного Солнца были настолько значительными, что если бы плотность облака, окружающего солнце, была мала, то оно неизбежно рассеялось бы в мировом пространстве, не образуя никаких планет. Но так как средняя плотность облака солнца в плоскости экватора была значительна, то, вследствие неизбежных перепадов плотности, внутри облака возникали местные сгущения, способные противостоять разлагающему действию, как центрального тела, так и рассеивающему действию центробежной силы: из этих первичных местных сгущений и начали формироваться планеты Солнечной системы.

Гипотеза Фесенко была прогрессивной для конца 20 века и довольно точно объясняла происхождение и развития Солнечной системы.

#### 2.1.6 Современная теория – теория «Большого взрыва»

В основе современных взглядов на происхождение Вселенной лежит идея «Большого взрыва». Согласно этой теории вся материя Вселенной была сконцентрирована в ограниченном объеме, равном по размеру атому. Плотность этого изначального атома была  $10^{96}$  кг/м<sup>3</sup>. Для сравнения плотность атомного ядра составляет  $10^{18}$  кг/м<sup>3</sup>.

В силу необъяснимых пока причин около 12-20 млрд лет назад произошел взрыв этой сверхтяжелой точки, что привело к образованию огромного сгустка энергии, температурой 100 млрд °С. Первые 4 минуты после взрыва не существовало даже элементарных частиц. Через 700 тыс. лет в результате непрерывного расширения вещества Вселенной произошло его остывание до 4 тыс. °С. ядра и электроны, объединившись в стабильные газы водород и гелий, образовали облака, которые затем конденсировались в звезды и галактики. Сейчас насчитывается около 100 млрд галактик, которые разбегаются в стороны от изначального единого центра.

Вначале Галактика представляла собой совокупность газопылевых облаков, состоящих преимущественно из водорода, далее происходила трансформация газопылевых скоплений. В ходе турбулентного хаотичного движения вещества происходило уплотнение газопылевого облака и вступало в силу тяготение. Облако самопроизвольно начинало колапсировать-сжиматься до состояния вещества звезд и в центре сгущения

стали возможны термоядерные реакции. Это вызвало резкое увеличение объема с выделением огромного количества энергии и материи в виде взрыва (вспышка сверхновой звезды). Так 5 млрд. лет назад возникло Протосолнце и сформировалось постепенно уплотщающееся газовой-плазменное протопланетное облако.

Вокруг молодого Солнца за счет конденсации пылевидного вещества постепенно образовался широкий кольцеобразный диск. Из внутренних частей диска начали образовываться планеты типа Земля, состоящие в основном из тугоплавких элементов, а из периферических частей диска – большие планеты, богатые легкими газами и летучими компонентами.

Дальнейший разогрев вещества способствовал его первичной дифференциации, которая продолжалась в течение всей последующей геологической эволюции. Однако максимальной скоростью этого процесса была, вероятно, в догеологическое время. Дифференциация привела к концентрации тяжелых элементов во внутренних областях Протоземля и; на периферии скапливались сравнительно лёгкие элементы. Упорядочение материала повлекло за собой его уплотнение и самое главное - первоначальное *разделениена ядро и мантию*, что явилось основным результатом догеологической эволюции Земли, которая стала твердой планетой.

## 2.2 Строение Солнечной системы. Основные параметры Земли

2.2.1 Солнце и совокупность космических тел, обращающихся вокруг него, образуют Солнечную систему. Солнечная система располагается в пределах экваториальной плоскости галактического диска – Галактики Млечный путь. Наша Галактика вращается вокруг своего центра. Солнце и вся Солнечная система, двигаясь со скоростью  $240 \cdot 10^2$  м/с, совершает один оборот за 230 млн. лет. Это, так называемый Галактический год.

В Солнечную систему входят: Солнце, являющееся динамическим центром всей системы, 9 больших планет: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон (рисунок 1), 32 спутника планет, более 1800 малых планет или астероидов, много комет (отмечалось появление свыше 500 комет) и множество метеорных тел. Тщательные научные исследования дали обширную информацию о движении этих тел в

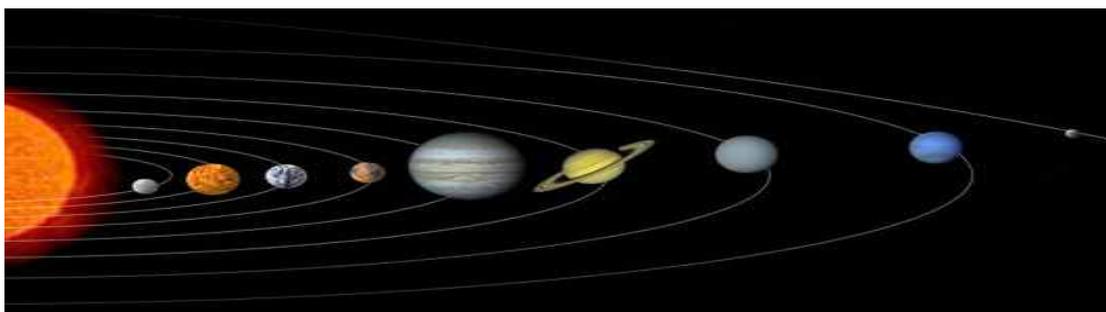


Рисунок 1 - Строение Солнечной системы

пространстве, что позволяет составить достаточно точный план строения Солнечной системы.

Все большие планеты движутся вокруг Солнца в одном направлении, против часовой стрелки, если смотреть со стороны северного полюса эклиптики (прямое движение). Их невозмущенные орбиты представляют собой эллипсы, с небольшими эксцентриситетами и малыми наклонениями к эклиптике.

Солнечная система располагается в пределах экваториальной плоскости галактического диска – Галактики Млечный путь. Наша Галактика вращается вокруг своего центра. Солнце и вся Солнечная система, двигаясь со скоростью  $240 \cdot 10^3$  м/с, совершает один оборот за 230 млн. лет. Это, так называемый Галактический год.

Солнечная система включает Солнце и девять планет, обращающихся вокруг него: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон –

По своим физическим характеристикам планеты Солнечной системы образуют две различные группы: планеты земного типа (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон).

Планеты земной группы небольшие по размерам, имеют значительную плотность и состоят в основном из силикатов металлов (рисунок 2).



#### Меркурий

Масса =  $3,3 \cdot 10^{20}$  тонн Температура поверхности = от  $-180^\circ$  до  $+440^\circ$  С  
Плотность =  $5,43$  г/см<sup>3</sup> Диаметр =  $4\,878$  км Скорость движения по орбите =  $48$  км/с Ускорение свободного падения =  $3,78$  м/с<sup>2</sup>



#### Венера

Масса =  $4,87 \cdot 10^{21}$  тонн Температура поверхности =  $480^\circ$  С Плотность =  $5,25$  г/см<sup>3</sup> Диаметр =  $12\,104$  км



#### Земля

Масса  $-5,98 \cdot 10^{24}$  тонн . Площадь геоида –  $510,2$  млн км. Радиус полярный –  $6356,78$  км, радиус экв.  $-6378,16$  км.



#### Марс

Расстояние от солнца =  $227\,940\,000$  км Ускорение свободного падения =  $3,76$  м/с<sup>2</sup> Масса =  $6,418 \cdot 10^{20}$  тонн Плотность =  $3,95$  г/см<sup>3</sup>



#### Пояс астероидов (Фазтон)

Между орбитами Марса и Юпитера вокруг Солнца обращается множество тел, названных малыми планетами, или астероидами первые астероиды были открыты в начале прошлого века, а с середины века благодаря прогрессу телескопической техники астероиды стали открывать сотнями.

Рисунок 2 - Сведения о планетах земной группы

Планеты – гиганты (рисунок 3) обладают весьма малой плотностью, более высокими скоростями вращения вокруг своей оси и состоят из легких летучих элементов (водород, гелий, метан, аммиак, вода).



### Юпитер

Радиус = 71 492 км Масса =  $1,898 \times 10^{24}$  тонн Плотность = 1,33 г/см<sup>3</sup> Сутки = 9 часов 55 минут 30 секунд



### Сатурн

В античной мифологии **Сатурн был божественным отцом Юпитера**. Сатурн был богом **Времени и Судьбы**. Сатурн второй как по массе, так и по размерам. Это водно-гелиевая планета. Плотность=0,7 г/см<sup>3</sup> Сутки = 10 часов 50 минут 30 секунд

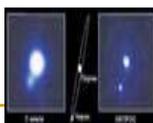


### Уран

Расстояние от Солнца - 19,2 а.е., экваториальный диаметр - 51,1 тыс. км, в 4 раза больше земного, масса:  $8,68 \times 10^{25}$  кг, 14,5 масс Земли. Период обращения вокруг Солнца - 84 года. Средняя температура на Уране - около 60-ти Кельвинов. Уран - старинное Греческое божество Неба, самый ранний высший бог, который был отцом Хроноса (Сатурна), Циклопа и Титана (предшественников Олимпийских богов).



**Нептун** удален от Солнца на 30 а.е., диаметр планеты - 49,5 тыс. км, что около 4-х земных, масса - около 17 масс Земли. Период обращения вокруг центрального светила - 165 неполных лет. Средняя температура - 55 К. В римской мифологии Нептун (Греч. Посейдон) был богом моря



### Плутон

Радиус = 1 195 км Масса =  $1,51 \times 10^{19}$  тонн Плотность = 1,1 г/см<sup>3</sup> Сутки = 6 дней 9 часов 17 минут

## Рисунок 3 – Сведения о планетах гигантах

2.2.2 Масса Земли, ее плотность и давление внутри. Масса Земли определена астрономами с большой точностью и составляет  $5,976 \cdot 10^{21}$  т. Если сравнить ее с массой, например, человека ( $6 \cdot 10^2$  т), то она огромна; если с массой Солнца, небольшой звезды ( $2 \cdot 10^{27}$  т) - это песчинка в космосе. Средняя плотность Земли  $5,52$  г/см<sup>3</sup>, что значительно превышает плотность самого распространенного на Земле минерала — кварца ( $2,7$  г/см<sup>3</sup>), которая принята как характеристика всей земной коры. Есть в земной коре более легкие (нефть —  $0,7$ , вода —  $1,0$  г/см<sup>3</sup>) и более тяжелые минералы, такие, как золото ( $19$  г/см<sup>3</sup>), платина ( $21,4$  г/см<sup>3</sup>) и еще более тяжелые. Как правило, чем больше плотность минералов, тем их в земной коре меньше. Используя данные о плотности минералов, а также скорости распространения сейсмических волн в различных частях планеты, ученые подсчитали плотность вещества внутри Земли и давление, которое там господствует. Так, на глубине до 100 км средняя плотность не превышает  $2,7$  г/см<sup>3</sup>, тогда как в центре Земли она достигает  $13,0$  г/см<sup>3</sup>. Давление в тех же пределах возрастает от  $1 \cdot 10^3$  до  $361 \cdot 10^3$  МПа.

2.2.3 Физические поля Земли. Тепловое поле Земли. За долгие годы существования Земли средняя температура ее поверхности,

обнаруживая тенденцию к уменьшению, изменялась незначительно: от 71 °С 3 млрд лет назад до 17°С в настоящее время. Большое количество тепла Земля получает от Солнца с лучистой энергией. Около половины его поглощают атмосфера, растительность и приповерхностный слой земной коры; половина отражается в мировое пространство. Точными расчетами установлено, что Земля излучает в мировое пространство больше тепла, чем она получает от Солнца. Единственное объяснение этому — наличие в недрах источников тепла, которое компенсирует потери тепла планетой. Предполагают, что к внутренним источникам тепла следует отнести остаточное тепло земного шара, сохранившееся с того времени, когда Земля была расплавлена; тепло, возникающее в процессах термоядерных реакций; тепло гравитационного сжатия Земли под действием силы тяжести; тепло химических реакций и процессов кристаллизации; вероятно, могут быть и другие, второстепенные источники тепла, такие, как приливное трение.

Тепловой поток из недр поддается измерениям; его изучение показывает, что наибольшее количество тепла Земля излучает в подвижных зонах, испытывающих интенсивные тектонические движения, — в горах или глубоких впадинах; меньше всего тепла уходит с огромных выровненных площадей — материковых платформ. Самые большие тепловые потоки связаны, как правило, с районами извержений современных вулканов. Геофизики указывают, что тепловой поток тем больше, чем ближе к поверхности находится астеносфера.

Солнце, внешний источник тепла Земли, прогревает атмосферу, гидросферу и вместе с ними приповерхностный слой Земли на глубину 8—30 м, суточные и сезонные колебания температуры при этом от - 89 °С до +70°С и выше. На средней глубине 25 м влияние солнечного излучения на температуру Земли кончается, и она становится постоянной. Глубина эта минимальна в областях с морским климатом и максимальна в приполярных областях, где господствует резко континентальный климат. Еще глубже, до нескольких сотен метров, слой с постоянной температурой опускается там, где выше него развита многолетняя (вечная) мерзлота. Этот слой Земли — слой постоянной температуры, или нейтральный, — обычно имеет температуру, равную среднегодовой для данной местности (например, в Москве его температура равна + 4,2 °С, в Иркутске — около 0°С).

Ниже нейтрального слоя температура неуклонно повышается в среднем на 1 °С через каждые 33 м, или на 3 °С через каждые 100 м. Первая величина — глубина, на которой температура повышается на 1 °С, называется геотермической ступенью, вторая — повышение температуры на единицу глубины — геотермическим градиентом. Геотермическая ступень в разных местах Земли значительно отличается от средней: например, в районе Пятигорска она равна 1,5 м, а в штате Алабама (США) достигает 138 м.

Вариации геотермической ступени, как показывает термометрия— раздел геофизики о тепловом поле Земли, связаны со строением литосферы, составом земной коры и, главным образом, с тепловым потоком, идущим к поверхности из недр. Большое влияние на величину геотермической ступени оказывают теплопроводность горных пород (чем она больше, тем меньше геотермическая ступень) и условия залегания горных пород, с которыми связана их теплопроводность. Геотермическая ступень зависит также от условий циркуляции подземных вод и их температуры. Вблизи дневной поверхности она увеличивается с увеличением расчлененности рельефа, близостью больших водоемов и резко уменьшается в районах вулканической деятельности, а также на площадях нефтяных, газовых и угольных месторождений, где широко развиты экзотермические процессы.

С глубиной геотермическая ступень должна значительно увеличиваться: по данным Б. А. Магницкого, температура в центре Земли не может превышать  $5000\text{ }^{\circ}\text{C}$  (по другим данным,  $10\ 000^{\circ}\text{C}$ ), тогда как, если считать, что средняя геотермическая ступень с глубиной не изменяется, температура там должна достигать  $200\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В. А. Магницкий объясняет этот парадокс тем, что слои Л к В, по Буллену, уже начали остывать, и только более глубокие части Земли продолжают генерировать тепло.

Магнитное поле Земли. Земля — магнит с полюсами, не совпадающими с географическими. Один из них, северный, сейчас расположен к северу от Гудзонова залива, а другой, южный — к югу от Новой Зеландии, в Антарктиде. Линии, соединяющие магнитные полюса по поверхности земного шара, называют магнитными меридианами.

В 1967, г. в Мексике была найдена железная призма длиной 34 мм, которую, как предполагают, в X в. до, н.э. клали на плавающую в воде кору и получали примитивный компас. Стрелка — железная призма — располагалась параллельно магнитному меридиану. Несколькими веками позже компас стал известен в Китае, а затем и в других странах. Но только в XVI в. поведение магнитной стрелки было обосновано научно.

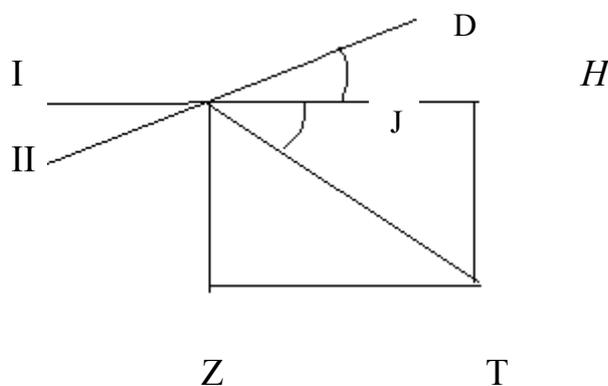


Рисунок 4 – Вектор напряженности магнитного поля T и его составляющие

Условные обозначения: Z — вертикальная; H — горизонтальная; D — магнитное склонение; / — наклонение; I и II — соответственно географический и магнитный меридианы

Магнитное поле окружает Землю на расстоянии до нескольких тысяч километров; форма магнитосферы — так называют это поле — напоминает длинный хвост магнитных силовых линий, вытянутых в сторону от Солнца солнечным ветром. Вблизи Земли магнитосфера представляет собой магнитное поле, которое могло быть образовано гигантским диполем. Оно имеет небольшую напряженность, возрастающую к полюсам. Напряженность магнитного поля — величина векторная. Вектор напряженности поля только на экваторе расположен горизонтально, параллельно поверхности Земли; у полюсов — вертикально, а между экватором и полюсами он занимает все промежуточные положения (рисунок 5).

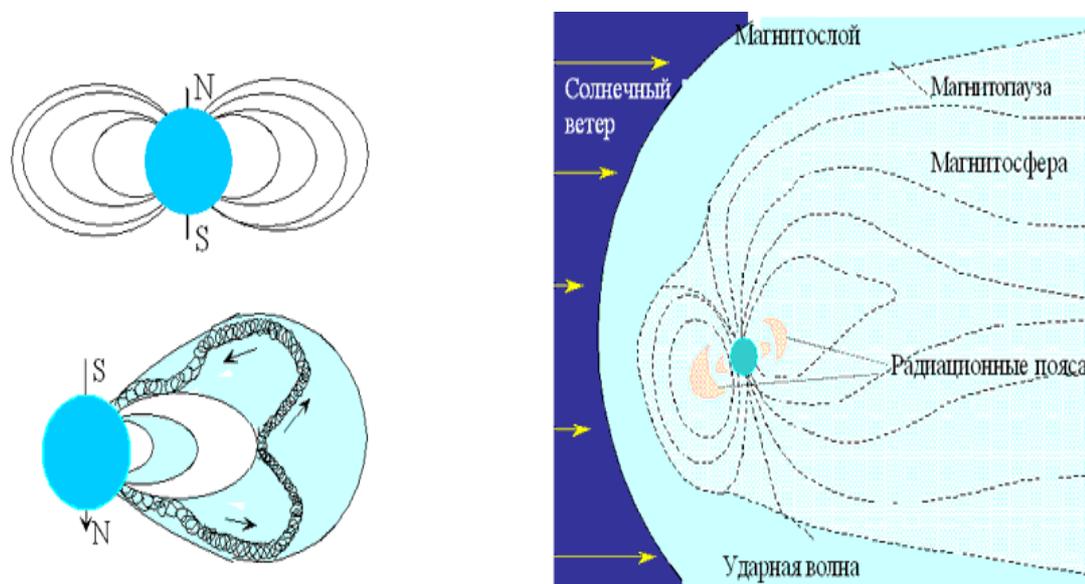


Рисунок 5- Магнитное поле Земли

Поэтому с горизонталью этот вектор образует угол, который называется магнитным наклонением. Угол между магнитным и географическим меридианами называется магнитным склонением и считается положительным (восточным), если отсчитывается от географического меридиана к востоку, или отрицательным (западным), если отсчитывается к западу. Лишь кое-где магнитное склонение превышает по абсолютному значению  $10^\circ$ . Несмотря на это, в показания компаса обязательно надо вносить поправку на магнитное склонение, определяемую по картам изогон, на которые нанесены линии равных магнитных склонений (карты с линиями равных магнитных наклонений называются картами изоклин, а равных горизонтальных и вертикальных

составляющих вектора напряженности магнитного поля — картами изодинам).

Напряженность магнитного поля изменяется в пространстве и во времени. В пространстве она изменяется очень сложно из-за аномалий (отклонений). Аномалии бывают локальными, площадью в несколько квадратных километров, и региональными, охватывающими площади в сотни и тысячи квадратных километров. Эти аномалии связаны с залегающими в земной коре ферромагнитными соединениями. Интенсивность таких аномалий различна. Например, в Курской магнитной аномалии (КМ А) напряженность магнитного поля возрастает по сравнению с фоновой в 4 раза. Анализ напряженности магнитного поля в районах аномалий позволяет безошибочно находить ряд полезных ископаемых, Этим занимается магнитометрия — часть геофизики. Мировые аномалии занимают целые материки и, видимо, связаны с самим источником магнитного поля.

Изменения магнитного поля во времени называются вариациями магнитного поля. Быстрые вариации, длящиеся от долей секунды до нескольких дней, называют возмущениями, а мощные нерегулярные возмущения — магнитными бурями, как правило, связанными со вспышками на Солнце. Вековые вариации обнаруживают себя в медленном, около двух угловых минут долготы в год, перемещениями мировых аномалий на запад (западный дрейф магнитного поля). Палеомагнитные вариации, которые обнаруживаются по остаточной первичной намагниченности некоторых пород, содержащих большое количество железа, заключаются в том, что напряженность магнитного поля Земли то уменьшается, то возрастает с периодом около 10 тыс. лет. Через определенные промежутки времени (300—400 млн лет назад через 10—20 млн лет, 200 млн лет назад — через несколько млн лет, а еще ближе к нашему времени — через 1 — 0,5 млн лет, даже до 0,1 млн лет) происходили инверсии магнитного поля и в нем возникала обратная полярность, когда полюса менялись местами. И, наконец, геомагнитные полюса постоянно перемещаются по поверхности Земли. Эти перемещения настолько заметны, что для точных геодезических работ карты магнитного склонения составляются ежемесячно.

Предполагают, что магнитное поле образовано не общей намагниченностью земного вещества, хотя бы потому, что при высоких температурах в недрах Земли магнитные свойства вещества неизбежно должны быть утрачены, а связано с системой электрических токов, наведенных в жидкой части ядра, которое вращается медленнее, чем вся Земля. Это объясняет и западный дрейф поля.

Гравитационное поле Земли. Гравитационное поле Земли знакомо каждому и настолько привычно, что его обычно не замечают. Но оно есть, и не считаться с ним нельзя: не будет преувеличением сказать, что сила тяжести определяет все геологические процессы, протекающие на поверхности Земли, и во многом — внутри нее. Сила тяжести —

равнодействующая силы притяжения и центробежной силы; сила притяжения является функцией массы тел и расстояния между ними. Масса Земли огромна, поэтому вокруг нее существует мощное гравитационное поле. Ускорение свободного падения, принятое за эталон, измерено в Потсдаме и равно  $981,274 \text{ см/с}^2$ . Сила тяжести зависит:

1) от положения места измерения относительно уровня океана, так как чем это место выше, тем дальше оно находится от центра Земли, тем больше центробежная сила и меньше сила тяжести; и наоборот, чем оно глубже, тем сила тяжести больше. При намерениях одной из необходимых поправок служит приведение результатов к поверхности геоида (редукция Буге), позволяющее сравнивать результаты измерений, полученные на разных высотах;

2) от широты местности, с которой связана центробежная сила, уменьшающаяся до нуля на полюсах, что приводит к увеличению в том же направлении силы тяжести; этому же способствует уменьшение радиуса Земли к полюсам (ускорение свободного падения на экваторе равно  $978,049 \text{ см/с}^2$ , а на полюсах -  $983,235 \text{ см/с}^2$ );

3) от присутствия в земной коре более плотных масс, обуславливающих положительные аномалии силы тяжести, или менее плотных — отрицательные;

4) от строения Земли и, главным образом, земной коры.

Изучение аномалий силы тяжести — основа поисков месторождений полезных ископаемых, отличающихся по плотности от окружающих пород. Раздел геофизики — гравиметрия — использует для получения данных о силе тяжести очень чувствительные и точные приборы, которые называются гравиметрами. Простейшим гравиметром могут служить обычные пружинные весы, показания которых пропорциональны силе тяжести в том месте, где производят измерения.

Вопросы для самоконтроля:

1. Назовите планеты Солнечной системы по мере удаления от Солнца.
2. Что означает понятие «планеты Земного типа»?
3. Что такое галактический год?
4. Что вы можете рассказать о планете Фэтон?
5. Какие методы используют для изучения внутреннего строения Земли?
6. Какие геосферы образуют Землю?
7. Какую роль играет астеносфера в развитии тектоносферы?
8. В каких пределах находятся плотность и давление внутри Земли?
9. Как проявляется тепловое поле Земли и как изменяется температура Земли с глубиной?
10. Как изменяется напряженность магнитного поля Земли во времени и пространстве?
11. От чего зависит сила тяжести на Земле?

## 3 СТРОЕНИЕ ГЕОСФЕР

### 3.1 Методы изучения геосфер Земли.

Изучение внутреннего строения Земли производится различными методами. Их можно разделить на методы непосредственных наблюдений и косвенные методы.

К методам непосредственных наблюдений относится изучение глубин Земли с помощью горных выработок - шахт, тоннелей, скважин, шурфов, канав, описания обнажений горных пород. Для этого используют любые горные выработки, но шире всего используют скважины, особенно пробуренные в поисках нефти и других полезных ископаемых. Глубина таких скважин редко превышает 5 км. Сверхглубоких скважин, которые бурят для изучения верхних частей Земли, уже несколько: на Кольском полуострове, в Азербайджане, на Урале и в других местах в Советском Союзе и за рубежом. Глубина сверхглубоких скважин находится в пределах современных технических возможностей и пока не превышает 15 км. А этого очень мало, чтобы судить обо всей Земле.

Непосредственные данные о том, что находится внутри Земли, получают, изучая извержения вулканов и лаву, изливающуюся из недр. Но и здесь, даже если принять глубину очагов некоторых извержений в 100 км, данных оказывается крайне недостаточно.

Косвенный метод изучения глубин – это геокартирование. В его основе лежит построение по геологическим картам вертикальных геологических разрезов. Так как слои земной коры во многих местах залегают не горизонтально, а наклонены тектоническими движениями, их можно проследить на глубину 15—20 км. Такая глубина резко ограничивает возможности метода для изучения более глубоких частей Земли.

Геофизические методы также являются косвенными. Но они позволяют, изучая физические параметры Земли — электропроводность, силу тяжести и другие, говорить о том, что и в каком состоянии находится внутри Земли, практически не ограничивая глубины исследований. Это, конечно, не означает, что геофизики полностью раскрывают тайны земных недр. Объем данных, которые получают с помощью геофизических методов, невелик, они допускают различные толкования, и с глубиной их надежность уменьшается. Несмотря на это, геофизические методы пока единственные приносящие научно обоснованные сведения о том, что делается внутри Земли. Особенно много интересных данных было получено при изучении скоростей распространения в Земле упругих колебаний, которые называют сейсмическими волнами. Раздел геофизики, который посвящен этим волнам, называется сейсмологией.

Сейсмические волны проходят в Земле при землетрясениях, падении метеоритов, атомных и обычных взрывах. Время прихода сейсмических волн к наблюдателю и их амплитуда фиксируются приборами —

сейсмографами, главной деталью которых является тяжелый маятник. Чувствительность сейсмографов очень велика, поэтому их устанавливают вдали от «фоновых» источников сотрясений Земли (заводов, железных дорог и других) в глубоких шахтах, на прочном фундаменте.

Сейсмические колебания в земной коре генерируют два типа сейсмических волн: волны-предвестники, которые могут проходить через всю Землю, и поверхностные волны, имеющие значительно большие амплитуды, но проходящие только вблизи ее поверхности. Таким образом, для изучения внутренних частей Земли наибольший интерес представляют волны-предвестники. Они могут быть как продольными (колебания частиц вещества происходят по направлению распространения волн), так и поперечными (колебания совершаются перпендикулярно к направлению распространения волн). Скорость продольных волн заметно больше, чем поперечных; последние не проходят через жидкости. Если наблюдатель достаточно удален от источника сейсмических волн, то они пройдут к нему по хорде или даже через центр Земли.

Изучение скорости распространения сейсмических волн показало, что с глубиной их скорость изменяется либо скачкообразно (сейсмические разделы I порядка), либо постепенно (сейсмические разделы II порядка), обнаруживая устойчивую тенденцию увеличиваться к центру Земли.

Изменение скоростей сейсмических волн на поверхностях разделов может быть связано с изменением плотности вещества или его фазового состояния, или и того и другого вместе. Поверхности разделов ограничивают внутри Земли сфероподобные оболочки и ее ядро. Такие оболочки получили название внутренних геосфер. К внешним геосферам относят биосферу, гидросферу и атмосферу. Биосфера, сфера распространения жизни, занимает всю гидросферу и пограничный слой литосферы с атмосферой. Фазовое состояние геосфер различно: атмосфера — газ, гидросфера — жидкость, литосфера — твердая. Верхняя мантия в части, подстилающей литосферу, сложена веществом с относительно малой вязкостью. Вообще же мантия состоит из аморфного вещества, в той или иной степени насыщенного газами и достаточно подвижного. Внешнее ядро, по всей вероятности, жидкое, так как через него не проходят поперечные сейсмические волны. Внутреннее ядро, судя по большим скоростям сейсмических волн, твердое.

## **3.2 Характеристика основных внешних и внутренних геосфер**

3.2.1 Внешние геосферы. Атмосфера располагается от поверхности Земли на высоту до 1300 км, но уже выше 100 км ее следы ничтожны. Главные компоненты, слагающие атмосферу, — азот, кислород, аргон, углекислота и пары воды; другие газы постоянно в ней присутствуют, не достигая больших количеств, но часто имеют большое значение в жизни атмосферы.

Так, промышленные газы и техногенная пыль создают ощутимый парниковый эффект, приводящий к разогреву атмосферы за счет поглощения значительной части инфракрасного излучения поверхности Земли, нагретой Солнцем. Озон, концентрируясь на высоте 10—15 км, образует озоновый слой, предохраняющий все живое от вредного ультрафиолетового излучения Солнца; этот слой может быть разрушен вследствие поступления в атмосферу веществ, которые разрушают озон, и, в частности, техногенного фреона. Атмосфера состоит из нескольких слоев: тропосферы до высоты 8 км над полюсами и 17 км над экватором, стратосферы до высоты 55 км и ионосферы, крайне разреженный воздух которой ионизирован ультрафиолетовым излучением Солнца и способен проводить электрический ток.

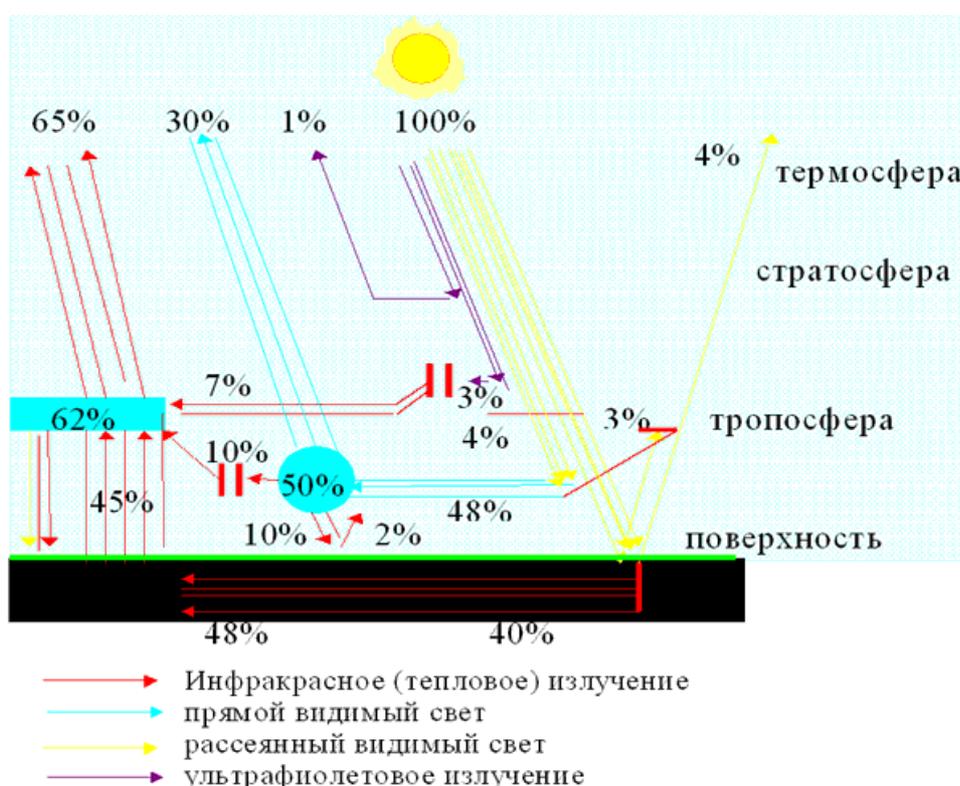


Рисунок 6 - Строение атмосферы

Физические процессы в атмосфере, главным образом в тропосфере, определяют погоду, а она, в свою очередь, — климат. Главными типами климата являются гумидный, характеризующийся избыточным увлажнением и достаточно высокой температурой воздуха, аридный — сухой, с высокими температурами воздуха, характерный для пустынь и полупустынь, нивальный — холодный климат с осадками, главным образом, в виде снега, характерный для высокогорных районов и высоких широт, и тропический климат, жаркий и влажный. Климат может быть

континентальным, с большой разницей ночных и дневных температур, и морским, с незначительной разницей этих температур.

*Гидросфера*, или водная оболочка Земли, включает воду морей и океанов, рек, озер и болот, а также льды ледников. К гидросфере следует отнести и подземные воды, нижняя граница распространения которых уходит на значительную глубину. По данным В. И. Вернадского, общее количество воды в гидросфере составляет 1,8 млрд. км<sup>3</sup>.

*Биосфера* образует зону на границе атмосферы и литосферы, которая включает и гидросферу, и характеризуется тем, что в ней есть органическая жизнь. Большая роль в изучении биосферы принадлежит В. И. Вернадскому. Органическая жизнь в биосфере распространена практически везде, но больше всего ее в морях и океанах. Разнообразие форм жизни, длительность развития органического мира существенно влияют на течение геологических процессов. В начале XIX в. К. Эренберг писал, что только единственная диатомовая водоросль, не встречая врагов, за 8 дней может образовать массу, равную массе Земли. В. И. Вернадский считал, что кислород атмосферы — продукт биосферы; это подтверждают новые доказательства. Почвы, торф, каменные угли и, вероятно, часть нефтей, известняки, фосфориты и другие образования обязаны своим появлением биосфере.

3.2.2 Внутренние геосферы. Представление о внутреннем строении Земли основано на изучении характера распределения в земных недрах упругих колебаний - сейсмических волн. Они могут вызываться как естественным (при землетрясениях), так и искусственным путями (взрывы).

Недра Земли в зависимости от свойств и плотности слагающих их веществ делят на несколько оболочек или внутренних геосфер: земная кора, мантия, ядро.

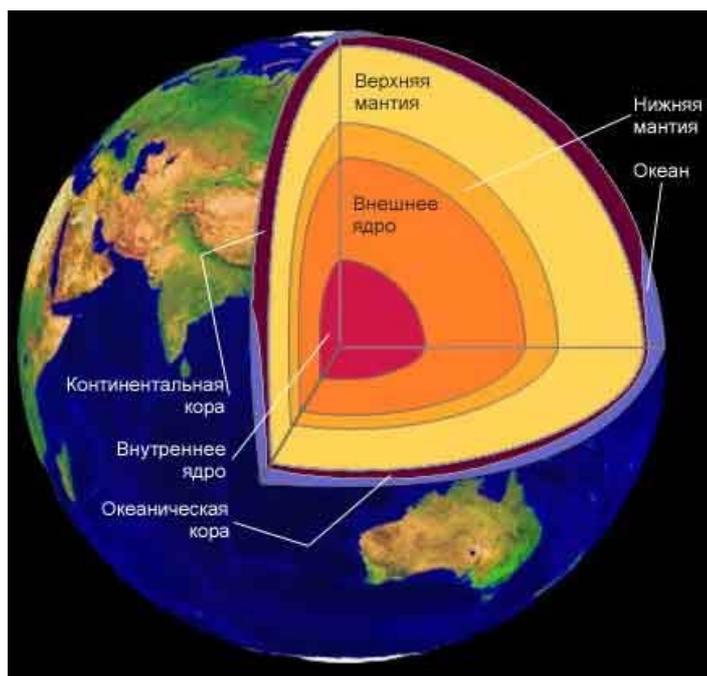


Рисунок 7 - Строение Земли

3.2.1 Земная кора (слой А) 1 — самый верхний твердый слой планеты. От нижележащих геосфер она отделена поверхностью *М* (*Мохо*, *Мохоровичича*), названной так в честь югославского геофизика Мохоровичича.

Глубина залегания этой поверхности различна: на континентах от 35 до 70 км, в океанах от 5 до 15 км; в среднем — 33 км.

При переходе этой границы меняются химический состав вещества и его плотность, в связи с чем, происходит скачкообразное увеличение скорости распространения упругих волн (продольных от 6,8 до 8,4 км/с; поперечных от 3,7 до 4,7 км/с). Средняя плотность горных пород, составляющих земную кору, составляет  $2,8 \cdot 10^3$  кг/см<sup>3</sup>, изменяясь от 1,6 до  $3,2 \cdot 10^3$  кг/см<sup>3</sup>. На долю земной коры приходится около 0,8 % всей массы нашей планеты.

3.2.2 Мантия (слои В, С, D) 2, 3, 4 - представляет собой вещественный комплекс, залегающий между поверхностями Мохоровичича и Вихерта-Гутенберга соответственно в интервале глубин от 33 км (в среднем) до 2900 км. Это самая мощная геосфера Земли. На ее долю приходится 83 % ее объема и почти 66 % массы (рисунок 5).

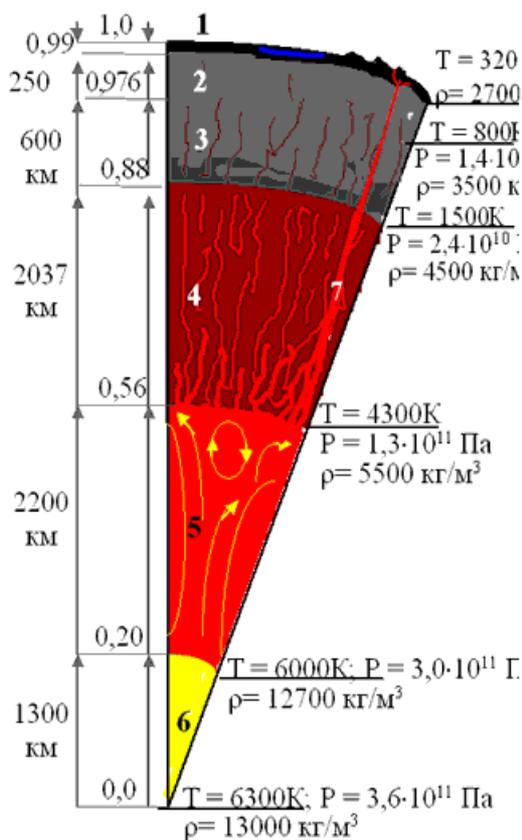


Рисунок 8 - Внутренние геосферы

3.2.3 Ядро (слои E, G) 5, 6 - занимает центральную часть Земли, составляя около 17 % ее объема и 34 % массы. В пределах ядра сейсмологические данные позволяют выделить: внешнее ядро, переходную оболочку и внутреннее ядро.

### 3.3 Понятие литосферы

Земная кора в совокупности с верхней частью мантии (до астеносферы) составляет литосферу, то есть *литосфера* - это твердая оболочка Земли, состоящая из земной коры и верхней части мантии (от греч. lithos - камень и sphaira - шар). Известно, что существует тесная связь между литосферой и мантией Земли (рисунок 6).

Многие ученые считают, что литосфера разделена глубинными разломами на блоки, или плиты, разной величины. Эти плиты перемещаются по разжиженному слою мантии астеносфере относительно друг друга. Литосферные плиты бывают материковые и океанические (мы немного рассказывали чем они отличаются). При взаимодействии материковой и океанической плит одна надвигается на другую. Из-за своей меньшей толщины край океанической плиты как бы "ныряет" под край континентальной плиты. При этом образуются горы, глубоководные желоба, островные дуги. Наиболее яркий пример такого образования - Курильские острова и Анды

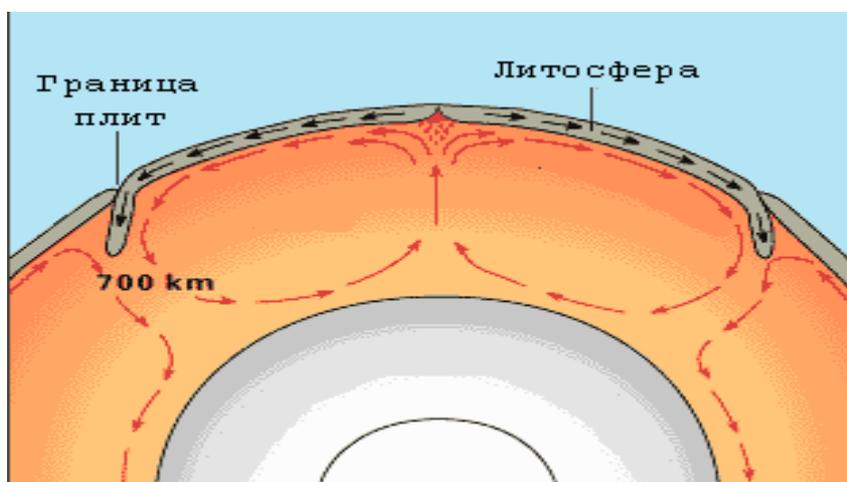


Рисунок 9 - Литосфера

Кроме внутренних (земной коры, мантии и ядра) Земля имеет также внешние геосферы: атмосферу, гидросферу и биосферу. Геологическая деятельность атмосферы, гидросферы и биосферы будет рассмотрена в последующих главах.

## Вопросы для самоконтроля:

1. Назовите основные геосферы.
2. Чем отличаются понятия «литосфера» и «земная кора»?
3. На основании каких данных было произведено деление оболочек Земли?
4. Что такое астеносфера?
5. Какой состав имеет внутреннее ядро?
6. Назовите внешние геосферы Земли?
7. Что такое литосфера?

## 4 ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АТМОСФЕРЫ

### 4.1 Выветривание. Геологическая роль выветривания

4.1.1 Совокупное влияние колебаний температуры, воздействия атмосферы, воды и организмов на горные породы, приводящее к их изменению и разрушению, получило название выветривание. Различают две фазы выветривания - дезинтеграцию и химическое разложение.

Дезинтеграция представляет собой механическое разрушение пород с образованием частиц меньшего размера, состоящих из того же материала, что и коренная порода.

При химическом разложении изменяются первичные минералы. Как правило, процессы дезинтеграции протекают одновременно, тем не менее, в зависимости от преобладания того или иного разрушающего фактора, различают физическое, химическое и биологическое выветривание

4.1.2 Типы выветривания. *Физическое выветривание* протекает под влиянием колебаний температуры, поэтому иногда его называют температурным выветриванием. Минералы, слагающие горные породы, имеют неодинаковые коэффициенты линейного и объемного расширения, т. е. по-разному реагируют на нагревание и охлаждение. Особенно активно эти процессы протекают в районах с континентальным климатом, где отмечается резкая разница в сезонных и суточных температурах.

Физическое выветривание усугубляется периодическим намоканием породы и ее последующим высыханием, ростом кристаллов различных солей в порах и трещинах породы, разрушающим действием корневой системы растений. Вместе все эти факторы разрушают массив горной породы, ослабляют связи между слагающими ее частицами и, в конечном итоге, дезинтегрируют породу, которая сначала превращается в отдельные глыбы, потом — в более мелкие обломки, а далее — в щебень, гравий и песок

*Химическое выветривание* представляет собой процесс разрушения горной породы, обусловленный распадом слагающих ее минералов вследствие различных химических процессов. Обычно химическое выветривание протекает одновременно с тем или иным видом физического выветривания.

К числу химически активных веществ, содержащихся в атмосфере и воздействующих на породу, в первую очередь, следует отнести кислород, воду, угольную кислоту, различные органические кислоты. Они обеспечивают протекание основных химических реакций разрушения — окисления, гидратации, карбонизации, растворения и гидролиза.

*Биологическое выветривание* производят живые организмы (микроорганизмы, черви, насекомые, мелкие грызуны) и растения. Особенно активно разрушают горные породы микроорганизмы (бактерии, грибки, вирусы, бактериофаги), населяющие верхний слой почвы. Вблизи поверхности их содержание в 1 см<sup>3</sup> грунта составляет сотни миллионов, на глубине 1-2 м — десятки тысяч, а на глубине 4 м — сотни



Рисунок 10 - Результаты физического выветривания

Разрушают горные породы и сравнительно высокоорганизованные роющие животные (суслики, кроты). Сооружая норы в верхнем слое грунта, они разрыхляют его, в значительной степени способствуя дальнейшему выдуванию или вымыванию пылеобразного материала и образованию золовых котловин.

Низшие и высшие растения также воздействуют на горные породы. Мхи и лишайники, покрывающие скальные склоны, в процессе жизнедеятельности выделяют кислоты (щавелевую, угольную), разрушающие породы. Корневая система высших растений, проникая в трещины горных пород, вызывает увеличение размеров трещин. Все это также способствует разрушению горных пород

4.1.3 *Продукты выветривания.* Обычно все виды выветривания оказывают совокупное воздействие на горные породы. В результате этого они не только разрушаются, но и образуют специфические продукты выветривания, которые в дальнейшем участвуют в формировании новых осадочных пород - элювия, делювия и коллювия.

*Элювий* (лат. вымывать) - продукты выветривания (чаще химического), которые остаются на месте первоначального залегания коренных пород.

*Делювий* (лат. смываю) – удаление выветрелого материала вниз по склону за счет гравитационных сил и смыва.

*Коллювий* (лат. скопление) – продукты выветривания, смещенные вниз по склону за счет силы тяжести – щебнисто-глыбовые осыпи

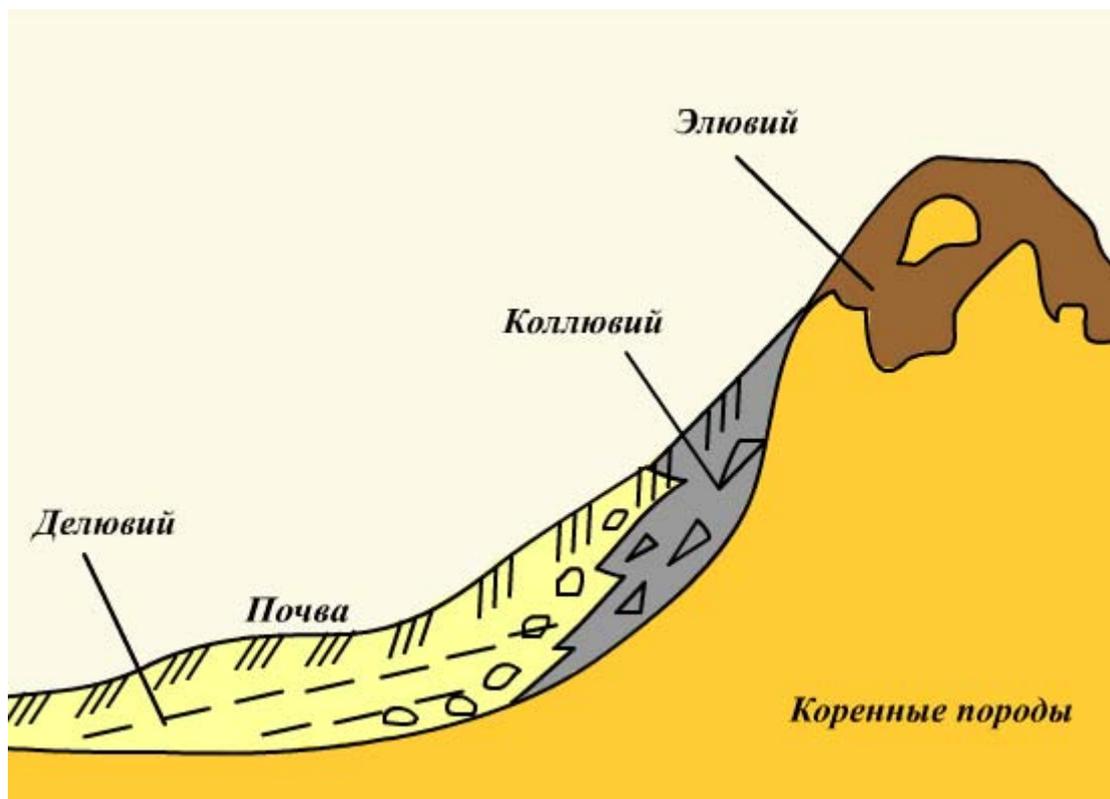


Рисунок 11 - Продукты выветривания

4.1.4 *Кора выветривания.* Совокупность продуктов выветривания, залегающих на месте своего образования или перемещенных на небольшое расстояние, но не потерявших связи с материнской породой, называют корой выветривания мощность которой может меняться от нескольких сантиметров до 100 м и более. По времени образования различают современную кору выветривания, или элювий, и древнюю, или ископаемую, кору выветривания. Максимальная мощность коры выветривания характерна для жарких и влажных климатических зон. В зависимости от минерального состава различают каолиновую, латеритную, окисленных руд, обломочную и другие коры выветривания. Коры выветривания бывают современные и ископаемые.

С ископаемыми корами связаны месторождения многих полезных ископаемых: каолина, бокситов, железных и никелевых руд, россыпей драгоценных металлов и т. д.

В зоне выветривания снизу вверх происходит увеличение степени трещиноватости и пористости пород, а также увеличение степени их измельчения и разложения. В связи с этим наблюдается ряд последовательных переходных стадий от свежих неизмененных коренных пород к продуктам полного химического разложения, которые сохраняют «остаточную» структуру и текстуру, свойственную коренным породам. Изменение физического состояния продуктов выветривания и их химического состава обуславливает зональность в строении коры выветривания.

Границы между зонами неровные, неотчетливые и перемещаются в глубину по мере развития коры выветривания. Состав пород и тип древней коры выветривания определяются составом коренных пород, климатическими условиями и стадией выветривания. Известно несколько типов древнего выветривания — каолиновый, латеритный, нонtronитовый и др.

На древний тип выветривания накладываются еще процессы современного выветривания, которые выражаются в ожелезнении, окремнении, карбонатизации и огипсовании пород древней коры выветривания, что весьма осложняет ее изучение.

В настоящее время древняя кора выветривания сохраняется в тех участках рельефа, где на ней залегают более молодые породы, предохраняющие ее от размыва.

В зависимости от форм и условий залегания коренных пород древняя кора выветривания имеет площадное, линейное или трещинное распространение.

Возраст древних кор выветривания самый различный. Существование коры выветривания в архейское и протерозойское время пока прямо не доказано из-за интенсивного метаморфизма пород. Однако в архейских отложениях Восточной Сибири известны корунды, которые, по мнению некоторых геологов, представляют собой метаморфизованные бокситы. Кора выветривания девонского возраста известна в Воронежской области, в Донбассе и отчасти на Урале. Мезозойская кора выветривания (Т, J, Сг) широко была развита на Урале, в Донбассе, Казахстане, Средней Азии и т. д.

Практическая ценность древней коры выветривания огромна, так как с ее образованием связано происхождение крупных месторождений важных полезных ископаемых, как, например, каолинов, бокситов, никелевых, железных, марганцевых и других руд.

*Каолиновая кора выветривания.* На Среднем Урале на гранитных массивах развита мощная каолиновая, кора выветривания. Нижнюю ее зону мощностью 50—80 м составляет дресва, состоящая из мелких остроугольных обломков гранита. Выше следует гидрослюдистая зона, сложенная глинистыми минералами, представляющими собой промежуточные продукты выветривания алюмосиликатов. Верхняя —

каолиновая зона мощностью 30—50 м состоит из каолинита белого цвета с примесью зерен кварца, неразложившихся слюд и полевых шпатов. Эти первичные каолины обнаруживают постепенные переходы к неизменным гранитам и сохраняют их структуру. Вторичные каолины являются результатом размыва и переотложения первичных каолинов и залегают в виде пластов среди осадочных пород. Они отличаются от первичных каолинов чистотой, отсортированностью и отсутствием примеси обломочного материала.

Каолины являются важным полезным ископаемым. Они применяются для производства фарфоро-фаянсовых и огнеупорных изделий, а также в бумажной, алюминиевой, резиновой, химической и других отраслях промышленности.

*Латеритная кора выветривания.* В тропической зоне Австралии, Индии, Африки и Южной Америки на алюмосиликатных магматических материнских породах развита мощная латеритная (лат. later — кирпич) кора выветривания. Мощность ее измеряется десятками метров.

В ней выделяются три зоны. Верхняя зона представляет собой латеритно-железистую корку, сильно обогащенную гидроокислами железа, и отличается большой плотностью и твердостью. Средняя латеритная зона, обогащенная гидроокислами алюминия, сложена мягким или твердым пористым латеритом красной пятнистой окраски, нередко «бобового» строения. Нижняя зона разложения представлена преимущественно каолинитом и постепенно переходит в неизменные магматические породы, чаще всего основные или щелочные.

Латериты, содержащие гидроокислы алюминия в промышленных размерах, называются бокситами. Бокситы, образующиеся в коре выветривания, являются элювиальными остаточными образованиями. Помимо этого, бокситы могут быть и осадочного происхождения, представляя собой коллоидно-химические осадки, отложившиеся в лагунах и озерах из растворов, богатых гидроокислами алюминия и обычно залегающие на размытой поверхности более древних пород.

Бокситы встречаются в отложениях палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста. Залежи их известны в Тихвинском районе, на Урале, в Средней Азии, в Сибири, а также во Франции, Италии, Индии, Китае и др.

Бокситы являются важным полезным ископаемым, которое применяется для выплавки алюминия, производства искусственных абразивов, огнеупоров, цемента и др.

*Нонтронитовая кора выветривания.* На Южном и Среднем Урале на массивах ультраосновных пород древняя кора выветривания имеет иной состав и значительно меньшую мощность. Ее нижняя зона (мощность 20 м) представлена разложившимися серпентинитами, иногда обогащенными карбонатами и сохраняющими структуру материнских пород. Разложившиеся серпентиниты внизу

постепенно переходят в неизменные серпентиниты, а выше — нонтронитовая зона (воскообразные монтмориллонитовые глины зеленоватого цвета). Часто являются вместилищем месторождений силикатного никеля.

## 4.2 Геологическая деятельность ветра

4.2.1 Разрушительная работа. Геологическая работа ветра во многом зависит от его скорости. Это объясняется, во-первых, тем, что при ветре возрастает давление на разрушающийся массив горных пород (при скорости ветра 30 м/с на 1 м<sup>2</sup> поверхности оказывается давление 55—70 кг), а во-вторых, тем, что в ветровом потоке находятся мелкие обломочные частицы, которые и оказывают истирающее воздействие на горную породу.

Размеры переносимых ветром частиц, а следовательно, и их ударная сила находятся в прямой зависимости от скорости ветра. При движении воздуха со скоростью 6,5 м/с ветер способен переносить частицы размером менее 0,25 мм; при скорости 10 м/с диаметр переносимых частиц увеличивается до 1 мм, а при скорости 30 м/с — до 5 мм и более



Рисунок 12 - Останцы выдувания

Механические частицы, двигаясь в потоке воздуха, ударяются о массивы горных пород и выбивают из них мельчайшую пыль, которая в свою очередь также подхватывается ветром и уносится прочь. Так на поверхности горных пород образуются штрихи, борозды, желобки. Данный процесс называется коррозией, а выдувание материала при этом - дефляцией (лат.—

выдуть). Наиболее активно эти процессы протекают в незащищенных или слабо защищенных травяным и лесным покровом участках суши - в пустынях и в высокогорных областях. С течением времени в результате совместного проявления коррозии и дефляции разрушаются и возвышенные формы местности с образованием характерного эолового рельефа



Рисунок 13 - Столбы

Положительными его формами служат останцы выветривания— столбо- или башневидные образования, а отрицательными—эоловые рытвины (хольвеги), ниши, пещеры, а иногда целые эоловые долины — вади

4.2.2 Транспортирующая работа ветра. Наряду с разрушительной работой, ветер осуществляет перенос (транспортировка) продуктов коррозии. В морских отложениях у Карибских островов обнаружен тонкий песчаный материал, транспортированный воздушными потоками из пустыни Сахара на расстояние 4,5 тыс. км. По мере снижения скорости ветра, переносимый им материал оседает, формируя эоловые отложения или накопления, представленные в основном песком и лёссом. Песок образует перемещающиеся холмистые формы — дюны и барханы, лёсс — сплошные горизонтальные наслоения.



Рисунок 14 - Барханы

Вопросы для самоконтроля:

1. Назовите основные типы выветривания?
2. В чем сущность механического выветривания?
3. Основные факторы физического выветривания ?
4. Основные факторы химического выветривания?
5. Что такое кора выветривания?
6. Продукты выветривания?
7. Полезные ископаемые коры выветривания?
8. В чем заключается разрушительная работа ветра?
9. В чем сущность процесса дефляции?
10. Транспортирующая работа ветра?
11. Формы эолового рельефа?
12. Что такое коррозия?
13. Эоловые отложения?
14. Что такое вади и хольвеги?

## 5 ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ГИДРОСФЕРЫ

### 5.1 Понятие гидросферы

Гидросфера - это прерывистая водная оболочка Земли. Она располагается между атмосферой и литосферой и включает в себя все океаны, моря, озера, реки и другие континентальные водоемы. К гидросфере относят и ледяной покров планеты. Масса гидросферы, в 275 раз больше массы атмосферы, но составляет лишь одну четырехтысячную долю массы Земли. Она содержит  $1,46 \cdot 10^{24}$  г жидкой воды и льда и покрывает более 2/3 земной поверхности. Основная масса гидросферы - около 94 % - сосредоточена в Мировом океане, приблизительно 4,5 % ее приходится на долю континентальных водоемов и подземных вод и порядка 1,5 % концентрируется в материковых ледниках.

Геологическая роль гидросферы складывается из работы рек, озер, морей, водохранилищ, подземных вод.

## 5.2 Геологическая работа рек

5.2.1 Разрушительная работа рек называется *речной эрозией*. Она зависит от характера движения воды и ее скорости. Течение воды в реке может быть ламинарным и турбулентным.

В первом случае вода движется упорядоченно, спокойно и как агент эрозии почти не дает эффекта.

Во втором случае движение воды происходит беспорядочно, по перекрещивающимся траекториям. Турбулентное течение проявляется в виде водоворотов, завихрений и оказывает на ложе реки наиболее сильное эрозионное воздействие.

Скорость реки определяется уклоном местности -величиной отношения перепада отметок истока и устья реки к расстоянию по горизонтали, на котором этот перепад отмечается. С увеличением скорости реки возрастает и ее способность к транспортировке того или иного материала, увеличиваются размеры переносимых рекой обломков, что также усиливает эрозию

Различают глубинную (донную) и боковую эрозию. Первый вид эрозии выражается в углублении русла реки (разрушительная сила при этом направлена в глубь Земли); второй вид эрозии—в разрушении берегов, расширении речной долины. Оба вида речной эрозии проявляются одновременно, однако в зависимости от места реки и периода ее развития может развиваться тот или иной вид эрозии. Так, в верховье реки преобладает глубинная эрозия, а в низовье—боковая



Рисунок 16 - Виды речной эрозии

Конечная цель речной эрозии—выработка *продольного профиля равновесия* реки, представляющего собой кривую изменения высот дна реки на всем ее протяжении — от истока до устья.

Форма продольного профиля реки определяется первичным рельефом местности, перепадом высот между истоком и устьем, количеством притоков, прочностью горных пород речного ложа и т. д.

По мере эрозионной работы реки ее продольный профиль непрерывно углубляется, приближаясь к уровню бассейна, куда впадает река. Этот уровень получил название *базиса эрозии*.

В жизни реки различают несколько периодов: юность, зрелость и старость.

*Юность* реки характеризуется невыработанным продольным профилем равновесия. В этот период преобладает глубинная эрозия. Течение реки бурное, скорость максимальная. Русло изобилует порогами, водопадами; долина таких рек имеет V-образную форму и выражена ущельями и каньонами. Русло юных рек спрямлено, коэффициент извилистости минимален.

*Зрелость* реки наступает по мере приближения рельефа речного дна к продольному профилю равновесия. Глубинная эрозия преобладает в верхнем течении реки; в среднем и нижнем течении ведущую роль играет уже боковая эрозия.

Долина реки расширяется, приобретает U-образную форму. Увеличивается коэффициент извилистости реки, русло реки часто изгибается, образуя излучины и меандры. Скорость течения зрелой реки равномерно уменьшается от истоков к устью

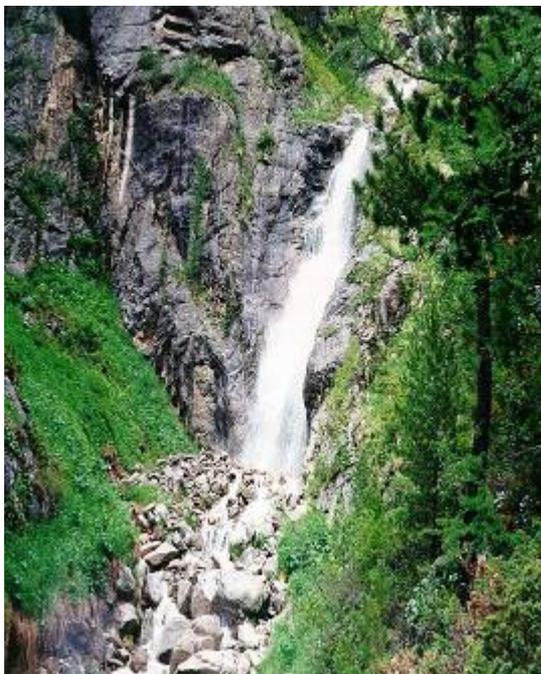


Рисунок 17 - Юность и зрелость реки

*Старость* реки характеризуется еще большей выработанностью профиля равновесия, который наиболее близок к равновесному состоянию, но все же круче у истока. В качестве примера старой реки может служить современная Волга. По всему течению реки преобладает боковая эрозия, что приводит к размыву берегов, с одной стороны, и намыванию кос и пляжей, с другой.

Интенсивность разрушения берегов, при прочих равных условиях, в северном и южном полушариях непостоянна. В северном полушарии правый берег подвержен боковой эрозии в большей степени, чем левый. В южном полушарии наоборот, левый берег размывается быстрее правого. Поэтому у рек северного полушария правый берег обычно круче левого, у рек южного полушария—круче левый берег. Указанное явление объясняется, главным образом, вращением Земли вокруг оси и получило название *правило Бэра*

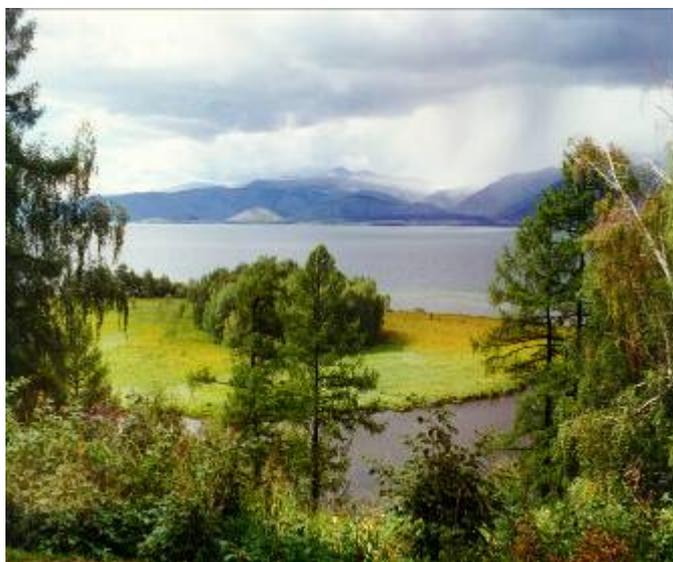
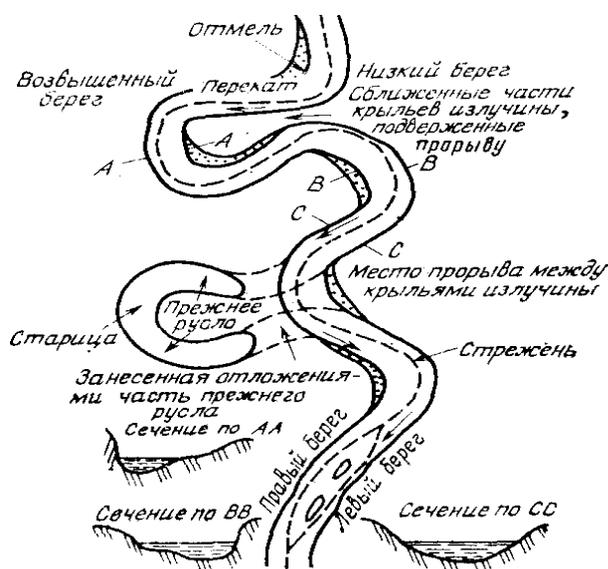


Рисунок 18 - Старость реки

5.2.2 *Транспортирующая работа* рек проявляется в переносе того или иного материала путем перетаскивания и перекачивания его по дну во взвешенном и даже в растворенном состояниях. Перенос по дну крупных обломков (валунов, глыб) путем их волочения доступен лишь молодым, бурным рекам. В придонном слое реки обычно транспортируется песчаный или глинистый материал. В некоторых случаях, таким образом, рекой переносится довольно большое количество материала. Так, по дну р. Амазонки путем перекачивания транспортируются миллионы тонн песка, которые в ряде мест формируют дюны длиной до 190 м и высотой 8 м. Большое количество материала переносится реками во взвешенном состоянии. В 1 м<sup>3</sup> воды одной из наиболее мутных рек мира — Хуанхэ содержится до 34 кг взвеси.

Созидательная работа рек выражается в накоплении новых осадочных пород речного типа, которые называются *аллювиальными* (лат.— нанос, намыв). Реки несут огромное количество материалов в твердом состоянии и в растворе. Ежегодно в моря и океаны реки выносят почти 20 млрд т веществ, из которых почти 18,5 млрд т — твердые частицы. Ежегодный вынос вещества некоторыми реками мира (млн м<sup>3</sup>): Амударья — 45; Миссисипи— более 200; Ганг — более 450; Хуанхэ — около 1000. В среднем по всему земному шару взвешенные наносы рек соответствуют сносу 201 т материала с каждого квадратного километра суши. Весь сносимый реками материал по мере падения скорости течения реки и уменьшения ее транспортирующей способности оседает и идет на формирование аллювия. Он состоит из глины, песка, гравия, гальки, щебенки, иногда валунов и глыб

Аллювиальные отложения характеризуются хорошей окатанностью, отсортированностью и слоистостью.

Среди аллювия нередко встречаются россыпные месторождения полезных ископаемых. Реки, размывая горные породы, одновременно вымывают и содержащиеся в них ценные минералы. Эти минералы переносятся рекой, частично истираются, растворяются и, в конечном итоге, скапливаются в долинах рек в аллювии, образуя промышленные скопления. Так возникают россыпные речные месторождения золота, платины, вольфрама, касситерита, некоторых драгоценных камней (алмаз) и др.

*Строение речной долины.* Под *речными долинами* понимают узкую (по сравнению со своей длиной) вытянутую, часто извилистую форму рельефа, в наиболее углубленной части которой, течет река. В строении речной долины различают дно, русло, пойму и террасы. Русло — это углубление в рельефе, где течет река; наиболее низкая часть дна называется руслом. Пойма, или пойменная терраса,— это территория, прилегающая к руслу и заливаемая водой в половодье. Террасы — уступообразные формы по склонам речной долины. Строение террас различно. В первую очередь, оно зависит от характера слагающих ее отложений. Различают аккумулятивные, цокольные, эрозионные и структурные террасы.

*Аккумулятивные* террасы I (или террасы накопления, пойменные IV) сложены речными наносами, весь обрыв таких террас состоит из различных аллювиальных отложений. Аккумулятивные террасы формируются следующим образом: вначале рекой намывается аллювий, который толстым слоем заполняет речную долину, а затем река постепенно углубляет свое русло, размывая нанесенные ею ранее осадки.

*Цокольные* террасы II (или смешанные) состоят как бы из двух этажей: нижний—цоколь террасы, сложен коренными породами речной долины, а верхний—аллювиальными отложениями. Мощность аллювия в этом случае значительна, но она не превышает высоты террас, поэтому в террасовых уступах ниже толщи аллювия обнажаются коренные породы основания долины

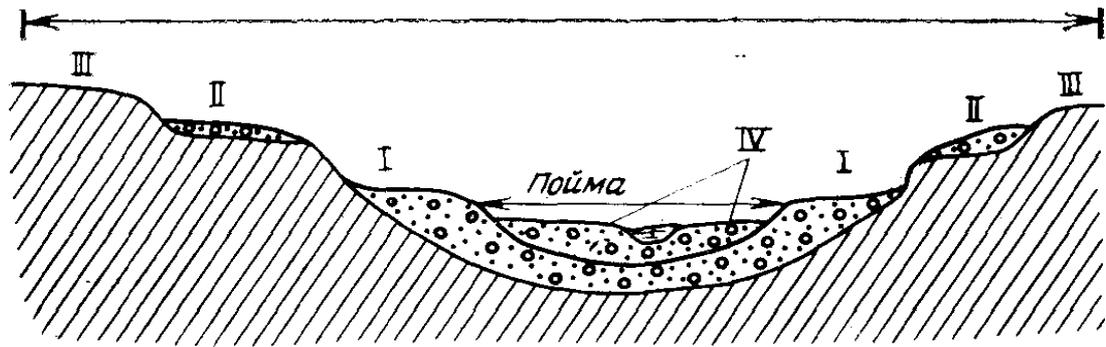


Рисунок 19 - Строение речной долины

*Эрозионные* III террасы, или террасы размыва, возникали в результате эрозионной деятельности реки в коренных породах. Сложены они коренными породами и лишь с поверхности прикрыты тонким слоем аллювия. Подобные террасы образуют ступени, целиком врезанные в коренные горные породы.

Существуют понятия исток реки (ее начало) и устье (место впадения в море, озера, другие реки и т.д.)

Строение речных устьев во многом определяется динамическим соотношением между количеством приносимых рекой осадков, волновыми, приливно-отливными процессами и тектоническими поднятиями или опусканиями в прибрежной зоне. Различают два типа речных устьев: дельты – вдающиеся в море дельтовидные слоистые, сложенные речными наносами устья (р. Волга) и эстуарии, вдающиеся в берег в виде заливов узкие щелеобразные устья.

### 5.3 Геологическая деятельность временных водотоков

5.3.1 Геологическая деятельность временных водотоков проявляется в значительно меньшей степени, чем работа рек. Тем не менее, в ряде случаев эта деятельность носит существенный характер и приводит к ощутимым результатам. При геологической деятельности временных водотоков образуются овраги и селевые потоки.

5.3.2 Овраг – крутосклонная долина, созданная деятельностью временного или небольшого постоянного водотока на возвышенно-равнинных пространствах, сложенных рыхлыми породами (лессами, суглинками, супесями). Активная эрозионная форма, растущая после дождей и снеготаяния. Рост оврага начинается с вершины.

Длина оврагов от метров до нескольких км, ширина до нескольких десятков м, глубина - несколько м. Образуются на холмистых равнинах, возвышенностях, в предгорьях. Развитию оврагов способствует нерациональное природопользование (сведение лесов, распаивание крутых склонов и др.).



Рисунок 20 - Овраги, пролювиальный конус выноса

Атмосферные осадки, сбегая в виде потоков, по наклонной поверхности, способны, производить размывание суши. Так произошли все удлиненные рытвины размывания — большая часть речных долин, балки и овраги, из которых последние представляют лишь самую молодую или первую стадию процесса размывания или образования отрицательных форм рельефа. При благоприятных условиях, т. е. при значительном наклоне местности, при рыхлости почвы и грунта, при отсутствии леса и т. п., для начала образования Оврага достаточно подчас самой ничтожной причины. Например, борозды, вдоль склона, дорожки, протоптанной скотом, трещины в почве и т. п.

Наиболее обычными причинами зарождения оврага бывают следующие:

- 1) сведение растущего по оврагу леса или кустарника и корчевка пней;
- 2) распахивание задерневших крупных склонов, с углом падения в 20 и более градусов, в зависимости от почвы и геологического строения стенок;
- 3) проведение пограничных борозд по направлению к низинам и лощинам;
- 4) проходка канав, добыча камня и вообще всякое нарушение целостности дернового покрова на крутом склоне;
- 5) выпас скота по крутым склонам и особенно прогон его одной тропой;
- 6) нагрев и сильные морозы, дающие трещины в почве;
- 7) распашка так, называемых "блюдцеобразных котловинок" в степи;
- 8) образование железнодорожных насыпей и выемок;
- 9) обвалы и провалы, явившиеся в силу геологических причин. В ряду указанных факторов самое видное место занимает, бесспорно, вырубка лесов по склонам. Овражные отложения также называются пролювием.

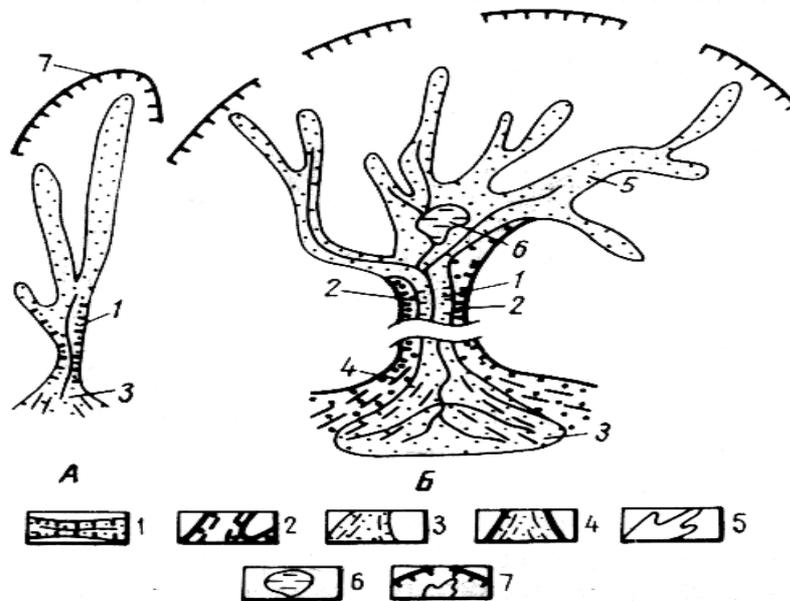


Рисунок 21 - Строение оврага

А - простой молодой овраг; Б - сложный разветвленный овраг; 1, 2- линейная часть оврага, выработанная по направлению наибольшего уклона склона молодого (1) и древнего (2) оврагов, 3- конус выноса молодой генерации оврага, 4- то же, древней генерации, 5- верховье оврага в различной степени разветвленное, 6- заболоченность в районе слияния отдельных отвержков в верхней части оврага, 7- области дренирования поверхностных и местами подземных вод

5.3.3 Оползни. Естественное перемещение массы горной породы под действием собственного веса подземных вод и атмосферных осадков. Имеет место при наличии в разрезе пластичных глинистых горных пород. Этот процесс возникает на склонах возвышенностей, на крутых берегах оврагов, рек, озер и морей. Скорость смещения оползней различна: от нескольких миллиметров в сутки до десятков метров в час. Ширина оползания достигает сотен метров, а объем сместившихся масс – миллионы кубических метров. Оползневые процессы создают специфический оползневой тип рельефа, характеризующийся бугристостью, террасовидными уступами, трещинами, стенками отрыва, поверхностями смещения, разнонаклонными стволами деревьев (пьяный лес). Массы оползня смещаются вниз под действием силы тяжести. Глинистые увлажненные породы выполняют роль смазки. Существует несколько видов оползней: оползни-потоки, оползни выдавливания, оплывины и т.д.



Рисунок 22 - Оползень (слева) и оплывины (справа)

Результатом действия временных вод (как и подземных) можно считать оползни

5.3.4 Сели. Отложения селей характерны для горных местностей со значительными перепадами высот местности. Под селями понимают временный грязе - каменный поток, формирующийся во время интенсивного таяния снега или ливневых дождей на горных склонах и в ущельях. Для образования селя необходимы три условия: расчлененность рельефа, наличие большого количества обломочного материала на склонах, ливневый характер выпадения осадков. При выходе на равнины селевые потоки растекаются, образуя своеобразные конуса у подножья гор – конусы выноса. Отложения селевых потоков называются – пролювий.

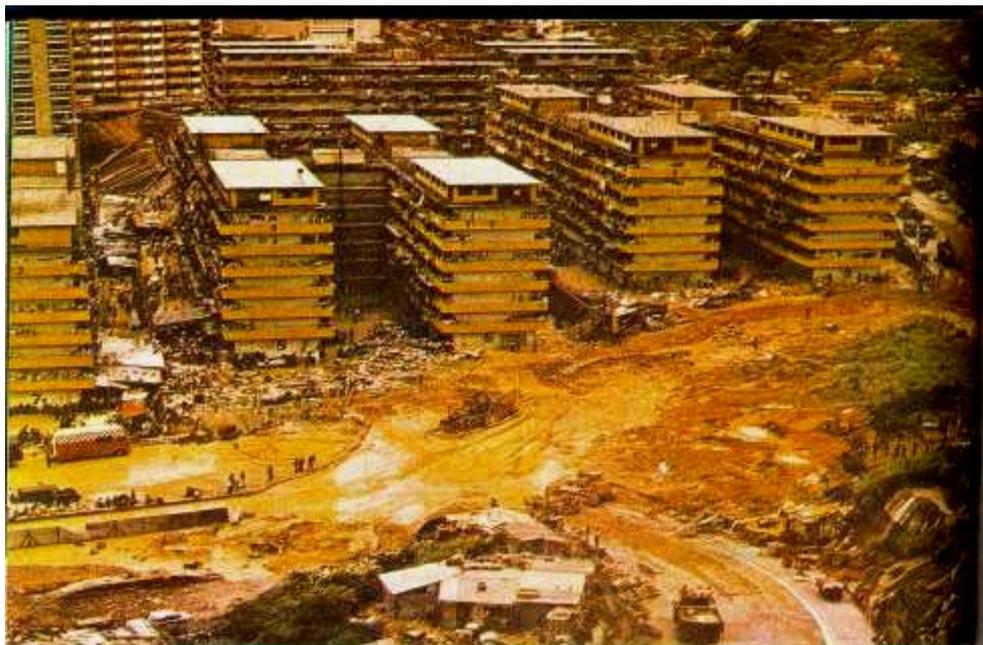


Рисунок 23 - Сель

## 5.4 Геологическая деятельность морей, водохранилищ, озер, болот

5.4.1 Геологическая работа моря. Море совершает большую геологическую работу: разрушение берегов – абразию, транспортировку разрушенного материала и формирование морских отложений.

*Разрушение берегов* происходит под воздействием волноприбоя, приливов и отливов и береговых течений. Морская абразия, действующая на берег постоянно, вначале приводит к образованию *волноприбойной ниши*, или горловины, которая располагается в основании крутого берега. При разрастании волноприбойной ниши в глубь материка вода подмывает крутой берег до тех пор, пока он не обрушится под действием собственной массы. Возникшие обломки формируют *намывную террасу* - пляж, а крутой берег (клиф) отступает в сторону континента.



Рисунок 24 - Морская абразия.  
Разрушительная деятельность волн

Главный результат морской абразии заключается в отступлении морских берегов. В некоторых случаях скорость отступления берегов измеряется несколькими метрами в год. Например, в период с 900 г. по 1900 г. периметр берегов о-ва Гельголанд в Северном море сократился с 200 км до 5 км. В Йоркшире, в Англии, берег отступает со скоростью от 1 до 3 м в год. Потери со времен римских завоеваний оцениваются здесь в виде полосы

суши шириной до 4 км. В России сравнительно быстрому разрушению подвергаются северные, крутые берега Черного моря. В районе г. Одессы за последние 50 лет берег отступил на 45 м в глубь материка, а в районе г. Сочи за последние 20 лет— на 15—40 м.

*Транспортирующая работа моря.* Морские течения и волны перераспределяют обломочный материал, попавший в море из рек или при собственном разрушении берега. Во взвешенном состоянии течения, приливы и отливы способны переносить сравнительно мелкие частицы. Размытый материал отлагается подводой, образуя аккумулятивную террасу у подножья материкового склона (абразивной террасы). Если берег пологий и море неглубокое, происходит образование аккумулятивных террас у кромки воды. Формируются обширные песчаные пляжи.

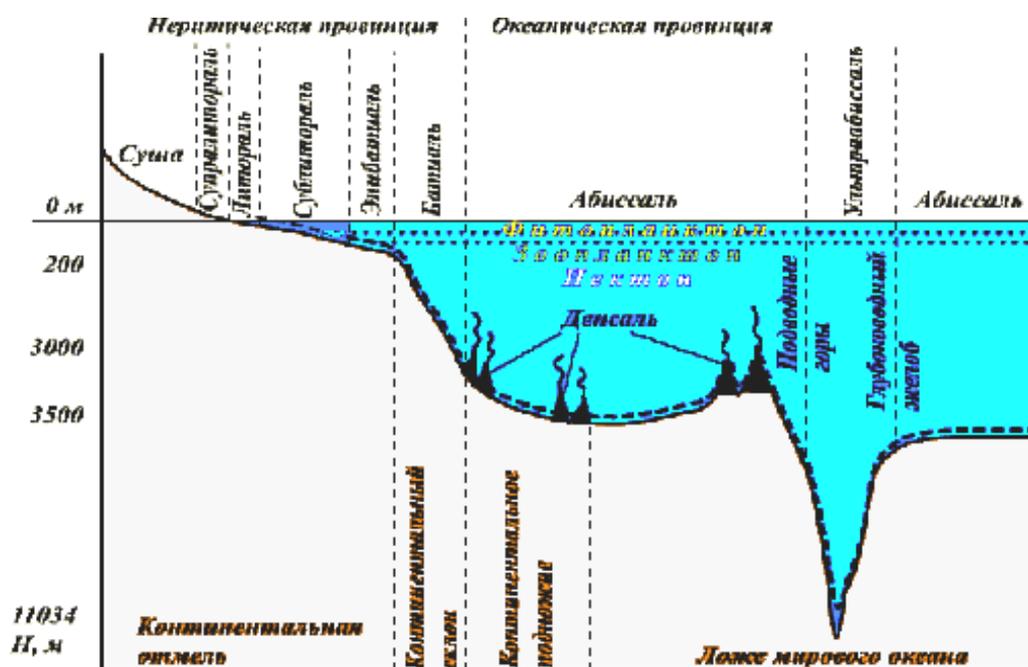


Рисунок 25 - Биологические зоны моря

*Аккумулятивная деятельность моря.* В Мировой океан ежегодно поступает 27,1 млрд т осадочного материала, который поставляется реками (19,5 млрд т), вулканами (1,7 млрд т), ветром (2 млрд т), ледниками (1,2 млрд т) и собственно в результате морской деятельности (2,7 млрд т). Весь этот материал осаждается на морском дне, формируя новые осадочные породы морского происхождения. На долю морских отложений приходится 3/4 всех осадочных пород земной коры. Они характеризуются большим разнообразием; их состав и особенности строения во многом зависят от места

формирования, поскольку каждая зона характеризуется своей спецификой осадконакопления.

По характеру глубин и главных форм рельефа морское дно делится на следующие зоны: береговая или литоральная зона; шельф или континентальная ступень (неритовая зона); континентальный склон (батиаль) и глубоководная область - ложе океана (абиссаль):

- литораль располагается в зоне волноприбоя и приливов и отливов и составляет от 0 до 20 м;

- неритовая зона занимает область мелкоморья – от 0 до 200 м;

- батиаль - простирается до 1000 м;

Абиссаль - самая глубокая часть океанов и простирается в среднем до 6-10 км.

5.4.2 Геологическая деятельность озер. Озера и болота представляют собой изолированные водные бассейны. Возникают они при условии близкого залегания от поверхности грунтовых вод. В России 8,3 % всей территории приходится на озера и болота, из них 1,3 % падает на долю озер и 7 % - на долю болот. Наиболее крупные озера - Каспийское (395000 км<sup>2</sup>), Аральское (65448 км<sup>2</sup>), Байкал (30500 км<sup>2</sup>) и Ладожское (18400 км<sup>2</sup>). Болота распространены на севере нашей страны, в Сибири, в Полесье. Изучением озер занимается наука *лимнология* (озероведение), болот - *тельматология* (болотоведение).

Озера различаются по генезису, солености воды, размерам, характером связи с морями. По генезису выделяется два типа озер: экзогенные, образовавшиеся за счет внешних сил природы (выветривания, выпаживания поверхности ледником и т.д.) и эндогенные. К первым относятся: карстовые, ледниковые, обвальные, лавинные и др.



Рисунок 26 - Ледниковое озеро

*Эндогенные* озера возникли в результате деятельности внутренних факторов Земли. Они подразделяются на вулканические, тектонические и реликтовые.

*Вулканические* - формируются на месте кратеров древних недействующих вулканов. Такие озера известны на Камчатке, Курильских островах, в Северной Америке, Африке, Новой Зеландии и др. *Тектонические*, или дислокационные озера обязаны своим происхождением тектоническим движениям, приводящим к образованию расколов и опусканию по ним отдельных блоков коры. Возникают крупные грабены, заполняющиеся атмосферной или подземной водой. Классический пример такого типа - оз. Байкал - самое глубокое озеро в мире. Глубина его 1741 м, длина более 600 км, ширина до 70 км. К тектоническим озерам относятся также Иссыккуль, Танганьика, Виктория и др.

*Реликтовые*, или остаточные озера возникли при отделении крупных водных пространств от основного материнского моря или океана. К такому типу озер можно отнести Каспийское и Аральское моря-озера. В свое время (20—25 млн лет назад) эти водоемы соединялись с Черным, Азовским и Средиземными морями, образуя единый океанический бассейн.

В зависимости от водного режима озера подразделяют на *проточные* (Ладога, Байкал) и *бессточные* (Арал, Каспий, Балхаш); в зависимости от солености различают *пресные* озера— с минерализацией около 1 ‰ (Ладога, Байкал) и *соленые*— с минерализацией более 1 ‰ (Арал, Каспий, Эльтон, Баскунчак).



Рисунок 27 - Вулканическое озеро

Геологическая деятельность озер заключается в разрушении берегов, транспортировке обломков и формировании озерных отложений.

*Разрушающая работа озер (озерная абразия)* сравнительно невелика, так как озера в большинстве случаев представляют собой установившиеся водные системы. При нарушении равновесия между сушей и водой крутой берег подмывается, как и при морской абразии. Это влечет за собой образование озерных террас, внешне схожих с морскими. Например, оз. Балхаш в Казахстане имеет две террасы: верхнюю, более древнюю, и нижнюю, более молодую. Лучше всего заметна разрушительная работа у искусственных озер. Эта деятельность обычно рассматривается как *переработка берегов*. Во время штормов на таких озерах (например, на Цимлянском) высота волн может достигать 3,5 м, что приводит к разрушению береговых откосов, образованию оползней и обвалов. В результате озерные берега отступают. Транспортирующая деятельность озер незначительна, так как в озерах практически отсутствуют существенные течения.

Более значительна геологическая деятельность озер, направленная на накопление осадков. В проточных озерах на скальных грунтах в области мелководья осаждаются галька, пески, илы за счет осадков, приносимых реками. На глубине накапливаются карбонатные илы (озерный мел), озерные железные руды. В некоторых случаях формируются сапропелевые илы, состоящие из остатков растений и животных.

В бессточных озерах накапливаются хемогенные осадки. Как правило, бессточные озера характеризуются повышенной соленостью—до 30% о. В сухое время года вода в них испаряется и происходит осадка солей. Так, в оз. Эльтон за год осаждается до 100 тыс. т каменной соли. Формируются в озерах глауберова соль, гипс, ангидрит, доломиты.

5.4.3 Деятельность болот. Озерные водоемы сравнительно недолговечны. Большинство из них в течение уже нескольких тысяч лет заполняются осадками и, зарастая растительностью, превращаются в *болота*. Болота могут иметь грунтовое и атмосферное питание. Наиболее активно развиваются болота с грунтовым способом питания, которые в зависимости от растительности делятся на моховые, травяные и лесные. Болота атмосферного способа питания распространены реже и имеют маломощный растительный покров. Геологическая деятельность болот заключается, в основном, в накоплении осадков. В пределах болот формируются органогенные осадочные породы: торф, лигнит, каменный уголь, сапропелевый ил.



Рисунок 28 - Болото

## 5.5 Геологическая деятельность льда

5.5.1 Один из геологических факторов внешней динамики Земли — лед. Он производит большую геологическую работу по разрушению горных пород, транспортировке продуктов разрушения, накоплению новых отложений и формированию специфического рельефа. Общая масса льда на нашей планете так велика, что если бы его равномерно распределить по всей суше, то получилась бы корка льда толщиной в 120 м, а если удалось бы его полностью растопить, то уровень Мирового океана поднялся бы на 80 м. Деятельность льда, его строение, свойства, условия формирования изучает *гляциология*. Лед образуется повсюду, где замерзает вода: в озерах, морях, реках, в грунте, в атмосфере. В соответствии с этим существуют и разные типы льда: озерный, речной, атмосферный, грунтовый, морской.

*Атмосферный лед* возникает в атмосфере при замерзании водяных паров, что приводит к образованию кристаллов снега (снежинок). Зимой снег покрывает значительную часть земной поверхности, а на высоких горных вершинах встречается даже в экваториальной зоне. Постепенно снеговые хлопья уплотняются и меняют свою форму, превращаясь в округлые, почти сферические зерна. Такой зернистый снег называют *фирном*, или *невв* (рисунок). В районах со среднегодовой температурой близкой к нулю снег полностью не растаивает в летний период, со временем накапливается и образует массу так называемых *вечных снегов*. Нижняя граница их распространения называется *снеговой линией*. Положение ее зависит от рельефа местности, характера ветров, колебания средних температур, количества осадков.



Рисунок 29 - Фирновые поля

В полярных районах она располагается на высотах, близких к уровню моря (от 0 до 70 м); в Норвегии и на Аляске - на высоте 1,5 км; на Кавказе - на высоте 2,7—3,8 км; в Гималаях и Тибете - на высоте 5,1—6 км.

В тех областях, где в холодное время года выпадает снега больше, чем его успевают растаять весной и летом, формируются *снежные* или *фирновые* поля. Внутри такого поля снег на некоторой глубине переходит в фирн, а еще глубже фирн трансформируется в лед - образуется *ледяное поле*. Постепенно вся масса снега, фирна и льда уплотняется, уменьшается его пористость, кристаллы льда сцепляются между собой, ориентируются перпендикулярно давлению и образуется *глетчерный лед*, а ледяное поле становится *ледником*. При этом резко увеличивается плотность ледяной массы. Если масса 1 м<sup>3</sup> свежего снега 85 кг, то масса 1 м<sup>3</sup> фирна 600 кг, а 1 м<sup>3</sup> глетчерного льда - 909 кг. Таким образом, на образование 1 м<sup>3</sup> глетчерного льда расходуется более 11 м<sup>3</sup> снега.

Из рассмотренных типов льда наиболее ощутимую геологическую работу производит *грунтовый лед*, возникающий при промерзании грунтов, и *ледники*

5.5.2 Геологическая деятельность ледников. Значительная часть поверхности континентов (16 млн км<sup>2</sup>, или 11 % всей площади суши) покрыта ледниками. Из них на долю Антарктиды приходится около 14 млн км<sup>2</sup> и на долю Арктики— 2 млн км<sup>2</sup>. Остальная часть ледников (1,5 %) расположена в высокогорных областях нашей планеты. Общий объем льда на Земле 30 млн км<sup>3</sup>.

Глетчерный лед обладает свойством *текучести*, скорость его сравнительно невелика - 3—10 м/сут, но может достигать и 40 м/сут. Этим свойством, главным образом, и определяется его геологическая работа. Каждый ледник имеет *область питания*, где происходит накопление снега и

переход его в фирн, а затем в глетчерный лед, и *область стока*, по которой движется ледник.

В зависимости от особенности строения этих областей, размеров и формы ледников их делят на горные (альпийские), плоскогорные (скандинавские) и материковые (гренландские).

*Плоскогорные* ледники возникают в приполярных районах на плоских горах со столбообразными вершинами. Это—сплошные ледники, образующие ледниковые поля площадью до 900 км<sup>2</sup>. Наиболее широко плоскогорные ледники распространены в Скандинавии, где их общая площадь составляет почти 5 тыс. км<sup>2</sup>.

*Материковые* ледники формируются в полярных областях и располагаются почти около уровня моря. Это — наиболее крупные ледники на планете. Они широко развиты в Антарктиде и в Гренландии. Площадь Антарктического ледника почти 14 млн км<sup>2</sup>, а максимальная толщина 4 км. В нем сконцентрировано 24 млн. км<sup>3</sup> льда, или 80 % всех ледников мира. Этот гигантский ледяной покров разделяется трансантарктическими хребтами на ледник восточной Антарктиды и ледник западной Антарктиды. Последний покрывает некоторые мелководные моря (Росса, Уэдделла), образуя шельфовые ледники. В Гренландии мощность ледяного покрова достигает 3,3 км, а объем льда превышает 2,6 млн. км<sup>3</sup>.

Поверхность материковых льдов имеет форму выпуклого щита, мощными языками они спускаются к береговой линии и, разламываясь на огромные глыбы, дрейфуют по морю. Эти плавучие глыбы материкового льда называются *айсбергами*. Известны айсберги площадью 2,7 тыс. км<sup>2</sup> (90X30 км) и толщиной 200—400 м. Общая масса только антарктических плавающих ледников 5,2-104 т. В Мировом океане более 1,5 млн. км<sup>2</sup> поверхности занимает плавающий лед.



Рисунок 30 - Материковые и плоскогорные ледники

*Горные ледники* образуются высоко в горах. Область питания, имеющая форму цирка, лежит выше снеговой линии. Она окружена круговой или полукруговой системой высокогорных хребтов и пиков. По горным долинам лед стекает в виде ледяных потоков — языков. Горные ледники характеризуются сравнительно малой мощностью и площадью, они разобщены в пространстве. Так, площадь Эльбрусского ледника 144 км<sup>2</sup>, из

них 14 % занимают сползающие в долину языки. Мощность льдов до 1-10 м. На Памиро-Алае ледниками занято более 10 тыс. км<sup>2</sup>, из них почти 1/3 - ледниковые языки. К северу от этого района располагается Тянь-Шаньский крупный район горных ледников площадью 8,5 тыс. км<sup>2</sup>. Наиболее мощный ледник этого района - ледник Федченко. Его толщина около 1 км, длина 77 км, ширина 4 км. Скорость движения этого ледника в среднем 1 м/сут.

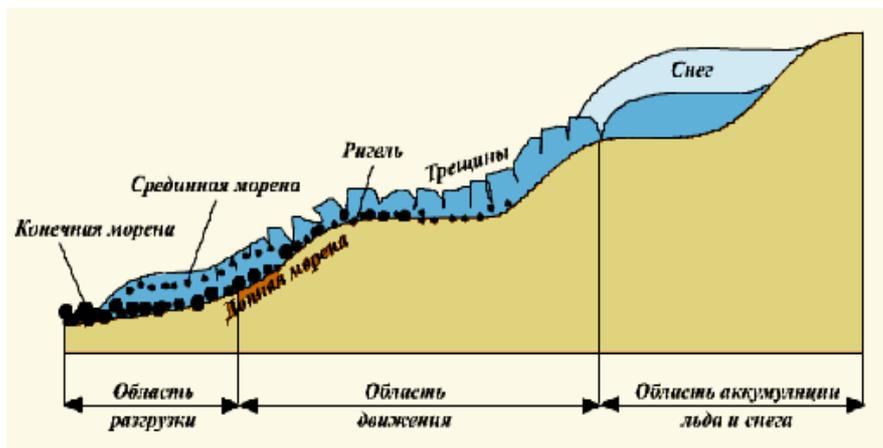


Рисунок 31 - Схема строения ледника

Наиболее крупные районы высокогорных ледников находятся в Гималаях, их площадь достигает 60 тыс. км<sup>2</sup>.



Рисунок 32 - Вид горного ледника из космоса

В зависимости от особенностей строения выделяют три группы горных ледников: 1) *карровые*—расположенные в горных ущельях около снеговой линии и не имеющие стока в долину; 2) *висячие* — их ложе осложнено крутым уступом, поэтому ледяной поток, нависающий над ним, периодически срывается в долину; 3) *долинные*—наиболее крупные горные ледники, имеющие сток (ледник Федченко и др.).



Рисунок 33 - Долинные ледники

#### *Разрушительная работа льда*

Ледники производят большую геологическую работу, которая заключается в разрушении горных пород, транспортировке продуктов разрушения и накоплении новых ледниковых отложений. Разрушительная работа ледников называется *ледниковой эрозией, под ледниковым выветриванием, экзарацией*. Она заключается в истирании, выпаживании горных пород той поверхности, по которой движется ледник. Столб глетчерного льда высотой 1 км давит на 1 м<sup>2</sup> своего основания с силой до 1 тыс. т. Обломочный материал, вмёрзший в основание ледника, при движении также оказывает разрушающее воздействие на его ложе. В результате на горных породах возникают борозды, штрихи, шрамы, достигающие в ширину 50 см и в глубину нескольких сантиметров.

Рельеф местности, по которой прошел ледник, сглаживается, нивелируется. Появляются такие специфические формы рельефа - как округлые выступы коренных пород - *бараньи лбы* или их скопления - *курчавые скалы*.

Долина, по которой прошел ледник, приобретает в сечении корытообразную форму - это *троговая долина*. Она завершается своеобразным порогом, ограничивающим продвижение ледника. Этот порог называется *ригелем*.

*Транспортирующая и аккумулятивная работа льда.* Обломочный материал, захваченный ледником, переносится им на значительные расстояния. Сам материал образует *морены* - скопление плохо отсортированных и разномасштабных обломков. Различают *движущиеся морены*, передвигающиеся вместе с ледником во вмёрзшем состоянии, и *неподвижные*, оставшиеся после таяния ледника.



Рисунок 34 - Бараньи лбы

Движущиеся морены, в свою очередь, подразделяют на поверхностные (поверхностные боковые и срединные), внутренние (внутренние срединные и поперечные) и донные.



Рисунок 35 - Боковая морена

Неподвижные (ископаемые) морены представляют собой обломочный материал, образовавшийся на месте таяния ледника. Иногда они формируют сплошные *моренные покровы*. Среди них выделяют *моренные валы* и *моренные холмы*.



Рисунок 36 - Конечная морена

Первые имеют вытянутую форму в направлении движения ледника — это *друмлины*. Длина их достигает 2 км, ширина — 200 м, высота нескольких метров. Моренные холмы (*камы*) представляют собой хаотически разбросанные возвышения высотой до 12 м. Сложены они слоистыми сравнительно отсортированными песками с гравием и галькой, ленточными глинами и валунами.

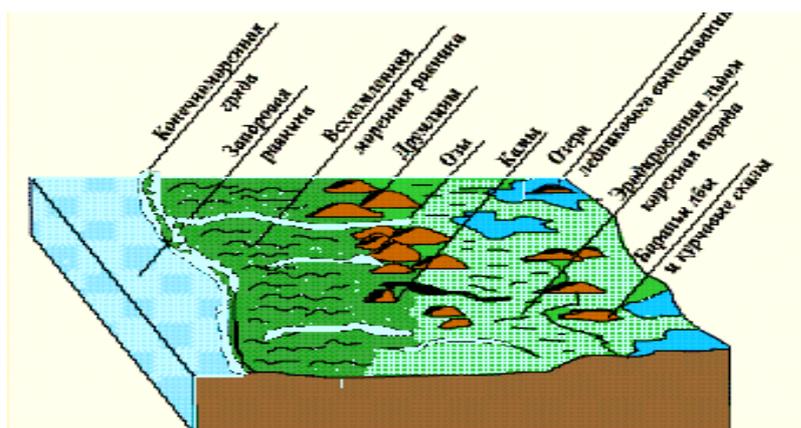


Рисунок 37 - Флювиогляциальные отложения

Аккумулятивная деятельность ледника приводит также к образованию *зандр* - полого-волнистых равнин, расположенных непосредственно за внешним краем конечных морен, т.е. за пределами бывшего ледника, и сложенных слоистыми песками, гравием и гальками.

Зандры представляют собой слившиеся конусы выноса подледниковых потоков. Более грубообломочный материал отлагается близ края конечных морен. Далее идут пески и, наконец, тонкий пылевидный материал (глины, лёсс).

Поверхность зандровых равнин характеризуется незначительными уклонами (3—4°), увеличивающимися (до 10°) при переходе к конечным моренам. У типичных моренных отложений слоистость отсутствует, это характерные водонепроницаемые породы.

В пределах моренных покровов выделяют также *озы*— сильно вытянутые моренные гряды длиной до десятков километров, высотой до 50 м и более. Сложены они хорошо промытыми слоистыми песками, гравием и гальками.

Особое место среди моренных отложений занимают *конечные* морены (рисунок 29). Это валы обломочного материала, накопившегося перед ледником и оставшегося после его таяния. Своими крутыми склонами они обращены к леднику, а пологими - в сторону долины. Конечные морены указывают границу максимального распространения ледника.

В связи с этим в пониженных участках моренного рельефа очень часто располагаются озера и болота. Моренные отложения подвергаются процессам выветривания. Текучие воды выносят из нее мелкообломочный материал. На месте остаются наиболее крупные обломки - ледниковые валуны и глыбы. Такие одиночные валуны называют *эратическими*. Один из крупнейших эратических валунов находится в США около г. Мадисон. Его габариты 27х 12х9 м.



Рисунок 38 Эратический валун, Катон-Карагайский заповедник-

К ледниковым отложениям относят также *флювиогляциальные* осадки, которые откладывают водные потоки, образующиеся от таяния ледников. Под ледником возникают желобообразные углубления, по ним и устремляются вниз водяные потоки. Они размывают донную и, отчасти, конечную морены, материал выносят за пределы ледников и откладывают его. Возникают осадки, аналогичные речным. Они характеризуются

однородностью состава, слоистостью и отсортированностью. Отложения зандровых равнин, оз и камов, скорее всего, можно отнести к флювиогляциальным. По условиям залегания флювиогляциальные осадки можно разделить на над-, меж- и подморенные. В пределах центральных и северных районов Европы широко развиты флювиогляциальные суглинки, которые покрывают все ледниковые отложения (надморенные осадки). По составу и окраске они напоминают лёсс. Мощность их достигает 12 м.

Кроме отложений ледников четвертичных эпох оледенения, известны и более древние морены, которые уплотнены и изменены последующими процессами. Такие древние морены называют *тиллитами*.

*Лёссовые породы.* Под лёссами и лёссовидными грунтами понимаются породы, сформировавшиеся в условиях засушливого климата и обладающие одним общим свойством - недоуплотненной структурой, не отвечающей напряженному состоянию, в котором эти грунты находятся в условиях их естественного залегания.

Недоуплотненность обуславливает значительную пористость этих пород, достигающую иногда более 50%. Помимо обычной пористости лёссовидным грунтам и лёссам присуще также наличие крупных пор - *макропор* - размером иногда более 1 мм, хорошо видимых невооруженным глазом, обычно в виде вертикальных трубочек. Состоят лёссы и лёссовидные грунты преимущественно из фракций пыли и имеют характерную палево-желтую или желто-бурую окраску. Эти породы распространены на большей части площади УССР, в Закавказье, Средней Азии, Сибири и на Дальнем Востоке; на относительно небольших площадях встречаются они также в Белоруссии, в Центральных областях и в других местах.

Залегают лёссы и лёссовидные грунты на водоразделах в виде покрова, плащеобразно перекрывая более древние образования. Мощность их достигает иногда многих десятков метров, а обычно составляет 15— 20 м. Ввиду значительной распространенности лёссы и лёссовидные грунты во многих случаях служат основанием самых различных сооружений или средой, в которой осуществляется строительство дорожных выемок, каналов и других объектов. В естественных условиях при малой влажности лёсс и лёссовидные грунты обладают значительной механической прочностью и устойчивостью в откосах, сохраняя почти вертикальное положение при высоте откоса иногда более 10 м. При увлажнении же их прочность существенно уменьшается и они доуплотняются; это свойство называется *просадочностью* и сопровождается необратимым изменением структуры грунтов.



Рисунок 39 - Лессовые породы

5.5.3 Древние оледенения. Идеи о древних оледенениях гор были высказаны еще в конце XVIII века, а о прошлом оледенении равнин умеренных широт — в первой половине XIX века. Теория древнего оледенения не сразу завоевала признание среди ученых. Еще в начале XIX века во многих местах земного шара находили штрихованные валуны горных пород явно не местного происхождения, но что их могло принести, ученые не знали.

В 1830 году английский исследователь Ч. Лайель выступил со своей теорией, в которой и перенос валунов, и штриховку скал приписывал действию плавучих морских льдов. Гипотеза Лайеля встретила серьезные возражения. В 1837 году швейцарский исследователь Л. Агассис впервые объяснил воздействием ледников и полировку скал, и перенос валунов, и отложение морены.

Значительный вклад в становление ледниковой теории внесли русские ученые, и прежде всего П.А. Кропоткин. Путешествуя в 1866-м по Сибири, он обнаружил на Па-Томском нагорье множество валунов, ледниковых наносов, гладких отполированных скал и связал эти находки с деятельностью древних ледников. В 1871 году Русское географическое общество командировало его в Финляндию — страну с яркими следами недавно отступивших отсюда ледников. Эта поездка окончательно оформила его взгляды.

Изучая древние геологические отложения, мы нередко находим тиллиты — грубообломочные окаменевшие морены и ледниково-морские осадки. Они обнаружены на всех континентах в отложениях разного возраста, и по ним восстанавливается ледниковая история Земли за 2,5 млрд. лет, в течение которых планета пережила 4 ледниковые эры, длившиеся от многих десятков до 200 млн. лет. Каждая такая эра состояла из ледниковых периодов, соизмеримых по длительности с плейстоценом, или четвертичным периодом, а каждый период — из большого числа ледниковых эпох.



Рисунок 40 - Оледенение рифея (1,3 млрд. лет назад)

Следы самого древнего оледенения были обнаружены вначале в Северной Америке и в районах Великих Озер, а затем в Южной Америке и Индии. Возраст этих ледниковых отложений около 2 млрд. лет. Представлены они тиллитами, ленточными глинами. Второе - протерозойское - оледенение (15000 млн. лет назад) выявлено в Экваториальной и Южной Африке и в Австралии. В конце протерозоя (650 - 620 млн. лет назад) произошло третье, наиболее грандиозное оледенение - докембрийское, или скандинавское. Следы его встречаются почти на всех материках, начиная от Шпицбергена и Гренландии и кончая экваториальной Африкой и Австралией. В палеозое выявлено два оледенения. Первое из них произошло около 500 млн. лет назад. Ледниковые отложения этого возраста выявлены на территории Марокко, Ливии, Испании, Франции, Скандинавии. Началось оно в ордовике и продолжалось до силура. Второе палеозойское оледенение - годванское, охватывало Индию, Африку, Южную Америку, Австралию, Антарктиду. Началось оно в каменноугольный период и продолжалось до конца перми.

Последний из ледниковых периодов начался почти миллион лет назад, в четвертичное время, и ознаменовался обширным распространением ледников — Великим оледенением Земли. Под мощными покровами льда оказались северная часть Северо-Американского континента, значительная часть Европы, а возможно, также и Сибирь. В Южном полушарии подо льдом, как и сейчас, находился весь Антарктический материк.

В период максимального распространения четвертичного оледенения ледники покрывали свыше 40 млн. км<sup>2</sup> — около четверти всей поверхности материков. Крупнейшим в Северном полушарии был Североамериканский ледниковый щит, достигавший в толщину 3,5 км. Под ледниковым покровом толщиной до 2,5 км оказалась вся северная Европа. Достигнув наибольшего развития 250 тыс. лет назад, четвертичные ледники Северного полушария стали постепенно сокращаться. Оледенение не было непрерывным на протяжении всего четвертичного периода. Существуют геологические, палеоботанические и другие доказательства того, что за это время ледники по крайней мере трижды совершенно исчезали, сменяясь эпохами межледниковья, когда климат был теплее современного. Однако на смену этим теплым эпохам приходили похолодания, и ледники распространялись вновь.

Сейчас мы, по-видимому, живем в конце четвертой эпохи четвертичного оледенения.

Оледенение Антарктиды развивалось отлично от оледенений Северного полушария. Оно возникло за много миллионов лет до того времени, как появились ледники в Северной Америке и Европе. Помимо климатических условий этому способствовал издавна существовавший здесь высокий материк. В отличие от древних ледниковых покровов Северного полушария, которые то исчезали, то возникали вновь, Антарктический ледниковый покров мало изменялся в своих размерах. Максимальное оледенение Антарктиды было больше современного всего в полтора раза по объему и ненамного больше.

Причины возникновения оледенений – вопрос спорный. Существует несколько гипотез, объясняющих факты существования ледниковых эпох.

Факторы, положенные в основу этих гипотез, можно подразделить на астрономические и геологические. К астрономическим факторам, вызывающим похолодание на земле, относятся:

1. Изменение наклона Земной оси
2. Отклонение Земли от ее орбиты в сторону удаления от Солнца
3. Неравномерное тепловое излучение Солнца.

К геологическим факторам относят процессы горообразования, вулканическую деятельность, перемещение материков.

Каждая из гипотез имеет свои недостатки. Так гипотеза, связывающая оледенение с эпохами горообразования, не объясняет отсутствие оледенения в мезозое, хотя в эту эр горообразовательные процессы были достаточно активны.

Активизация вулканической деятельности, по мнению одних ученых, приводит к потеплению климата на земле, по мнению других к похолоданию. Согласно гипотезе перемещения материков огромные участки суши на протяжении истории развития земной коры периодически переходили из области теплого климата в области холодного климата, и наоборот

## 5.6 Геологическая деятельность подземных вод

Подземные воды, двигаясь по пластам-коллекторам, совершают разрушительную, транспортирующую и созидательную работу. Их разрушительная работа заключается в растворении (выщелачивании) горных пород, гидратации, окислении и гидролизе. Транспортирующая деятельность подземных вод сравнительно невелика и состоит, преимущественно, в переносе продуктов разрушения в растворенном состоянии. При изменении Р- Т условий растворяющая способность подземных вод может снижаться, а растворенные в ней соли выпадать в осадок, формируя специфические горные породы. Так возникают известковые (травертины) и кремнистые туфы, кристаллы поваренной соли, железистые и марганцевые руды, кремень, халцедон, опал, барит, гипс, пирит, марказит и т. д. В результате геологической деятельности подземных вод возникают суффозия, пльвуны, оползни, карст, грязевой вулканизм.

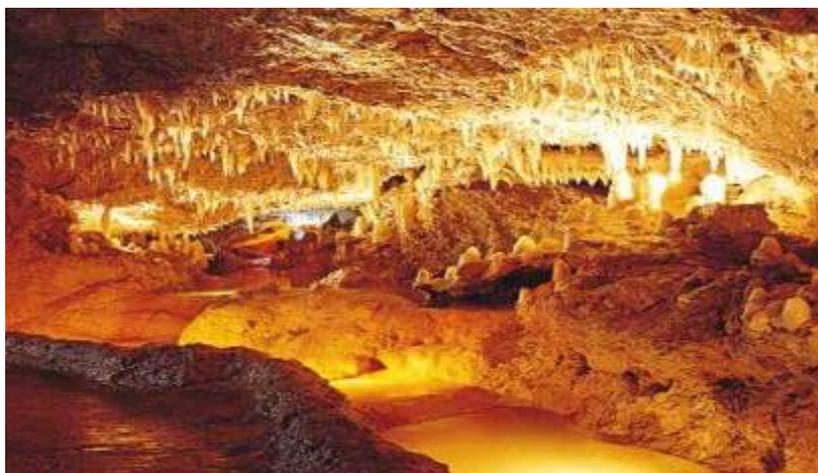


Рисунок 41 - Карстовая пещера

*Суффозия* (лат. - подкапывание) представляет собой вынос подземными водами горной породы либо в виде механических частиц, либо в растворенном состоянии. В зависимости от этого различают механическую и химическую суффозию (карст). *Механическая суффозия* возникает при фильтрации подземных вод в рыхлых и пористых породах, чаще всего в песках. Под действием гидродинамического давления происходит вынос песчинок из пласта. При значительном выносе вышележащие толщи оседают, в результате образуются западины, блюдца, воронки. Их размеры колеблются от 10 м до 1,5 км, а амплитуда проседания - от 10 до 200 см.

*Химическая суффозия*, более широко известная как *карст* (по названию известнякового плато в СФРЮ), представляет собой процесс выщелачивания горных пород подземными водами. Наиболее подвержены карстообразованию растворимые горные породы: известняки, доломиты, гипс, каменная соль. В результате выщелачивания в породах образуются

пустоты, воронки, пещеры, а на их поверхности - воронки, борозды, каньоны. Различают поверхностные и подземные формы карста. Более подробно геологическая деятельность подземных вод будет рассмотрена в разделе «Основы гидрогеологии».

#### Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое речная эрозия? Назовите основные типы эрозии?
2. В чем сущность донной и боковой эрозии?
3. Основные факторы эрозии ?
4. Понятие базиса эрозии?
5. Этапы жизни реки?
6. Что такое профиль равновесия?
7. Что такое аллювий?
8. Типы речных террас?
9. В чем заключается разрушительная работа рек?
10. В чем заключается созидательная работа рек?
11. Основные механизмы транспортирующей работы рек?
12. Понятие абразивной террасы?
13. Понятие аккумулятивной террасы?
14. Что такое сели?
15. Три условия возникновения сели?
16. Меры борьбы с селями ?
17. Что такое овраг?
18. Какие виды оврагов вы знаете?
19. Пролувий и его состав?
20. Виды пролувия?
21. Что абразия?
22. 2. Чем обусловлена абразия берегов?
23. Меры борьбы с абразией?
24. 4. Назовите классификацию озер по происхождению?
25. 5. В чем заключается порообразующая роль озер?
26. Состав озерных отложений?
27. Геологическая роль болот?
28. Что такое фирн?
29. Условия возникновения глетчерного льда?
30. Что такое экзарация ?
31. Понятия ригель, троговая долина?
32. Классификация ледников?
33. В чем состоит разрушительная работа льда?
34. Что такое морены, моренные, флювиогляциальные отложения?
35. Что вы знаете о последнем четвертичном оледенении?

## 6 ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ БИОСФЕРЫ

### 6.1 Сфера разума

Современная эпоха – эпоха человеческого разума, представила человеку многие возможности. Человек осваивает космическое пространство, посылает исследовательские спутники-зонды на другие планеты. Человек вышел в мир наноуровня - микронных частиц. Сегодня бурно развиваются новые направления развития науки - нанохимия, нанофизика, наноэлектроника. Открыты стволовые клетки, дающие надежду в будущем победить многие болезни и, прежде всего, старость.



Рисунок 42 - Вид на г. Белуха. Катон-Карагайский заповедник

Есть множество открытий, которые могли бы претендовать на звание современных «чудес света». Но, все таки, сегодня к "семи чудесам света" следует отнести нечто иное:

- чистую воду,
- чистый воздух,
- естественный ландшафт,
- растительный мир (флору),
- животный мир (фауну),
- климат планеты,
- минеральные ресурсы.

Именно они составляют природную среду - биосферу, в которой мы живем и которую обязаны разумно использовать и сохранять для будущих поколений.



Рисунок 43 - Озеро Маркаколь. Степи Казахстана

## **6.2 Инженерная деятельность человека – как мощный геологический фактор**

Геологическая деятельность на нашей планете началась давно, с самого ее зарождения, примерно 4,6 млрд. лет назад. Это многочисленные факторы внутренней динамики Земли: магматизм, вулканизм, тектоника, влияние на литосферу атмосферы, гидросферы. С зарождением жизни на Земле появился новый геологический фактор – биологический, который стал оказывать на внешние оболочки Земли мощное воздействие.



Рисунок 44 - Закат солнца

Особенно значительно проявился этот новый геологический фактор с появлением разумной жизненной формы на Земле – человека, который стал активно трансформировать и использовать окружающую среду для своих нужд. В последние десятилетия роль человека как геологического

фактора проявляется все отчетливее. Огромные объемы добычи полезных ископаемых, растущие темпы наземного и подземного строительства становятся соизмеримыми с деятельностью любого из геологических факторов.

Со времени возникновения и практически до настоящего времени человечество развивалось, подчиняясь одному стремлению – добывать, перерабатывать, осваивать природные богатства, используя все имеющиеся достижения науки и техники, почитать своим нуждам законы природы.

В ходе поступательного развития научно-технической революции, однако, обозначились жесткие границы вмешательства в природные законы. Пришло осознание необходимости выстраивать производство, не затрагивая исходных условий сохранения жизни на Земле. Это, в свою очередь, имело огромное значение для изменения формы взаимодействия Человек-Природа. Человечество встало перед проблемой выживания своего собственного вида на фоне катастрофических изменений окружающей среды, как следствия его нерационального вмешательства в природное равновесие.

Таким образом, взаимодействие общества с природной средой в последние десятилетия превратилась в одну из основных проблем, стоящих перед человечеством.

### **6.3 Ноосфера – как геологический фактор**

Высокие темпы научно-технического прогресса и экономического развития мирового хозяйства, рост урбанизации сопровождаются усилением воздействия и на биосферу, поэтому ход ее современного развития существенно отличается от хода естественных природных процессов, сложившихся до возникновения на Земле человеческого общества. Это проявляется, прежде всего, в резком ускорении и интенсификации кругооборота вещества и энергии, вовлекаемых в сферу жизнедеятельности человека.



Рисунок 45 - г. Пекин, население 14 млн. человек

Академик В.И. Вернадский назвал это новое состояние биосферы, преобразованной разумной деятельностью человека, - *ноосферой*, т.е. сферой разума.

Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом. Перед ним открываются все более широкие творческие возможности».

Однако условия оптимизации самоорганизующейся системы "общество - природа" требуют пересмотра не только характера всей производственной деятельности человека, но и внимательного изучения природных механизмов компенсации отрицательных последствий инженерной деятельности, которое ранее осуществлялась самой природой и поэтому не являлось объектом анализа при рассмотрении проблем общественного развития. В настоящее время важнейшее значение приобретает та сторона производственной деятельности, которая направлена на предотвращение и ликвидацию негативного воздействия человеческого общества на окружающую среду (как говорится в «Экологическом кодексе, принятом Казахстаном в январе 2006 г.»).

Природа во взаимоотношении с человеческой деятельностью выполняет две функции: ресурсную и ассимиляционную. Ресурсная поставляет для деятельности людей исходную вещественно - энергетическую базу (эту функцию называют пассивной). Ассимиляционная функция предусматривает усвоение, переработку продуктов и последствий человеческой деятельности (эту функцию называют активной). Современное техногенное давление на природу столь колоссально, что все более очевидной становится ограниченность возможностей биосферы воспринимать без серьезных негативных последствий всякого рода отходы технизированной цивилизации наших дней. Соотношение ресурсной и ассимиляционной деятельности природы является объектом изучения практически всех наук о Земле.

В настоящее время существуют различные точки зрения относительно перспектив взаимодействия человечества и биосферы. Так, американские ученые Д. Медоуз и Дж. Форрестер, рассчитав на ЭВМ различные варианты будущего развития общества, пришли к пессимистическому выводу: если человечество и далее будет в своем развитии следовать тем тенденциям, которые наметились в последние десятилетия, то к 2030 г. оно неминуемо окажется на краю гибели из-за катастрофического загрязнения окружающей среды и истощения природных ресурсов.

Масштабы антропогенного воздействия на биосферу поистине глобальны. Об этом свидетельствуют следующие цифры:

1) В атмосфере сейчас находится около 20 млн. т взвешенных частиц (аэрозолей).

Из-за неравномерности распределения океанов и материков, а также различного уровня развития стран на северное полушарие приходится около 93 % всех выбросов в земную атмосферу. Около 90% этих выбросов приходится на 8-10 % поверхности материков (часть Европы, Северной Америки и Японии).

За последние десять лет в атмосферу Земли поступило 74 тыс. т кадмия, около 600 тыс. т меди, почти 4,5 млн. т свинца, чуть больше - никеля и более 3 млн. т цинка. В 1988 г. был опубликован доклад ООН о воздействии "парникового эффекта" на условия жизни на Земле, в котором отмечается, что в результате усиления "парникового эффекта", т.е. нагрева внутренних слоев атмосферы, вызванного уменьшением притока тепла в высокие атмосферные слои из-за повышенного накопления в тропосфере углекислого газа, метана, хлорфторидов и других веществ, температура земной атмосферы будет каждые 10 лет повышаться на 0,2-0,5°C, что приведет к глобальному потеплению климата на Земле и, как следствие, к повышению уровня Мирового океана, затоплению береговых зон и серьезному подрыву экономики многих стран.

2) Одной из причин образования над Антарктидой "дыры" в озоновом слое является накопление в атмосфере определенных химических веществ. Негативные последствия разрушения озонового слоя, защищающего планету от радиационного воздействия, вряд ли можно переоценить.

3) По данным Международного союза охраны природы и природных ресурсов в результате эрозии почвы, использования земель в промышленности, энергетике, градостроительстве, для размещения транспортных линий земная суша деградирует со скоростью 44 га в минуту. При этом каждую минуту с поверхности земли исчезает 20 га лесов, главным образом, тропических, являющихся основным поставщиком кислорода в атмосферу. Площадь застроенных земель превышает в настоящее время 250 млн га и по оценкам специалистов в 2030 году возрастет вдвое.

## **6.4 Круговорот вещества и энергии. Биотехносфера**

6.4.1 Изменения окружающей природной среды под влиянием антропогенных воздействий могут носить как позитивный, так и негативный характер. С одной стороны, такие воздействия способствуют повышению биологической продуктивности и увеличивают энергетический обмен в экологических системах, а с другой - ведут к истощению невозобновляемых ресурсов, к уменьшению способности природы к воспроизводству возобновляемых ресурсов, к загрязнению природной среды.

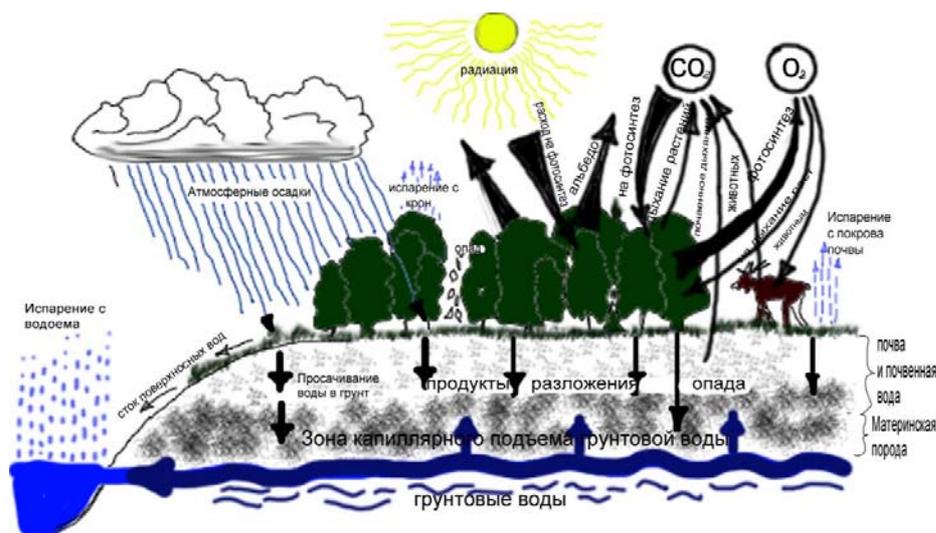


Рисунок 46 - Биологический круговорот

Установленно, что отрицательные стороны антропогенного воздействия на биосферу обусловлены существенными различиями кругооборота вещества и энергии в техногенных (искусственных) и природных системах.

Как было показано выше, для природных систем характерен более замкнутый круговорот по сравнению с техногенными системами, в которых утилизируется лишь незначительная часть природных ресурсов. Большая же часть этих ресурсов с ухудшившимся составом и свойствами возвращается обратно в биосферу. Таким образом, в результате проявления различных форм человеческой деятельности биосфера превращается в *биотехносферу*, в новую сложную систему, которая развивается по своим особым сложным законам. Они нам пока неизвестны и их предстоит изучить. В свою очередь вся совокупность процессов, вызванных производственной деятельностью человека можно назвать *техногенезом*.

Важность изучения и соблюдения законов биотехносферы стоит перед человечеством потому, что, во-первых, деятельность людей по своим масштабам стала вполне соответствовать глобальным процессам в биосфере, а во-вторых, появились серьезные (и вполне обоснованные) опасения за то, сможет ли биосфера (или ее отдельные элементы и участки) проявить в создавшихся условиях способность к саморегулированию природных процессов и восстановлению естественного состояния. Игнорирование этих законов приведет к разрушению природной среды - основы существования человеческого общества.

По своей направленности технологическая деятельность человека может быть подразделена на горно-техническую, инженерно-строительную и сельскохозяйственную.

6.4.2 Горно-техническая деятельность человека выражается в изъятии из земных недр минерального сырья. Это особенно заметно при карьерном

способе добычи полезных ископаемых. Только в Курской области, где эксплуатируются богатейшие месторождения железа КМА (Курская магнитная аномалия), с начала ведения горных работ и до середины 70-х годов вынута из карьеров и уложено в отвалы 500 млн м<sup>3</sup> вскрышных пород. В последующее десятилетие дополнительно было вынута более 1 млрд м<sup>3</sup> грунта. За этот же период под объекты железорудных предприятий ежегодно изымалось из сельскохозяйственного пользования около 1500 га земель.

Ежегодно во всем мире добывается столько полезных ископаемых, что для их перевозки требуется железнодорожный состав, длина которого в 16,5 раз превышает длину земного экватора.

Горно-технологическая деятельность способствует увеличению контрастности отметок поверхности, что выражается в формировании как отрицательных, так и положительных форм рельефа.

В Казахстане только при открытой разработке каменного угля и полиметаллов ежегодно образуются отвалы объемом в сотни миллионов кубических метров. Возникают возвышенности и горы сравнимые с природными (рисунок 47).



Рисунок 47 – Карьер

Очень сильно изменяется природный ландшафт при карьерном способе разработки, поскольку, с одной стороны, в рельефе появляются отрицательные не предусмотренные природой формы (глубина наиболее крупных карьеров достигает 500 м при ширине 5—6 км), а с другой стороны, большие площади земель изымаются из сельскохозяйственных и лесных угодий, покрываясь карьерами, терриконами и отвалами, засыпаются шлаком и золой.

В зонах действия горнорудных предприятий над горными выработками поверхность Земли часто оседает. Уплотнение верхних слоев приводит к образованию провалов над более глубокими горными выработками. Так, в Караганде провалы над разработками достигают 30-

40 м. В Прикаспии в результате добычи доломита и гипса возникли ямы и воронки диаметром до 30 м и глубиной до 10 м.

Широко распространено проседание грунта при откачке из недр жидкости или газа. Катастрофическое (до 8 м) проседание зарегистрировано над нефтяным месторождением Уилмингтон в США. Здесь образовалась воронка прогибания размером 10х65 км. Откачка газа в районе г. Ниигата (Япония) способствовала возникновению землетрясений с оседанием грунта на 35 см.

Аналогичные явления происходят при отборе длительных откачках артезианских вод. Установлено, что понижение пьезометрического уровня подземных вод на каждые 10 м водоносной толщи увеличивает нагрузку вышележащих пород на каждый квадратный сантиметр в среднем на 1 кг. Это вызывает уплотнение и оседание вышележащих толщ. Так, местами в г. Токио по этой причине ежегодно земная поверхность опускается на 18—20 см. За последние 50 лет город опустился почти на 3,5 м. В районе Мехико отбор подземных вод в целях водоснабжения города ведется с глубины 90, реже 100—300 м. Водоупорные глины, осушаясь, уплотняются. Как следствие этого возникают непрекращающиеся деформации вышележащих пластов. На отдельных участках городская поверхность осела на 7 м, разрушаются водопроводная и канализационная системы, неравномерно оседают здания.

Неумеренный отбор подземной воды в районе крупных городов способствует понижению уровня водоносных горизонтов, изменению влажности пород, разложению органических веществ во вновь сформировавшихся зонах аэрации. Депрессионные воронки в водоносных горизонтах Москвы достигли к началу 70-х годов 50 м, Ленинграда - 50 м, Киева - 63 м, Лондона - более 100 м. Гидрологические исследования, проведенные в крупных городах, показали, что снижение уровня водоносного горизонта вызвало изменение гидродинамического, химического и температурного режимов водоносных горизонтов; произошло перемещение областей питания, стока и разгрузки подземных вод. В окрестностях крупных городов исчезают родники и мелкие реки, ухудшается качество пресной воды, так как в гидрогеологическую систему поступают загрязненные поверхностные воды. Снижение уровня подземных вод привело к осушению и уплотнению пород, началось проседание отдельных районов городов на 6—18 см в год.

6.4.3 Инженерно-строительная деятельность выражается, прежде всего, в дополнительной нагрузке на земные массы. Строительство плотин, заводов, городских зданий и других инженерных объектов создает под ними зоны сжатия и сдвига. Под промышленными объектами, шоссе, городскими дорогами уплотнению пород в значительной мере способствует вибрация - искусственные землетрясения некатастрофического характера.

Вибрация городского транспорта также оказывает существенное влияние на устойчивость горных пород. Она может проникать на глубину

до 70 м. В ряде крупных городов отмечены появление наклона домов в сторону шоссе, неравномерная осадка зданий, как результат вибрации, вызванной движением транспорта. Так, в Москве за период наблюдений (с 1901 г. по 1936 г.) дома в зонах улиц с интенсивным движением транспорта осели на 15-43 мм, а в тихих переулках - на 6-29 мм. В Ленинграде за 1911—1927 гг. среднее значение опусканий составило 0,3 мм в год, а за 1927—1953 гг. - 2,2 мм в год. Исследования показали, что максимальная осадка возникает при частотах колебаний 500-2500 мин.

Существенные изменения в горных породах происходят при мощных технических взрывах. В 1958 г. в Канаде для целей строительства был осуществлен подземный взрыв (было взорвано 1250 т взрывчатки). Подземные толчки были зарегистрированы на расстоянии свыше 1000 км от места взрыва. В СССР, в Голодной степи при строительстве магистрального канала был произведен взрыв, но искусственное сотрясение верхних лёссовых грунтов нарушило их структуру и привело к мгновенному переходу обводненного грунта в жидкий коллоидный раствор — золь, который и затопил образовавшуюся выемку. В результате возникла длинная полоса болот. Еще более значительна по воздействию энергия подземных ядерных взрывов.

Инженерно-строительная деятельность человека ощутимо влияет на речные долины, прибрежные районы озер и морей, рельеф местности. С целью уменьшения длины рек (в интересах речного транспорта) люди спрямляют речные меандры. Так, длина р. Тиссы до регулирования составляла 1429 км. Было спрямлено 112 крупных излучин, при этом река сократилась до 977 км, уклон речного дна увеличился на 37 %. В свою очередь, это повлекло за собой рост объемов твердого транзитного стока. Для развития г. Курска потребовалось освоение пойменных террас рек Сейм и Тускарь, что привело к засыпке затопляемых пойм и перераспределению земных масс, не предусмотренных ходом естественных геологических процессов.

Спортивный комплекс Лужники в Москве расположен в болотистой пойме Москвы - реки. Здесь в короткий срок был искусственно намыт слой грунта толщиной 4—5 м.

Рост городов, появление гигантских мегаполисов приводит к необходимости изменения морфологии поверхности Земли. Засыпаются крупные овраги, озера, прибрежных частей моря. При строительстве Казани ряд рвов, низин и озер был заполнен насыпными породами: в 1840 г. было засыпано Банное озеро, в 1859 г. - Белое, в 1893 г. - Черное. Уровень местности поднялся на высоту от 1 до 12 м.

Весьма пересеченным рельефом характеризовался Киев. Разность высот достигала здесь 107 м. При строительстве города с целью нивелировки рельефа широко практиковались срезка возвышенностей и засыпка пониженных частей. На месте современной благоустроенной главной улицы города - Хрещатика - существовал овраг длиной более 2 км и глубиной до 45 м, который был полностью засыпан. В то же время в

городе были полностью срезаны и крупные возвышенности, в том числе и Черная гора (рисунок 48).



Рисунок 48 - г. Киев в наши дни

К классическому примеру отвоевывания человеком суши от моря относится создание в Нидерландах *польдеров* — осушенных земель, отгороженных от моря дамбами. Активное наступление моря на нидерландский берег происходит уже с X в. н.э., и уже с этого времени человек возводит здесь мощные дамбы, оттесняя морскую стихию от суши. В настоящее время общая протяженность дамб здесь превышает 2 тыс. км, а их высота — 25 м.

Человек не только защищает сушу от морской трансгрессии, но стремится сократить морскую акваторию. В 1932 г. за счет площади залива Зейдер-Зее был создан пolder площадью 200 км<sup>2</sup>, в 1940 г. осушили другой пolder площадью 480 км<sup>2</sup>, в 1950—1956 гг. создан пolder Восточной Флеволанд площадью 540 км<sup>2</sup>. Работы по созданию в Нидерландах антропогенной суши продолжаются.

В пригородах г. Баку в 30-х годах была засыпана бухта Биби-Эйбат, на насыпном грунте создан крупный нефтяной промысел. Активная засыпка мелководной части моря происходит в наши дни на п-ве Гонконг в Южно-Китайском море, в Токийском заливе о-ва Хонсю. Подобное формирование отложений и изменение очертаний морских берегов природные геологические силы не смогли бы произвести и за многие тысячи лет.



Рисунок 49 - Бухтарминское водохранилище

Одновременно с засыпкой озер и морских мелководий человек создает новые искусственные водохранилища, по своим размерам соизмеримые с естественными. При существующих темпах создания искусственных водохранилищ уже через несколько десятилетий площадь их превысит площадь естественных пресных водоемов. Общий объем водохранилищ мира в настоящее время приближается к 5,5 тыс. км<sup>3</sup>, что более чем в 4 раза превышает объем воды в реках. Верхним пределом общей емкости водохранилищ мира называют цифру 30 тыс. км<sup>3</sup>. В условиях искусственных водоемов сток взвешенных наносов рек существенно сокращается, перехватываясь проточными озерами, созданными человеком. Например, после сооружения каскада Волжских ГЭС годовой сток взвешенных наносов р. Волги в Каспий сократился с 27,7 до 8 млн. т. Строительство Цимлянского водохранилища привело к уменьшению твердого стока р. Дона у станции Раздорской на 36 % - с 4,8 до 2,8 млн, т в год. В то же время на дне искусственных водохранилищ намываются новые осадки. Так, в Куйбышевском водохранилище ежегодно откладываются миллионы тонн наносов. Известны случаи, когда мелкие водохранилища полностью заполняются ими за несколько лет. Обратная картина наблюдается при разрыхлении верх-постного слоя в районах инженерного строительства. Это ведет к увеличению твердого стока рек. Установлено, что на застраиваемых городских землях твердый сток увеличивается в 2—5 раз по сравнению с сельскохозяйственными районами. Так, твердый сток р. Гудзон в 1900 г. составлял 0,4 млн. т в год, а к 1960 г., по мере увеличения городского и промышленного строительства в пойме реки, он возрос до 0,83 млн. т в год.

6.4.4 Сельскохозяйственная деятельность человека приводит к увеличению эрозии и, как следствие этого, к развитию неудобий— земель, непригодных для сельского хозяйства. За последнее столетие на нашей планете подверглось эрозии около 2 млрд. га поверхности суши - это почти треть всех обрабатываемых земель. Ежегодно в Азии, Африке и Латинской Америке эрозия «съедает» 4-5 млн. га

сельскохозяйственных площадей. Средняя же скорость эрозии возделываемых земель в мире превышает 3 тыс. га в сутки.

По подсчетам зарубежных ученых не менее 50 млн га ранее распаханых земель к настоящему времени уже полностью разрушены и лишены почвенного покрова. В одних только США на протяжении последнего столетия эрозия уничтожила 20 млн га плодородных земель, в КНР из строя выведена четверть обрабатываемых земель и т. д. В значительной степени эрозия почвы происходит при сильных бурях, получивших название пыльных бурь. Мощнейшая пыльная буря, пронесшаяся в мае 1934 г. над североамериканскими штатами Иллинойс, Огайо, Мэриленд, Северная Каролина, погубила 45 млн. га пашни (рисунок 50).



Рисунок 50 - Эрозия почв

Ветер унес отсюда 300 млн т органоминеральных веществ. От «пыльного воспаления легких» погибали люди, а на железнодорожных путях из-за заносов останавливались поезда. Ветровая эрозия почвы наблюдалась и в СССР в начале 70-х годов на Северном Кавказе, в южных областях Украины, в некоторых районах Черноземной полосы РСФСР.

Кроме ветровой эрозии, большую разрушительную работу проводит и водная эрозия, которая ежегодно «уносит» около 3 млн т плодородных пахотных земель. В отличие от ветровой, водная эрозия имеет не только плоскостное, но и глубинное распространение, способствуя образованию оврагов и балок. Неумеренный выпас скота может привести к исчезновению лугов и образованию на их месте пустынь и полупустынь. Именно по этой причине возникли подвижные пески в Прикаспии. Образование самой крупной пустыни мира — Сахары также связывают с неумеренным земледелием и скотоводством, приведшими к эрозии почвенного слоя этой некогда плодородной территории.

6.4.5 Понятие антропогенного бэдленда. Совокупным отрицательным результатом горно-технической, инженерно-строительной и сельскохозяйственной деятельности человека является образование

*антропогенного бэдленда* - разрушенной поверхности литосферы, в пределах которой резко усиливаются нежелательные процессы. В настоящее время его площадь превышает 4,5 млн км<sup>2</sup>, что составляет 3 % площади суши. По расчетам ученых, к 2000 г. территория бэдленда сравняется с площадью всех пахотных земель планеты.

В процессе техногенеза человек не только извлекает из недр горную породу и полезные минералы (рисунок 50), но и совершает большую работу по их транспортировке. По данным А. М. Рябчикова, объем вещества, ежегодно перемещаемого в результате производственной деятельности людей, оценивается в 10 тыс. км<sup>3</sup>, что составляет около 20 трлн т. Совокупность процессов по разрушению горных пород и их перемещению образует *антропогенную денудацию*, на ее долю приходится почти 40 % общепланетарной денудации.



Рисунок 51 - Горные работы

Как любой геологический фактор, техногенез приводит к формированию новых специфических отложений. Предварительные подсчеты показывают, что на земном шаре уже появилось свыше 15 трлн м<sup>3</sup> искусственных пород. За истекшее столетие на земной поверхности скопилось свыше 20 млрд т шлака, рассеялось почти 3 млрд т золы, около 1,5 млн т мышьяка, более 1 млн т никеля, 900 тыс. т кобальта, по 600 тыс. т цинка и сурьмы, сотни и десятки тысяч тонн других ценных элементов. Ежегодно антропогенные осадки увеличиваются на 40—45 млрд м<sup>3</sup>. Если учесть, что, например, естественные наносы текущих вод земного шара не превышают 13 млрд м<sup>3</sup>, то становится понятным, что масштабы производственной деятельности человека значительно превышают масштабы аккумулирующей деятельности многих геологических факторов.

Наиболее активна антропогенная аккумуляция в городских районах. Еще в древнем Риме мусором и отбросами укрепляли берега р. Тибра. Со временем на берегу реки появился холм Коллина-ди-Теста («Холм глиняных горшков»). Он порос деревьями и кустарником, стал местом отдыха. В наше время скорость накопления городского мусора огромна. В

США, например, количество вторичного сырья увеличивается ежегодно примерно на 3,5 млрд т. Каждый год в этой стране выбрасывается свыше 50 млрд консервных банок, 30 млрд стеклянных бутылок, 60 млрд разнообразных металлических и пластмассовых емкостей. Большинство подобных отходов - выброшенное минеральное сырье. В последнее время в некоторых странах мира городской мусор стали использовать для получения энергии. По данным зарубежных исследователей, только в США использование отходов может дать годовую экономию нефти свыше 30 млн т. По подсчетам американских ученых, тепловая энергия, которую можно получить из мусора, эквивалентна почти 20% производимой в этой стране электроэнергии.

Антропогенные накопления в городских районах старой застройки залегают сплошным покровом мощностью от 1 до 10 м, а иногда и больше. В Киеве, например, они достигают 36 м, Москве - 22 м, Ташкенте - 18 м, Сан-Франциско - 23 м, Лондоне - 25 м, Париже - 20 м и т. д.

Вход в знаменитый Домский собор в Риге в прошлом вел по лестнице вверх, а теперь - вниз. Это произошло из-за появления в старом городе толщи, ранее не существовавших антропогенных осадков.

В некоторых случаях антропогенная аккумуляция приводит к существенным изменениям в рельефе. Так, отвалы древних разработок в Средней Азии сформировали своеобразный холмистый рельеф, который долгое время воспринимался как естественный. В Донбассе ежегодно поднимается на гора около 10 млн. т пустой породы и создается сопочный рельеф из терриконов. В то же время открытые разработки приводят к образованию огромных искусственных карьеров, склоны которых нарушаются оврагами. При открытых разработках только в нашей стране ежегодно извлекается свыше 14 млрд. м<sup>3</sup> грунта, что приводит к возникновению отрицательных и положительных форм рельефа. Отражая рельефообразующую деятельность человека, возникло понятие *антропогенный ландшафт*.

6.4.6 Влияние техногенеза на загрязнение оболочек Земли. Геологическая деятельность человека существенно влияет и на загрязнение, и на изменение химического состава верхнего слоя лито-, атмо - и гидросферы. Химический состав литосферы изменяется, прежде всего, за счет использования в сельском хозяйстве удобрений. Ежегодно на 1 м<sup>2</sup> земли с калийными удобрениями вносится 4—5 г хлора, т. е. за 25 лет на 1 га приходится около 1 т хлора. Всего же в мире (уровень 1970 г.) производилось более 70 млн. т минеральных удобрений, в том числе: азотистых 27, фосфорных 23, калийных 18. Предполагается, что через 30—50 лет в поверхностных отложениях земной коры содержание железа повысится в 2 раза, свинца - в 10, ртути - в 100, мышьяка - в 250 раз. Несомненно, что это приведет к изменению состава почв и другим пока еще непредсказуемым явлениям.

Состав гидросферы изменяется, преимущественно, за счет засорения и загрязнения подземных, речных, морских и океанических вод

промышленными и бытовыми стоками, разливами нефти. В настоящее время ежегодный сброс сточных вод составляет почти  $500 \text{ км}^3$ . За счет этого в воды Мирового океана ежегодно попадает 2,3 млн т свинца, 1,6 млн т марганца, 6,5 млн т фосфора. Количество железа, выносимого в море реками, равно половине мировой продукции стали. Одна лишь р. Рейн сбрасывает в Северное море около 60 млн. т растворенных в воде отбросов. Кроме того, в воду морей и океанов ежегодно по разным причинам попадает от 2 до 10 млн. т сырой нефти. В итоге меняется в негативную сторону химический состав вод всей гидросферы нашей планеты. С одной стороны, это приводит к нежелательным экологическим последствиям, а с другой, - повышает химическую агрессивность вод гидросферы, их разрушающую способность, что также нарушает сложившееся природное равновесие различных геологических процессов.

Человек существенно влияет и на химический состав атмосферы. Медленно, но неуклонно уменьшается в ней содержание кислорода и увеличивается количество диоксида углерода, различных сернистых и азотных газов. В 1860 г., когда началось широкое применение угля в качестве топлива, количество диоксида углерода в воздухе условно принималось равным единице. Спустя 100 лет оно увеличилось на одну десятую, к 2000 г. может возрасти на одну треть, а к 2020 г. — в 2 раза. Оценивая возможные изменения в природе при удвоении содержания диоксида углерода, А. Е. Ферсман еще в 1934 г. писал: «Мы присутствовали бы при грандиозном изменении хода геологических процессов, если бы действительно осуществилось удвоение  $\text{CO}_2$  в воздухе». Если сжечь все известные на планете запасы каменного угля, то количество  $\text{CO}_2$  в атмосфере увеличилось бы в 10 раз. Одновременно с выделением  $\text{CO}_2$  при сжигании топлива происходит ускоренное поглощение кислорода. Полное сжигание каменного угля сократило бы его количество с 23,2 до 22,7%. В США, например, автомобили потребляют в два раза больше кислорода, чем его воспроизводится при природном обмене веществ на этой территории. Аналогичная ситуация складывается и в других промышленно развитых странах. Каждый автомобиль за 1000 км пути потребляет столько же кислорода, сколько его нужно человеку в течение года. Авиалайнер трансатлантического типа расходует за один рейс от 35 до 50 т кислорода. В результате проявления различных антропогенных факторов за последнее десятилетие содержание кислорода в атмосфере уменьшилось на несколько процентов, а газообмен между атмосферой и океаном за счет нефтяного загрязнения сократился на 12 %. Согласно расчетам, прирост количества сжигаемого топлива на 5 % через 165 лет приведет к такому истощению кислорода, что содержание его станет ощутимо для человека.

Загрязняется атмосфера также золой, сернистыми соединениями, пылью. За последние 100 лет на Земле было сожжено свыше 100 млрд т угля, при этом в воздух выброшено в виде аэрозоля более 3 млрд т золы.

При сжигании угля в атмосферу поступает сотни миллионов тонн сернистого газа, который, соединяясь с водой, образует сернистую кислоту. Из ежегодных выбросов сернистых газов только в СССР можно было бы получать до 40 млн т серной кислоты, что в четыре раза превышает годовую продукцию ее в стране. Это резко ускоряет не только коррозию сооружений и механизмов в промышленных районах, но и вызывает пока малоизученные изменения в геохимическом балансе атмосферы, гидросферы и поверхностной части земной коры (рисунок 52).



Рисунок 52 - Смог в г. Пекине (Китай)

Резко повысилось поступление в атмосферу пыли в связи с использованием и испытанием ядерного оружия. При наземном взрыве водородной бомбы в атмосферу выбрасывается до 100 млн т пыли. Этот материал сосредоточивается на высоте 8—15 км, а при крупных взрывах попадает даже в стратосферу. Загрязнение атмосферы в таких случаях имеет тот же характер, как и после крупных вулканических извержений. Суммарное загрязнение атмосферы приводит к резкому негативному изменению ее состава. В некоторых промышленных районах ФРГ в результате отравления воздуха засыхают зеленые растения, в Венеции разрушаются соборы и статуи. Развитие реактивной авиации привело к увеличению облачного покрова. Самолет, летящий со скоростью 800 км/ч, создает полосу тумана шириной 3 км, которая держится 2 ч. Считают, что уже сейчас 5—10% перистых облаков над Европой, Северной Америкой и Атлантикой связано с авиацией. Совместное воздействие негативных факторов приводит к увеличению числа пасмурных дней с туманом, особенно в крупных промышленных городах и районах. Так, за последние 25—30 лет в Париже количество таких дней возросло в три раза. В будущем техногенная облачность в районах некоторых крупных аэропортов может приблизиться к 100%. Засорению

подвергается не только атмосфера, но и околоземное пространство. К 1990 г. в околоземном космическом пространстве будет находиться примерно 1 млн. твердых тел с общей массой около 100 тыс. т.

Производственная деятельность человека оказывает нежелательное влияние и на биосферу, частью которой он является и сам. За неполные 2 тыс. лет количество лесов сократилось вдвое, исчезло 106 видов и разновидностей крупных млекопитающих (продолжительность жизни одного вида в среднем 600 тыс. лет), 139 видов птиц. Свыше 600 видов животных находятся на грани истребления и внесены в «Красную книгу». С целью предотвращения негативного влияния человека на природу многие государства мира тратят большие средства на защиту окружающей среды. Эти мероприятия заключаются в организации охранных территорий (заповедников, заказников, национальных парков и т. д.), где создаются условия для выживания и умножения исчезающих видов животных и растений; применении безотходных технологий; более рациональном использовании добываемого минерального сырья; вовлечении в производство вторичного сырья (отходов); рекультивации земель и т. д.

6.4.7 Рекультивация земель. Охрана природы — это комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное природопользование, восстановление, умножение и охрану природных ресурсов для блага человеческого общества. Часть этих мероприятий имеет профилактический характер и направлена на предотвращение нежелательных последствий антропогенной деятельности. Другая часть — *рекультивация земель* — предусматривает задачу восстановления природного ландшафта, нарушенного техногенезом (рисунок 53).



Рисунок 53 - Николаевское полиметаллическое месторождение. Отвалы.

Различают горно - техническую, биологическую и строительную рекультивации. Первая заключается в предварительной подготовке нарушенных территорий для целевого пользования. Сюда входят работы по планировке поверхности, покрытию ее слоем почвы, проведению необходимых мелиоративных мероприятий, а также предупредительные инженерно-геологические работы.

Следующая стадия восстановления земель - биологическая рекультивация, заключается в формировании на ранее нарушенных участках земли пастбищ, пашен, садов, лесов, рыбоводных водоемов.

Завершающая стадия — строительная рекультивация, под которой понимают создание новых промышленных и жилых районов или зон отдыха. В зависимости от сложности восстановительных работ на 1 га рекультивируемой площади затрачивается от 1 до 10 тыс. руб. Рекультивация земель должна получить широкое развитие в нашей стране, так как планируется увеличение открытых (карьерных) способов разработки месторождений полезных ископаемых. Такой способ снижает потери минерального сырья на 3—10%. Поэтому в ближайшем будущем свыше  $\frac{1}{2}$  каменного угля, почти  $\frac{9}{10}$  железной руды,  $\frac{4}{7}$  руд цветных металлов и около  $\frac{3}{5}$  горно-химического сырья будут добываться в нашей стране карьерным способом.

Деятельность человека, как нового геологического фактора, очевидна. И хотя люди понимают, что порой она негативно влияет на окружающую среду и прикладывают немало усилий, чтобы оградить природу от нежелательных последствий, все же непредсказуемость человеческой деятельности вызывает справедливую и обоснованную тревогу. Необходимо не только констатировать новые факты вмешательства и исправлять тот ущерб, который наносит природе горно-техническая, инженерно-строительная и сельскохозяйственная деятельность, но и вести комплексное и фундаментальное изучение этой деятельности и ее последствий. В свое время академик А. В. Сидоренко писал: «Должна родиться и организационно оформиться новая очень важная отрасль науки — *техническая геология, изучающая* геологические последствия хозяйственной деятельности человека, дающая прогнозы того, как в результате вмешательства человека в земную кору нарушаются природные равновесия между отдельными компонентами и как пойдет дальше развитие геологических процессов в земной коре, в зоне, доступной человеку». Такая наука формируется на стыке геологических, геохимических, геофизических, технических и экономических знаний.

## **6.5 Проблемы техногенного изменения окружающей среды в Казахстане**

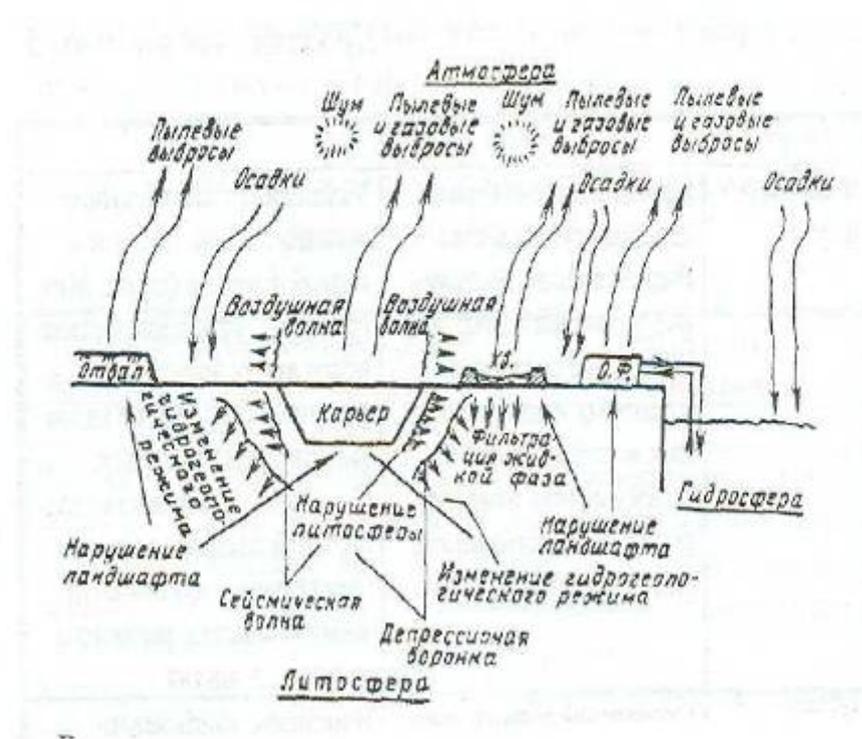
Отечественная промышленность все эти годы развивалась практически без учета необходимых экологических норм и требований. Мало использовались ресурсосберегающие, малоотходные технологии, эффективно работающие очистные сооружения, В результате более 15 тыс,

предприятий страны, в том числе металлургических, горно-обогатительных, химических и нефтехимических, машиностроительных, оказывают крайне неблагоприятное воздействие на окружающую среду и здоровье населения.

Спад производства 1992-2000 гг. не сопровождался, к сожалению, пропорциональным снижением техногенной нагрузки на биосферу. Действующие и тогда мощные горно- металлургические комплексы внесли значительный вклад в усугубление неблагоприятной экологической обстановки многих регионов Казахстана. В результате в настоящее время около 25 % населения проживает в условиях постоянно высокой концентрации в воздухе вредных веществ.

Около половины (43%) загрязняющих воздух выбросов идет от стационарных источников, и свыше 15% сбросов загрязненных сточных вод приходится на предприятия топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Например, только предприятия нефтедобывающей промышленности ответственны за 10% валового выброса в атмосферу страны загрязняющих веществ. При добыче газа улавливается и обезвреживается лишь 8% от общего объема отходящих газов. На долю отрасли приходится 20% выбрасываемых вредных веществ от стационарных источников. Доля выбросов угольной промышленности всего 1% от общего количества по стране, однако, в них содержатся опасные высокотоксичные вещества (пятиокись ванадия, шестивалентный хром, фторид и хлорид водорода).

На долю тепловых электростанций приходится около 20% всех выбросов от стационарных источников страны. В результате строительства ГЭС и создания водохранилищ затоплено миллионы га земли.



## Рисунок 54 - Пути загрязнения окружающей среды в районах горнодобывающих предприятий

Металлургический комплекс страны производит около четверти всех выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и гидросферу (рисунок 54).

Серьезной экологической проблемой стали отходы производства. Экономическая незаинтересованность предприятий, низкий технологический уровень, отсутствие современного оборудования по переработке привели к тому, что утилизацию проходит незначительная часть отходов, а темпы их образования и накопления на территории страны остаются прежними. Например, в отвалах горнодобывающих предприятий скопилось около одного миллиарда отходов, из которых использовано менее 5% (рисунок 56).

Каждый год тепловые электростанции образуют порядка 50 млн. т золошлаковых отходов. Перерабатывается при этом лишь 4 млн.т. Около 20 тыс. га территории страны занимают золошлаковые свалки.



## Рисунок 55 - Николаевское полиметаллическое месторождение

Огромное количество жидких и твердых отходов образуются в горной промышленности. Общая площадь шламохранилищ составляет в настоящее время примерно 10 тыс. га. Районы горного отвода перерабатывающих и обогатительных предприятий стали настоящим бедствием в отношении загрязнения гидросферы, почвы, атмосферы тяжелыми металлами, ртутью, мышьяком, кадмием, кобальтом, марганцем и др.

Особой проблемой стали утилизация и обезвреживание опасных отходов производства и потребления. Ежегодно их образуется около 30 млн. т., а утилизируется и обезвреживается лишь 18%.

Около 80% отходов, содержащих соли тяжелых и редких цветных металлов, соединений мышьяка и др. образуются на металлургических и агрохимических предприятиях.

Сотни тысяч тонн опасных отходов образуется на предприятиях атомной энергетики. Утилизируется и обезвреживается всего 20%,

остальное помещается в спецхранилища, которые, также со временем подвергаясь коррозии, становятся источниками опасного загрязнения подземных вод радионуклидами.

Основная часть опасных отходов, около 60%, помещается в специально отведенные места. Однако в ряде отраслей промышленности образующиеся токсичные отходы предприятий энергетики (87%), тяжелого (50%) и сельскохозяйственного машиностроения (32%), химических и нефтехимических (23%), медицинской промышленности (20%) вывозятся на полигоны твердых бытовых отходов (ТБО) и несанкционированные свалки.

Ежегодно образуется около десятки млн. кубометров твердых бытовых отходов. Из них большая часть вывозится на свалки, остальной мусор уничтожается на мусоросжигающих и мусороперерабатывающих заводах. Свалки вместе с утечками из канализации, в свою очередь, загрязняют подземные воды.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что понимается под ноосферой?
2. В чем заключается горно-техническая деятельность человека?
3. В чем заключается понятие антропогенный бэдленд?
4. Что такое антропогенная денудация?
5. Аккумулирующая деятельность человека?
6. Типы рекультивации земель?
7. На стыке каких наук формируется новая отрасль геологии – техническая геология?

## 7 ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ФАКТОРОВ ВНУТРЕННЕЙ ДИНАМИКИ ЗЕМЛИ

### 7.1 Понятие эндогенные процессы. Магматизм. Вулканизм

Процессы внутренней динамики Земли или эндогенные процессы протекают в ее внутренних оболочках: недрах земной коры, мантии и ядре.

Главным источником эндогенных процессов является внутренняя энергия, в том числе распад радиоактивных элементов в земной коре и мантии. К ним относятся: магматизм, в том числе вулканизм, сейсмические и тектонические процессы. По силе своего воздействия на геологические объекты факторы внутренней динамики Земли значительно превосходят факторы внешней динамики и порой их проявления приводят к разрушительным и катастрофическим последствиям.

Под магматизмом понимают явления, связанные с образованием, изменением состава и движением магмы из недр Земли к ее поверхности, обусловленные тепловым и гравитационным полем Земли.

Магма – природный высокотемпературный расплав, образующийся в виде отдельных очагов в литосфере и верхней мантии (астеносфере). Это сложная многокомпонентная система, представленная кремнеземом  $\text{SiO}_2$  и химическими эквивалентами силикатов Al, Na, K, Ca. В природе существует несколько типов магм, кроме того, магма, при подъеме расплавляет и ассимилирует вмещающие породы, изменяя тем самым, химический состав. Это и объясняется многообразие видов магматических пород. На глубине магма представляет собой двухфазную систему, состоящую из расплава, паров воды и газов ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCl}$  и т.д.), составляющих до 12 % от общего содержания.

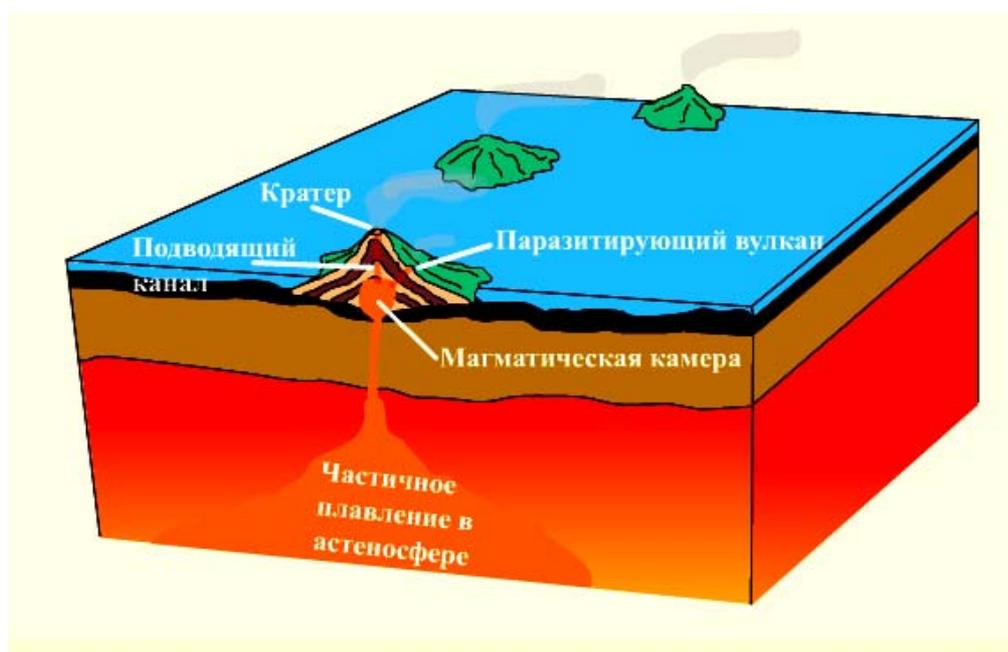


Рисунок 56 - Модель проявления магматизма

При медленном движении магмы к поверхности ее раскристаллизация начинается еще на глубине, и магма превращается в трехфазную систему – расплав, газы и отдельные твердые минералы. Дальнейшее охлаждение приводит к полной раскристаллизации магмы и образованию магматических горных пород.

*Процессы магматизма играют исключительно важную роль в формировании земной коры (ЗК), поставляя материал из мантии и наращивая кору, что, в свою очередь приводит к перераспределению вещества внутри самой коры. Магматические породы составляют основную часть ЗК, составляя 90% ее объема (рисунок 57).*

## 7.2 Интрузивный магматизм

Если поднимающаяся магма не достигает поверхности Земли, а застывает внутри коры, образуются глубинные магматические тела - интрузивные породы. Существует два основных механизма внедрения магмы во вмещающие породы: по плоскостям напластования и с пересечением вмещающих толщ. В первом случае формируются согласные с общим залеганием магматические тела. Они могут поднимать пласты кровли или вызывать прогибание подстилающих пластов. К ним относятся силлы, лакколиты, лополиты и факолиты.

Во втором случае формируются несогласные магматические тела: батолиты, дайки, штоки, жилы.

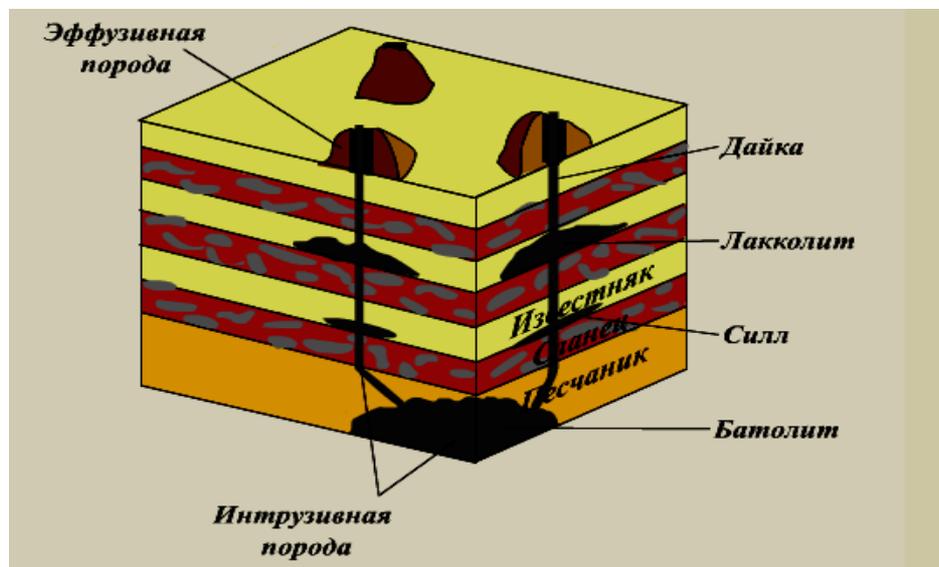


Рисунок 57 - Формы залегания интрузивных пород

*Силл* – пластообразное интрузивное тело, залегающее по слою, площадь распространения много больше мощности.

*Лакколит* – имеет плоское основание и куполообразный свод. Образуются при внедрение кислой магмы.

*Лополит* – чашеобразное тело, вогнутая форма которого обусловлено прогибанием подстилающих пластов.

*Факолит* – линзообразное тело, залегающее в ядрах антиклинальных или синклиналиных складок. Встречаются редко и только в складчатых областях

*Дайка* - плитообразное тело, мощность которого несоизмеримо меньше его протяженности. Образуются при заполнении магмой трещин. Как правило, сложены породами основного состава.

*Жила* – отличается от дайки меньшими размерами и невыдержанной извилистой формой.

*Шток* – тело приближающейся цилиндрической формы

*Батолит* – самое крупное интрузивное тело. Площадь распространения сотни тыс. км<sup>2</sup>. Чаще они сложены кислыми породами (рисунок 58).

### 7.3 Эффузивный магматизм

Эффузивный магматизм проявляется в обстановке дробления земной коры и образования разломов, по которым магма поднимается и изливается на поверхность Земли. Магма, излившаяся на поверхность, превращается в лаву. Лава отличается отсутствием летучих компонентов, ушедших в атмосферу. Места прорыва на поверхность магмы называются вулканами. Вулканы бывают площадные, трещинные и центральные (рисунок 67, 68).

Большинство современных вулканов относятся к *центральному типу* и представляют собой конусообразную возвышенность, сложенную продуктами вулканизма.



Рисунок 58 - Вулкан центрального типа

*Площадные вулканы* имели распространение только на ранних этапах истории Земли, когда ЗК была тонкой и излияния распространялись на большие площади и имели вид морей расплавленной лавы.

*Трещинные вулканы* приурочены к протяженным глубинным тектоническим трещинам. Проявляется в излиянии на поверхность базальтовой лавы. Этот тип вулканизма также имел максимальное распространение в далеком и недалеком прошлом, например в Новой Зеландии, хотя имеет место и сейчас в Исландии и. Здесь неоднократно происходило излияние лавы вдоль гигантской трещины Лаки, расположенной на самом юге Исландии. Мощные базальтовые поля известны в Индии (плато Декан, площадь 5x10<sup>5</sup> км<sup>2</sup>), на северо-западе США, в Сибири. Накопление базальтовых толщ проходило постепенно, формируя

лавовые образования с плоской поверхностью, ступенчатообразной формы – траппы (шв. лестница).



Рисунок 59 - Вулканы площадного и трещинного типа

Вулканические извержения доставляют на поверхность газообразные, жидкие и твердые продукты (рисунок 60).



Рисунок 60 - Газообразные и жидкие продукты вулканизма

*Газы* - химический состав газов определяется стадией деятельности вулкана: от хлористо и фтористоводородных соединений с температурой выше 180 градусов называют фумаролы (лат. Фумус - дым).

*Жидкие* продукты извержения лавы характеризуются температурами в пределах 600-1200 ос. Химический состав лав зависит от состава исходной магмы. Лавы также бывают двух типов: базальтовые (основные) и гранитные (кислые, риолитовые). Основные лавы, обедненные кремнеземом, имеют жидкую консистенцию, они подвижны, свободно текут. При их застывании на поверхности образуется корочка, под которой происходит дальнейшее движение жидкости. Образующиеся из базальтовых лав породы имеют темную окраску, значительную плотность. Кислые лавы обогащены кремнеземом. Они сравнительно легкие, вязкие, малоподвижные, содержат большое количество газов, остывают медленно. Образующиеся породы окрашены в светлые тона, имеют меньшую, чем основные лавы, плотность.

Формирующиеся из лав на поверхности Земли эффузивные горные породы образуют тела различной формы: купола, потоки, покровы (рисунок 61).



Рисунок 61 - Лавовые потоки, вулканический пепел

*Твердые* продукты извержения включают в себя вулканические бомбы, лапилли, вулканический песок и пепел. В момент извержения они вылетают из кратера вулкана со скоростью 500-600 м/с.

*Вулканические бомбы* - крупные куски затвердевшей лавы размером в поперечнике от нескольких сантиметров до 1 м и более. Они образуются при взрывном (эксплозивном) извержении, которое происходит при быстром выделении из магмы содержащихся в ней газов.



Рисунок 62 - Твердые продукты вулканизма, бомбы, лапилли

*Лапилли* – (лат. - камешек)- сравнительно мелкие обломки шлака величиной 1,5 – 3 см.

Вулканический песок состоит из еще более мелких обломков (до 0,5 см), а вулканический пепел имеет размеры частиц до 1 мм. Вулканический песок и пепел, оседая на склонах вулканов и на некотором расстоянии от него уплотняется, цементируется, образуя вулканические туфы. Вулканическая брекчия формируется путем цементации обломков пород разного размера лавой. Вся совокупность твердых продуктов извержения объединяются в *пирокластические породы* (рисунок 62).

По ряду признаков, к которым относят: форму вулканических сооружений, характер взрывов, состав и количество извергаемых продуктов, а также целый ряд второстепенных явлений, придающих каждому извержению неповторимый, характер выделены две группы вулканов: щитовые и взрывные.

Щитовые - вулканы - Гавайского типа образуют огромные плоские возвышенности с пологими склонами. По форме сооружения напоминают лежащий щит, и вулканы называются щитовыми. Извержение проходит спокойно, без толчков и взрывов, лава основного состава почти без газов (о-ва Самоа, Камчатка).

Взрывные: стромболианский, везувианский, пелейский, маар, диатремы, кракатау.

Стромболианский тип характеризуется значительной подвижностью (меньшей чем гавайский), отличаются ритмичностью. При взрывах образуются большие крученые бомбы. (Ключевская сопка, п-ов Камчатка)

Везувианский тип – мощные выбросы магмы, насыщенной газами, выбросами огромных черных туч пепла. Сопровождаются ливнями и грязевыми потоками. Лава изливается из боковых трещин (Средиземное море).

Пелейский тип - о-в Мартиника, вул. Мон-Пеле. Извержению предшествуют мощные подземные толчки. Магма вязкая, содержит много газов. В жерле образуется пробка в виде «обелиска».

Тип Кракатау – сильные взрывы и огромное количество пепла. Лава не изливается. (Аляска, о-ва Японии). Лава кислая, вязкая

Маар – происходили в прошлые геологические эпохи, отличались сильными газовыми взрывами и выбросом пепла без излияния магмы.

Трубки взрыва – диатремы близки к маарам. Известны в Сибири и Южной Африке. Знаменитые кимберлитовые трубки.

*Распространение вулканов.* На земном шаре в настоящее время выявлено свыше 4 тыс. вулканов. Более 800 – действующие.

Обычно деятельность вулкана длится 10-15 тыс лет. Приурочены вулканы к зонам раздробленности литосферы, аномально высоким тепловым потоком и магнитными аномалиями. Наибольшее количество действующих вулканов (60%) сосредоточено у берегов Тихого океана. Эта область имеет название Большого тихоокеанского кольца. В Альпийско-Гималайском поясе сосредоточено 23% всех вулканов – это Средиземноморско-Альпийско-Гималайское кольцо (рисунок 63).

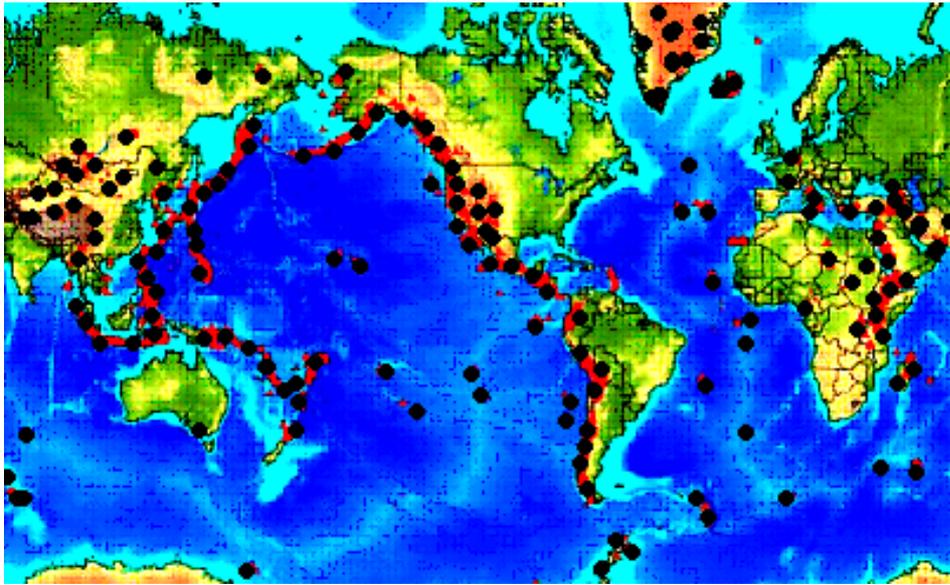


Рисунок 63 - Распространение вулканов

Остальное количество действующих вулканов расположено в области Атлантического океана (Исландия) (рисунок 64).



Рисунок 64 - Гейзер

К областям вулканизма приурочено до 95% известных ювенильных термальных источников – гейзеров (рисунок 73 Исландия, Кольский п-ов).

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое магма?
2. Где формируются первичные магматические очаги?
3. Классификация магматизма?
4. Какие интрузивные тела относятся к пластовым ?
5. Что такое интрузивный магматизм?
6. К какому типу интрузивных тел относятся дайки?
7. Какие интрузивные породы относятся к кислым, средним, основным?
8. Что такое лава?
9. В чем отличие лавы от магмы?
10. Классификация вулканизма?
11. Продукты вулканизма ?
12. Что такое маар и диатремы?
13. Грязевой вулканизм, причины проявления?
14. Что такое «вулканические пояса»: Большое и Малое кольцо?

## 8 ТЕКТОНИКА

### 8.1 Понятие тектоники, цели и задачи науки

8.1.1 Тектоника - отрасль геологии, изучающая движения и деформации земной коры, вызываемые эндогенными процессами, а также геологические структуры, возникающие в результате таких движений и деформаций.

В предыдущих разделах курса неоднократно указывалось, что подавляющее большинство геологических процессов, благодаря своим масштабам, длительности и необратимости недоступно для непосредственных наблюдений и о них можно судить лишь путем изучения результатов их проявлений, запечатленных в строении земной коры, в характере залегания в ней различных горных пород.

*Поэтому первой задачей тектоники* является изучение форм залегания горных пород и их сочетаний, определяющих структуру земной коры.

На основе фактического материала решается *вторая важнейшая задача тектоники*: выясняются характер, условия проявления и история движений земной коры, в результате которых геологические структуры формируются, изучаются закономерности их проявления и причины, их вызывающие.

## 8.2 Тектонические движения

8.2.1 Поверхность Земли никогда не остается в покое. Одни участки воздымаются, другие опускаются, причем эти движения происходят крайне неравномерно, с различными скоростями и размахом.

По Г. Гильберту тектонические движения подразделяются на *эпейрогенические* (создающие континент) и *орогенические* (создающие горы). Медленные колебания, которые приводят к отступлению (регрессии) или наступлению (трансгрессии) моря на сушу (Голландия) - называют колебательными *эпейрогеническими движениями*. Многочисленные случаи нахождения морских отложений на всех материках и перекрытие их континентальными осадками свидетельствуют, что вековые колебания земной коры неоднократно совершались в прошлые геологические эпохи. Есть свидетельства, что процессы прогибания или опускания отдельных районов суши имеются и сейчас. Наибольшие темпы опускания регистрируются в настоящее время в долине р. Конго. Как показали измерения русло р. Конго продолжается в виде подводной долины более чем на 130 км от берега вглубь Атлантического океана до глубины 2000м. Примером поднятия служит Скандинавский полуостров, который растет со скоростью 0,24 м в столетие.

Быстрые внезапные колебания могут быть выражены в виде подземных толчков – это землетрясения. Мощное длительное сжатие горных пород в пределах складчатых структур (геосинклиналей), приводящее к образованию горных сооружений – это орогенные процессы.

Орогенические процессы характеризуются большими амплитудами колебательных процессов и периодичностью.

8.2.2 Все тектонические движения делятся на 2 группы: вертикальные и горизонтальные. Обычно они проявляются взаимосвязано. Совокупность разнотипных движений называется *тектогенезом*. Периодичность тектонических процессов – важное свойство тектогенеза. Современные исследователи рассматривают процесс тектогенеза как непрерывно-прерывистый с периодическим и достаточно резким возрастанием активности и приводящим к перестройке отдельных блоков литосферы. Сравнительно кратковременные максимумы тектонической активности (первые млн. лет) называют тектоно - магматическими фазами складчатости (таконская, байкальская), эпохи складчатости или эпохи диастрофизма делятся 10-20 млн. лет. Они часто приводят к образованию устойчивых участков суши - платформ. Продолжительность разделяющих их интервалов – от 30 до 80 млн. лет.

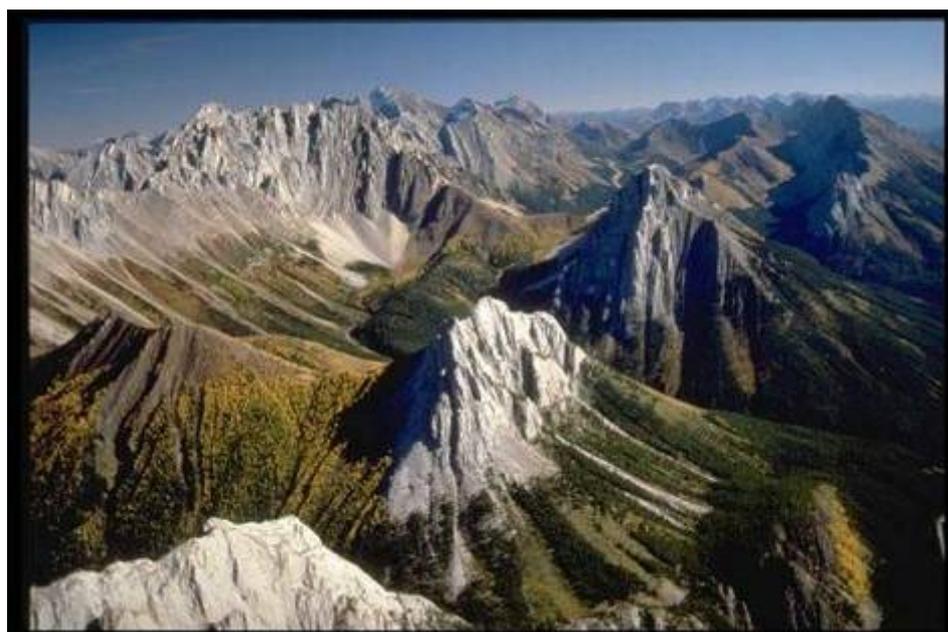


Рисунок 65 - Горные сооружения

Тектонические движения повсеместны. Они проявляются практически в любой точке земной поверхности. По времени проявления выделяют древние (до неогена) новейшие (неоген-четвертичные) и современные (последние 5-6 тыс. лет) тектонические процессы (рисунок 65). Все они приводят к различным нарушениям первоначального горизонтального залегания горных пород.

Орогенные колебательные движения делятся на *пликативные* (складчатые) и *дизъюнктивные* (разрывные).

Складчатые процессы наиболее характерны для пластичных осадочных и метаморфических пород, разрывные - для более жестких осадочных и магматических пород.

**8.2.3 Пликативные нарушения.** Складкообразовательные движения — это движения, которые приводят к образованию нарушенного залегания пластов земной коры без разрыва их сплошности, или иначе — к образованию пластических деформаций. Такие формы нарушений принято называть *пликативными* нарушениями или дислокациями (рисунок 66).

Среди пликативных дислокаций выделяют следующие формы: 1) моноклираль, 2) складки, 3) флексуры. Наиболее распространенной (основной) их формой являются складки.

Если пластические деформации горизонтально залегающих пластов осадочных пород проявились в виде их одностороннего наклона (без разрыва сплошности), то такая форма нарушения или дислокации называется *моноклираль*. В зависимости от величины угла наклона пластов (рис. 73) различают моноклинали слабо наклонные (угол наклона до  $15^\circ$ ), пологие ( $16\text{—}30^\circ$ ), сильно наклонные ( $30\text{—}75^\circ$ ), поставленные на голову ( $80\text{—}90^\circ$ ).



Рисунок 66 - Первоначальное горизонтальное залегание пород, складки опрокинутые

*Флексуры* – ступенчатые изгибы, осложняющие строение горизонтально или пологозалегающих слоев.

*Складки* — волнообразные изгибы пластов земной коры без разрыва сплошности. Складка, пласты которой выгнуты кверху, называется антиклинальной складкой, или антиклиналью. Складка, пласты которой прогнуты книзу, называется синклиальной складкой, или синклиалью. Синклинали и антиклинали — две основные формы существования складок.

В синклиальных и антиклинальных складках различают следующие элементы

*Крылья* — боковые части складки. Каждая складка имеет два крыла. Положение крыльев складки в пространстве определяется по странам света (западное и восточное крыло, северное и южное, юго-западное и северо-восточное и т. п.). Если синклиальные складки чередуются с антиклинальными, то крыло одной складки является одновременно крылом другой складки.

*Замок* — часть складки, прилегающая непосредственно к месту перехода одного крыла в другое. Нередко замок антиклинальной складки называют сводом.

*Угол складки* — угол, который получается, если мысленно продлить крылья до их пересечения. Его можно определить при графическом изображении поперечного сечения складки.

*Осевая плоскость* — воображаемая поверхность, которая делит угол складки пополам.

*Ось складки* — линия, получаемая при пересечении осевой плоскости с поверхностью Земли.

*Шарнир складки* — линия, образованная при пересечении осевой плоскости складки с поверхностью любого пласта, слагающего складку. В складке можно выделить столько шарниров, сколько пластов ее образуют.

*Ядро складки* — внутренняя часть складки (рисунок 76).

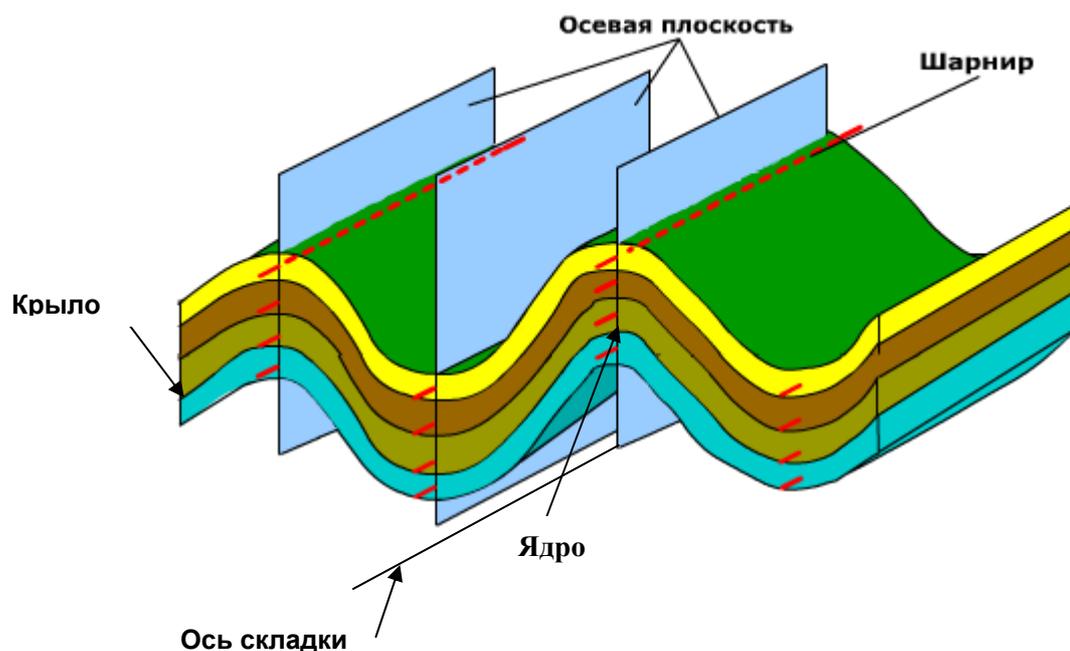


Рисунок 67 - Элементы складки

В зависимости от положения осевой плоскости по отношению к горизонту выделяют следующие разновидности складок (рисунок 68).

*Прямые складки* — осевая плоскость перпендикулярна к горизонтальной поверхности, а крылья падают под одинаковыми углами.

*Наклонные складки* — осевая плоскость образует с горизонтальной поверхностью в общем небольшой угол.

*Опрокинутые складки* — осевая плоскость имеет значительный наклон.

*Лежачие складки* — осевая плоскость параллельна или почти параллельна горизонтальной поверхности.

Форма складок зависит также от соотношения крыльев и замка (рисунок 68). В зависимости от этого складки могут быть *острые* (крылья расходятся под острым углом), *изоклинные* (крылья в основном параллельны), *веерообразные* (наблюдается пережим крыльев), *сундучные* (пологий широкий замок, крылья крутые).

Складки (по поведению шарнира) бывают длинными и короткими. Длинные складки называются обычно *линейными*: у них длина во много раз превышает ширину, шарнир почти прямая линия. Короткие складки в виде вытянутых овалов называются *брахискладками* (брахиантиклинали и брахисинклинали).

Крылья в линейных складках почти параллельны друг другу и, взятые сами по себе, могут рассматриваться как моноклинали.

Довольно часто шарнир складки по простиранию испытывает погружение и поднятие; это явление называется *ундуляцией* шарнира или складки. В ундулирующей складке ее шарнир представляет не прямую, а волнистую линию. Замыкание складки, где одно крыло вдоль оси постепенно переходит в другое крыло, называется в антиклинальных складках — *периклиналию*, а в синклиналильных складках — *центриклиналию*.

Своеобразными разновидностями антиклинальных складок являются *диатировые* складки и *соляные купола*. Их образование связано с присутствием в ядрах этих складок пластов пластичных пород, как-то: глины, соли, гипса, которые протыкают (приподнимают) вышележащие слои. Происходит это потому, что на сводах, где мощность пластов меньше, давление слабее, чем на крыльях.

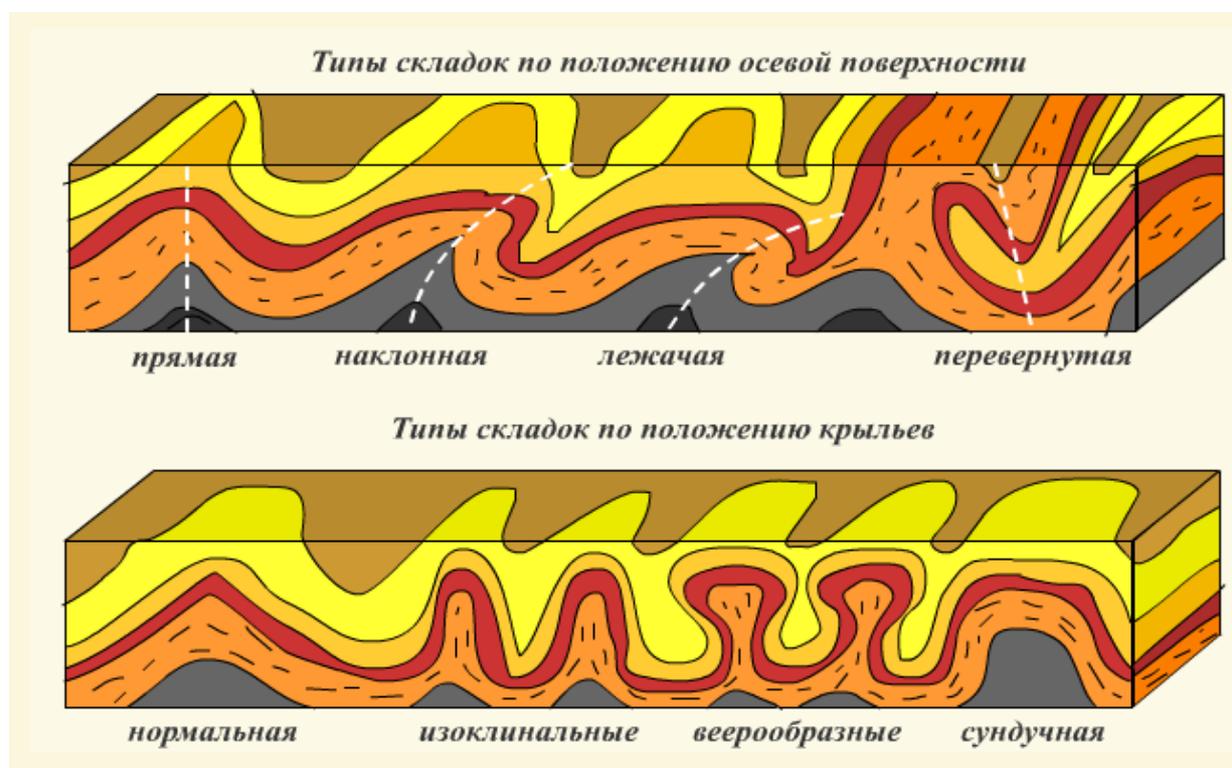


Рисунок 68 - Типы складок

8.2.4 Дизъюнктивные нарушения (рисунок 68, 69). К ним относятся движения толщ горных пород по разрывам или сместителям. Сдвигения могут происходить как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости.

Образовавшиеся разрывные структуры в зависимости от формы называются: сдвигами, сбросами, взбросами, надвигами. При сложных перемещениях по нескольким разрывам образуются ступенчатые сбросы- горсты, и взбросы – грабены. Примерами грабенов являются: Красное море, оз. Байкал, Телецкое, Большие Африканские озера. Разрывы ЗК без смещения называются трещинами.

В любом разрывном тектоническом нарушении различают поверхность разрыва (*сместитель*), и два разобращенных сместителем блока пород – *крылья разрыва*. При наклонном положении сместителя, блок горных пород над ним называют *висячим*, а под ним – *лежащим*. На поверхности сместителя часто наблюдаются притертые, отполированные при скольжении блестящие участки - *зеркала скольжения*, а также *борозды скольжения*.

Классификация разрывных нарушений основана на положении и форме сместителя и положении крыльев.

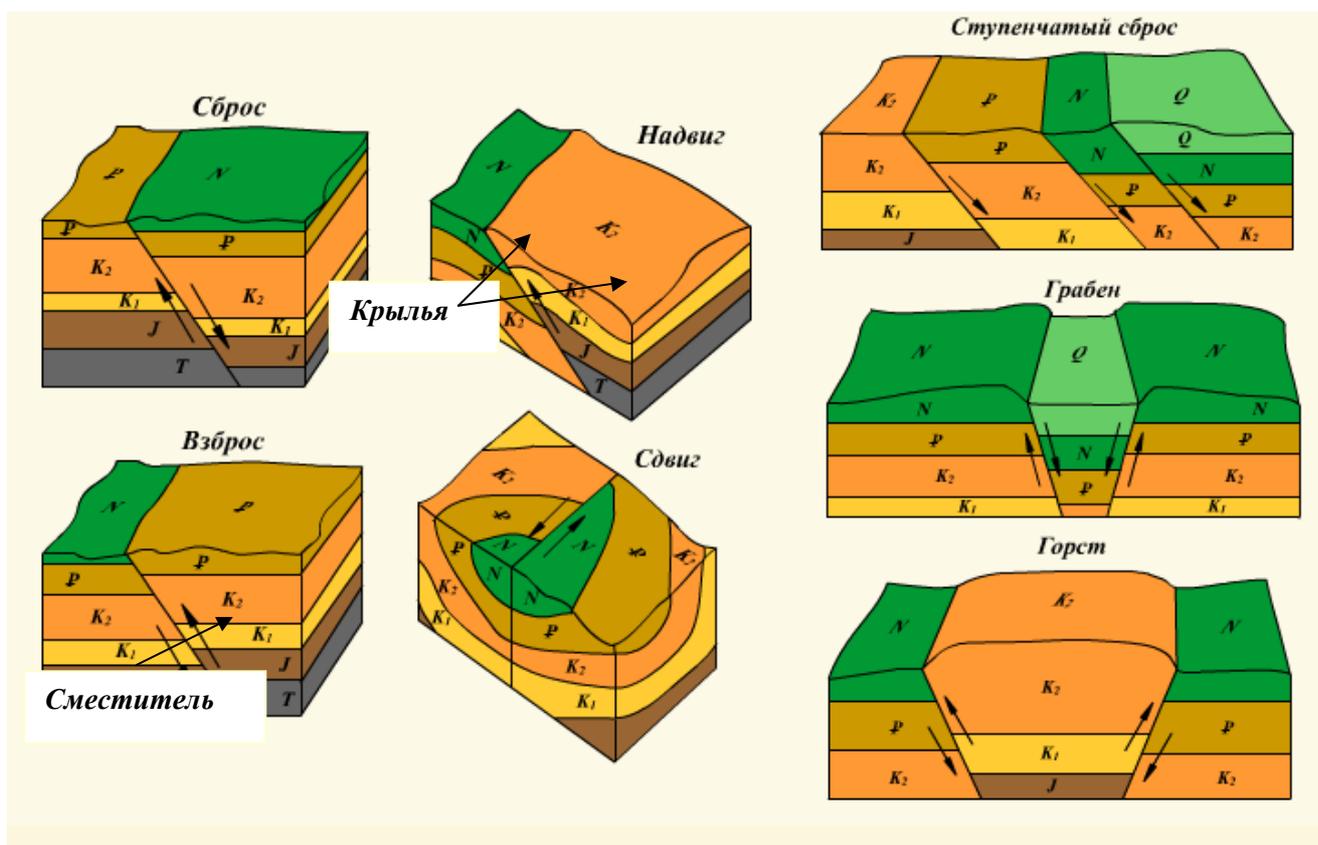


Рисунок 69- Разновидности дизъюнктивных нарушений

Выделяют три основные группы:

- разрывы с крутым положением поверхности сместителя (более 45 °)- *взбросы, сбросы, сдвиги*;
- разрывы с пологим положением сместителя - *пологие сбросы, надвиги*;

- разрывы с деформированными поверхностями субгоризонтальных и пологих сместителей – *шарьяжи и срывы*.



Рисунок 70 - Горст проседания

Тектонические процессы и явления приводят к усложнению первоначально горизонтального залегания горных пород (рисунок 71), образуя сложные разрезы отложений разного возраста.

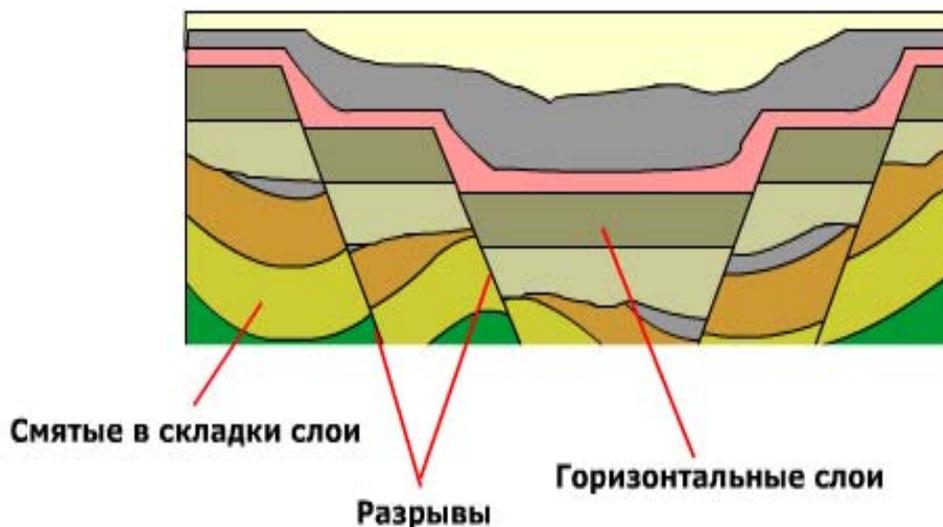


Рисунок 71 - Пример совокупности горизонтального и нарушенного залегания горных пород

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое сейсмические процессы?
2. Что такое землетрясение?
3. Виды сейсмических волн?

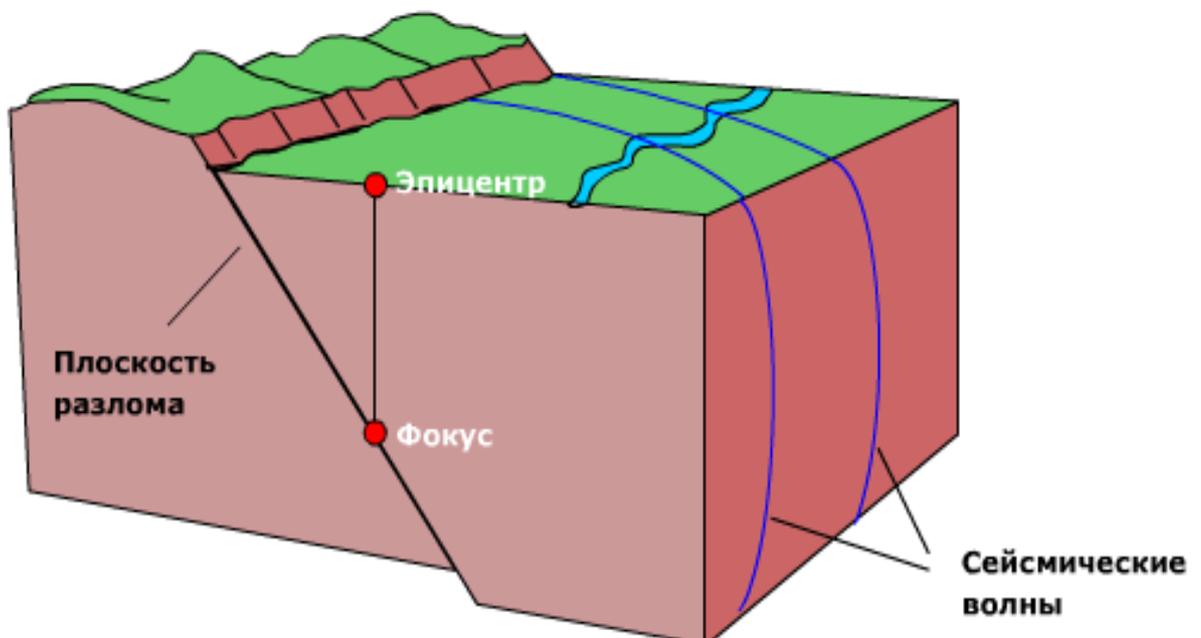
4. Что такое эпицентр и гипоцентр ?
5. Классификация землетрясений по глубине гипоцентра?
6. Что такое Тихоокеанский сейсмический пояс?
7. Разновидности геотектонических гипотез?

## 9 СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

### 9.1 Понятия – землетрясение, фокус, эпицентр

9.1.1 Землетрясения - это сотрясения земной поверхности, вызванные прохождением серии упругих колебаний через горные породы Земли. На поверхности землетрясения проявляются в виде подземных толчков, иногда сопровождаемых гулом, колебанием почвы, образованием трещин, разрушением инженерных объектов. В течение года на нашей планете происходит около 1 млн землетрясений, т. е. по 120 толчков в час. Выделяемая при этом энергия эквивалентна мощности взрыва миллиарда стандартных атомных бомб. Однако подавляющее большинство землетрясений фиксируется лишь специальными приборами, так как их мощь сравнительно невелика, но в среднем каждые три дня происходит одно сильное землетрясение разрушительного характера. Наука, изучающая землетрясения, называется *сейсмологией*

9.1.2 Возникновение землетрясений всегда связано с упругим импульсом, рождающимся в недрах Земли или на ее поверхности. Центр его образования называется *очагом* землетрясения, *фокусом*, или *гипоцентром*. В первом приближении его можно представить как сферу, радиусом в несколько километров. В гипоцентре происходят разрядка накапливающихся напряжений и освобождение энергии, которые сопровождаются обратимыми деформациями, распространяющимися в горных породах в виде *упругих колебаний*, или *сейсмических волн*. Проекция гипоцентра на земную поверхность называется эпицентром (рисунок 72)



Очаг излучает спектр колебаний с периодами от десятков секунд до сотых долей секунды. Колебания распространяются во все стороны в недрах Земли и уже через 20 мин достигают противоположной точки земного шара (рисунок 73).

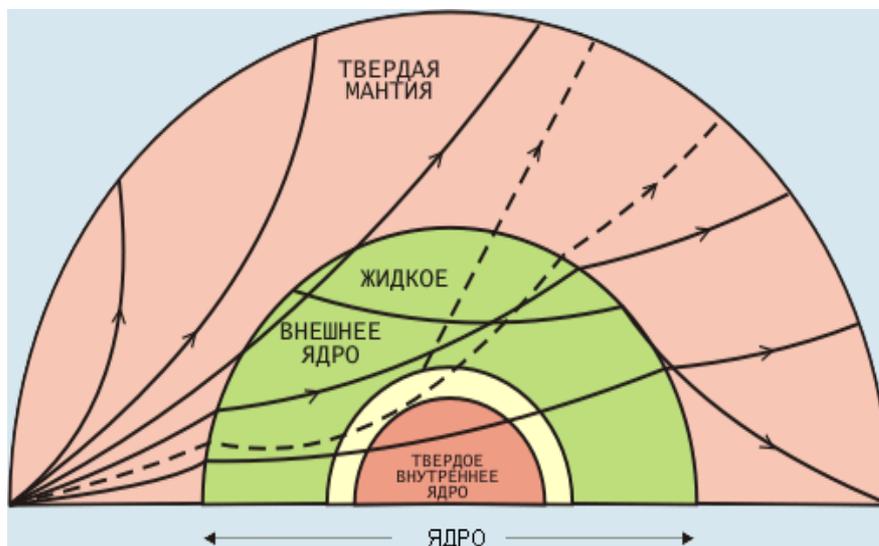


Рисунок 73 - Распространение сейсмических волн в оболочках Земли

Они делятся на: *объемные* и *поверхностные*. Первые при своем распространении охватывают весь объем нашей планеты; вторые концентрируются только вдоль поверхности. Наибольший интерес представляют объемные волны. Их распространение во многом идентично распространению световых лучей в оптических средах. Объемные волны разделяют на *продольные P*-упругие волны сжатия и *поперечные S* – упругие волны сдвига.

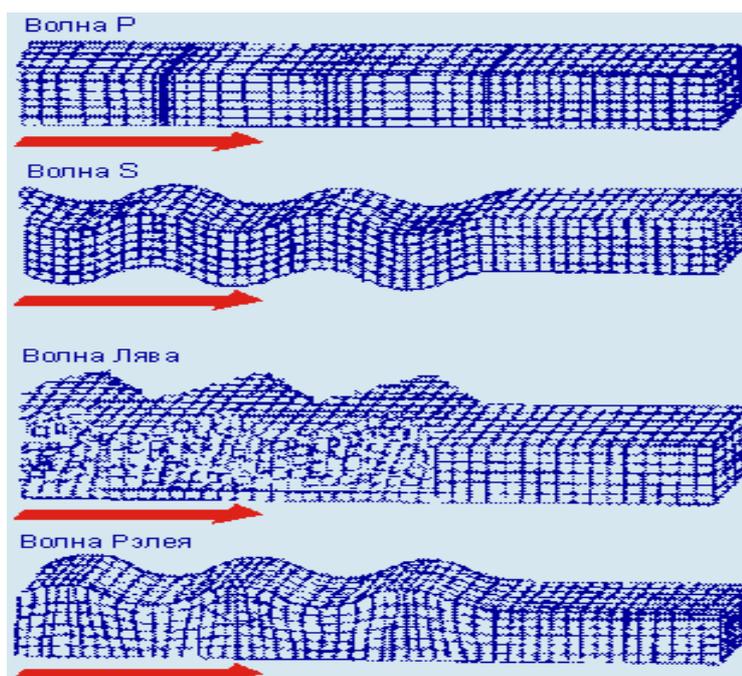


Рисунок 74 - Продольные и поперечные сейсмические волны

По мере достижения сейсмическим лучом земной поверхности на ней возникают поверхностные волны (волны Рэлея, длинные волны, или волны L), расходящиеся кругами наподобие следов на воде (рисунок 74).

В среднем скорость распространения продольных волн в 1,7 раза больше, чем скорость распространения поперечных. Обычно пределы скоростей распространения продольных волн варьируют от 5 до 13,8 км/с, поперечных - от 3,2 до 7,3 км/с, а у поверхностных - до 4,5 км/с.

8.1.3 При мощных землетрясениях колебания частичек грунта бывают настолько сильными, что человек не в состоянии устоять на ногах. Измерение размаха перемещения частиц поверхности во время землетрясения 1891 г. в Японии позволило установить, что колебания зерен в породе достигали в вертикальном направлении 10 см, в горизонтальном - 35 см. При подобных землетрясениях на поверхности Земли возникают волны, напоминающие морские. Так, в 1897 г. в индийском шт. Ассам при землетрясении частота колебаний почвы составляла 1200 ударов в минуту. По поверхности бежали волны высотой 30 см, а расстояние между ними достигало 9 м (рисунок 75).



Рисунок 75- Трещина, возникшая в результате землетрясения

## 9.2 Типы землетрясений

9.2.1 В зависимости от причин, обуславливающих появление упругих колебаний, землетрясения делят на тектонические, вулканические и денудационные (провальные).

*Тектонические* землетрясения относят к наиболее распространенным. На их долю приходится 95 % всех землетрясений мира. Они отличаются сравнительно большой (до 700 км) глубиной залегания гипоцентра. Причина их возникновения связана с накоплением динамических напряжений в литосфере, возникающих при взаимных перемещениях отдельных ее блоков. Силы трения препятствуют своевременной разрядке упругих деформаций литосферы, что создает напряженную динамическую обстановку, которая разрешается в виде кратковременных механических разгрузок и сопровождается образованием сейсмических волн. Наиболее мощные землетрясения на земном шаре имеют именно тектоническую природу. Они распространяются далеко от очага возникновения и фиксируются всеми сейсмическими станциями. При катастрофических землетрясениях возникают собственные пульсации земного шара с периодом в десятки минут. Так, сейсмические волны землетрясения на Аляске в 1964 г. в течение 18 ч колебали нашу планету, 8 раз обежав вокруг нее.

*Вулканические* землетрясения возникают при взрывных извержениях вулканов. Гипоцентр залегает обычно на сравнительно небольших глубинах, редко достигая 50 км. Вулканические землетрясения по разрушительной силе уступают тектоническим, однако близко от очага возникновения могут производить существенные разрушения. Они обычно предшествуют извержению вулканов, иногда сопровождают их.

*Денудационные* землетрясения обусловлены процессами денудации и бывают вызваны горными обвалами, обрушением кровли подземных пустот, крупными оползнями. Гипоцентр залегает практически на поверхности Земли, а упругие колебания фиксируют на близком расстоянии от очага возникновения. Сравнительно незначительна и мощность таких землетрясений. К этому же типу относят искусственные землетрясения, вызванные производственной деятельностью человека.

### 9.2.2 Регистрация и измерение землетрясений

Землетрясения изучают с помощью специальных приборов *сейсмографов*, или *сейсмоприемников*. Впервые такой прибор был построен в Китае во 11 в. н. э., известны оригинальные конструкции подобных приборов в XVIII в., однако эффективные записывающие аппараты были сконструированы лишь в начале двадцатого столетия. Сейсмограф построен по принципу инертного маятника. Он представляет собой колебательную электромеханическую систему, предназначенную для измерения и записи сейсмических волн (рисунок 76).

Важный показатель землетрясений - их интенсивность. Измеряется она в баллах - условных ступенях шкалы интенсивности, определяющих силу землетрясений на поверхности.

Существуют 10- и 12-балльные шкалы оценки интенсивности землетрясений. В СНГ принята последняя шкала.

Землетрясения силой в 1-3 балла люди практически не ощущают; при 4-6-балльных землетрясениях раскачиваются висячие предметы, в штукатурке зданий образуются трещины, землетрясения в 7-9 баллов вызывают разрушение различных инженерных сооружений, приводят к оползням, обвалам, ломаются деревья, появляются трещины в грунте; 10-12 балльные землетрясения носят катастрофический характер, полностью разрушают здания, поверхность Земли деформируется, покрывается трещинами.

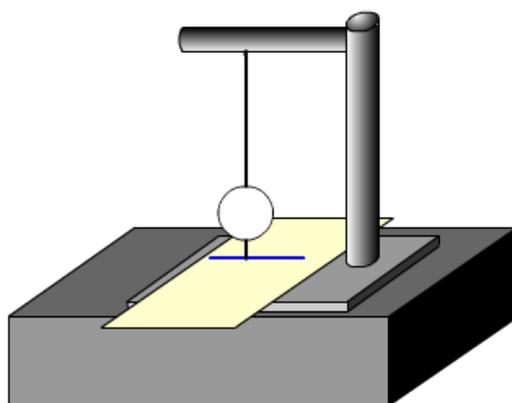


Рисунок 76 - Сейсмограф

Для более точной оценки интенсивности землетрясений изучают амплитуды смещения частиц почвы. Этот параметр называется *магнитудой* (*M*). Для сильных землетрясений магнитуда может достигать 8,5. Интенсивность землетрясений в магнитудах оценивается по 10-балльной шкале, предложенной 50 лет назад американским сейсмографом Ч. Рихтером (рисунок 77).

### Магнитуда и шкала Рихтера

Магнитуда	Энергия землетрясения соответствует
-2	энергии потребленной 100-ваттной лампой накаливания, горящей в течении одной недели
-1	
0	500 г в тротиловом эквиваленте
1	
2	
3	
4	1000 тонн в тротиловом эквиваленте
5	
6	энергии бомбы, сброшенной на Хиросиму
7	
8	
9	
10	



## Рисунок 77 - Магнитуда и шкала Рихтера

### 9.2.3 Классификация землетрясений по глубине залегания

В зависимости от глубины залегания гипоцентра, землетрясения делят на поверхностные (гипоцентр находится в пределах первых километров), коровые или нормальные ( $h < 70$  км), астеносферные или промежуточные ( $h \sim 70-300$  км), глубокие и глубокофокусные ( $h \sim 300-700$  км). Глубже 720 км возникновения землетрясений не наблюдалось. Глубокофокусные землетрясения были открыты в 1922 г. английским сейсмологом Ф. Тернером. Для них характерна концентрация гипоцентров в пределах фокальной плоскости, наклоненной под углом  $45^\circ$ . Такие зоны широко распространены вдоль побережий Тихого океана. По имени исследователей, впервые изучавших их, они получили название зон Вадати-Заварицкого-Беньофа (ВЗБ). На территории СНГ преобладают коровые (46 %) и поверхностные (36 %) землетрясения, на долю астеносферных приходится 18 %. Глубокофокусные землетрясения редки, они встречаются на Камчатке и Курилах.

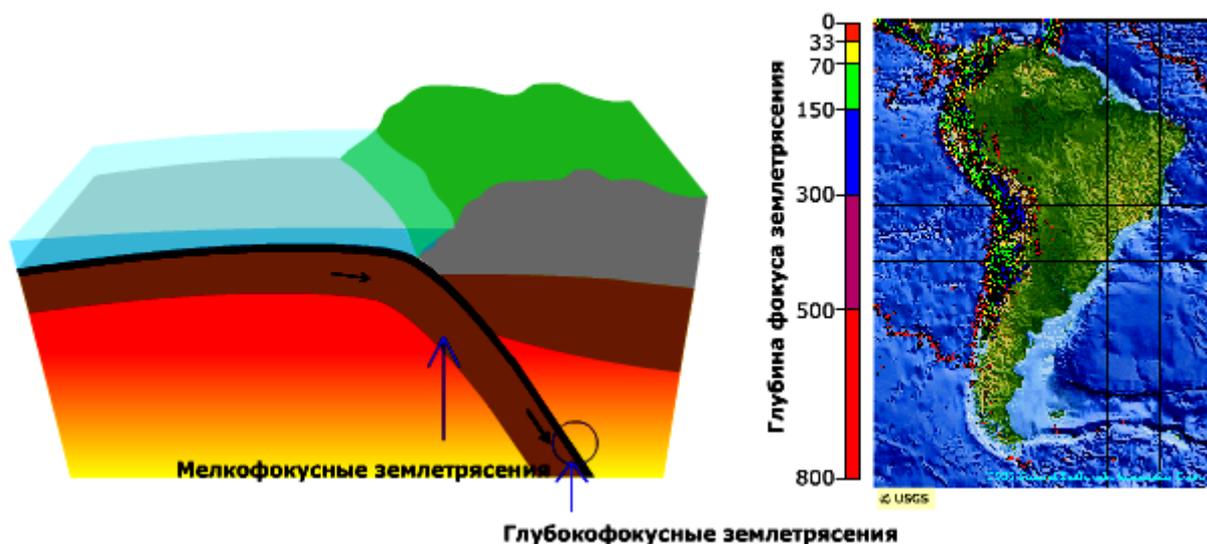


Рисунок 78 - Зоны субдукции и землетрясения

В зонах субдукции (рисунок 78) жесткая литосфера погружается в мантию на глубину несколько сотен км. Гипоцентр может залегать на глубине 700-800 км. На рисунке изображены фокусы землетрясений имевших место с 1975 по 1995 гг. вдоль западного побережья Южной Америки. На крайнем западе сосредоточены мелкофокусные землетрясения, на востоке - глубокофокусные, что соответствует погружающейся (субдуцирующей) литосферной плите.

9.2.4 Распространение землетрясений. Землетрясения распространены на земном шаре неравномерно. Основная их масса, концентрируется в особых зонах, формируя своеобразные *сейсмические пояса*. Наиболее

крупный из них *Тихоокеанский* сейсмический пояс, включающий тихоокеанское побережье Северной и Южной Америки, Азии, Австралии, Индонезию и Океанию. Здесь концентрируется до 95 % всех землетрясений, причем именно, в этом поясе находится большинство глубокофокусных, и катастрофических землетрясений. Преобладающий динамический режим этих землетрясений режим сжатия (рисунок 79).

К крупнейшему поясу концентрации землетрясений относят Срединноокеанический пояс, связанный с рифтовой долиной Мирового океана. Здесь также часты землетрясения, но носят они не катастрофический характер, так как их гипоцентры залегают на глубинах до 10 км. Динамические условия этого пояса характеризуются режимом *растяжения*.

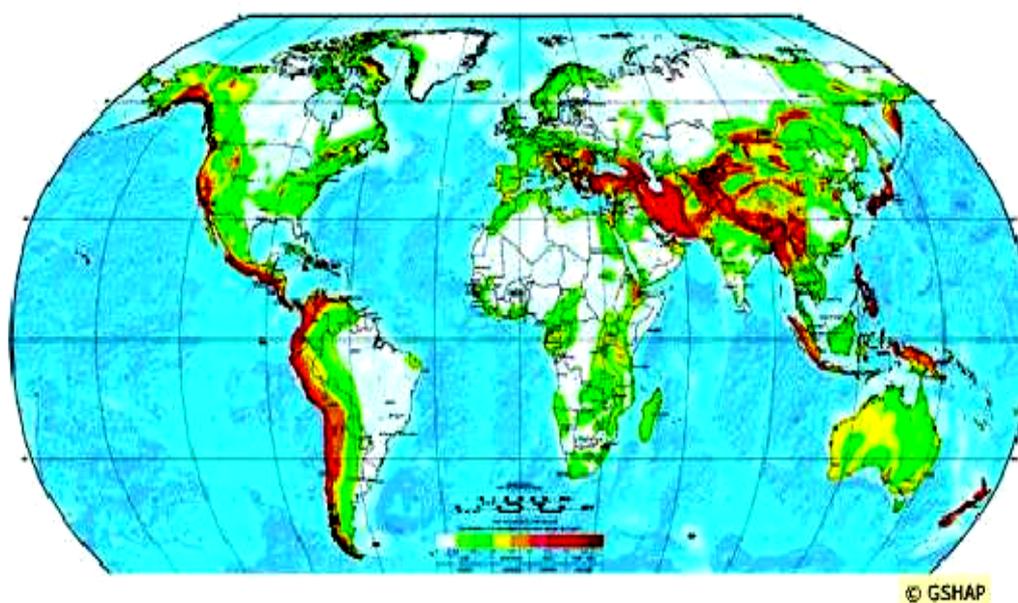


Рисунок 79 - Глобальная карта сейсмической активности

К срединно-океаническому сейсмическому поясу прилегает *Восточно-Африканский пояс*, являющийся, по существу, его продолжением на континенте и обладающий схожей характеристикой. Альпийско - Гималайский сейсмический пояс протягивается в широтном направлении от берегов Атлантики до Бенгальского залива. Он практически полностью находится на суше, в нем преобладают усилия сжатия, а гипоцентр землетрясений располагается в пределах 300 км

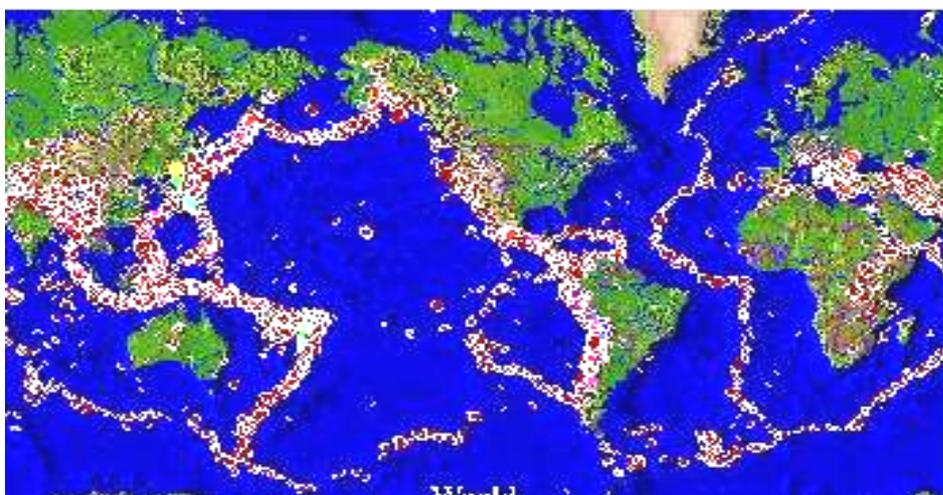


Рисунок 80 - Фокусы землетрясений

Большинство фокусов землетрясений приурочено к границам литосферных плит (рисунок 80, 81 ).

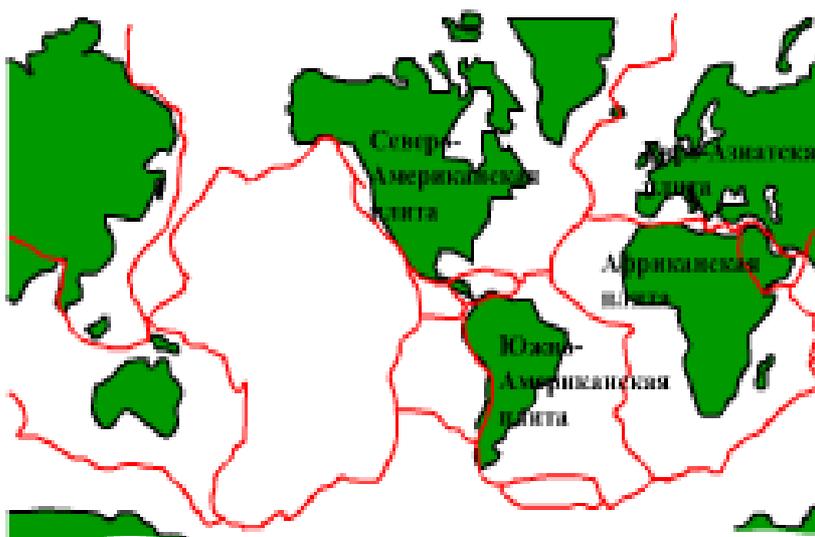


Рисунок 81 - Границы литосферных плит

9.2.5 Моретрясения. Если эпицентр землетрясения находится на дне моря или на суше, но близ морского берега, то на море возникают явления, которые принято называть моретрясениями. На поверхности моря моретрясения проявляются иначе, чем землетрясения на суше. Сильные моретрясения вызывают огромные волны, называемые цунами (японск. «цунами» — волна) и представляющие собой одну из форм волн тяжести на поверхности воды (рисунок 82-83).



Рисунок 82 - Формирование волны - цунами

Смещение океанического дна вызывает, в свою очередь, смещение вверх толщ воды, при этом возникают длинные волны, которые захватывают всю толщу воды, в отличие от ветровых волн, захватывающих лишь первые см поверхности воды океана. В открытом море цунами движутся со скоростью до 800 км/час, подходя к берегу на мелководье скорость волны резко падает, длина волны уменьшается, но зато резко возрастает ее высота. Цунами атакуют сушу настолько быстро, что вызывают катастрофы не менее губительные, чем само землетрясение. Обычно цунами предшествует кратковременное отступление моря. Отступление моря от берега продолжается от 5 до 35 мин. и лишь в редких случаях — несколько часов. Так, при землетрясении в Перу в 1690 г. море отступило и вернулось только через 3 часа. Во время Лиссабонского землетрясения 1755 г. море сначала отступило, а потом вернулось мощной волной, превышающей средний морской уровень на 26 м. Эта волна проникла в глубь суши на 15 км, выбросила на берег много судов, разрушила все, что уцелело при землетрясении, и явилась причиной гибели нескольких десятков тысяч человек.



## Рисунок 83 - Последствия цунами. Аляска 1964 г.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое сейсмические процессы?
2. Что такое землетрясение?
3. Виды сейсмических волн?
4. Что такое эпицентр и гипоцентр ?
5. Классификация землетрясений по глубине гипоцентра?
6. Что такое Тихоокеанский сейсмический пояс?
7. Что такое моретрясение?

## 10 МЕТАМОРФИЗМ

### 10.1 Основные факторы метаморфизма

Метаморфизм (греч. - превращение, преобразование) – один из факторов внутренней динамики Земли, заключающийся в преобразовании горных пород в недрах под действием высоких температур, давлений или циркуляции активных флюидов. К ведущим факторам метаморфизма относят температуру, давление и действие флюидов.

Процесс метаморфизма протекает под комплексным воздействием этих эндогенных факторов, но в ряде случаев можно выделить тот или иной факторов качестве главного.

Температура - важнейший фактор метаморфизма. Она влияет на процессы преобразования и возникновения минералов, повышает скорость химических реакций и интенсивность перекристаллизации.

Повышение температуры в тех или иных участках земной коры может обусловлено:

- общим возрастанием температуры с глубиной;
- локальным увеличением температуры в зоне трущихся блоков литосферы;
- теплом магматических интрузий или горячих флюидов.

Возрастание температуры приводит к дегидратации гидроксилсодержащих минералов, к декарбонатизации карбонатов, к образованию новых высокотемпературных минералов.

Согласно исследованиям В. С. Соболева, основной температурный интервал, определяющий метаморфизм горных пород, заключен в пределах 300-400 и 900-1000° С.

Нижний предел, в 300°С определяется резким падением скорости химических реакций, приводящим к преобразованию пород. В среднем, этот температурный порог находится на глубине 15 км при геотермическом градиенте равном 20°С на 1 км. Верхний предел, в 1000°С ограничен началом плавления некоторых горных пород; располагается он в основании земной

коры. Таким образом, метаморфизм протекает при преимущественно твердом состоянии пород.

Давление приводит к сокращению объема пород, к более плотной «упаковке» минеральных зерен, к переориентации минералов. Кроме того, давление повышает температуру плавления пород, что увеличивает пределы температурного воздействия.

Давление может возрасти:

- за счет увеличения массы вышерасположенных толщ - геостатическое или литостатическое давление. Оно направлено по вертикали и увеличивается с глубиной.

- другая причина увеличения давления - динамическое (направленное, ориентированное) тангенциальное сжатие.

Его возникновение связано с тектоническим движением блоков литосферы в горизонтальном (тангенциальном) направлении. Динамическое давление также приводит к переориентации минеральных зерен (длинной стороной перпендикулярно направлению давления), ускоряет или замедляет процессы минералообразования, способствует образованию трещин в породе.

Активные флюиды включают в себя горячие газы (эманации) и горячие растворы. К первым относятся пары воды и углекислый газ. Большую роль играют также водород, азот, хлор и некоторые другие газы. Горячие растворы, содержащие ионы активных химических элементов (натрия, кальция, фтора, бора, серы), мигрируя по трещинам горных пород, оказывают на них метаморфизирующее воздействие.

Выражается оно, главным образом, в привносе в породу и выносе из нее химических элементов. Эта явление называется метасоматозом.

Особенно велика роль активных флюидов в преобразовании «сухих» пород, лишенных растворов в силу чрезвычайно малого порового пространства.

Метаморфизму могут подвергаться не только осадочные и магматические породы, но и ранее образованные метаморфические породы. Такой повторный метаморфизм получил название диафтореза (греч. - разрушаю). В некоторых случаях метаморфизм протекает с существенным изменением химического состава первичной породы, т. е. метасоматически. Химические преобразования сопровождаются возникновением новых минеральных ассоциаций, путем перекристаллизации уже существующего материала, привноса или выноса некоторых химических элементов.

В зависимости от условий протекания процессов метаморфизма и от сочетания факторов метаморфизма выделяют различные его типы. К главнейшим типам метаморфизма относят региональный и локальный, в пределах последнего выделяют: динамометаморфизм, контактовый и гидротермальный

## 10.2 Региональный метаморфизм

В качестве преобразующих факторов при региональном метаморфизме выступают давление, температура и химически активные флюиды.

Осадочные породы медленно погружаясь последовательно проходят различные термобарические зоны: эпизону, мезазону и катазону.

В эпизоне метаморфизм проявляется слабо и обусловлен возрастающим геостатическим давлением. Здесь происходит переориентация частиц в породе (формируются глинистые сланцы, филлиты).

В мезоне наряду с существенным односторонним давлением, заметна роль температурного фактора и активных флюидов. Возникают новые минералы, перекристаллизуются исходные породы. Возникают слюдястые сланцы, гнейсы и амфиболиты (из основных эффузивных пород), кварциты и мраморы.

В катазоне максимально проявляются все три фактора метаморфизма. Метаморфизм катазоны характерен для низов земной коры. Активно протекают процессы новообразования минералов. Образуются биотитовые и пироксеновые гнейсы, эклогиты (кристаллические породы, состоящие из зерен пироксена и граната и развивающиеся по базальтам и габбро) (рисунок). Происходит полная перекристаллизация горных пород – ультраметаморфизм. Перекристаллизация может происходить с частичным расплавлением минералов (анатексис) и полным (палингенез). Подобные процессы могут привести к образованию гранитов и основных пород на месте залегания первичных образований (in situ). Этот процесс называется гранитизация. При активном участии флюидов кроме гранитов могут формироваться мигматиты- породы, состоящие из чередования прослоев гнейсов и гранитов.



Рисунок – последовательное преобразование глин и базальтов в различных термобарических зонах

### 10.3 Динамометаморфизм

Динамометаморфизм протекает под действием ориентированного, направленного давления в местах интенсивного складкообразования, чаще всего в зонах взаимодействия литосферных плит. В результате динамометаморфизма минеральные зерна меняют свою ориентировку перпендикулярно направленному давлению, происходит и их уплощение. Формируются новые чешуйчатые минералы, такие как хлорит, биотит, мусковит, тальк и др. Образуются породы типа гнейсов, сланцев, амфиболитов. Ориентированное сжатие может вызвать в породах деформацию, скалывания и дробления, а также скольжение минералов по плоскостям спайности. Такой динамометаморфизм, приводящий к механическому разрушению пород, получил название катакластического. Он возникает в случаях, когда ориентированное давление превышает предел прочности пород. В зонах катакластического метаморфизма возникают тектонические брекчии (меланж) или милониты.

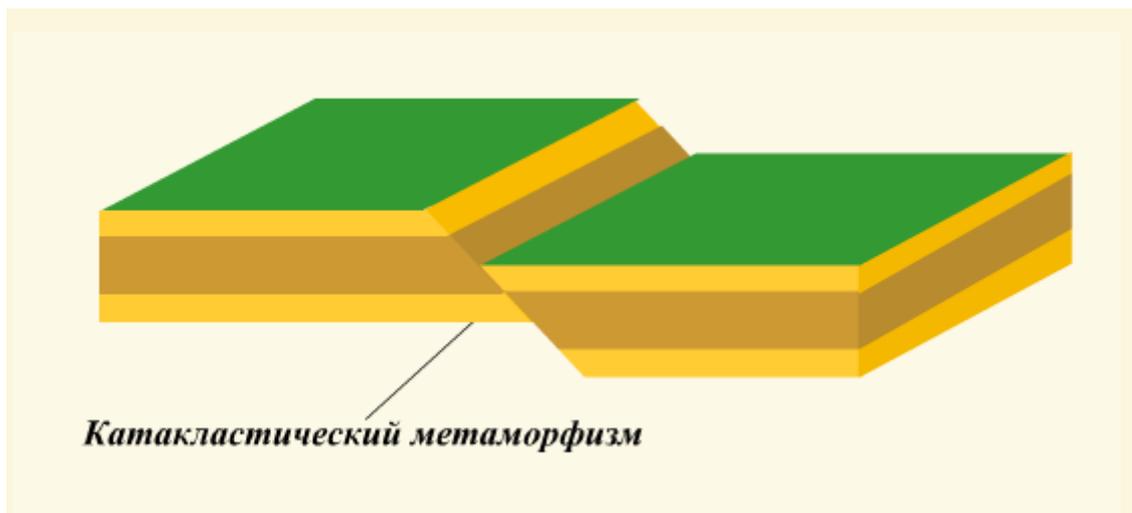


Рисунок - Динамометаморфизм

10.4 Контактный метаморфизм протекает близи магматических интрузий. Основные факторы контактового метаморфизма высокая температура (550-900 °C) и активные флюиды. Контактный метаморфизм охватывает породы, непосредственно прилегающие к магматическому очагу. Максимальный радиус его действия 2-5 км. К породам контактового метаморфизма относятся роговики, скарны, вторичные кварциты. Масштабы его развития предопределяются величиной магматической интрузии: в большей степени они проявляются в ареале батолитов, в меньшей - около даек и силлов. Температурное воздействие выражается в формировании своеобразной зоны обжига, естественного кокса. Обожженные породы спекаются и приобретают повышенную прочность.

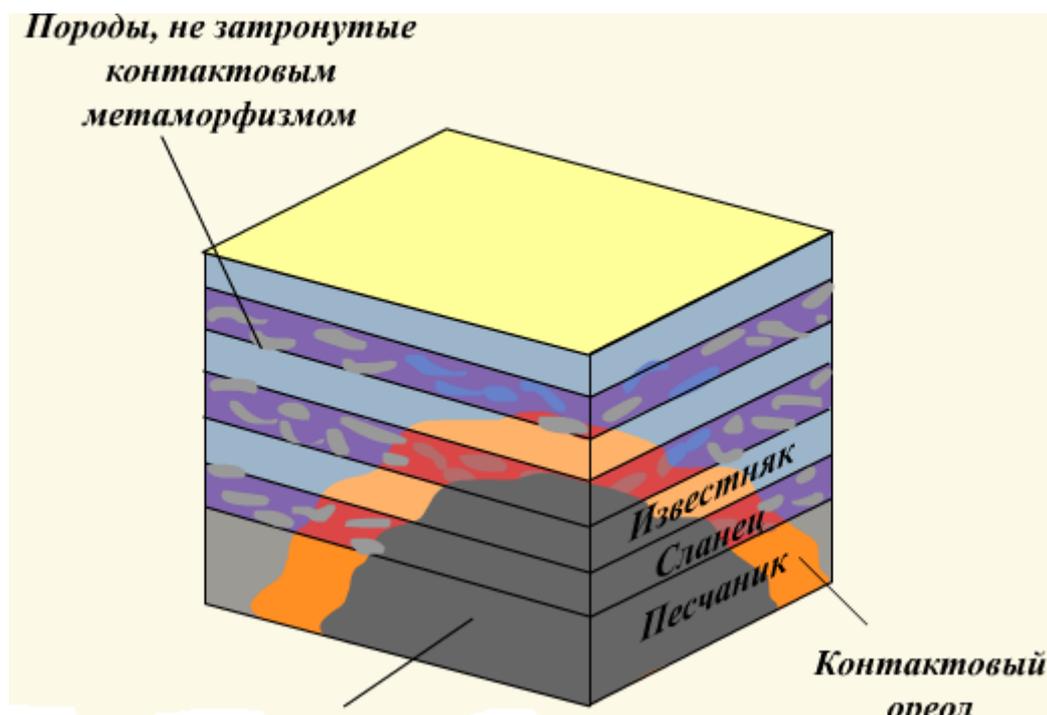


Рисунок – Контактный метаморфизм

### 10.5 Гидротермальный метаморфизм

Гидротермальный метаморфизм тесно связан с контактовым и протекает под действием горячих подземных вод, обычно ювенильного происхождения. Основной фактор метаморфизма этого типа - метасоматоз, в меньшей степени температура. При гидротермальном метаморфизме возникает много новых минералов - альбит, эпидот, хлорит, пирит, березит, серицит, цеолит и др.

При этом широко развиваются процессы окварцевания (т. е. образования вторичных кварцитов), происходящие при циркуляции кремнистых растворов.

Метаморфические породы сравнительно широко распространены в земной коре. В целом для них характерно рассланцевание и кристаллическая структура.

Характерные признаки метаморфизма кливаж (англ. раскол) – трещиноватость пород перпендикулярно направлению давления и будинаж (фр. валик) разлинзование пласта пород, сопровождающееся распадением на отдельные линзы, часто с пережимами.

### 10.6 Метаморфические фации

Изучение метаморфических пород показало, что породы, имеющие разный возраст, но подвергшиеся сходным условиям метаморфизма, содержат идентичные ассоциации минералов. Это означает, что при каждой конкретной комбинации факторов метаморфизма возникает своеобразное

химическое равновесие, приводящее к появлению характерной ассоциации минералов. Каждая такая группа минералов образует метаморфическую фацию.

Выделяют цеолитовую, глаукофановую, зеленосланцевую, амфиболитовую, гранулитовую и эклогитовую фации

Цеолитовая фация соответствует самой низкой степени метаморфизма. Она начинается сразу за диагенезом и литификацией. В условиях сравнительно небольших температур и давлений развиваются низкотемпературные водные минералы - цеолиты. В минеральных ассоциациях вместе с ними присутствуют кварц, светлые слюды, хлориты.

Глаукофановая фация (фация голубых сланцев) характеризуется сравнительно низкими температурами (300—500 °С), но очень высокими давлениями - 7—11\*10<sup>2</sup> МПа. Голубой цвет сланцы приобретают за счет минерала глаукофана, имеющего синюю окраску. Глаукофан возникает при повышении давления из альбита и хлорита. Для глаукофановой фации характерны также следующие минералы: жадеит, лавсонит, кварц, хлорит, мусковит, гранат. В настоящее время образование глаукофановых сланцев объясняют сравнительно быстрым (5—10 см в год) погружением океанической литосферной плиты под континентальную.

Зеленосланцевая фация образуется при сравнительно небольших температурах и давлениях и характеризует раннюю стадию динамометаморфизма. Специфический цвет сланцам придают зеленые минералы - хлорит и эпидот. С ними ассоциируют кварц, альбит и мусковит.

Амфиболитовая фация возникает при увеличении температуры и давления. Хлорит переходит в биотит, появляются мелкие кристаллы граната. Формируется характерный биотитовый сланец. Дальнейшее повышение температуры и давления приводит к замещению биотита роговой обманкой (амфиболитом), кристаллы граната увеличивают размеры, появляются новые минералы: ставролит, андалузит, кианит, силлиманит. Возникает специфическая метаморфическая фация, название которой дано по одному из характерных для нее минералов. Фация проявляется очень широко при региональном метаморфизме и динамометаморфизме.

Гранулитовая фация — это высокотемпературная фация (700—900 °С), для которой характерны существенные давления (до 10<sup>3</sup> МПа), Она отражает максимальную степень регионального метаморфизма. В эту фацию образуются гранулиты (средне- и крупнозернистая порода, состоящая из калиевого полевого шпата, натриевого плагиоклаза, пироксена, кварца, граната) и чарнокиты (гиперстеновые гнейсы). Гранулиты похожи на гнейсы, в меньшей степени на граниты, но поскольку в них отсутствуют слюды, то породы не рассланцованы. Во время перекристаллизации минеральные зерна обычно прорастают друг в друга (рисунок ).

Эклогитовая фация отражает очень глубинный метаморфизм при температурах 800—1000 °С и давлениях свыше 8—10\*10<sup>2</sup> МПа. Поскольку по химическому составу эклогит не отличается от базальта, то исходным

материалом для его образования служат, очевидно, основные и ультраосновные магматические породы.

Последовательный ряд метаморфических фаций хорошо исследован и подтвержден материалами по различным областям земного шара. С их помощью можно восстанавливать термобарические условия прошедших геологических эпох, полнее реконструировать метаморфические процессы прошлого.



Рисунок – Индекс минералы метаморфизма горных пород

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое метаморфизм?
2. Факторы метаморфизма?
3. Типы метаморфизма?
4. Факторы регионального метаморфизма ?
5. Факторы контактового и гидротермального метаморфизма?
6. Факторы динамометаморфизма?
7. Метаморфические фации?

4.3.10 Литература:

1. В.П. Гаврилов Общая и историческая геология. М.: Недра, 1989,
2. В.С. Мильничук, М.С. Арабаджи Общая геология. М.: Недра, 1979.

4.3.11 Тесты для самопроверки

# 11 МИНЕРАЛЫ И ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

## 11.1 Минералы. Породообразующие минералы

11.1.1 Состав Земли разнообразен и представлен неорганическими естественными природными соединениями, преимущественно силикатами и оксидами, которые называются – минералами.

В природе известно около 4 тыс. разновидностей минералов, наибольшее распространение имеют лишь 50, играющие существенную роль в формировании геосфер Земли и горных пород. Это породообразующие минералы. Они содержатся в горных породах в количестве не менее 5%. Минералы, входящие в состав горных пород в количестве менее 5% называются аксессуарными.

11.1.2 Кристаллические и аморфные вещества. Материя в природе встречается в кристаллическом и аморфном состоянии. Кристаллами первоначально называли твердые тела, имеющие естественную форму многогранников (от греч. *krystallos*—лед, горный хрусталь, прозрачный камень). Однако впоследствии оказалось, что природная огранка кристаллов является вовсе не обязательным их свойством, так как многие кристаллические вещества часто встречаются в бесформенных скоплениях и зернах. В настоящее время основным признаком кристаллического вещества считают строго определенную группировку слагающих их атомов и ионов, которые занимают определенные места в пространстве, группируясь в кристаллические решетки.

В отличие от кристаллических аморфные тела характеризуются беспорядочным расположением атомов (греч. *a*—без и *morphe*—форма).

Считается, что в кристаллах атомы расположены по принципу плотнейшей шаровой упаковки. Этот принцип логически вытекает из построений акад. Е. С. Федорова, который еще в 1890 г. создал законченное учение о симметрии кристаллов, выделив 230 видов симметрии, группирующихся в семь кристаллических систем, или сингоний, — триклинную, моноклинную, ромбическую, тригональную, тетрагональную, гексагональную и кубическую.

При плотнейшей шаровой упаковке одинаковые шары занимают 74,05% объема. Пустоты между ними бывают двух родов тетраэдрические (между четырьмя шарами) и октаэдрические (между шестью шарами). В этих пустотах располагаются более мелкие шары (обычно катионы).

В зависимости от величины ионного радиуса данного иона находится число соприкасающихся с ним в кристаллической решетке ионов другого элемента, или, как говорят, координационное число. Например, в решетке хлористого натрия каждый ион натрия окружен шестью ионами хлора, расположенными в шести углах октаэдра (рисунок 84), так же как и

каждый атом хлора окружен шестью атомами натрия. Следовательно, для обоих элементов координационные числа будут *шесть*. В структуре флюорита  $\text{CaF}_2$  координационное число кальция 8, фтора — 4 и т. д. Знание координационных чисел позволяет для большинства соединений построить модели кристаллов.

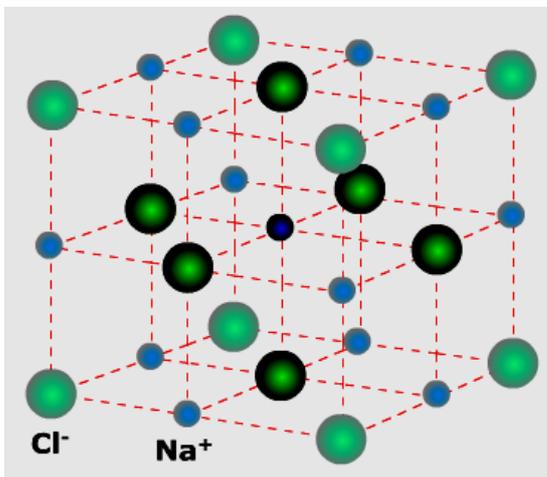


Рисунок 84 - Кубическая структура галита, кристаллы галита

Не вдаваясь в более детальное описание кристаллических решеток (этим занимается кристаллография), отметим, однако, что изложенными выше электронными и атомными связями легко объясняются непонятные ранее свойства кристаллического вещества — его анизотропность (векториальность), заключающаяся в том, что большинство физических свойств кристаллов (спайность, твердость, магнитность, электропроводность, цвет и пр.) одинаковы по параллельным и различны по непараллельным направлениям. Только в кристаллах кубической сингонии некоторые свойства (теплопроводность, скорость распространения света) одинаковы во всех направлениях.

*Коллоиды.* Кроме явно кристаллических веществ, в земной коре широко распространены скрытокристаллические, к числу которых относятся коллоиды.

Коллоидами называются разнородные (гетерогенные) рассеянные (дисперсные) системы, состоящие из дисперсионной среды и дисперсной фазы. Дисперсная фаза в коллоидах представлена тонко распыленными частицами (мицеллами) вещества в какой-либо массе (дисперсионной среде). Величина частиц много крупнее размеров ионов или молекул, но все же настолько мала, что с помощью обычного микроскопа частицы не различимы. В твердых частичках ионы и молекулы связаны в кристаллическую решетку, т. е. представляют собой мельчайшие кристаллики. Среди коллоидов различают золи и гели.

В золях дисперсионная среда сильно преобладает над дисперсной фазой и они часто представляются совершенно однородными и

прозрачными, не отличимы от истинных растворов (например, железистые воды, табачный).

В гелях, наоборот, преобладает дисперсная фаза, и они выглядят как студенистые, клееподобные или стекловидные массы. Примером гелей может служить минерал лимонит (гель гидроокислов железа), опал (гель кремнезема и пр.

В зависимости от природы дисперсионной среды различают аэрозоли и аэрогели (дисперсионная среда - воздух), гидрозолы и гидрогели (дисперсионная среда - вода) кристаллозоли и кристаллогели (дисперсионная среда — какое-либо кристаллическое вещество) и т. П.

Установлено, что коллоиды могут образовываться при различной температуре, давлении, так что любое вещество может быть получено в форме коллоида.

Дисперсные частицы в коллоидах несут одноименные электрические заряды и взаимно отталкиваются, что поддерживает их во взвешенном состоянии в дисперсионной среде. Когда частицы по тем или иным причинам теряют заряд, силы отталкивания исчезают, частицы начинают сливаться и образуют сплошную студенистую массу, или оседают хлопьями. Этот процесс получил название коагуляции (лат. *coagulatio* - сгущая)

Образованные в результате коагуляции гидрогели со временем стареют, теряют воду и подвергаются перекристаллизации. При этом возникают кристаллически-зернистые, часто волокнистые или радиально-лучистые агрегаты, получившие название метаколлоидов (бывших коллоидов).

Теоретически коллоиды (за исключением метаколлоидов) нельзя называть минералами, так как они представляют собой механические смеси различных веществ (дисперсной фазы и дисперсионной среды), но по внешним признакам многие коллоиды совершенно не отличимы от минералов и их обычно условно рассматривают вместе с типичными минералами. Твердые коллоиды как показали рентгеновские исследования, представляют собой скрытокристаллические вещества.

11.1.2 Морфология минералов. Твердые минералы встречаются в природе либо в виде кристаллов, имеющих правильную форму, либо в виде неправильных по форме зерен или сплошных масс - кристаллического агрегата, характеризующегося кристаллической природой своего вещества, либо в виде аморфных масс. К числу характерных свойств большинства минералов как кристаллических тел относится свойство самоогранения, т.е. способность принимать многогранную форму (рисунок 85 ).



## Рисунок 85 - Кристалл граната и актинолита

Каждому минералу присуща своя кристаллическая форма, зависящая полностью от химического состава и строения вещества, слагающего данный минерал, и от условий образования минералов. Изучением кристаллической формы и структур минералов занимается наука-кристаллография. В курсе общей геологии формами кристаллов пользуются главным образом как признаком для определения минералов. Некоторые минералы имеют вид закономерно сросшихся нескольких кристаллов. Такие сростки называют двойники и тройники. На стенках пустот в горных породах часто образуются щетки кристаллов, наросших на поверхность - друзы. Иногда друзы почти нацело заполняют пустоты, образуя секрции. Крупные секрции с оставшейся посередине пустотой называются жеодами (рисунок 86), мелкие в излившихся породах - миндалинами.



Рисунок - 86 Жеода халцедона

В пористых зернистых породах, при наличии растворов, вокруг какого либо центра могут формироваться стяжения вещества, образующие радиально-лучистые или другой структуры агрегаты близкой к шарообразной формы – конкреции.

11.1.3 Цвет. Минералы имеют весьма разнообразный цвет, они могут быть бесцветными, прозрачными. Устанавливается визуально. При названии цвета рекомендуется давать названия предметов, цвет которых хорошо известен (молочно-белый, стально-серый, мясо-красный и т.д.).

11.1.4 Цвет черты. У некоторых минералов наблюдается различные цвета самого минерала и его порошка, например у гематита цвет минерала стально-серый, а цвет порошка вишневый. Порошок получают, проведя минералом по бисквиту - белой неглазированной фарфоровой пластинке (рисунок 87).



Рисунок 87 - Черта графита – черная, гематита - вишневая

11.1.5 Блеск – отражательная способность минералов. Устанавливается визуально путем сравнения с эталонным образцом. Блеск бывает металлический (пирит, халькопирит, галенит и т.д.), стеклянный (кальцит, гипс, полевые шпаты и т.д.), жирный (кварц, нефелин и т.д.), перламутровый (слюда, тальк и т.д.), шелковистый (волокнистые, игольчатые минералы), алмазный (алмаз, сфалерит), матовый.

11.1.6 Излом. Бывает раковистым, занозистым, ступенчатым, неровным (рисунок 88).

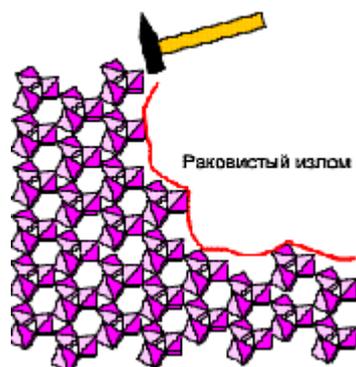


Рисунок 88 - Раковистый излом у кварца (горного хрусталя)

11.1.7 Твердость минералов. С помощью шкалы твердости определить твердость каждого минерала, помня, что в ней каждый последующий минерал тверже предыдущего на 1.

Таблица 1 Шкала твердости Мооса

Твердость	Название минералов	Определение
10	Алмаз	Режет кварц
9	Корунд	Режет кварц
8	Топаз	Царапает кварц
7	Кварц	Режет стекло
6	Ортоклаз	Царапает стекло

5	Апатит	Не царапает стекло, не чертится сталью
4	Флюорит	Царапается сталью
3	Кальцит	Хорошо царапается сталью
2	Гипс	Царапается ногтем
1	Тальк, графит	Пишет по бумаге

11.1.8 Спайность. Это способность кристаллических минералов раскалываться по плоскостям в одном или нескольких направлениях, образуя зеркально-блестящие поверхности- плоскости спайности (рисунок 89). Необходимо сравнить образец со шкалой спайности и визуально установить спайность каждого минерала.

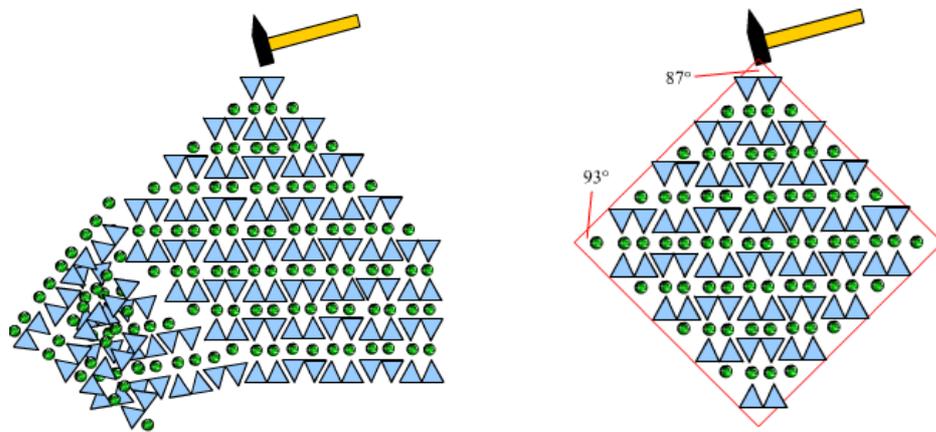


Рисунок 89 - Ступенчатый излом и совершенная спайность в пироксенах

11.1.9 Удельный вес. По удельному весу выделяется три группы минералов: легкие (до  $2,5 \text{ г/см}^3$ ), средние (до  $4 \text{ г/см}^3$ ), тяжелые (более  $4 \text{ г/см}^3$ ).

11.1.10 Другие свойства. Для некоторых минералов характерна реакция с разбавленной соляной кислотой (кальцит, доломит в порошке, магнезит при нагревании). Некоторые минералы обладают магнитностью (магнетит, пирротин, рисунок 90), вкусом (галит, сильвин), двойным лучепреломлением (исландский шпат-кальцит), запахом (сера).



## 10 МЕТАМОРФИЗМ

### 10.1 Основные факторы метаморфизма

Метаморфизм (греч. - превращение, преобразование) – один из факторов внутренней динамики Земли, заключающийся в преобразовании горных пород в недрах под действием высоких температур, давлений или циркуляции активных флюидов. К ведущим факторам метаморфизма относят температуру, давление и действие флюидов.

Процесс метаморфизма протекает под комплексным воздействием этих эндогенных факторов, но в ряде случаев можно выделить тот или иной факторов качестве главного.

*Температура* - важнейший фактор метаморфизма. Она влияет на процессы преобразования и возникновения минералов, повышает скорость химических реакций и интенсивность перекристаллизации.

Повышение температуры в тех или иных участках земной коры может обусловлено:

- общим возрастанием температуры с глубиной;
- локальным увеличением температуры в зоне трущихся блоков литосферы;
- теплом магматических интрузий или горячих флюидов.

Возрастание температуры приводит к дегидратации гидроксилсодержащих минералов, к декарбонатизации карбонатов, к образованию новых высокотемпературных минералов.

Согласно исследованиям В. С. Соболева, основной температурный интервал, определяющий метаморфизм горных пород, заключен в пределах 300-400 и 900-1000 о С.

Нижний предел, в 300 о С определяется резким падением скорости химических реакций, приводящим к преобразованию пород. В среднем, этот температурный порог находится на глубине 15 км при геотермическом градиенте равном 20 о С на 1 км. Верхний предел, в 1000 о С ограничен началом плавления некоторых горных пород; располагается он в основании земной коры. Таким образом, метаморфизм протекает при преимущественно твердом состоянии пород.

*Давление* приводит к сокращению объема пород, к более плотной «упаковке» минеральных зерен, к переориентации минералов. Кроме того, давление повышает температуру плавления пород, что увеличивает пределы температурного воздействия.

Давление может возрасти:

- за счет увеличения массы вышерасположенных толщ - геостатическое или литостатическое давление. Оно направлено по вертикали и увеличивается с глубиной.

- другая причина увеличения давления - динамическое (направленное, ориентированное) тангенциальное сжатие.

Его возникновение связано с тектоническим движением блоков литосферы в горизонтальном (тангенциальном) направлении. Динамическое давление также приводит к переориентации минеральных зерен (длинной стороной перпендикулярно направлению давления), ускоряет или замедляет процессы минералообразования, способствует образованию трещин в породе.

*Активные флюиды* включают в себя горячие газы (эманации) и горячие растворы. К первым относятся пары воды и углекислый газ. Большую роль играют также водород, азот, хлор и некоторые другие газы. Горячие растворы, содержащие ионы активных химических элементов (натрия, кальция, фтора, бора, серы), мигрируя по трещинам горных пород, оказывают на них метаморфизирующее воздействие.

Выражается оно, главным образом, в привносе в породу и выносе из нее химических элементов. Эта явление называется метасоматозом.

Особенно велика роль активных флюидов в преобразовании «сухих» пород, лишенных растворов в силу чрезвычайно малого порового пространства.

Метаморфизму могут подвергаться не только осадочные и магматические породы, но и ранее образованные метаморфические породы. Такой повторный метаморфизм получил название диафтореза (греч. - разрушаю). В некоторых случаях метаморфизм протекает с существенным изменением химического состава первичной породы, т. е. метасоматически. Химические преобразования сопровождаются возникновением новых минеральных ассоциаций, путем перекристаллизации уже существующего материала, привноса или выноса некоторых химических элементов.

В зависимости от условий протекания процессов метаморфизма и от сочетания факторов метаморфизма выделяют различные его типы. К главнейшим типам метаморфизма относят региональный и локальный, в пределах последнего выделяют: динамометаморфизм, контактовый и гидротермальный

## 10.2 Региональный метаморфизм

В качестве преобразующих факторов при региональном метаморфизме выступают давление, температура и химически активные флюиды.

Осадочные породы медленно погружаясь последовательно проходят различные термобарические зоны: эпизону, мезазону и катазону.

Так же воздействуют факторы метаморфизма и на магматические породы при их погружении. Ниже дан механизм преобразования осадочных и магматических пород в различных термобарических зонах (рисунок ). В эпизоне метаморфизм проявляется слабо и обусловлен возрастающим геостатическим давлением. Здесь происходит переориентация частиц в породе (формируются глинистые сланцы, филлиты).

В мезоне наряду с существенным односторонним давлением, заметна роль температурного фактора и активных флюидов. Возникают новые минералы, перекристаллизуются исходные породы. Возникают слюдистые сланцы, гнейсы и амфиболиты (из основных эффузивных пород), кварциты и мраморы.

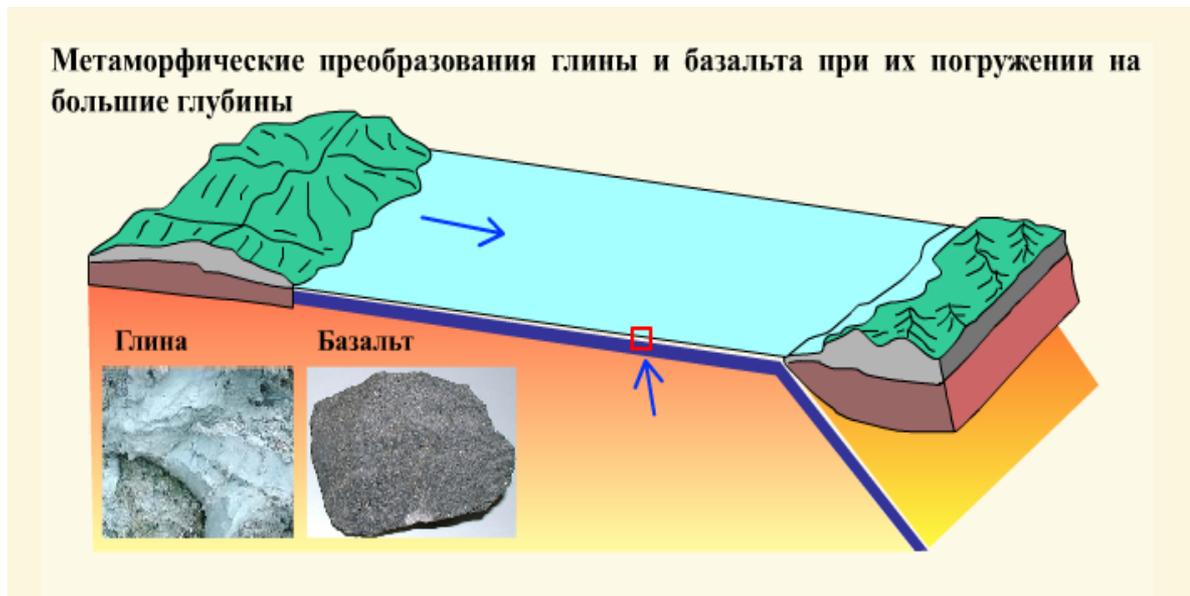


Рисунок – Глины и базальты до преобразования

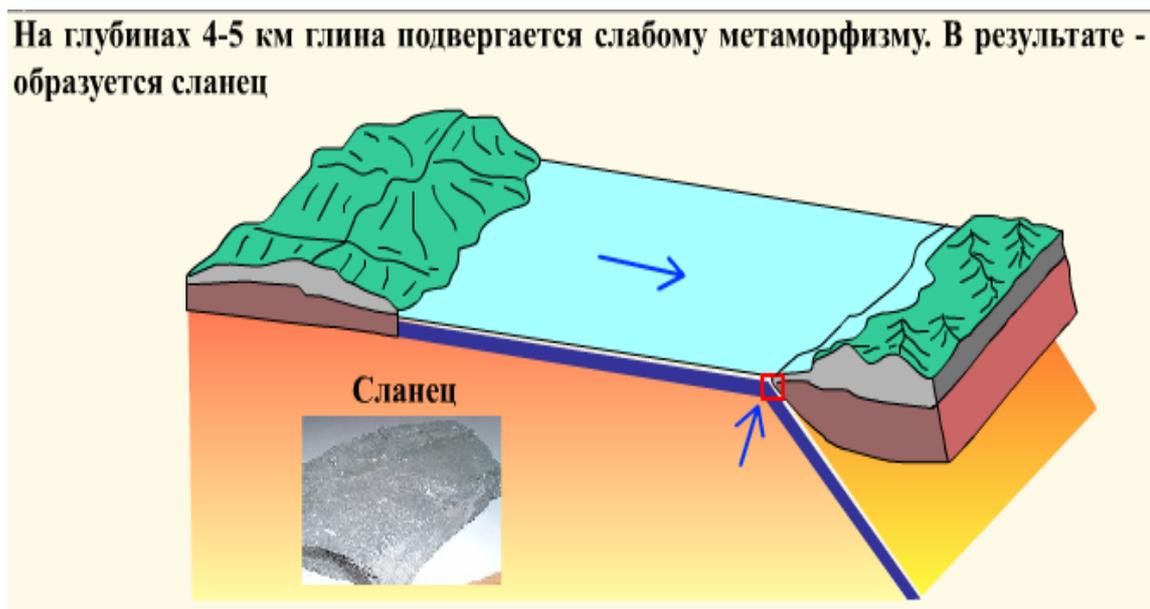


Рисунок – Преобразование глинистых минералов до сланцев в зоне диагенеза

При погружении на 5-10 км породы подвергаются дальнейшим метаморфическим преобразованиям: базальт превращается в зеленый сланец, а сланец - в филлит

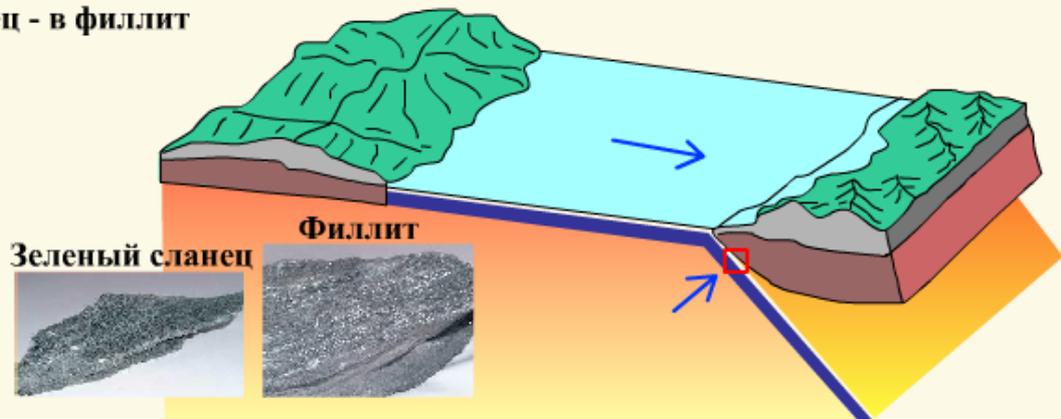


Рисунок - Преобразование глин и базальта в эпизоне

На глубине 10-20 км породы продолжают подвергаться метаморфическим преобразованиям: зеленый сланец превращается в голубой, а филлит - в гранат-слюдяной сланец

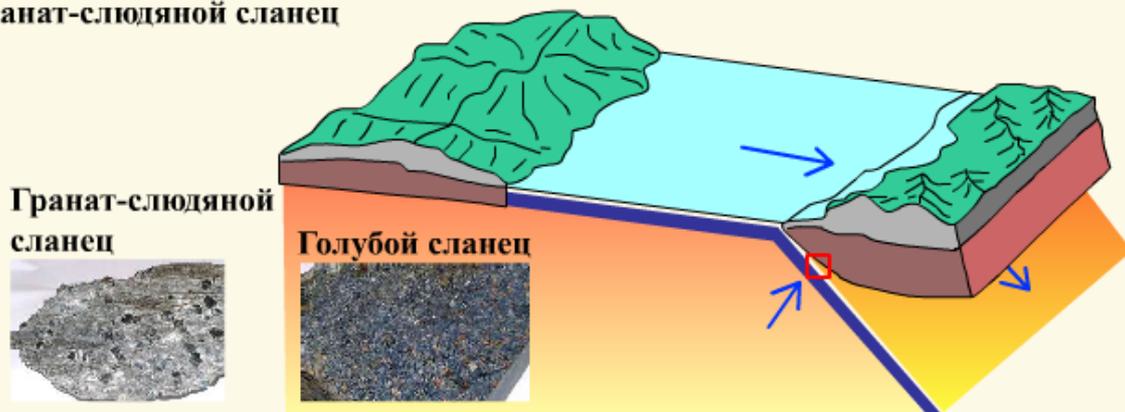


Рисунок - Преобразование глины и базальта в мезозоне

На глубине около 20 км гранат-слюдяной сланец превращается в гнейс. На глубине около 40 км голубой сланец превращается в эклогит.

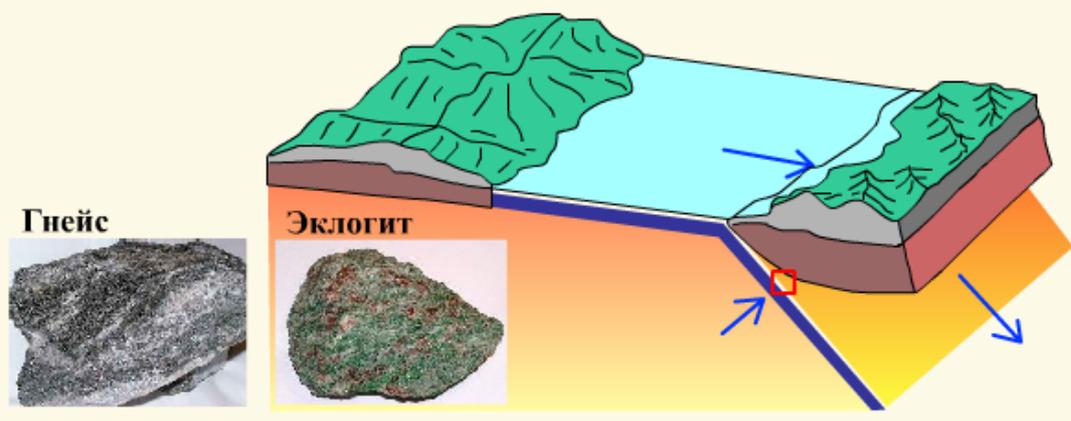


Рисунок - Преобразование глины и базальта в нижней части мезозоны



Рисунок - Преобразование глины и базальта в катазоне

В катазоне максимально проявляются все три фактора метаморфизма.

Метаморфизм катазоны характерен для низов земной коры. Активно протекают процессы новообразования минералов. Образуются биотитовые и пироксеновые гнейсы, эклогиты (кристаллические породы, состоящие из зерен пироксена и граната и развивающиеся по базальтам и габбро). Происходит полная перекристаллизация горных пород – ультраметаморфизм. Перекристаллизация может происходить с частичным расплавлением минералов (анатексис) и полным (палингенез). Подобные процессы могут привести к образованию гранитов и основных пород на месте залегания первичных образований (in situ). Этот процесс называется гранитизация. При активном участии флюидов кроме гранитов могут формироваться мигматиты- породы, состоящие из чередования прослоев гнейсов и гранитов.

### 10.3 Динамо- или катакластический метаморфизм

Динамометаморфизм протекает под действием ориентированного, направленного давления в местах интенсивного складкообразования, чаще всего в зонах взаимодействия литосферных плит. В результате динамометаморфизма минеральные зерна меняют свою ориентировку перпендикулярно направленному давлению, происходит и их уплощение. Формируются новые чешуйчатые минералы, такие как хлорит, биотит, мусковит, тальк и др. Образуются породы типа гнейсов, сланцев, амфиболитов. Ориентированное сжатие может вызвать в породах деформацию, скалывания и дробления, а также скольжение минералов по плоскостям спайности. Такой динамометаморфизм, приводящий к механическому разрушению пород, получил название катакластического. Он возникает в случаях, когда ориентированное давление превышает предел

прочности пород. В зонах катакластического метаморфизма возникают тектонические брекчии (меланж) или милониты.

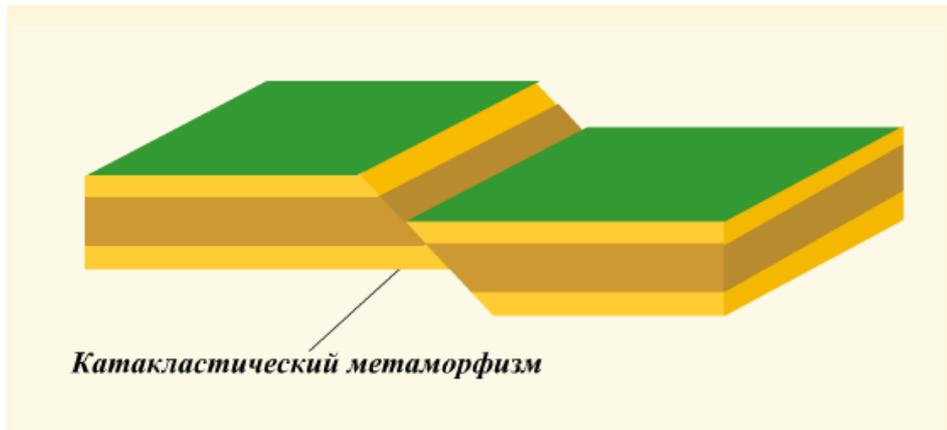
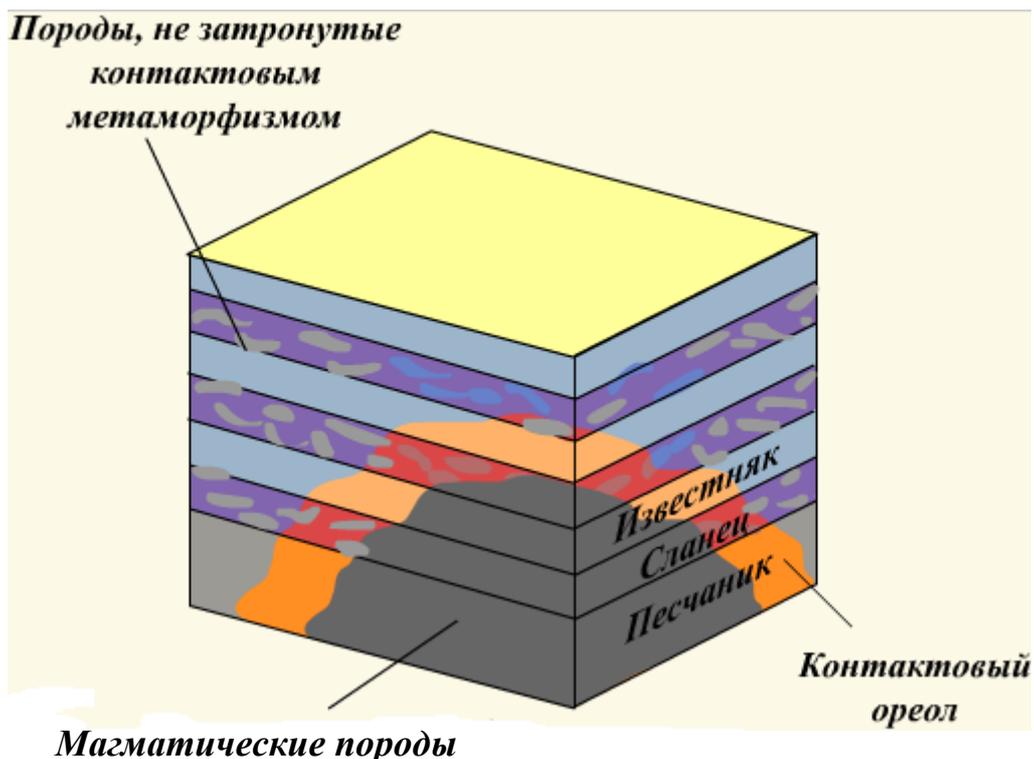


Рисунок - Принцип действия динамометаморфизма

10.4 Контактный метаморфизм протекает близ магматических интрузий. Основные факторы контактового метаморфизма - высокая температура (550-900 °С) и активные флюиды. Контактный метаморфизм охватывает породы, непосредственно прилегающие к магматическому очагу. Максимальный радиус его действия 2-5 км. К породам контактового метаморфизма относятся роговики, скарны, вторичные кварциты. Масштабы его развития предопределяются величиной магматической интрузии: в большей степени они проявляются в ареале батолитов, в меньшей - около даек и силлов. Температурное воздействие выражается в формировании своеобразной зоны обжига, естественного кокса. Обожженные породы спекаются и приобретают повышенную прочность.



## 10.5 Гидротермальный метаморфизм

Гидротермальный метаморфизм тесно связан с контактовым и протекает под действием горячих подземных вод, обычно ювенильного происхождения. Основным фактор метаморфизма этого типа - метасоматоз, в меньшей степени температура. При гидротермальном метаморфизме возникает много новых минералов - альбит, эпидот, хлорит, пирит, березит, серицит, цеолит и др.

При этом широко развиваются процессы окварцевания (т. е. образования вторичных кварцитов), происходящие при циркуляции кремнистых растворов.

Метаморфические породы сравнительно широко распространены в земной коре. В целом для них характерно рассланцевание и кристаллическая структура.

Характерные признаки метаморфизма кливаж (англ. раскол) – трещиноватость пород перпендикулярно направлению давления и будинаж (фр. валик) разлинзование пласта пород, сопровождающееся распадением на отдельные линзы, часто с пережимами.

## 10.6 Метаморфические фации

Изучение метаморфических пород показало, что породы, имеющие разный возраст, но подвергшиеся сходным условиям метаморфизма, содержат идентичные ассоциации минералов. Это означает, что при каждой конкретной комбинации факторов метаморфизма возникает своеобразное химическое равновесие, приводящее к появлению характерной ассоциации минералов. Каждая такая группа минералов образует метаморфическую фацию.

Выделяют цеолитовую, глаукофановую, зеленосланцевую, амфиболитовую, гранулитовую и эклогито-вую фации

Цеолитовая фация соответствует самой низкой степени метаморфизма. Она начинается сразу за диагенезом и литификацией. В условиях сравнительно небольших температур и давлений развиваются низкотемпературные водные минералы - цеолиты. В минеральных ассоциациях вместе с ними присутствуют кварц, светлые слюды, хлориты.

Глаукофановая фация (фация голубых сланцев) характеризуется сравнительно низкими температурами (300—500 °С), но очень высокими давлениями -7—11\*10<sup>2</sup> МПа. Голубой цвет сланцы приобретают за счет минерала глаукофана, имеющего синюю окраску. Глаукофан возникает при повышении давления из альбита и хлорита. Для глаукофановой фации

характерны также следующие минералы: жадеит, лавсонит, кварц, хлорит, мусковит, гранат. В настоящее время образование глаукофановых сланцев объясняют сравнительно быстрым (5—10 см в год) погружением океанической литосферной плиты под континентальную.

Зеленосланцевая фация образуется при сравнительно небольших температурах и давлениях и характеризует раннюю стадию динамометаморфизма. Специфический цвет сланцам придают зеленые минералы - хлорит и эпидот. С ними ассоциируют кварц, альбит и мусковит.

Амфиболитовая фация возникает при увеличении температуры и давления. Хлорит переходит в биотит, появляются мелкие кристаллы граната. Формируется характерный биотитовый сланец. Дальнейшее повышение температуры и давления приводит к замещению биотита роговой обманкой (амфиболитом), кристаллы граната увеличивают размеры, появляются новые минералы: ставролит, андалузит, кианит, силлиманит. Возникает специфическая метаморфическая фация, название которой дано по одному из характерных для нее минералов. Фация проявляется очень широко при региональном метаморфизме и динамометаморфизме.

Гранулитовая фация — это высокотемпературная фация (700—900 °С), для которой характерны существенные давления (до 103 МПа), Она отражает максимальную степень регионального метаморфизма. В эту фацию образуются гранулиты (средне- и крупнозернистая порода, состоящая из калиевого полевого шпата, натриевого плагиоклаза, пироксена, кварца, граната) и чарнокиты (гиперстеновые гнейсы). Гранулиты похожи на гнейсы, в меньшей степени на граниты, но поскольку в них отсутствуют слюды, то породы не рассланцованы. Во время перекристаллизации минеральные зерна обычно прорастают друг в друга.

Эклогитовая фация отражает очень глубинный метаморфизм при температурах 800—1000 °С и давлениях свыше 8—10- 102 МПа. Поскольку по химическому составу эклогит не отличается от базальта, то исходным материалом для его образования служат, очевидно, основные и ультраосновные магматические породы.



## Рисунок – Индекс –минералы степени метаморфизма

Последовательный ряд метаморфических фаций хорошо исследован и подтвержден материалами по различным областям земного шара. С их помощью можно восстанавливать термобарические условия прошедших геологических эпох, полнее реконструировать метаморфические процессы прошлого.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое метаморфизм?
2. Факторы метаморфизма?
3. Типы метаморфизма?
4. Факторы регионального метаморфизма ?
5. Факторы контактового и гидротермального метаморфизма?
6. Факторы динамометаморфизма?
7. Метаморфические фации?

### 11.2 Горные породы

11.2.1 Земную кору слагают горные породы, представляющие собой закономерные агрегаты минералов (рисунок 91). Последние состоят из различных химических элементов. Химический состав и внутренняя структура минералов зависят от условий их образования и определяют свойства. В свою очередь строение и минеральный состав горных пород указывают на происхождение последних и позволяют определять породы в полевых условиях.



Рисунок 91 - Состав гранита

Горные породы - это естественные ассоциации минералов, возникшие в земной коре в результате затвердевания природных силикатных расплавов,

накопления осадков и преобразования (метаморфизации) ранее существовавших горных пород. Каждая горная порода образует в земной коре геологическое тело (слой, пласт, линзу, массив, поток, покров, и т.д.), имеет вещественный состав, обладает своим внутренним строением.

Вещественный состав горных пород характеризуется валовым химическим и минеральным составами. Валовый химический состав выражается в процентах содержания главных окислов:  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $H_2O$ . Состав горных пород бывает мономинеральный, т.е. состоит из одного минерала (дунит, кварцит, каменная соль и др.) и полиминеральный (гранит, гнейс, диорит и др.). Породообразующие минералы считаются главными, если каждый из них составляет более 5% объема пород и второстепенными, если их меньше 5%. Акцессорные минералы (лат. *accessorius* – добавочный) входят в состав горных пород в очень малых количествах и являются строго закономерной частью пород и по их характеру может быть установлено родство и происхождение горных пород.

Породообразующие минералы делят на салические - светлоцветные и фемические – темноцветные, а также на первичные – возникшие в процессе её образования горной породы и вторичные – в процессе последующих её изменений.

Строение горных пород характеризуется структурой и текстурой.

Структура обуславливает внутреннее строение горной породы, т.е. степень кристалличности и размерность минеральных зерен или обломков, слагающих породу, их формой. Текстура породы - это особенность внешнего её строения (рисунок) и определяется характером размещения минеральных зерен, их ориентировкой и окраской.

Главным признаком разделения горных пород является их происхождение. По этому признаку все горные породы делятся на три группы: магматические, метаморфические и осадочные. Магматические горные породы возникают путем кристаллизации природных силикатных растворов, зародившихся как в верхней части мантии Земли, так и в земной коре. Осадочные горные породы образуются на поверхности Земли в водной, реже – воздушной среде из продуктов разрушения других пород, а также из химических и органогенных осадков. Метаморфические горные породы возникают в результате преобразования магматических, осадочных и ранее существовавших метаморфических пород под влиянием высоких температур и давлений, теряя первоначальный облик, приобретают новые особенности вещественного состава и внутреннего строения.

**11.2.2 Магматические горные породы.** Главными классификационными признаками магматических (изверженных) горных пород являются химический состав и условия залегания. По химическому составу, обусловленный содержанием кремнезёма  $SiO_2$ , все магматические породы делят на кислые, средние, основные и ультраосновные. Средние содержания (массовая доля) главных породообразующих оксидов магматических пород (по Ф. Кларку и Г.Вашингтону) следующие:

%	Оксид	содержание, %	оксид	содержание,
	SiO <sub>2</sub>	59,12	CaO	5,08
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,34	Na <sub>2</sub> O	3,82
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,08	K <sub>2</sub> O	3,13
	FeO	3,80	H <sub>2</sub> O	1,15
	MgO	3,49	Всего	98,01*

На долю TiO<sub>2</sub>, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и CO<sub>2</sub> приходится 1,57%; все остальные оксиды представлены в магматических породах в весьма малых количествах (в среднем до 0,42%).

Отношение суммы щелочей K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O к глинозему Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> определяет щелочность породы:  $K_2O + Na_2O / Al_2O_3 < 1$  - породы нормального ряда;  $K_2O + Na_2O / Al_2O_3 > 1$  – породы щелочного ряда. Если щелочи преобладают значительно над глиноземом, породы считаются щелочными. Для пород щелочного ряда характерно большое количество калиевого полевого шпата. В щелочных породах присутствует нефелин и (или) лейцит. Нефелин никогда не встречается с кварцем.

По условиям образования магматические породы делятся на интрузивные (глубинные – абиссальные), включающие субвулканические и жильные (полуглубинные, или гипабиссальные) и эффузивные (вулканыты). Интрузивные породы формировались на больших глубинах, кристаллизация субвулканических и жильных пород происходила на небольшой глубине, эффузивные (излившиеся) – затвердели на дневной поверхности.

По степени вторичных изменений, эффузивные породы делятся на кайнотипные (молодые), неизмененные и палеотипные («древние») – измененные разной степени и перекристаллизованные под влиянием времени.

Механизм образования интрузивных и эффузивных магматических пород следующий. Магматические породы образуются в условиях высоких температур и высокого давления в процессе застывания силикатных расплавов - магмы. В одних случаях магма вторгается из недр в толщу лежащих выше пород и застывает на большей или меньшей глубине, образуя глубинные или интрузивные горные породы, в других она застывает, излившись на поверхность Земли в виде лавы, формируя эффузивные или излившиеся породы. Процесс кристаллизации магмы происходит различно на различных глубинах, так как он находится в прямой зависимости от давления, температуры и наличия минерализаторов- летучих веществ, способствующих кристаллизации магмы. Чем выше давление и медленнее падает температура, больше минерализаторов, тем полнее кристаллизуется магма. При нормальных условиях образуются полнозернистые, массивно-кристаллические породы, сплошь состоящие из хорошо развитых кристаллов различных минералов - интрузивные породы. При излиянии магмы на поверхность Земли, в условиях низких температур, быстрого остывания

магмы, удалении минерализаторов, раскристаллизация магмы невозможна. Образуются вулканические лавы и стекла, а также другие породы с незакристаллизовавшейся или не полностью раскристаллизованной массой, где отдельные кристаллы изолированы в виде порфировых вкрапленников, образовавшихся еще в глубинных условиях - эффузивные породы. Эффузивные породы по возрасту делятся на: палеотипные и кайнотипные.

*Структура и текстура магматических пород.* В описании горной породы значительное место занимает полная характеристика ее внешнего вида: сложения- текстуры и строения- структуры. Под структурой понимают строение минеральных агрегатов, определяющееся степенью кристалличности, размерами минеральных зерен, последовательностью их выделения. Под текстурой – сложение, характеризующееся расположением минеральных зерен в породе, степенью сплошности породы.

Для интрузивных пород характерны: кристаллическая (крупно-, средне - мелкозернистая), порфировидная (кристаллы отдельных минералов резко выделяются размерами на равнозернистом кристаллическом фоне), пегматитовая (взаимное прорастание кристаллов полевых шпатов и кварца) структуры; массивная и полосчатая текстуры.

Эффузивные породы чаще всего имеют афанитовую (стекловатую), порфировую (на фоне нераскристаллизованной стекловатой массы порфировые вкрапленники) структуру и пористую, миндалекаменную текстуру.

К первичным минералам магматических горных пород относятся: кварц, нефелин, плагиоклазы, калиевые полевые шпаты, мусковит, биотит, роговая обманка, пироксены, оливин и др.

*Описание основных магматических горных пород.*

Кислые породы.

*Граниты* - абиссальная порода, имеют полнокристаллическую структуру. Породообразующими минералами гранита являются: кварц, ортоклаз, замещаемый частично в некоторых случаях плагиоклазами; темноцветные минералы – чаще биотит, иногда роговая обманка, реже авгит. Кварц присутствует в виде бесцветных и от дымчато-серых до черных зерен неправильной формы, с жирным блеском. Ортоклаз определяется по спайности, стеклянному блеску на плоскостях спайности и окраске (мясо-красный, розовый, серовато-белый).

Цвет породы определяется по цвету светлого минерала. По содержанию цветного минерала биотита (мусковита), роговой обманки, рибекита (рибекит - щелочной амфибол, эгирина (минерал из группы пироксенов) и др. гранит называют биотитовым, двуслюдяным, роговообманковым, рибекитовым, эгириновым и др.

Гранит имеет равномернозернистую структуру, реже - порфировидную - на фоне хорошо раскристаллизованной массы видны более крупные кристаллы, имеющие тот же состав, что и основная масса. Порфировидные, крупнозернистые биотито-роговообманковые граниты с крупными

отдельными кристаллами ортоклаза называются рапакиви (финск. – «гнилой камень») – легко разрушается под действием атмосферы).

Классификация гранитов. Выделяют граниты нормального ряда и щелочные граниты.

Нормальные (или известково-щелочные) граниты имеют в составе калиевый полевой шпат - не менее 30%, обычно 40%, кислый плагиоклаз (альбит, олигоклаз) – 10-20% и кварц – 25-30%. При равных содержаниях указанных минералов в породе гранит называется адамеллит. Если в составе породы плагиоклаза меньше 10% – калиевый гранит. При минимальном содержании или отсутствии калиевого полевого шпата граниты плагиоклазовые или плагиограниты.

Щелочные граниты содержат щелочные полевые шпаты: калиево-натровые – (микропертит, анортоклаз), реже - натриевый – (альбит) или чисто калиевые – микроклин, ортоклаз), щелочные пироксены или амфиболы.

При содержании цветных минералов менее 5% граниты называют аляскитовыми.

Эффузивные и гипабиссальные аналоги гранита.

Кайнотипные. *Липарит* (син.: риолит) – в стекловатой или скрытокристаллической массе встречаются вкрапленники кварца, калиево-натрового полевого шпата, плагиоклаза и в небольших количествах цветного минерала, особенно слюды. Часто развита флюидальность.

*Пемза* (pumex - пена) – легкая (не тонет, в воде) белая или серая, очень пористая порода. Крупнозернистое, волосоподобное вулканическое стекло преимущественно кислого состава. Пемза образуется при подъеме насыщенной газами вязкой лавы в область пониженного давления, где газы резко расширяются и лава превращается в застывшую губчатую массу.

*Обсидиан* – вулканическое стекло, структура стекловатая, текстура массивная, излом раковистый, блеск жирный. Окраска красновато-коричневая, темно-серая, черная, иногда пятнистая или струйчатая за счет рассеянного пепловидного гематита. По составу обсидианы разнообразные, но обычно соответствуют кислым породам – липариту и др.

Палеотипные. *Кварцевые порфиры* - аналог липарита. По цвету бурая, красная, белая, в плотной основной массе вкрапленники каолинизированных кристаллов ортоклаза или гипса.

Жильные породы генетически связаны с гранитоидами и представлены жильными гранитами, аплитами, пегматитами, гранит-порфирами, а также лампрофирами диорит-порфиритами, габбро-диабазами и жильным кварцем.

*Аплит* - лейкократовая мелкозернистая порода, состоит из светлоокрашенных минералов.

*Пегматит* - разнозернистая, преимущественно крупнозернистая порода, по составу отвечает гранитам (биотитовым, мусковитовым, двуслюдяным). Полевой шпат обычно калиево-натриевый или калиевый (микроклин), в некоторых разностях развит плагиоклаз (альбит).

*Гранит-порфир* - порфировидные гранитовые породы с мелкокристаллической основной массой, порфировые выделения - кварц, щелочной полевой шпат, реже цветные минералы.

*Лампрофиры* - меланократовые породы с относительно низким содержанием кремнезема при сравнительно высоком содержании глинозема и щелочей. Соответствует группе диорита.

Средние породы.

Средние породы характеризуются большим содержанием светлых минералов, чем темных (типичны роговая обманка, биотит, реже – авгит). Это определяет светло-серую или серую окраску пород. Светлые минералы представлены калиевыми полевыми шпатами - ортоклазом и микроклином (сиенит, трахит, сиенит-порфир) или плагиоклазами (диорит, диоритовый порфирит, андезит и андезитовый порфирит).

*Диорит* – абиссальная порода. Структура полнокристаллическая. Светлые минералы представлены плагиоклазами, которые придают породе светло-серую окраску или серую, на фоне которой резко выделяются зеленовато-черного цвета удлиненные кристаллы роговой обманки, реже – короткостолбчатые кристаллы авгита. Диорит залегает в виде штоков или в периферической части кислых интрузивных массивов. С ним связаны месторождения меди и полиметаллов.

Эффузивные аналоги диорита

*Андезит* – порода темно-серого или черного цвета. Структура порфировая. Основная масса скрытокристаллическая; порфировые включения представлены средним плагиоклазом или роговой обманкой, темноцветные минералы – авгитом, реже - роговой обманкой и биотитом. Текстура пористая. Залегает в виде потоков или покровов.

*Андезитовый порфирит* обладает той же структурой, тем же минеральным составом и формой залегания, что и андезит. Отличается от андезита сильной измененностью входящих в него минералов: плагиоклазовые вкрапленники имеют матовый блеск и грязно-серый цвет. Цветные минералы хлоритизированы, поэтому порфирит имеет темно-серый или темно-зеленый цвет.

*Сиенит* – абиссальная порода. Структура полнокристаллическая, среднезернистая, равномерно-зернистая. Состав: ортоклаз (50-60%), кислые плагиоклазы (25-30%), роговая обманка, иногда частично замещенная биотитом, реже – авгитом. Цвет - от розоватого до сероватого. Если полевые шпаты представлены исключительно ортоклазами-сиениты щелочные, в отличие от нормальных, описанных выше (см. граниты). Сиенит залегает или в виде самостоятельных интрузивных тел, или занимает краевые части гранитных массивов. С сиенитом нередко связаны месторождения магнетита, меди, золота, вольфрама, висмута и других металлов.

Эффузивные аналоги сиенита. *Трахит* светло-желтая, светло-серая или розоватая порода. Структура порфировая, текстура пористая. Кристаллические вкрапленники представлены санидином, реже темноцветными минералами - биотитом или роговой обманкой.

*Ортофир* (ортоклазовый порфир) - палеотипный трахитовый порфир (бескварцевый). Окраска бурая; более уплотненная основная скрытокристаллическая масса; ортоклаз каолинизирован, темноцветные минералы хлоритизированы.

Щелочные породы. Нефелиновые сиениты - абиссальная порода. В состав входят: нефелин (до 20%), калиевые полевые шпаты (до 65-75%) и темноцветные минералы – роговая обманка, пироксены, биотит (10-25%).

Основные породы.

Главные пороодообразующие минералы основных пород – пироксены (авгит) и плагиоклазы (часто лабрадор), может присутствовать роговая обманка. Большое количество темноцветных минералов придает породам темную окраску.

*Габбро* - абиссальная полнокристаллическая порода, состоит из авгита, роговой обманки и плагиоклаза. Разновидность габбро - лабрадорит. Цвет габбро серый, темно-серый, зеленовато-серый, черный. Структура крупно- и среднезернистая.

Эффузивные аналоги габбро. *Базальт* – кайнотипная порода, черная или темно-серая по цвету. Состоит из основного плагиоклаза (лабрадора, битовнита или анортита), авгита и, часто, оливина. Структура скрытокристаллическая или мелкокристаллическая, иногда в основной массе содержит порфиновые выделения авгита, одного или вместе с оливином, основным плагиоклазом. Текстура пористая, реже - миндалекаменная.

*Диабаз* – полнокристаллическая палеотипная порода основного состава. Структура диабазовая (офитовая). Минеральный состав такой же, как у габбро, но моноклиальный пироксен в них чаще представлен авгитом. Минералы, составляющие диабаз, в большей или меньшей степени подверглись разложению (амфиболитизации, хлоритизации, сосюритизации).

*Порфировидные диабазы*, содержащие вкрапленники авгита или плагиоклаза, называются диабазовыми порфиритами.

Ультраосновные породы (гипербазиты).

Породы этой группы содержат меньше 40% кремнекислоты и состоят из оливина, пироксена - силикатов с почти полным отсутствием глинозема и щелочей, но богатых окислами железа и магния. Ультраосновные породы в основном глубинные, излившиеся аналоги встречаются редко. К этим породам приурочены месторождения магнетита, хромита, платины, меди, серебра, кобальта, никеля, асбеста, талька и др.

*Дунит* состоит из оливина (95%), в небольших количествах присутствуют авгит, хромит, магнетит. Цвет от темно-желтого с зеленоватым оттенком до почти черного. Структура полнокристаллическая. Текстура массивная.

*Перидотит* состоит из оливина, авгита, содержащихся в породе почти в равных количествах. Цвет темно-зеленый или зелено-черный. Структура среднезернистая, различимы округлые желтовато-зеленые зерна оливина и короткостолбчатые кристаллы черного цвета - авгита.

Гипабиссальный аналог перидотита - *кимберлит*, заполняющий трубки взрыва.

Излившиеся аналоги перидотита – пикрит и пикритовый порфирит.

Пироксенит на 95% состоит из пироксенов (авгита и др.), в небольшом количестве содержится оливин (0-5, реже 10%). Порода полнокристаллическая от мелко- до крупнозернистой, чаще среднезернистая. Цвет черный, зеленовато-серый.

Пирокластические горные породы.

Пирокластические (огненно-обломочные) породы образуются в результате выброса при извержении вулканов обломков вулканического стекла, кристаллов различных минералов, твердеющей лавы. Падая на землю, эти обломки засыпают большие площади, часто смешиваются с осадочными породами речного и морского генезиса. Пирокластические породы образуют рыхлые и осадочные образования.

Рыхлые образования. Вулканический пепел – состоит из обломков размером до 1 мм. Вулканический песок – размер обломков 1-2 мм. Лапилли (итал. камешки) – веретенообразные обломки застывшей в полете лавы длиной 2-30 мм. Вулканические бомбы – обломки и куски застывшей (часто в полете) лавы размером в поперечнике до 15 и более метров.

Осадочные образования формируются в результате диагенеза рыхлых вулканических отложений. К ним относятся туфы (чаще всего пепловые), туфопесчаники – туфы с примесью песка, туфоконгломераты – туфы, содержащие примесь окатанных обломков горных пород, туфобрекчии – для них характерны крупные угловатые обломки вулканогенного материала в туфовом цементе.

При спекании пирокластического материала на поверхности земли образуется своеобразная порода – игнимбрит. В водной среде отложившийся пепловый материал называется туффит.

Лавобрекчии образуются при движении лавовых потоков, когда застывшая верхняя тонкая корка взламывается. Обломки цементируются той же лавой.

11.2.3 *Осадочные горные породы* образуются в результате осаждения минеральных веществ в водной или воздушной среде в ходе экзогенных процессов. По происхождению осадочные породы делятся на группы:

обломочные, образовавшиеся путем накопления обломков ранее существовавших пород; глинистые – сформировавшиеся в результате скопления продуктов химического и механического выветривания горных пород; химические, образовавшиеся благодаря выпадению осадков из раствора; органогенные - результат жизнедеятельности организмов или скопления отмерших организмов; породы смешанного происхождения (химического и органогенного) называют породами биохимического происхождения.

Главными признаками, определяющими осадочные горные породы являются: состав осадка, степень диагенеза, цвет, текстура, структура, пористость и плотность.

Состав осадка зависит от способа его образования: это могут быть обломки горных пород и минералов, органические вещества или продукты химических реакций и, соответственно, породу следует относить к обломочной, органической, хемогенной или смешанным группам.

Степень диагенеза (лат. *diagenesis* – перерождение) показывает, какие изменения произошли после его накопления в процессе превращения в горную породу. Диагенез сопровождается уплотнением, обезвоживанием (дегидратацией) осадка, растворением и перекристаллизацией осадка в различных восстановительных и окислительных реакциях, разложением мертвых органических тканей и др. Насыщенные растворы, циркулирующие в осадках, при повышении концентрации могут отложиться и заполнить поры и пустоты между частицами осадка, т.е. цементировать его. По составу цемент может быть кремнистый, известковый, мергелистый, глинистый, глауконитовый, битуминозный, железистый и др.

Цвет осадочных пород зависит от окраски обломков и минералов, слагающих их, а также от цвета цемента. Светлоокрашенным бывают породы, содержащие карбонаты, сульфаты, галоиды, кремнистое вещество или кварц; различные оттенки коричневого цвета придает железистый цемент; зеленый цвет связан с окраской зерен глауконита, хлоритов, эпидота и др.

Текстура. В осадочных породах встречаются следующие текстуры: слоистая – слои в породе четко различаются; полосчатая – слои различаются по цвету; массивная – составные части распределены хаотично (иногда такую текстуру называют беспорядочной); пятнистая – отдельные составные части породы образуют обособления в виде пятен.

Структура осадочных пород зависит от их принадлежности к той или иной генетической группе. Структура обломочная, различается по форме и размерам обломков, пелитовая (греч. пелёс – глина) – глинистых пород; хемогенных пород – часто кристаллическая или аморфная, органических – органическая, если порода состоит из целых раковин, из остатков скелетов – детритусовая (лат. *detritus* – перетертый), когда остатки организмов оказываются перетертыми или раздробленными.

Пористость оценивается по размеру пор, их количеству и способу образования (пористость межзерновая, кавернозная и др.).

Плотность, определенная даже приблизительно, облегчает диагностику. Например, похожие гипс и ангидрит легко различаются, плотность их соответственно 2,4 и 2,9 г/см<sup>3</sup>.

Осадочные горные породы делятся на три группы: обломочные и глинистые; хемогенные и органические.

Обломочные, или кластические (греч. кластес – обломок, породы образуются из обломков минералов и горных пород. Классификация их основана на величине обломков – грубообломочные, песчаные, алевроитовые, пелитовые – рассматриваются как обломочные породы условно, т.к. в их образовании главную роль играют химические процессы; степени их

окатанности (окатанные и неокатанные); наличии или отсутствии цемента, сцементированные или рыхлые.

Органогенные и хемогенные породы образуются как в водной среде, так и на поверхности в результате жизнедеятельности животных и растительных организмов или химических процессов, часто тех и других процессов вместе. Классифицируются те и другие породы по химическому составу. Выделяют карбонатные, сернокислые, галогенные, фосфатные и углеродистые (горючие) породы.

*Карбонатные породы.* Среди карбонатных пород наиболее распространены известняки и доломита.

Известняки – образования, состоящие из кальцита с примесью глины и песка. По содержанию глинистых примесей различают: глинистые известняки (глины < 20%), известковистые мергели (глины > 20%); мергели (30-50%); известковистые глины (глины > 50%).

Известковые туфы - пористые породы, образовались при отложении кальцита из вод источников, насыщенных растворенной двууглекислой известью. В местах выхода горячих минеральных источников они более плотные и называются травертинами. Известковые натёки (сталактиты и сталагмиты) образуются в известняковых пещерах.

Мергели плотные породы с раковистым или неровным сколом. Цвет белый или разнообразной светлой окраски. С разбавленной HCl мергели бурно реагируют, причем на поверхности породы остается грязное пятно.

Доломиты - породы, содержащие до 95% доломита; в основном наблюдаются различные переходы от известняков к доломитам. Известковистые доломиты содержат более 50% доломита, а доломитовые известняки - менее 50%. Доломиты бурно реагируют с разбавленной HCl будучи растертыми в порошок.

*Кремнистые породы.* Породы состоят из кремнезема органического и химического происхождения.

Диатомиты – это скопления микроскопических скелетов диатомовых водорослей. Породы белые или светло-желтые, пористые, мягкие и легкие, рыхлые, легко растираются руками в тончайшую пудру, легко впитывают воду и прилипают к языку.

Трепел внешне не отличим от диатомитов, происхождение – коллоидно-химическое. Состоит из мельчайших зернышек опала, видимых под микроскопом.

Опока - пористая порода от серого до черного цвета; состоит из опала с примесью кремнистых остатков мелких организмов – радиолярий, спикул губок, панцирей диатомей. Порода легкая и твердая, раскалывается на мелкие остроугольные обломки с раковистым изломом.

Яшма - плотная и твердая порода, сложена скрытокристаллическим кварцем или халцедоном; часто содержит остатки кремнистых раковин – радиолярий. Окраска красная, красно-бурая (сургучная яшма), зеленая, часто полосчатая, редко встречается т.н. «ситцевая» яшма. Образуются яшмы в

результате накопления кремнистого вулканического вещества из гидротерм на дне водоемов.

Кремнистые конкреции - это желваки с плотным кремнистым ядром, нередко концентрически-зональной текстурой обрастания; если они имеют внутри пустоты, их называют жеодами. Встречаются кремнистые конкреции в разных осадочных породах.

*Сернокислые и галогенные породы* различаются по химическому составу, но близки по условиям формирования.

Каменная соль (галит) – зернисто-кристаллическая сливная масса, окраска от светлой до черной, в зависимости от примесей. Вкус соленый, легко растворяется в воде, небольшая плотность. Порода встречается в сплошных массах, в виде примесей в обломочных породах и глинах. При выветривании на поверхности галитосодержащих пород возникают белые налеты («выпоты») соли.

Гипс встречается в виде зернисто-кристаллических масс, мелких зерен или друз («гипс-роза») в различных осадочных породах. Чистый гипс снежно-белый, желтый или розовый, окраска зависит от примесей. Гипс распознается по небольшой твердости и малой плотности.

Ангидрит. Серая или голубовато-серая порода. Твердость 3,5, что отличает его от гипса. Ангидрит встречается на глубине более 70 м на поверхности он, вследствие гидратации, переходит в гипс, который, увеличиваясь в объеме, сминается, приобретая гофрированную структуру.

*Железистые породы.* Группа железистых пород имеет большое практическое значение. Наиболее распространены: окислы и гидроксиды железа, карбонаты железа и сульфиды железа.

Среди пород первой группы широко развиты оолитовые железные руды - скопления оолитов лимонита размером от 0,2 до 15 мм. Эти руды часто обогащены псиломеланом – марганцевой рудой. Образуются они при выпадении гидроксидов железа из морской или пресной воды.

Сидерит (греч. сидерос – железо) - карбонат железа, встречается в виде минеральных включений в осадочных породах, реже образуют пласты и линзы. Цвет коричневый и серый различных оттенков. Агрегаты зернистые, грозде- и шаровидные, землистые, оолитовые. Твердость 4-4,5. Растворяется в HCl при подогревании. Происхождение различное: гидротермальное, инфильтрационное, осадочное, метасоматическое. Важная руда железа.

Пирит и марказит - сульфиды железа, описаны в разделе, посвященном минералам. Они слагают иногда пласты и линзы, но большого промышленного значения не имеют.

*Фосфатные породы.* Осадочные породы, богатые фосфатами кальция, называют фосфоритами. Порода сложена более, чем на 50% аморфными или микрокристаллическими фосфатами кальция из группы апатита. Цвет обычно черный и серый, редко зеленый, красный, желтый и светло-серый в зависимости от примеси. Структура фосфорита массивная, желваковая, зернистая, кавернозная, шлаковидная, галечная, конгломератовая; текстура - слоистая, натечная. Твердость 5. Характерен чесночный запах, выделяемый

при ударе или трении. Фосфориты встречаются в виде конкреции, реже слагают конгломератовидные образования с желваками фосфоритов в песчаном субстрате. Нередко в породах отмечаются фосфоритизированные остатки организмов. Фосфориты, содержащие большое количество (до 18%) оксида фосфора  $P_2O_5$ , являются ценной рудой и используются в химической промышленности и для производства удобрений.

*Каустобиолиты* (греч. каустос - горючий, биос - жизнь, литос - камень) - горючие ископаемые. По условиям образования каустобиолиты разделяются на 2 группы: угольного ряда, сингенетичные осадкообразованию породы (торфы, ископаемые каменные угли, горючие сланцы) и минералы (янтарь и др.); нефтяного ряда, имеющие миграционную природу (нефти, асфальты, озокериты и др.).

Торфы - бурая или черная масса, представляет собой первую стадию превращения растительного материала по пути его преобразования в уголь. Структура волокнистая или аморфная; текстура - слоистая. Торфы рыхлые, легко режутся лопатой.

Ископаемые угли образовались при дальнейшей углефикации (сложного химического процесса - обогащения углеродом) торфа по схеме: древесина (50% C) → торф → бурый уголь (примерно 70% C) → каменный уголь (82% C) → антрацит (95% C).

Бурый уголь - плотная темно-бурая или черная порода с матовым или (реже) стекляннным блеском, раковистым изломом и бурой чертой.

Каменный уголь - черный с жирным блеском и черной матовой или блестящей чертой; хрупок, пачкает руки; излом раковистый. Текстура часто слоистая.

Антрацит имеет большую твердость, чем каменный уголь, блеск яркий, полуметаллический, излом неровный, руки не пачкает.

Горючие сланцы - сланцеватые темно-серые, бурые или коричневые породы, горящие коптящим пламенем с выделением густого дыма и запаха битума.

Нефти - жидкости от светло-желтого (легкие разновидности) до коричневатого-черного (тяжелые разновидности) цвета со специфическим запахом и масляным блеском. На поверхности воды образует радужную пленку. Залежи нефти формируются в пористых и трещиноватых породах - коллекторах.

Асфальты (природные) группа битумов - высоковязкие, полутвердые и твердые легкоплавкие битумы. Средний элементарный состав: 80-85% C, 9-10% H. Асфальты содержат масла, смолы и асфальтены.

11.2.4 **Метаморфические горные породы** возникают в результате преобразования осадочных, магматических, а также метаморфических пород под воздействием высоких температур и давлений, а также вследствие привноса и выноса вещества высокотемпературными растворами и газами. Эти преобразования протекают в твердом состоянии и выражаются в изменении минерального, иногда химического, состава, текстуры и структуры. Реже минеральный состав сохраняется.

По преобладанию тех или иных факторов преобразования выделяют различные виды метаморфизма. Ниже рассматриваются главнейшие их виды.

Региональный (лат. *regionalis* – областной) метаморфизм вызывается односторонним и гидростатическим давлением и температурой на больших пространствах. На больших глубинах действие одностороннего давления затухает постепенно, а гидростатического возрастает. Процесс сопровождается перекристаллизацией и развитием новых минералов в условиях расплющивания и пластического течения горных пород.

Динамометаморфизм возникает под воздействием тектонических движений, причиной которых является сильное ориентированное давление. Во времени и пространстве оно связано с интенсивной складчатостью мощных толщ осадочных пород. Горные породы и минералы интенсивно дробятся без существенной их перекристаллизации.

Контактовый метаморфизм связан с внедрением магматического расплава и, следовательно, с действием высокой температуры, паров и растворов, выделяемых из расплава. Проявляется этот тип метаморфизма вдоль границ магматических тел и обуславливает преобразование вмещающих пород, изменение их структуры, текстуры и состава.

Пневматолитовый и гидротермальный метаморфизм развивается при интенсивном привносе в породу новых веществ горячими водными растворами и газовыми эманациями, поднимающимися из остывающего магматического очага. При этом происходит изменение минерального и химического составов пород.

При очень интенсивном привносе новых веществ и замещении первичных минералов химически активными веществами возникает особый вид метаморфизма – метасоматоз.

Минеральный состав, структура и текстура метаморфических пород отличаются от магматических и осадочных пород.

Минералы, составляющие метаморфические породы являются наиболее устойчивыми в условиях высоких температур и давлений. К ним относятся большинство минералов магматических пород: кварц, полевой шпат, микроклин, биотит, мусковит, роговая обманка, авгит, магнетит, гематит, осадочный минерал – кальцит. Кроме указанных в метаморфических породах распространены типичные для них минералы – серицит, хлорит, актинолит, тальк, серпентин, гранат, графит и др.

Структура пород кристаллическая, особенно характерны листоватая, чешуйчатая, игольчатая и таблитчатая формы зерен, реже породы зернисто-кристаллические. Остаточные структуры первичных пород называют реликтовыми. По величине зерен выделяют крупнокристаллическую структуру ( $d > 1$  мм), средне- (0,25-1 мм) и мелкокристаллическую ( $< 0,25$  мм).

Текстура метаморфических пород особенная. По взаимному расположению и типам зерен выделяют текстуры: сланцеватую – пластинчатые и удлиненные зерна однообразно ориентированы (иногда называется гнейсовидная); слоистую – характерна для осадочных пород

(парапород); полосчатую – чередование полос различной толщины и разного минерального состава; волокнистую – волокнистые и игольчатые минералы вытянуты примерно в одном направлении; плейчатую - текстурные элементы собраны в мелкие складки (гофры); очковую – крупные овальные зерна или агрегаты рассеяны в породе и выделяются обычно по цвету; беспорядочную - зерна округло-неправильной формы расположены хаотично; массивную - плотное сложение минеральных зерен.

*Породы регионального метаморфизма.* При региональном метаморфизме, при изменении температуры и давления в сторону их увеличения, некоторые породы претерпевают различные стадии изменений. Например, аргиллит превращается в аргиллитовый сланец, далее - аспидный, сланец, филлит и, в конечной стадии – кристаллический сланец.

Аргиллитовые сланцы - это преобразованные аргиллиты, которые на начальном стадии метаморфизма в условиях низких температур под воздействием тектонических давлений претерпевают рассланцевание, текстура становится тонкосланцеватой. Сланцы сохраняют окраску исходных глин; легко раскалываются по сланцеватости на плитки с матовой поверхностью.

При возрастании количества кристаллических частиц порода твердеет, превращается в кровельные или аспидные сланцы.

Филлиты (греч. *phyllo* – лист) – метаморфизованные глинистые сланцы и аргиллиты. Структура скрытокристаллическая; текстура сланцеватая, полосчатая, нередко плейчатая. Породообразующие минералы: кварц, серицит, альбит, реже ортоклаз, кальцит; в качестве примеси могут присутствовать хлорит, пирит, гранат (спессартин), андалузит. Минералы, характерные для глинистых сланцев (содержащие кристаллизационную и конституционную воду) – гидрослюды, каолинит и другие – уничтожаются при метаморфизме. Цвет филлитов зеленоватый (из-за примеси хлорита). Окраска темная, до черной. Блеск шелковистый.

Хлоритовый сланец - порода эпизоны. образуется при перекристаллизации основных магматических пород. Главные минералы — хлорит и кальцит; второстепенные — кварц, тальк, слюды. Окраска темно-зеленая. Структура тонко-, среднезернистая, лепидобластовая. Текстура сланцеватая, полосчатая.

Практическое значение - вмещающая порода некоторых рудных месторождений.

Кристаллические сланцы - глубокометаморфизованные сланцеватые породы мезозоны. Главные минералы кварц, слюды; второстепенные - гранат. роговая обманка, кальцит, графит. В зависимости от минерального состава различают биогитовый, мусковитовый, двуслюдяной (биотит-мусковитовый, гранат-биотитовый), известковый, графитовый сланцы. Окраска, в основном, серая, варьирует в широких пределах в зависимости от соотношения светлых и темных минералов. Структура лепидограно-, грано-. порфиробластовая. Текстура полосчатая, сланцеватая, часто — плейчатая. Практическое значение вмещающая порода рудных

жильных месторождений.

Амфиболит - порода мезозоны, возникающая за счет изменения основных и средних магматических, а также некоторых осадочных пород. Главные минералы - роговая обманка, плагиоклаз; второстепенные — кварц, кальцит, гранат, биотит. Окраска темно-серая до черной с зеленоватым оттенком или темно-зеленая. Структура гранобластовая. Текстура полосчатая, сланцеватая иногда массивная. Практическое значение — декоративный камень. На Урале с ортоамфиболитами связаны месторождения титана, ильменита и рутила.

Мрамор - порода эпи-, ката- и мезозоны метаморфизма, возникает за счет перекристаллизации карбонатных осадочных пород-известняков. Окраска разнообразная. Является ценным облицовочным материалом.

Кварцит - порода эпи-, мезо- и катазоны метаморфизма, возникает за счет перекристаллизации кварцевых песчаников. Главный минерал - кварц; второстепенные - серицит, биотит, гематит, гранат и др. Окраска разнообразная: серая, розоватая, красно-коричневая. Структура гранобластовая, обычно мелкозернистая. Текстура массивная, иногда полосчатая.

Диагностика. От песчаника отличается более высокой твердостью, отсутствием структуры обломочных пород (различить песчинки и цемент невозможно) и характером излома. Порода раскалывается как одно целое, тогда как в песчаниках раскол происходит по границам зерен кварца.

Практическое значение - сырье для производства огнеупорного кирпича, облицовочный материал.

Железистый кварцит - разновидность кварцита, содержащая мелкую вкрапленность гематита и магнетита. Главные минералы — гематит, магнетит, кварц. Структура гранобластовая, мелкозернистая. Текстура полосчатая. Практическое значение — важная железная руда.

Гнейс - глубокометаморфизованная порода катазоны, образующаяся при метаморфизме осадочных (песчаных, глинистых) и магматических (кислых, средних) пород. Главные минералы - полевые шпаты (преимущественно плагиоклазы), кварц; второстепенные - биотит, роговая обманка, пироксен. Используется как строительный материал, вмещающая порода месторождений графита и некоторых рудных месторождений.

*Контактово-метаморфические и гидротермально - измененные породы.* Роговик — порода, представляющая собой измененные на контакте с интрузией песчано-глинистые образования. Минеральный состав: агрегат неразличимых на глаз выделений биотита, кварца, плагиоклаза, магнетита, роговой обманки, эпилога, турмалина и углистого вещества. Структура тонкозернистая, скрытокристаллическая, нередко порфириобластовая. Текстура слоистая, массивная. Окраска темно-серая до черной, иногда с зеленоватым оттенком либо белая, светло-серая, желтоватая.

Диагностика. Высокая прочность, раковистый излом, характерные - минералы порфиробластов; нахождение в приконтактных зонах около интрузивных тел.

Практическое значение - вмещающая порода некоторых рудных месторождений (свинцово-цинковых и медных).

Скарн - контактово-метасоматическая порода, возникающая на контакте интрузий с карбонатными вмещающими породами в результате воздействия постмагматических растворов. Главные минералы - пироксены, гранат, апатит, магнетит, кальцит, роговая обманка, молибденит. Структура полнокристаллическая. Текстура массивная. Разновидности скарна различают по главным породообразующим минералам: пироксеновый, гранатовый, пироксен - гранатовый, везувиановый и т.д.

Грейзен — контактово-метасоматическая порода, образующаяся в результате переработки постмагматическими растворами гранитов или песчано-глинистых пород. Главные минералы - кварц, мусковит, лепидолит; второстепенные - флюорит, рудные минералы. Окраска белая до серой, сиреневая, розоватая. Структура полнокристаллическая, текстура массивная.

Диагностика. Определяют по особенностям минерального состава, т.е. по отсутствию или низкому содержанию полевого шпата, большой концентрации кварца, мусковита или лепидолита (или) топаза, флюорита, турмалина, а также условиям залегания.

Практическое значение - вмещающая порода редкоземельных и редкометалльных месторождений.

Серпентинит контактово-метасоматическая порода, возникающая в результате переработки горячими водными растворами ультраосновных магматических пород. Главный минерал - серпентин; второстепенные - тальк, кальцит, асбест хлорит, магнетит, хромит. Окраска зеленая до черной, неровная, пятнистая. Структура мелко - и среднезернистая, текстура массивная, реже полосчатая

Диагностика. По минеральному составу, цвету и текстурным особенностям.

Практическое значение — декоративный камень, вмещающая порода месторождений асбеста, платины, золота, хрома, талька, магнетита.

Кварцит и мрамор аналогичны по своим свойствам кварциту и мрамору, образовавшимся в результате регионального метаморфизма, но отличаются от них полосчатой и слоистой текстурами.

Вопросы для самопроверки:

1. Что называется минералом?
2. Какие классы минералов вы знаете?
3. По какому признаку делят минералы на классы?
4. Что такое горная порода?
5. Классификация горных пород?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушова А.Ф., Хаин В.Е., Славин В.И. Общая геология .- М.: МГУ, 1986.
2. Мильничук В.С., Арабаджи М.С. Общая геология.- М.: Недра, 1989.
3. Павлинов В.И. и др. пособие к лабораторным занятиям по общей геологии.- М.: Недра, 1988.
4. Лебедев Н.Б. Пособие к лабораторным занятиям по общей геологии.- М.: МГУ, 1988.
5. Климентов П.П., Богданов Г.Я. Общая гидрогеология.-М.: Недра, 1989.
6. Левитес М.Я. Общая геология с основами исторической геологии и геологии СССР
7. Мизерная М.А., Кузьмина О.Н. Общая геология Электронный учебник, ВКГТУ, 2006 г.
  
8. Новиков Ю. В. «Экология, окружающая среда и человек» Москва 1998г.
9. Голубев И. Р., Новиков Ю. В. «Окружающая среда и ее охрана.»
10. Хорунжая Т. А. «Методы оценки экологической опасности», 1998г.
11. Никитин Д.П., Новиков Ю.В. «Окружающая Среда и человек.» - М.: 1986.
12. Радзевич Н.Н., Пашканг К.В. «Охрана и преобразование природы.» - М.:
13. Просвещение, 1986.
14. Алферова А.А., Нечаев А.П. «Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов.» - М.: Стройиздат, 1987.
15. «Методы охраны внутренних вод от загрязнения и истощения» / Под ред. И.К. Гавич. - М.: Агропромиздат, 1985.
16. «Охрана окружающей природной среды» / Под ред. Г.В. Дуганова. - К.: Выща школа, 1990.
17. Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. «Методы очистки производственных сточных вод» М.: Стройиздат, 1999.